BnF Gallica

Dictionnaire des arts et manufactures, de l'agriculture, des mines, etc. : description des procédés de l'industrie [...]

Source gallica.bnf.fr / Université Paris Sud

{BnF Gallica

Laboulaye, Charles (1813-1886). Auteur du texte. Dictionnaire des arts et manufactures, de l'agriculture, des mines, etc. : description des procédés de l'industrie française et étrangère. Tome 1 / par M. Ch. Laboulaye,.... 1870-1873.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter
utilisation.commerciale@bnf.fr.

LABOULAYE, CHARLES

Dictionnaires des arts et manufactures, de l'agriculture, des mines...

Tome 1

Paris 1873

Source gallica.bnf.fr / Université Paris Sud

34535

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

DE L'AGRICULTURE, DES MINES, ETC.

TOME PREMIER

Paris. — Imprimerie Vieville et Capiomont, rue des Poitevins, 6.

ENCYCLOPÉDIE TECHNOLOGIQUE

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

DE L'AGRICULTURE, DES MINES, ETC.

DESCRIPTION DES PROCÉDÉS

DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

PAR M. CH. LABOULAYE

ANCIEN SECRÉTAIRE, CENSEUR DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE, MEMBRE DU JURY INTERNATIONAL A L'EXPOSITION DE 1862 ET A CELLE DE 1867

et MM. DEBETTE, Ingénieur des Mines. — BARRAL, Ingénieur. — A. BARRAULT.
E. BAUDE. — BERTHELOT, Professeur au Collége de France. — BRÉGUET, du Bureau des Longitudes.
V. BOIS. — P. DESORMEAUX. — DÉGLIN. — DUBIED, Ingénieur-Constructeur.
EBELMEN. — FAURE. — GROUVELLE. — HANRIOT, Directeur de Papeterie. — KNAB, Chimiste.
LISSAJOUS, Professeur de physique. — H. MAGNE, Directeur de l'École d'Alfort. — MALLET, Chimiste.
MANGON, Ing. des Ponts et Chaussées, Prof. au Conservatoire des Arts et Métiers. — ROUGET DE LISLE, Ingénieur.
SALVETAT, Chimiste de la Manufacture de Sèvres. — VINCENDON-DUMOULIN,
et un grand nombre d'Ingénieurs et de Fabricants.

SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE
28, Rue St-Dominique
PARIS
(7e)

TROISIÈME ÉDITION

Considérablement augmentée

DEUXIÈME TIRAGE

A-G

PARIS

LIBRAIRIE DU DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES

40, RUE MADAME, 40.

1873

34535

PRÉFACE

DE LA PREMIÈRE ET DE LA DEUXIÈME ÉDITION

Bacon, cet homme qui a entrevu tant de vérités, dit dans son *Novum Organum Scientiarum* : « Il est trois genres comme trois degrés d'ambition. La première « est celle des hommes qui veulent jouir d'une supériorité exclusive : c'est la « plus vulgaire et la plus lâche. La seconde est l'ambition des hommes qui « veulent rendre leur patrie dominante au milieu de l'espèce humaine : elle « est sans doute plus élevée, mais elle n'est pas moins injuste. Enfin celle qui « s'efforce d'agrandir la domination de l'homme sur la nature (si c'est là de « l'ambition) est la plus saine et la plus auguste de toutes. Or, l'empire de « l'homme sur les choses a pour base unique les sciences et les arts; car ce « n'est qu'en étudiant les lois de la nature que l'on peut parvenir à s'en rendre « maître. »

C'est aux personnes animées de cette dernière ambition, à tous ceux qui ont compris la grandeur du travail industriel, gloire et honneur de notre époque, que le DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES est destiné. On peut dire qu'il est leur œuvre, car les paroles de Bacon indiquent l'esprit qui a soutenu et les auteurs qui y ont travaillé avec tant de dévouement et nos premiers souscripteurs qui sont venus à nous dès que notre publication a été annoncée. C'est grâce à leur concours empressé que l'on a pu faire tous les sacrifices nécessaires pour présenter un tableau satisfaisant des procédés des diverses industries.

Il est inutile d'expliquer à nos lecteurs combien il importait de remplir conve-

nablement notre tâche; il nous suffira de dire qu'une œuvre de la nature de celle-ci doit fournir le point de départ de tout nouveau progrès, indiquer à l'inventeur toutes les ressources dont l'industrie dispose, et en même temps faire apprécier la méthode, l'esprit de l'industrie moderne pour enfanter sans cesse de nouvelles améliorations.

Nous croyons pouvoir, au nom de tous les amis du véritable progrès, remercier nos collaborateurs de la part qu'ils ont prise à l'exécution de notre œuvre. Leur concours ne nous a pas fait défaut pour refondre la seconde édition, et combler les lacunes qui nous avaient échappé dans un premier travail. Nous avons été heureux de profiter, pour les reconnaître, des grands spectacles offerts par les Expositions universelles qui ont mis sous nos yeux les productions les plus parfaites des ateliers du monde entier.

Puisse cet ouvrage contribuer autant que nous le désirons à maintenir notre patrie dans les voies du travail, et l'aider à se placer en tête du progrès industriel où l'appellent les grands travaux de ses savants, le goût de ses artistes, la science de ses fabricants ! C'est dans cette voie seulement que se rencontrent aujourd'hui pour les nations la prospérité et la véritable grandeur.

PRÉFACE

DE LA TROISIÈME ÉDITION

Lorsque, il y a déjà près de vingt ans, je commençais la publication de la première édition du DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES, je faisais bien des rêves fondés sur l'espoir du succès de mon entreprise. Au début et bien souvent depuis, il m'a semblé que l'on ne rendait pas bonne justice aux efforts de mes collaborateurs et aux miens, et que l'on n'appréciait pas à leur valeur les services que notre ouvrage rendait à l'industrie.

Les années en se succédant m'ont montré que j'avais tort et que si nous n'avions pas obtenu ce succès éclatant et immédiat, mais souvent éphémère, qui n'appartient guère qu'aux œuvres d'imagination, notre Dictionnaire, constamment recherché, était devenu l'ouvrage classique de l'industrie moderne, l'encyclopédie technologique renfermant l'ensemble des connaissances qu'il n'est plus permis de ne pas posséder quand on se sent quelque valeur comme ingénieur, comme fabricant. Plus encore que les profits de l'opération, la notoriété et l'estime qui ont entouré mon nom m'ont apporté bien des causes de satisfaction, et en résumé je crois pouvoir citer mon exemple aux jeunes gens qui ont une idée nette d'une grande et utile entreprise : qu'ils ne craignent pas d'y consacrer tous leurs efforts et toute leur intelligence; ils forceront le succès qu'ils auront mérité. Il pourra tarder, mais il viendra tôt ou tard. Je dis cela, parce que je crois que de semblables exemples sont salutaires et qu'on ne saurait en trop constater.

Refondu et beaucoup amélioré après l'Exposition universelle de 1851, aug-

menté d'un Complément après celle de 1855, le DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES a, encore une fois, été revu avec le plus grand soin dans tous ses détails et augmenté de bien des richesses récoltées à Londres, en 1862, et dans l'excellente position que me faisait mon titre de membre du Jury international pour étudier notamment la grande industrie anglaise.

Le Complément, refondu après l'Exposition de 1867, comprend l'analyse des derniers progrès de l'industrie et des travaux destinés à combler les quelques lacunes que ce grand spectacle nous a encore permis de reconnaître.

Nous croyons pouvoir dire que, complété comme il l'est aujourd'hui, le DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES est sans contredit l'œuvre la plus étendue et la plus utile qui ait jamais été consacrée à l'exposition des procédés du travail industriel. En le revoyant, je me suis bien gardé d'altérer, dans cette édition définitive, la juste proportion des articles qui constituent le tableau de l'ensemble du travail industriel. J'ai pris également le plus grand soin de laisser toujours en pleine lumière la liaison de la théorie et de la pratique, l'alliance des sciences et des arts, qui apparaît dans chaque article du DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES, pour en faire ressortir un enseignement doublement utile, non-seulement en fournissant des renseignements précieux, mais surtout en initiant le lecteur aux connaissances qui fournissent les règles des procédés de l'industrie, à la méthode qui seule peut conduire à des succès durables et permettre à l'industriel de s'enrichir en s'instruisant et se perfectionnant chaque jour. Notre plus grande satisfaction est de penser que nous devons contribuer ainsi aux succès moraux et matériels des nombreux et intelligents producteurs qui ont recours à notre ouvrage.

CH. LABOULAYE.

INTRODUCTION.

L'importance du travail industriel, et par suite des connaissances qui permettent de le rendre le plus profitable qu'il est possible, est trop grande, trop vivement sentie de nos jours, surtout par les personnes qui ouvriront ce livre le plus souvent pour y chercher des renseignements sur quelque fabrication, pour que nous croyions utile de chercher à la faire apprécier. Disons seulement, comme le rendent évident tous les faits dont nous sommes les témoins, que c'est sur lui que repose toute la civilisation moderne, avec ses accroissements si rapides de richesses, sa diffusion de bien-être et d'indépendance à des populations chaque jour plus considérables.

Il y a bien des siècles qu'Aristote, comme s'il eût voulu, par prévision de l'avenir, justifier aux yeux des générations futures l'esclavage sans lequel les riches cités grecques ne pouvaient subsister, disait : *Que l'esclavage ne serait détruit que le jour où le fuseau et la navette marcheraient seuls;* et en effet, à cette époque, aucune partie de la société ne pouvait arriver à une existence libérale qu'autant que les autres classes dont elle était composée, réduites à l'état d'instruments de production, étaient contraintes à créer par un pénible travail une grande quantité de produits, et à n'en consommer qu'une faible partie.

La richesse et la civilisation, qui, au jugement d'Aristote, étaient intimement liées à l'esclavage, reposent aujourd'hui sur l'accumulation des instruments de travail, des machines notamment, qui opèrent une partie chaque jour plus grande du rude labeur imposé autrefois aux classes malheureuses. Admirable résultat qui ne peut se comprendre que si l'on remarque que ce n'est pas seulement à l'aide de sa force physique que l'homme agit sur la nature, que c'est surtout à l'aide de son intelligence; à l'aide des découvertes qui s'accumulent dans les diverses sciences, dans les méthodes perfectionnées que les générations successives se transmettent.

Ce sont ces connaissances qui constituent la *Technologie*, c'est-à-dire *la science des procédés suivant lesquels l'homme emploie les forces et agit sur les matières premières fournies par la nature pour utiliser ces forces et obtenir de ces matières premières ce qui convient à la satisfaction de ses besoins et de ses désirs.*

De cette définition il résulte clairement que la Technologie peut être considérée de deux points de vue distincts : soit quant au but qu'elle se propose, c'est-à-dire la satisfaction des besoins et des désirs de l'homme, excitation et condition du travail ; soit quant aux moyens de production, aux connaissances qui permettent de diriger le travail de la manière la plus utile.

Le premier point de vue, qui, comme nous allons le voir, est celui auquel on s'est le plus souvent placé jusqu'ici lorsqu'on a considéré l'ensemble du travail industriel, en confondant le but de la science avec la science elle-même, peut être convenable pour une science fort importante aujourd'hui et dont les progrès ont accompagné ceux de l'industrie, l'économie politique ou au moins la partie la plus positive de cette science, l'économie

industrielle. Étudier le travail dans ses résultats par rapport à l'homme et à la société, analyser comment l'homme est excité à produire et récompensé de ses efforts, l'influence des machines, etc., tel est le principal objet de cette science considérée en général et dont les applications se rapportent à toute question de travail spécial pour en compléter l'étude technologique. Celle-ci, en effet, n'est pas complète dès qu'elle donne un moyen de produire un objet, partie évidemment capitale de la science, mais elle doit encore indiquer le procédé le plus avantageux à adopter entre tous les autres, ce qui rentre dans la partie économique d'une fabrication. Aussi reviendrons-nous sur ce point de vue à la fin de cet ouvrage comme en traitant des principales industries; il fournit le complément naturel de toute étude de moyens de production.

Le second point de vue est celui que nous venons déjà d'indiquer et sur lequel nous avons beaucoup à insister, car il est d'une extrême importance, il se rapporte à l'étude des méthodes à employer, à la direction du travail nécessaire pour créer un produit. Or, d'où peuvent provenir de semblables méthodes, sinon de la connaissance des objets sur lesquels s'exerce le travail, des lois qui permettent d'employer les forces naturelles, lois qui sont l'objet des sciences physiques; autrement dit, chaque étude particulière de Technologie nécessite la connaissance de certaines lois naturelles, offre l'application de certaines parties des sciences physiques.

En suivant cette idée, nous atteindrons un résultat fort important, principal but que nous nous soyons proposé dans cette Introduction, celui de la classification de la Technologie, c'est-à-dire de l'ordre et de la succession, des relations mutuelles des vérités qui constituent cette science, et qui isolées ne constituent qu'une réunion de matériaux, mais non un édifice.

Auparavant, voyons ce qui a été fait dans cette voie.

CLASSIFICATION DE LA TECHNOLOGIE.

L'immense quantité de faits et de théories que comprend le travail industriel a fait nier par beaucoup de personnes la possibilité de parvenir à les renfermer dans une classification satisfaisante. Les rédacteurs de l'ancien *Dictionnaire Technologique* en vingt-deux volumes ont paru reculer devant les difficultés d'un semblable travail, en ne tenant pas la promesse qu'ils avaient faite de terminer leur publication par une classification qui corrigeât les inconvénients qui résultent de l'ordre alphabétique; c'est ce but que dans la même position nous voulons atteindre.

CLASSIFICATION FAITE SUR LA BASE DES MATIÈRES PREMIÈRES.

Dans l'*Encyclopédie* de Diderot et de d'Alembert, les arts, métiers et manufactures sont classés comme une dépendance de l'histoire naturelle. (Voir dans cet ouvrage le *Tableau raisonné des connaissances humaines.*)

Leur énumération comprend :

1° Travail et usage de l'*or* et de l'*argent*, d'où les états de *monnayeur*, *batteur d'or*, de *tireur d'or*, d'*orfévre*, etc., etc.

2° Travail et usage des *pierres fines et précieuses*, d'où *lapidaire*, *diamantaire*, *joaillier*, etc.

3° Travail et usage du *fer*, d'où *grosses forges*, *serrurerie*, *taillanderie*, *armurerie*, *arquebuserie*, etc.

4° Travail et usage du *verre*, d'où *verrerie*, *glaces*, *miroitier*, *lunetier*, *vitrier*, etc.

. . . . . .

Il suffit de jeter un coup d'œil sur cette énumération des professions pour reconnaître que l'on y rapproche des procédés complétement différents, et qu'on en sépare d'autres qui ont la plus grande analogie. De quelle valeur est le rapprochement fait entre le travail du verrier qui produit le verre, le métier du vitrier qui garnit de vitres les croisées des appartements, et l'art de l'opticien qui taille les lentilles des lunettes astronomiques. La matière première employée dans ces professions est à peu près la même ; mais les professions sont tout à fait différentes. Cette classification peut donc servir à former un catalogue des produits, mais ne saurait offrir aucune autre utilité véritable.

CLASSIFICATION FAITE SUR LA BASE DES USAGES.

Cette méthode, qui est celle que M. Charles Dupin a développée dans ses cours du Conservatoire, réunit les divers arts et métiers selon les besoins de l'homme, le but et l'origine du travail industriel. Les arts se trouvent ainsi groupés de la manière la plus conforme au rôle qu'ils sont destinés à jouer à l'égard de l'individu et de la société. Dans ce système, on établit sept groupes qui embrassent :

1° La préparation des matières premières.

2° La nourriture de l'homme, en y comprenant ce qui a rapport aux médicaments intérieurs, ou arts alimentaires.

3° Les vêtements ou arts vestiaires.

4° Les changements dans l'extérieur du globe pour le rendre conforme à nos desseins.

5° Le mobilier, les ustensiles, les outils et les machines.

6° Les modifications dans la nature et l'apparence des objets, pour les approprier à différentes destinations.

7° Les instruments et les procédés employés dans la pratique des sciences et des beaux-arts.

Cette classification empirique est présentée comme la moins mauvaise qu'il soit possible d'établir, dans un remarquable article sur la technologie de M. Lalanne inséré dans l'*Encyclopédie nouvelle* de MM. Leroux et Reynaud. Comme la précédente pourtant, elle ne peut servir qu'à dresser un catalogue des professions, sans pouvoir être d'une grande utilité. Elle se rapporte au premier point de vue de la technologie dont nous avons déjà parlé, c'est ce qui lui donne une certaine valeur ; mais elle est bien inférieure à celle qui découle de la classification des procédés du travail. Ne se rapportant qu'aux besoins physiques de l'homme, elle laisse pour ainsi dire à l'écart l'action de son intelligence, et ne saurait contribuer au moindre progrès.

A quels besoins physiques de l'homme correspondent les plus belles découvertes des temps modernes, la machine à vapeur, la pile voltaïque, etc. ? Le besoin peut bien causer un désir, mais il ne donne pas les moyens de le satisfaire ; il ne peut au plus qu'exciter aux recherches. L'invention est essentiellement un produit de l'intelligence qui trouve chaque jour des ressources nouvelles dans les progrès des sciences qui ne dépendent en rien des besoins physiques de l'homme. Aussi bien souvent c'est l'invention qui crée le besoin lui-même en offrant moyen de le satisfaire. Cette classification est donc fautive et présente le grand inconvénient de paraître nier la plus noble tendance du travail industriel de devenir de plus en plus une œuvre d'intelligence, en obtenant de la combinaison des forces physiques, des machines, etc., la majeure partie du travail nécessaire pour convertir les matières premières en produits utiles.

Ces classifications, les premières qui se présentent à l'esprit, et qui ne peuvent servir qu'à embrasser l'ensemble des produits et procédés de l'industrie, sont comparables aux premières classifications faites en botanique, dans lesquelles on rangeait les plantes suivant les ressemblances de quelques-unes de leurs parties. Ces classifications n'étaient que d'une utilité secondaire pour l'étude de l'histoire naturelle, parce que des plantes réunies dans une même division pouvaient être cependant de nature fort différente, et

par suite la connaissance de la classe à laquelle elles appartenaient ne les faisait que fort peu connaître.

Mais quand de Jussieu classa les plantes en partant de la similitude de la graine, ou de celle du végétal à sa sortie de la graine, les divisions générales se trouvèrent alors renfermer des plantes dont la nature intime était de même ordre. La classification ne servit plus alors à dresser seulement un catalogue, elle devint un moyen d'étude, en permettant de connaître les propriétés générales d'un végétal, quand on a découvert la classe à laquelle il appartient.

CLASSIFICATION FAITE SUR LA BASE DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS, CONSIDÉRÉS COMME APPLICATIONS DES SCIENCES.

Le caractère fondamental d'une classification est d'être utile comme moyen d'étude, et ce n'est certes pas celui des divers systèmes qui précèdent, qui ne donnent que des catalogues ne pouvant offrir qu'un intérêt de curiosité.

Ce caractère appartient bien clairement au système que nous avons déjà fait pressentir et qui consiste à considérer les procédés technologiques comme des applications des sciences physiques, à ne pas séparer la *connaissance* des lois de la nature qui constitue la science, de l'*utilisation* de ces lois qui constitue les méthodes technologiques. C'est ce qu'a parfaitement expliqué M. Ampère dans son travail sur la classification des sciences.

« On distingue, dit-il, ordinairement les arts des sciences. Cette distinction est fondée « sur ce que dans les sciences l'homme *connaît* seulement, et que dans les arts il connaît « et exécute ; mais si le physicien connaît les propriétés de l'or, telles que sa fusibilité, sa « malléabilité, etc., il faut que l'orfévre, de son côté, connaisse les moyens à employer pour « le fondre, le battre en feuilles, ou le tirer en fils, etc.; et, dans les deux cas, il y a éga- « lement *connaissance*. Il n'y a donc réellement, quand il s'agit de classer toutes les vérités « accessibles à l'esprit humain, aucune distinction à faire entre les arts et les sciences : les « premières doivent, comme les secondes, entrer dans cette classification ; seulement les « arts n'y entrent que relativement à la connaissance des procédés et des moyens qu'ils « emploient, abstraction faite de la dextérité de l'artiste, et non de l'instruction plus ou « moins complète qu'il a acquise, suivant qu'il est plus ou moins *savant* dans son art.

« Sous le rapport de la connaissance, tout art, comme toute science, est un groupe de « vérités démontrées par la raison, reconnues par l'observation, que réunit un caractère « commun ; caractère qui consiste soit en ce que ces vérités se rapportent à des objets de « même nature, soit en ce que les objets qu'on y étudie y sont considérés sous le même « point de vue. »

Rien de plus précis et de plus vrai que ce passage de l'ouvrage de M. Ampère ; au reste, la liaison intime et l'influence réciproque des sciences sur les arts et des arts sur les sciences ne sauraient être douteuses pour personne ; trop d'exemples l'ont démontré. Rappelons un exemple souvent cité des utiles applications qu'y trouvent souvent les spéculations les plus abstraites.

Quand Platon et les géomètres de son école étudiaient les propriétés des courbes que l'on obtient en coupant un cône par un plan, on ne prévoyait pas que, deux mille ans plus tard, Képler découvrirait l'identité de l'ellipse, une de ces courbes, avec les orbites décrites par les planètes autour du soleil, ni que Newton en déduirait la loi de l'attraction universelle, et donnerait les preuves les plus certaines de la liaison qui existe entre l'expression de cette loi et les mouvements géométriques des astres. Or, la théorie de Newton, en permettant de soumettre au calcul longtemps avant l'époque où ils doivent se produire les phénomènes astronomiques les plus complexes, a fourni à la navigation et à la géographie les moyens d'observation les plus sûrs et les plus exacts. Tellement que Condorcet a pu dire avec raison : « Le matelot, qu'une savante observation de la longitude préserve « du naufrage, doit la vie à une théorie conçue deux mille ans auparavant par des hommes « de génie qui n'avaient en vue que des spéculations géométriques. »

C'est ainsi qu'un procédé technologique se trouve souvent résulter d'une application immédiate des théories scientifiques, que la science a fait prévoir le résultat de ce que l'art, éclairé par cette prévision, effectue. L'étude approfondie des relations intimes de la science et de l'industrie, en rendant sensibles les progrès qui résultent d'un échange réciproque et perpétuel entre les sciences et les arts, offre le grand avantage de détourner les esprits d'un industrialisme grossier et en quelque sorte matériel, de rappeler que ce qui doit être admiré dans le travail matériel, c'est l'intelligence qui dirige bien plus que la main qui obéit.

Pour que l'excellence de la classification que nous indiquons ici fût parfaitement sensible, il faudrait que les sciences et les arts formassent un tout complet, que la théorie existât toujours pour la pratique sous forme scientifique. Malheureusement il n'en est pas encore ainsi, toutes les méthodes applicables à la pratique et qui reposent sur les sciences ne sont pas formulées; mais c'est précisément l'œuvre la plus saillante de notre époque que de faire sortir des ateliers les méthodes reçues, pour les élever à l'état de théories qui souvent viennent augmenter le domaine des sciences; comme de faire dériver de celles-ci, et des découvertes nouvelles, des applications à l'industrie. Chaque jour l'esprit pratique des savants et la science des fabricants tendent à combler les lacunes qui subsistent encore. Depuis soixante ans, les travaux faits dans cette voie sont immenses. Le magnifique travail de Monge sur la *géométrie descriptive* est venu former la théorie générale du *dessin* et des *arts de construction*. La *chimie* et la *métallurgie* guident aujourd'hui le fabricant de si près, que la science pure et la théorie de la pratique se sont confondues, et que les ateliers ne sont plus que de grands laboratoires. La *mécanique industrielle* a remplacé la routine qui présidait aux constructions mécaniques; les dimensions de chaque pièce qui fait partie d'une machine ont pu être calculées et déterminées théoriquement; la *cinématique* guide les constructeurs dans la disposition des organes mécaniques auxquels doit être imprimé un mouvement voulu.

En réalité, on le voit donc, cette question de classification n'est autre que celle qui a été si souvent discutée de l'alliance des sciences et des arts, de la prédominance de la théorie sur la pratique, question que les progrès de l'industrie moderne ont si complétement résolue.

« On aurait mauvaise grâce, disaient en 1835 les fondateurs de l'École Centrale des arts « et manufactures (école qui a produit nombre d'ingénieurs distingués qui ont amplement « justifié la vérité de ces assertions), à nier l'heureuse influence des sciences sur les progrès « de l'industrie, en face des événements qui se sont accomplis depuis quarante ans, et qui « changeront peut-être les rapports commerciaux du monde entier. La soude artificielle, « le blanchiment par le chlore et le sucre de betteraves, par d'éclatants exemples, montrent « tout ce que renferme un résultat scientifique à qui sait le faire parler.

« Il y a soixante ans, l'industrie avait devancé les sciences; aujourd'hui, les sciences « dominent et maîtrisent l'industrie. Les personnes qui se refusent à admettre ce point de « vue sont dans l'erreur et se laissent préoccuper par les faits du passé, sans tenir assez « compte des événements de l'époque actuelle.

« L'industrie est maintenant une application des sciences, et l'étude de celles-ci, faite « au point de vue pratique, rend éminemment propre à devenir industriel. Voilà des faits « qu'il est permis de regarder comme certains, et qu'au besoin l'existence de l'École « Centrale et le succès de son enseignement mettraient hors de toute espèce de doute.

« S'il en est ainsi, si les connaissances industrielles reposent essentiellement sur des « études scientifiques d'un ordre élevé, il devient, jusqu'à un certain point, possible et « même facile de pénétrer dans l'industrie sans passer par la routine des usines. Il suffit « qu'on puisse acquérir ces connaissances évidemment indispensables de chimie, de phy- « sique ou de mécanique industrielles.

« Ainsi, les jeunes gens étrangers à l'industrie, ajoutaient-ils avec raison, peuvent « maintenant aborder cette carrière avec une préparation salutaire, et non plus par la « force des choses ou le hasard des événements. Une éducation spéciale et forte leur promet

« des succès dans cette direction ouverte à leur jeune ambition, et leur assure une « situation immédiate souvent très-favorable. »

Peut-être les savants fondateurs de l'École Centrale ne tiennent-ils pas assez compte dans ce qui précède des difficultés qui se rencontrent dans le passage de la théorie à la pratique ; mais il est bien évident, quelque illusion que l'habitude puisse faire naître dans l'esprit de l'homme dont l'habileté est devenue en quelque sorte toute pratique, qui a appris peu à peu et par un long apprentissage ce que quelques explications bien raisonnées lui eussent fait comprendre en un instant, que l'étude d'une industrie est une opération intellectuelle. Or, les procédés industriels ne peuvent être compris, simplifiés, améliorés qu'à l'aide de la connaissance des lois naturelles qu'ils utilisent, qu'à l'aide de la méthode propre aux sciences expérimentales. Ainsi, les œuvres si admirées des constructeurs de machines, des ingénieurs qui en font les projets, exigent des recherches, des combinaisons, des calculs tout à fait semblables à ceux des savants. L'industrie, tendant à devenir de plus en plus *scientifique* chaque jour, il en est ainsi des travaux relatifs à la plupart des fabrications.

Toute recherche qui a son point de départ dans l'observation ne peut être rendue féconde qu'en suivant la voie adoptée pour les sciences depuis Bacon et Descartes. C'est en réalité la même méthode qui conduit à perfectionner l'industrie, de telle sorte que l'étude des sciences doit précéder celle de l'industrie, non-seulement à cause des matériaux qu'elles fournissent, mais encore parce qu'elles enseignent comment on doit procéder pour analyser tous les phénomènes qui se rencontrent dans les applications.

C'est surtout dans le désir de répandre cet esprit du véritable progrès que cette Encyclopédie a été rédigée, et si nous nous sommes attachés avec le plus grand soin à y décrire toutes les opérations des ateliers, nous nous sommes efforcés avec un zèle aussi grand à indiquer les théories sur lesquelles elles sont fondées, les méthodes à suivre pour les perfectionner.

Nul besoin, d'ailleurs, de dire quel intérêt peut offrir le tableau, l'inventaire des connaissances sur lesquelles reposent la richesse moderne et la seule partie, peut-être, incontestablement progressive de la civilisation. Car, suivant une profonde remarque de l'illustre Poncelet, « c'est dans le perfectionnement, l'accroissement graduel, lent, mais incessant et pour ainsi dire indéfini des découvertes, des idées chimiques, physiques, mécaniques, géométriques ou mathématiques, appliquées ou non à la satisfaction de nos besoins, que réside la perfectibilité de la race humaine, plus encore que dans le prétendu progrès des idées morales, philosophiques et artistiques, dont l'antiquité nous a légué des exemples ou des modèles non encore surpassés de nos jours. En un mot, nous égalons à peine les anciens dans les productions qui se rattachent à l'esprit et au jugement, au goût et à l'imagination ; mais nous les surpassons de beaucoup en ce qui touche à la multiplication, à la vulgarisation et à la reproduction rapide, économique, des objets de consommation ou de jouissances matérielles, artistiques et intellectuelles, » notamment au moyen de l'accumulation de puissants instruments de production si profitables au bien-être universel.

Nous ferons bien comprendre la méthode dont nous avons démontré la haute importance, en formulant la classification de la Technologie; ce qui se réduit, d'après ce que nous venons de dire, à partir de la classification des sciences dont la connaissance est si avantageuse pour la pratique de l'industrie, afin de montrer clairement comment les fabrications viennent se rattacher aux diverses sciences et y puiser les théories qui les éclairent et les fécondent. Certes, cet examen ne peut remplacer l'étude de ces sciences mêmes, qui seule peut faire bien saisir les méthodes qu'elles emploient; mais, en présentant l'esprit et non les démonstrations, en écartant les digressions qui distraient l'esprit, on en apercevra mieux peut-être la philosophie.

DE LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE.

...Qu'il est possible de parvenir à des connaissances qui soient fort utiles à la vie, et que, au lieu de cette philosophie spéculative qu'on enseigne dans les écoles, on en peut trouver une pratique, par laquelle, connaissant la force et les actions du feu, de l'eau, de l'air, des astres, des cieux, et de tous les autres corps qui nous environnent, aussi distinctement que nous connaissons les métiers de nos artisans, nous les pourrions employer en même façon à tous ouvrages auxquels ils sont propres, et ainsi nous rendre comme maîtres et possesseurs de la nature.

(DESCARTES. *Discours sur la méthode.*)

Nous ne pouvons aborder l'ensemble des connaissances qui constituent l'édifice scientifique sans entrer dans quelques détails sur la manière de les acquérir, sans traiter de la science des sciences, de la philosophie. Mais pour ne pas nous égarer à la suite de tant de brillants esprits qui, à force de vouloir tirer de leur cerveau les règles de toutes choses, ne sont souvent parvenus à en faire sortir que des chimères, nous dirons de suite que nous ne parlons ici que des connaissances qui peuvent être amenées à l'état de certitude, et dont la géométrie nous présente le type le plus parfait, et nullement de celles classées dans les sciences philosophiques.

Nous ne nions pas, qu'on le remarque bien, la grande importance de ces connaissances, nous disons seulement qu'elles ne sont pas du même ordre que les sciences proprement dites.

Lorsque, au lieu de travailler sur lui-même, et par suite avec la crainte de s'égarer à chaque instant, l'esprit de l'homme se tourne vers la connaissance de la nature, il a bientôt conscience de la manière dont il peut parvenir à la vérité, de la route qu'il doit prendre pour que ses efforts ne soient pas infructueux : cette route c'est la méthode.

Cette méthode va nous apparaître et se développer en passant en revue les principales sciences qui lui fournissent des sujets d'application et par suite de développement. Mais il est quelques règles fondamentales qui la résument et doivent ne jamais abandonner qui veut s'instruire ; ne pouvant songer à les formuler, dépourvus que nous sommes de l'autorité nécessaire en pareille matière, nous préférons renvoyer au grand philosophe français, à Descartes, qui dans son ouvrage, malheureusement inachevé, intitulé : *Règles pour la direction de l'esprit*, les a admirablement décrites.

Le *Discours sur la méthode* de Descartes, bien plus connu dans les écoles, a fait avec raison considérer ce grand philosophe comme le fondateur de l'école rationaliste moderne ; les *Règles pour la direction de l'esprit* doivent, à aussi juste titre, le faire regarder également comme le fondateur de la philosophie positive qui a pris dans ces derniers temps assez d'importance, grâce aux travaux de son fondateur, M. Auguste Comte, et de son adepte, M. Littré.

Nous ne pouvons résister au désir de citer les passages les plus importants de cette œuvre si remarquable. Ce qui nous y paraît bien digne de remarque, c'est la sagesse avec laquelle Descartes a su se garder des tendances anti-spiritualistes du positivisme, qui a cru réaliser un progrès sur ce grand philosophe en niant la possibilité de formuler aucune loi intellectuelle ou morale, aucun principe du juste et du beau par la seule conscience.

Descartes, sans tomber dans cette erreur, a seulement soin de considérer la méthode qui dérive des sciences exactes comme applicable uniquement aux questions dont nous pouvons avoir une connaissance nette, positive, scientifique, et non aux sentiments qui sont du domaine de l'idéal, de la conscience.

EXTRAIT DE L'OUVRAGE DE DESCARTES INTITULÉ : RÈGLES POUR LA DIRECTION DE L'ESPRIT.

RÈGLE II. — *Il faut nous occuper seulement des objets dont notre esprit paraît capable d'acquérir une connaissance certaine et indubitable.*

Toute science est une connaissance certaine et évidente ; l'homme qui doute beaucoup n'est pas plus savant que celui qui n'a jamais pensé ; et même je le regarde comme moins savant s'il s'est formé de fausses idées sur certaines choses.

Il vaut donc mieux ne jamais étudier que de s'occuper d'objets tellement difficiles que, ne pouvant distinguer le vrai du faux, on soit obligé d'admettre pour certain ce qui est douteux, puisque dans cette étude on doit moins espérer d'augmenter son savoir que craindre de le diminuer. Nous rejetons donc, par cette règle, tou-

tes les connaissances qui ne sont que probables, et nous posons en principe qu'on ne doit se fier qu'à celles qui sont certaines, et dont on ne peut douter.

Les savants se persuadent peut-être que ces connaissances sont fort rares, et cela parce que, suivant un travers commun à l'esprit humain, ils les ont négligées comme trop faciles et à la portée de tout le monde. Cependant nous les avertissons qu'elles sont en bien plus grand nombre qu'ils ne le pensent, et qu'elles suffisent pour démontrer solidement une foule de propositions sur lesquelles ils n'ont pu jusqu'à présent émettre que des opinions probables; opinions que bientôt, pensant qu'il était indigne d'un savant d'avouer qu'il ignore quelque chose, ils se sont habitués à parer de fausses raisons, si bien qu'ils ont fini par se les persuader à eux-mêmes, et qu'ils les ont données pour vraies.

Mais si nous observons cette règle, il y aura bien peu de choses à l'étude desquelles nous ne puissions nous livrer; car à peine, dans les sciences, est-il une seule question qui n'ait souvent divisé les hommes d'esprit. Or, toutes les fois que deux hommes sont d'un avis contraire sur la même chose, à coup sûr l'un ou l'autre se trompe; bien plus, aucun d'eux ne me semble posséder la vérité; car si les raisons de l'un étaient certaines et évidentes, il pourrait les exposer à l'autre de telle manière qu'il finirait par le convaincre également.

. . . . . .

. . . . . Remarquons que l'on arrive à la connaissance des choses par deux voies : l'expérience et la déduction. Remarquons de plus que l'expérience est souvent trompeuse; la déduction, au contraire, ou, en d'autres termes, l'opération par laquelle on infère une chose d'une autre, il se peut qu'on l'omette si on ne l'aperçoit pas; mais l'intelligence la moins propre au raisonnement ne peut la mal faire. Les entraves au moyen desquelles les dialecticiens croient diriger la raison humaine me semblent ici d'une médiocre utilité, quoique je ne nie pas qu'elles ne soient très bonnes pour d'autres usages. En effet, toutes les erreurs dans lesquelles puissent tomber les hommes ne naissent jamais d'une mauvaise induction, mais de ce qu'on pose en principe certaines expériences peu comprises, ou de ce qu'on porte des jugements téméraires et sans fondement.

Ceci nous montre clairement pourquoi l'arithmétique et la géométrie sont beaucoup plus certaines que les autres sciences; c'est que leur objet, à elles seules, est si clair et si simple qu'elles n'ont besoin de rien supposer que l'expérience puisse faire révoquer en doute, et qu'elles ne consistent entièrement que dans des conséquences à déduire par la voie du raisonnement. Elles sont donc les plus faciles et les plus claires de toutes les sciences, et leur objet est tel que nous le désirons, puisque, à moins d'inadvertance, il semble à peine possible à un homme de s'y égarer. . . . . .

Concluons de ce qui précède, non pas, il est vrai, qu'il faut apprendre l'arithmétique et la géométrie seulement, mais que ceux qui cherchent le droit chemin de la vérité ne doivent s'occuper d'aucun objet dont ils ne puissent avoir une certitude égale à celle des démonstrations de l'arithmétique et de la géométrie.

Règle III. — Revenant dans la règle troisième sur la méthode que l'esprit humain emploie pour découvrir la vérité, Descartes s'exprime ainsi :

Nous ne pouvons atteindre à la connaissance des choses, sans aucune crainte d'erreur, que par deux sortes d'actes de notre intelligence : L'intuition et la déduction.

J'entends par intuition, non la croyance au témoignage variable des sens, ou les jugements trompeurs de l'imagination, mauvaise régulatrice, mais la conception d'un esprit sain et attentif, si facile et si distincte qu'aucun doute ne reste sur ce que nous comprenons; ou bien, ce qui est la même chose, la conception ferme qui naît dans un esprit sain et attentif des seules lumières de la raison, et qui, plus simple, est conséquemment plus sûre que la déduction elle-même, qui cependant, comme nous l'avons remarqué plus haut, ne peut être mal faite par l'homme. Ainsi chacun peut voir par intuition : qu'il existe, qu'il pense, qu'un triangle se termine par trois lignes, qu'un globe n'a qu'une surface, et d'autres vérités semblables, qui sont plus nombreuses qu'on ne le croit communément parce qu'on dédaigne d'appliquer son esprit à des choses si faciles.

. . . . . .

. . . . . La déduction est une opération de l'esprit par laquelle nous comprenons toutes les choses qui sont la conséquence nécessaire de toutes les autres dont nous avons une connaissance assurée.

Il est, en effet, beaucoup de choses que l'on peut savoir sûrement, bien qu'elles ne soient pas évidentes par elles-mêmes, pourvu toutefois qu'on les déduise de principes avérés et connus, au moyen d'un mouvement continu et non interrompu de la pensée, avec une intuition claire de chaque chose. C'est ainsi que nous savons que le dernier anneau d'une longue chaîne est uni au premier, bien que nous ne puissions embrasser d'un seul coup d'œil tous les anneaux intermédiaires qui les unissent, et que nous nous rappelions que, depuis le premier jusqu'au dernier, chaque anneau tient à celui qui le précède et à celui qui le suit.

Nous distinguons donc l'intuition de la déduction certaine, parce que dans la déduction on conçoit un mouvement ou une certaine succes-

sion, au lieu que dans l'intuition il n'en est pas de même; et qu'en outre la déduction n'a pas besoin, comme l'intuition, d'une évidence présente, mais qu'elle emprunte plutôt, en quelque sorte, toute sa certitude à la mémoire. D'où il résulte qu'on peut dire que les propositions qui sont la conséquence immédiate d'un premier principe peuvent être connues, tantôt par l'intuition, tantôt par la déduction, suivant la manière de les considérer, tandis que les principes le sont seulement par l'intuition, et que les conséquences éloignées ne peuvent l'être que par la déduction.

Voilà les deux voies les plus sûres pour arriver à la science; l'esprit ne doit pas en admettre davantage; toutes les autres, au contraire, doivent être rejetées comme suspectes et sujettes à l'erreur.

Règle IV. — *La méthode est nécessaire pour la recherche de la vérité.*

Les mortels sont possédés d'une curiosité si aveugle que souvent ils dirigent leur esprit dans des voies inconnues sans aucun motif d'espérance, mais seulement pour voir si par hasard ce qu'ils cherchent n'y serait pas; comme un homme qui serait dévoré par un désir si insensé de découvrir un trésor, qu'il parcourrait sans cesse tous les chemins, cherchant si quelque voyageur n'en aurait pas laissé un. Ainsi étudient presque tous les chimistes, la plupart des géomètres et beaucoup de philosophes. Je ne nie pas qu'au milieu de leurs erreurs ils n'aient parfois le bonheur de rencontrer quelque vérité; cependant je n'accorde pas qu'ils soient pour cela plus habiles; ils sont seulement plus heureux.

Il vaut beaucoup mieux ne jamais songer à chercher la vérité sur aucune chose que de le faire sans méthode; car il est très certain que des études sans ordre et des méditations obscures troublent les lumières naturelles et aveuglent l'esprit, et quiconque s'accoutume ainsi à marcher dans les ténèbres s'affaiblit tellement la vue qu'il ne peut plus supporter le grand jour; ce que confirme aussi l'expérience, puisque le plus souvent nous voyons ceux qui n'ont jamais étudié juger beaucoup plus solidement et plus clairement de ce qui se présente que ceux qui ont toujours fréquenté les écoles. Or, par méthode, j'entends des règles certaines et faciles dont la rigoureuse observation empêchera qu'on ne suppose jamais vrai ce qui est faux, et fera que, sans se consumer en efforts inutiles, mais au contraire en augmentant graduellement son savoir, l'esprit arrive à la véritable connaissance des choses qu'il peut atteindre.

Règle V. — *Toute la méthode consiste dans l'ordre et la disposition des choses vers lesquelles il est nécessaire de tourner son esprit pour découvrir quelque vérité. Nous la suivrons de point en point si nous ramenons graduellement les propositions obscures et embarrassées à de plus simples; et si, partant de l'intuition des choses les plus faciles, nous tâchons de nous élever par degrés à la connaissance de toutes les autres.*

C'est en cela seulement qu'est renfermée la perfection de l'habileté humaine, et l'observation de cette règle n'est pas moins nécessaire à celui qui veut aborder la science, que le fil de Thésée à celui qui voudrait pénétrer dans le labyrinthe. Mais beaucoup de gens ou ne réfléchissent pas à ce qu'elle commande, ou l'ignorent tout à fait, ou présument n'en avoir pas besoin; et souvent ils examinent avec si peu d'ordre les questions les plus difficiles qu'ils me semblent agir comme un homme qui, du pied d'un édifice, voudrait s'élancer d'un saut jusqu'au faîte, soit en négligeant l'escalier destiné à cet usage, soit en ne l'apercevant pas.

Ainsi font tous les astrologues, qui, sans connaître la nature des astres, sans même en avoir parfaitement observé tous les mouvements, espèrent pouvoir en indiquer les effets; ainsi font la plupart de ceux qui étudient la mécanique sans savoir la physique, et qui fabriquent au hasard de nouveaux moteurs; ainsi ces philosophes qui, négligeant l'expérience, croient que la vérité sortira de leur propre cerveau, comme Minerve du cerveau de Jupiter.

Or, tous pèchent également contre cette règle; mais comme souvent l'ordre qu'elle prescrit est tellement obscur que tous ne peuvent reconnaître quel il est, on aura de la peine à ne pas s'égarer, à moins qu'on n'observe avec soin ce qui va être exposé dans la règle suivante.

Règle VI. — *Pour distinguer les choses les plus simples des plus complexes, il faut dans chaque série d'objets ou de vérités que nous avons déduites d'autres vérités chercher les rapports qui existent entre eux.*

Notons que toutes les choses, dans le sens où elles peuvent se rattacher au but que nous nous proposons, lorsque nous ne les considérons pas isolément, mais que nous les comparons entre elles pour les connaître les unes par les autres, peuvent être appelées ou *absolues* ou *relatives*.

J'appelle absolu tout ce qui contient en soi la nature pure et simple que l'on cherche; ainsi, par exemple, tout ce qu'on regarde comme indépendant, cause, simple, universel, un, égal, semblable, droit, etc.; et je dis que l'absolu est ce qu'il y a de plus simple et de plus facile, et que nous devons nous en servir pour résoudre les questions.

J'appelle relatif ce qui est de la même nature, ou qui du moins participe de l'absolu en un point par lequel on peut l'y rattacher et l'en déduire en suivant un certain ordre. Le relatif

renferme en outre certaines autres choses que j'appelle des rapports; tel est ce qu'on nomme dépendant, effet, composé, particulier, multiple, inégal, dissemblable, oblique, etc. Les choses relatives s'éloignent d'autant plus des choses absolues qu'elles contiennent plus de rapports subordonnés l'un à l'autre; il faut avec le plus grand soin distinguer ces rapports, en observer la connexion et l'ordre naturel, de manière que, partant du dernier et passant par tous les autres, nous puissions arriver à ce qu'il y a de plus absolu.

RÈGLE XII. — *Il faut employer toutes les ressources de l'intelligence, de l'imagination, des sens et de la mémoire, soit pour avoir une intuition distincte des propositions simples, soit pour comparer convenablement ce qu'on cherche avec ce qu'on connaît, afin de le découvrir par ce moyen.* (Cette règle revient à la *patiente attention* de Newton.)

Nous renvoyons à l'ouvrage de Descartes pour l'étude d'un ouvrage dont ces extraits donnent une idée et qui malheureusement est resté incomplet. J'ajouterai même que le grand philosophe ne pouvait guère le terminer sans reprendre successivement la plus grande partie des questions formant la philosophie des sciences, qui fait l'objet de son grand ouvrage intitulé . *Principes de philosophie naturelle.*

En effet, pour aller plus avant, il lui fallait définir et montrer l'étendue de ce qu'il appelle rapport, des relations de cause à effet, des *lois* dont l'existence rend seule profitable le travail intellectuel, qui n'aurait qu'à enregistrer des faits, si elles ne pouvaient être découvertes par nos efforts; si l'expérience, c'est-à-dire l'étude du concret, ne permettait pas de s'élever à l'abstraction, aux premiers principes. Au point de vue de l'étude du monde matériel, c'est donc à connaître les lois possibles, les lois générales et à les découvrir que les efforts doivent être consacrés, et la méthode qui peut y conduire se particularise dans chacune de manière à faire partie intégrante des sciences qui ont été constituées par leur réunion. L'analyse sommaire des sciences que nous allons faire est donc le véritable cadre qui doit renfermer les développements et les applications des règles qui viennent d'être exposées. Nous allons voir se dérouler successivement tous les éléments de cette philosophie utile que Descartes annonce dans le beau passage de son *Discours sur la méthode* qui nous sert d'épigraphe, tout en étudiant ou plutôt en indiquant les connaissances spéciales que nous verrons bientôt après se transformer en moyens de forcer la nature à fournir tout ce qui est nécessaire pour la satisfaction des besoins et des désirs de l'homme. C'est surtout la méthode newtonienne qui ressortira clairement de cette relation, c'est-à-dire l'emploi de l'expérience pour établir des lois qui, soumises au calcul, conduisent à des résultats qui exigent bientôt de nouvelles expériences pour aller plus avant; la théorie et l'expérimentation se prêtant ainsi un mutuel appui pour atteindre aux plus importantes découvertes, sans crainte de jamais s'égarer.

DES SCIENCES EN GÉNÉRAL.

Les sciences sont de leur nature propre purement théoriques. Elles répondent aux efforts de notre intelligence pour *connaître*. Mais l'activité humaine, qui veut atteindre des buts déterminés, cherche à utiliser à cet effet les connaissances acquises, à *appliquer* la science. Il s'agit alors du domaine de l'art.

En résumé, *science* d'où *prévoyance; prévoyance* d'où *action* (dit fort bien A. Comte, que nous mettrons souvent à contribution dans ce travail), telle est la formule qui exprime d'une manière exacte la relation générale de la *science* et de l'*art*.

Tels sont les principes de l'action du travail de l'homme sur la nature, les relations du *vrai* et de l'*utile*. Le travail ne saurait avoir pour objet la création de la matière, ce qui n'est pas au pouvoir de l'homme, mais seulement sa modification par l'emploi des forces naturelles. Or, comment l'action de ces forces, les modifications de la matière qui résultent de leur application, sont-elles prévues par la science? Comment la science peut-elle dispenser, autant que le comportent les divers phénomènes, de toute observation directe? C'est en permettant de déduire du plus petit nombre possible de données immédiates le plus grand nombre possible de résultats, ce qui a lieu par la constatation des *lois* que nous parvenons à découvrir entre les phénomènes naturels, c'est-à-dire des rapports constants de similitude, de succession, de dépendance, qui rattachent les uns aux autres tous les phénomènes que présentent les êtres de l'univers.

La conception des lois auxquelles sont soumis les phénomènes de la nature, la combinaison des lois multiples qui régissent un phénomène complexe, constituent un travail de l'intelligence, extérieur et indépendant en quelque sorte de la

nature même, qui en offre l'application et en éveille l'idée dans notre esprit.

De cette observation fondamentale se déduit facilement la division principale qui préside à la classification des sciences. Il en résulte clairement que la première étude à faire est évidemment celle des lois elles-mêmes, objet de la science mathématique, qui doit être considérée depuis Descartes et Newton comme la base fondamentale de la philosophie naturelle.

Quant à la philosophie naturelle elle-même, le plus simple, le plus rationnel, le plus satisfaisant des arrangements qui peuvent être adoptés pour constituer une classification scientifique est celui qui tient le mieux compte de l'enchaînement naturel des phénomènes, de leur dépendance mutuelle.

En considérant l'ensemble des phénomènes observables, on reconnaît qu'il est possible de les classer en quelques groupes naturels, disposés de telle façon que l'étude rationnelle de chacun soit basée sur la connaissance des lois principales du groupe précédent; et qu'à son tour la catégorie envisagée devienne le préliminaire indispensable, la base de l'étude de la catégorie suivante.

Cet ordre est déterminé par le degré de simplicité des phénomènes, d'où résulte leur dépendance successive, et par suite la facilité plus ou moins grande de leur étude. On peut reconnaître même, *à priori*, que les phénomènes les plus simples, ceux qui sont le moins compliqués par d'autres, sont nécessairement aussi les plus généraux. En effet, tout phénomène qui se montre dans le plus grand nombre de circonstances est nécessairement celui qui est le plus dégagé, le plus indépendant des conditions propres à chaque phénomène particulier.

Par conséquent, c'est par l'étude des phénomènes les plus généraux ou les moins compliqués qu'il faut commencer, puis arriver graduellement aux phénomènes les plus particuliers, les plus compliqués.

En procédant de la sorte on est amené à établir les sept catégories suivantes de sciences fondamentales, en faisant rentrer dans celles-ci, comme accessoires, celles qui constituent surtout des classifications d'objets, la minéralogie, par exemple, dans la chimie; et d'après les règles précédentes on doit les ranger ainsi qu'il suit :

1° Mathématique;
2° Géométrie;
3° Mécanique;
4° Physique;
5° Chimie;
6° Biologie.

L'excellence de cet ordre va être facilement reconnue par l'esquisse que nous allons tenter des principaux traits de ces diverses sciences.

I. MATHÉMATIQUE.

ARITHMÉTIQUE.

La notion la plus abstraite, la plus générale que nous inspire la vue de la nature, c'est celle de la grandeur.

La contemplation de la grandeur résulte de la sensation; la connaissance de la grandeur, l'action de l'intelligence, la science en un mot commence lorsqu'on cherche à apprécier les grandeurs, à les comparer, à les mesurer.

C'est de là que proviennent les rapports, les nombres dont l'étude est l'objet de l'Arithmétique.

Passons rapidement en revue l'esprit des principales parties de cette science.

Des nombres. — On ne peut se faire une idée d'une grandeur qu'en la comparant à une autre grandeur bien connue (l'unité).

Pour la comparer à cette unité on peut dire que la grandeur excède l'unité d'une certaine grandeur; ce qui généralement n'apprend rien puisque l'on ne connait pas plus cette nouvelle grandeur que la première. Ou bien on peut pousser plus loin l'opération; chercher de combien ce reste surpasse l'unité; agir de même sur le deuxième reste et ainsi de suite; ce qui revient à chercher, pour évaluer la première grandeur, combien de fois l'unité est comprise dans cette grandeur, ce qui constitue le nombre. Donc pour se représenter rigoureusement une grandeur, il faut connaître l'unité à laquelle on la rapporte, et se former une idée exacte des nombres.

C'est la numération qui établit les nombres, qui fixe les mots qui servent à les énoncer, et les signes qui servent à les représenter.

De la numération. — La numération fixe une nomenclature qui limite le nombre des mots et des signes, au nombre de 10 dans le système décimal, qui servent à désigner tous les nombres.

La série complète des nombres se forme en ajoutant successivement l'unité au nombre antérieur; de la même manière les nombres existants s'ajoutent les uns aux autres en ajoutant à un premier nombre les unités des autres, ou mieux

directement des collections d'unités par la méthode abrégée qui constitue l'*addition*.

Les additions successives d'un même nombre se remplacent par les méthodes abrégées de la *multiplication*.

Enfin la multiplication conduit aux élévations de puissances qui en forment un cas particulier.

Comparaison des grandeurs. — Il y a deux manières de comparer les grandeurs, comme il a été indiqué déjà pour former les nombres lorsqu'une des grandeurs est l'unité.

1° *Par soustraction*. — Deux grandeurs ou plutôt deux nombres qui les représentent étant donnés, nous pouvons aisément déterminer la différence de ces deux nombres, retrancher de toutes les unités qui forment le premier, toutes celles qui constituent le second, et alors nous avons une relation de différence, qui est un nombre : c'est l'opération de la *soustraction*.

2° *Par division*. — Deux nombres étant donnés, si nous déterminons le quotient de ces deux nombres, combien de fois un nombre est contenu dans un autre, nous avons une idée exacte de ces nombres, l'un par rapport à l'autre : c'est la *division*. Mais il est possible que la division de deux nombres l'un par l'autre ne se fasse pas exactement; alors apparaissent les fractions.

Je m'arrêterai un instant sur la notion de fraction, qui ne résulte pas, avec toutes ses conséquences, de la notion des nombres entiers. En effet, lorsque le nombre à diviser ne contient pas un nombre exact de fois le diviseur, il est impossible de trouver pour *quotient* un nombre entier, de telle sorte que le quotient de 15 par 4 n'est pas compris dans la série infinie des nombres. C'est pour répondre à cette circonstance particulière de la division dans laquelle le dividende ne contient pas exactement le diviseur, que la raison crée, dit fort bien M. A. Transon, de nouveaux nombres en introduisant jusqu'à un certain point l'idée de *continuité* dans la génération de ces nombres, que jusque-là la contemplation directe des objets lui donnait sous une forme absolument *discontinue*. Telle est la véritable origine des nombres fractionnaires, qui se trouvent définis par les deux nombres entiers qui particularisent la division non effectuée, et qui peuvent sous cette forme être soumis aux diverses opérations arithmétiques.

Remarquons que les nombres fractionnaires contenant exactement un nombre de parties aliquotes de l'unité, satisfont à la définition de Newton que *tout nombre est le rapport d'une grandeur avec l'unité*.

L'égalité de deux quotients constitue une *proportion* entre les quatre nombres qui ont fourni ces quotients et qui jouissent de propriétés précieuses, utilisées dans beaucoup de questions où les méthodes de l'arithmétique trouvent à s'employer.

L'égalité de deux différences entre quatre nombres constitue une autre espèce de proportion dite *arithmétique* pour la distinguer de la première, dite *géométrique*. La comparaison de deux proportions des deux espèces convenablement choisies permet d'établir comme appartenant à l'Arithmétique, l'importante théorie des logarithmes.

Des fractions décimales. — Lorsqu'on établit de calculer par dizaines et centaines, il est naturel et conforme à la théorie de calculer par dixièmes, centièmes et d'appliquer au calcul des quantités moindres que l'unité les mêmes règles qu'aux quantités plus grandes. C'est sur leur emploi que repose le grand avantage, dans les calculs, du système décimal des poids et mesures. Je citerai ici la réponse d'un grand géomètre à l'objection qui est seule reproduite encore quelquefois contre un système qui est un immense progrès sur ceux que la tradition avait fait adopter dans les divers pays.

Comparant le système duodécimal au système décimal, Lagrange dit dans ses leçons à l'école normale :

« Le nombre 12 est celui qui a le plus de diviseurs dans l'étendue de 1 à 24; le nombre 60 en a le plus dans l'étendue de 1 à 120.

« Sous le point de vue des diviseurs, le système duodécimal paraît donc préférable; mais voici une observation.

« Quand on emploie les fractions décimales, la considération des diviseurs ou des parties aliquotes devient inutile, et je vais vous faire voir que dans l'usage ordinaire l'emploi de ces fractions est infiniment préférable à celui des parties aliquotes ou des fractions ordinaires.

« L'essentiel, dans l'usage des nombres, c'est de s'en former une idée nette; quand je dis *un*, j'ai idée d'une seule chose existante et isolée; quand je dis *deux*, c'est la même chose, prise deux fois; *trois*, c'est la même chose, prise trois fois; ainsi de suite.

« Il n'en est pas de même des fractions; l'esprit les conçoit bien moins facilement que les nombres entiers; si je dis une demie, je conçois la même chose, partagée en deux parties; si je dis un tiers, il faut concevoir la même chose partagée en trois parties; tant que je n'ai qu'une fraction, cela va bien; je saurai ce que c'est qu'un tiers en me formant l'idée d'une chose et en la séparant par l'esprit en trois parties; mais quand je veux les comparer, cela n'est pas aisé, et vous verrez que, parmi les personnes qui n'ont pas exercé leur esprit à compter, il y en aura peu qui puissent vous dire sur-le-champ de combien un demi est plus grand qu'un tiers, de combien un quart est plus grand qu'un cinquième : par exemple, on vous demande, pour faire un habit, deux aunes et un tiers de drap; vous trouverez qu'un tiers c'est trop, et vous ne prenez qu'un quart; mais vous n'avez pas une idée nette de combien un tiers est plus grand qu'un quart.

« Les fractions dont le dénominateur varie, comme $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, quoique les plus simples en elles-mêmes, sont, par cette raison, les moins commodes dans l'usage, parce qu'elles sont difficiles à comparer entre elles; il y a, en effet, peu de personnes qui puissent dire sur-le-champ de combien un cinquième est plus grand qu'un septième; et vous avez vu qu'il faut faire un certain calcul pour les réduire au même dénominateur; notre esprit ne conçoit et ne compare facilement que les nombres fractionnaires dont le dénominateur est le même, parce qu'il regarde le dénominateur comme un tout dont il voit les différentes parties. Cet inconvénient n'a pas lieu dans l'arithmétique décimale; car l'avantage des fractions décimales est d'avoir toujours le même dénominateur, ou de pouvoir y être rapportées très-aisément; de sorte que, depuis *un* jusqu'à *dix*, vous avez un seul dénominateur, et de même depuis 1 jusqu'à 100, et ainsi de suite : si on vous demande, par exemple, trois mètres et trois décimètres d'une étoffe, et que l'on trouve qu'il n'y en a pas assez, on en prendra quatre ou cinq décimètres, etc., à la place de trois, et on saura toujours au juste de combien vous augmentez, ce que vous ne savez pas dans les fractions ordinaires; si vous allez jusqu'aux centimètres, et que, par exemple, vous preniez trois décimètres cinq centimètres, quoique le dénominateur soit changé, vous pourrez aisément réduire vos fractions décimales en donnant à vos décimètres le nom de dizaine, et vous aurez trente-cinq centimètres; par ce moyen vous aurez toujours un dénominateur constant, quelque petites que soient vos fractions décimales.

« Il me semble que cette raison doit surtout vous faire préférer ces sortes de fractions pour les usages ordinaires, parce que, de cette manière, on aura des nombres fractionnaires une idée aussi nette que des nombres entiers.

« On voit aussi par là qu'il est indifférent que le nombre qui suit la base du système, comme le nombre 10 dans notre système décimal, ait des diviseurs ou non; peut-être même y aurait-il, à quelques égards, de l'avantage à ce que ce nombre n'eût point de diviseurs, comme le nombre 11, ce qui aurait lieu dans le système undécimal, parce qu'on en serait moins porté à employer les fractions $^1/_2$, $^1/_3$, etc. »

Des puissances et des racines. — L'élévation aux puissances n'est qu'un cas particulier de la multiplication, de même que la multiplication n'est elle-même qu'un cas particulier de l'addition.

Les deux facteurs étant égaux, on doit pouvoir, connaissant le produit, déterminer ces facteurs, opération qui peut évidemment s'effectuer toujours, au moins par tâtonnements successifs.

Dans l'extraction des racines arrivent des nombres *irrationnels* que, sous la préoccupation de la *discontinuité* des nombres, principe posé au début de l'arithmétique, on a défini à tort des *quantités qui n'existent pas.*

Si l'on cherche la racine troisième de 45, on trouve que trois est trop faible et quatre trop fort; elle n'existe donc pas dans la série des nombres naturels. Mais, de plus, une telle racine n'est pas davantage un nombre fractionnaire; car, on prouve qu'en poussant indéfiniment la subdivision de l'unité en parties égales, jamais ces parties ne seront d'une telle grandeur que la racine s'exprime en un nombre de ces quantités. Toujours, en s'arrêtant à une subdivision quelconque, on peut s'arrêter entre deux nombres fractionnaires consécutifs issus de cette subdivision, c'est-à-dire deux nombres fractionnaires ne différant que d'*une* des parties correspondantes de l'unité entre lesquelles la racine cherchée est comprise : ainsi la quantité qui représente cette racine n'est pas exprimable en nombres discontinus, la *continuité* seule peut la représenter, par exemple, une ligne qui serait le côté d'un cube dont le volume serait égal à 45. Cette ligne est dite *incommensurable*, ne peut être exprimée par un nombre avec une exactitude absolue, n'a pas de *commune mesure* avec l'unité adoptée.

C'est, en général, lorsqu'on veut exprimer une grandeur continue par un nombre discontinu que les incommensurables apparaissent. On peut citer pour exemple le côté du carré et sa diagonale, la circonférence de cercle et son rayon, qui n'admettent pas de commune mesure.

THÉORIE DES FONCTIONS.

Le point de vue auquel nous nous sommes placés pour poser les bases de l'arithmétique est singulièrement restreint et est bien loin de pouvoir donner idée de la science mathématique. Nous avons supposé que la grandeur sur laquelle nous opérions pour pouvoir la représenter par un nombre, était directement mesurable; que c'était, par exemple, une ligne droite horizontale sur laquelle un mètre peut être porté un certain nombre de fois.

Le nombre qui représente le rapport de cette ligne à l'unité de longueur peut être déterminé de bien d'autres manières, par diverses relations qu'elle peut avoir avec d'autres lignes. Tel est précisément le but de la science mathématique; et c'est grâce à la notion scientifique fondamentale de mesure, sur laquelle on ne saurait trop insister, que la science mathématique devient applicable aux phénomènes et engendre les découvertes les plus précieuses, grâce à la puissance de cette logique supérieure, de cet admirable instrument de déduction que constitue la science mathématique.

Elle est définie habituellement la *science des grandeurs*, ou, ce qui est plus positif, la *science de la mesure des grandeurs;* en ce sens, que cette

mesure est *indirecte*, c'est-à-dire qu'on s'y propose constamment de *déterminer les grandeurs les unes par les autres, d'après les relations précises qui existent entre elles.* Pour bien fixer les idées, nous emprunterons encore à M. A. Comte un exemple, celui du phénomène de la chute des corps.

« En observant ce phénomène, dit-il, l'esprit le plus étranger aux conceptions mathématiques reconnait sur-le-champ que les deux quantités qu'il présente, savoir : la hauteur d'où un corps est tombé et le temps de sa chute, sont nécessairement liées l'une à l'autre, puisqu'elles varient ensemble, ou, suivant le langage des géomètres, qu'elles sont fonction l'une de l'autre. Le phénomène considéré sous ce point de vue donne donc lieu à une question mathématique qui consiste à suppléer à la mesure directe d'une des grandeurs, lorsqu'elle sera impossible, par la mesure de l'autre. »

La solution complète d'une question consiste donc dans la formule qui indique cette loi, cette relation de plusieurs grandeurs, et qui, pouvant fournir la valeur d'une quantité égale à une combinaison des autres, doit nécessairement être fournie sous la forme d'une équation. Cette équation, qui indique les relations entre les éléments inconnus, ne peut être, dans l'état actuel des connaissances, que d'une des formes qui indiquent les rapports d'ordre mathématique, aujourd'hui connus, entre deux quantités y et x. Nous pouvons donc résumer, dans le tableau suivant, les fonctions qui, simples ou combinées entre elles, forment presque tout l'objet des mathématiques :

1er couple.	$y = a + x$	fonction *somme.*
	$y = a - x$	fonction *différence.*
2e couple.	$y = ax$	fonction *produit.*
	$y = \frac{a}{x}$	fonction *quotient.*
3e couple.	$y = x^a$	fonction *puissance.*
	$y = \sqrt[a]{x}$	fonction *racine.*
4e couple.	$y = a^x$	fonction *exponentielle.*
	$y = lx$	fonction *logarithmique.*
5e couple.	$y = \sin. x$	fonction *circulaire directe.*
	$y = \text{arc}\,(\sin. = x)$	fonction *circulaire inverse.*

De ce que nous venons de poser résulte la division fondamentale de la science mathématique :

1° L'*algèbre*, le calcul des fonctions, comprenant comme question principale la résolution des équations pour en tirer les valeurs des inconnues;

2° L'*arithmétique*, le calcul des valeurs pour utiliser les formules dans chaque cas particulier : qui permet d'utiliser les résultats fournis par la science du calcul;

3° Le *calcul infinitésimal*, méthode destinée à conduire à la mise en équation des problèmes qui se rapportent aux quantités liées par une loi de continuité, ce qui comprend tous les phénomènes naturels, mise en équation qui, fort souvent, est inabordable directement.

Passons en revue brièvement ces sciences, sauf l'arithmétique déjà étudiée et qui a pour objet le calcul des valeurs fournies par les fonctions.

ALGÈBRE.

En algèbre, l'idée des opérations est dans les signes $+$, $-$, $\times$, $:$, qui représentent les opérations qui peuvent s'effectuer en arithmétique, ce qu'on y appelle addition, soustraction, etc.; ne sont que des opérations indicatives, des réductions.

Les chiffres, avec leur valeur déterminée de 5, 6, 8 unités, ne peuvent se mouvoir *sans se confondre ou se morceler*. Ainsi, on ne voit plus dans 32 les facteurs 4 et 8, qui ont donné ce nombre; en 2, moitié de 4, on ne voit pas que 2 soit une moitié; en représentant, au contraire, les nombres, comme on le fait en algèbre, par des lettres, on trouve cet avantage qu'elles ne peuvent *ni se confondre ni se morceler*, et elles montrent constamment leurs éléments primitifs, en mettant en évidence le mode de formation des quantités inconnues. De sorte qu'en $a \times b$, on voit le produit ab des facteurs a et b; en $\frac{a}{2}$, on voit la cause et l'effet puisqu'une fraction algébrique représente en même temps une division à faire, et le quotient de la même division faite.

On voit aussi que les *formules* auxquelles conduit l'emploi des lettres fournissent la solution de toutes les questions *d'une même espèce*, c'est-à-dire dont les énoncés ne différeraient que par les valeurs diverses des nombres. Elles permettent d'étudier les liaisons qui existent entre les quantités inconnues et celles connues, et les variations que subissent les premières, quand on donne aux secondes les différentes valeurs que comporte *le phénomène mathématique* que l'on étudie. Telle est l'idée d'immense généralisation que Viète a eue le premier, et qu'il a lui-même appliquée en représentant les quantités connues par des lettres.

Des nombres positifs et négatifs. — Les signes $+$ et $-$, qui indiquent l'addition et la soustraction, prennent en algèbre une signification plus étendue qu'en arithmétique. Soient a et b, deux quantités ou plutôt deux nombres; $a - b$ peut aussi bien être une quantité négative qu'une quantité positive, c'est-à-dire un reste à retrancher, qu'une quantité de même nature que a, c'est ce qui aura lieu si b est plus grand que a. Or, on a souvent à opérer sur ces restes, à les combiner, soit avec d'autres quantités, soit entre

eux de toutes les manières possibles; il faut donc, à moins de particulariser l'algèbre, ce qui serait absurde, puisqu'au contraire l'algèbre tend à tout généraliser, savoir opérer aussi bien sur les quantités négatives que sur les quantités positives, tant séparément que simultanément. C'est ainsi que l'idée première de l'algèbre conduit à la théorie des quantités négatives, et c'est par une généralisation très-remarquable que l'on est conduit à considérer deux ordres de grandeur, qui, dans la plupart des cas de la pratique, ont une interprétation concrète.

De leur nature. — La nature essentielle des quantités négatives, c'est d'être des quantités opposées directement aux quantités positives. Ainsi, si $+a$ représente une longueur mesurée sur une ligne en partant d'un certain point, $-a$ représentera la même longueur sur la partie de la ligne prolongée de l'autre côté du point d'origine; si $+a$ représente la propriété d'une somme d'argent, $-a$ sera une dette égale à a, directement opposée à la propriété d'une somme d'argent. De telle sorte que l'on doit bien distinguer l'emploi des signes + et —, qui ont deux emplois bien distincts, bien qu'équivalents quant à leur emploi dans les opérations :

1° Comme indicatifs de l'addition et de la soustraction; c'est ainsi qu'ils sont employés en arithmétique;

2° Comme caractéristiques de quantités opposées par leur nature propre.

Dans une quantité a il faut donc considérer deux choses : sa valeur absolue mesurée par la grandeur a, ou le nombre qui l'exprime, et son signe + ou —. Une quantité positive est d'autant plus grande comme quantité et dans l'ordre de progression ascendante, que sa valeur absolue est plus grande. Une quantité négative est d'autant plus grande comme quantité négative, mais d'autant plus petite dans l'ordre de progression ascendante, que sa valeur absolue est plus grande. C'est-à-dire, par exemple, que si nous avons les quatre quantités $-2, +2, -4, +4$; placées par ordre de progression ascendante, elles se rangeraient dans l'ordre suivant : $-4, -2, +2, +4$. Entre les quantités négatives qui diminuent et qui sont d'autant plus petites que leur valeur absolue est plus grande, et les quantités positives, qui augmentent, qui sont d'autant plus grandes que leur valeur absolue est plus grande, se trouve la quantité nulle ou *zéro*, qui n'augmente ni ne diminue, qui est à la fois la limite supérieure des quantités négatives et la limite inférieure des quantités positives, qu'on peut considérer à la fois comme positif ou négatif.

Les quantités négatives sont aussi réelles que les quantités positives, car il est aussi naturel à une grandeur que l'on compare à une autre de même espèce de l'augmenter que de la diminuer. Ainsi cinq francs que vous devez et qui sont une quantité négative, sont aussi réels que cinq francs qui vous sont dus et qui sont une quantité positive. Le kilomètre que l'on parcourt en revenant sur ses pas, et qui est une quantité négative, puisqu'il diminue le chemin déjà parcouru, est tout aussi réel que le kilomètre parcouru en marchant en avant et qui est une quantité positive, puisqu'il augmente la distance au point de départ.

De leurs avantages. — On peut déjà entrevoir quelques avantages qui résultent de l'introduction des quantités négatives dans le calcul.

En effet, dans une question d'argent, par exemple, on voit que le calcul ne porterait pas seulement sur la quantité dont il est question, ni seulement sur notre bien, mais aussi sur le bien d'autrui par rapport au nôtre.

Nous insistons sur ce point de vue de préférence aux mouvements en sens contraire qu'on emploie habituellement, parce qu'il fournit la véritable théorie des comptes créditeurs et débiteurs de la tenue de livres en partie double, élément indispensable aujourd'hui de la comptabilité commerciale.

De ces considérations se déduisent les règles des signes dans les opérations, ou mieux dans les réductions qu'il est possible d'effectuer en algèbre pour ramener des opérations indiqués à l'expression la plus simple.

Des puissances et des racines des expressions algébriques. — Les opérations de multiplication, de division, etc., qui s'effectuent sur les nombres, s'opèrent également sur les expressions algébriques; mais, d'après la nature même de l'algèbre, ces opérations ne pouvant être qu'indiquées, elles se réduisent en réalité à des simplifications qui sont terminées lorsqu'elles sont ramenées à une suite d'expressions simples, de la forme $ax^m y^n \ldots$

Il en est de même des élévations aux puissances et des extractions de racines des expressions algébriques; le problème consiste à convertir en une suite de monômes le polynôme qui doit tout entier être élevé à une certaine puissance.

Les résultats des opérations conduisent donc à des polynômes que l'on ordonne, en général, suivant les puissances décroissantes de la variable, c'est-à-dire sous la forme $ax^m + bx^{m-1} + cx^{m-2} \ldots, a, b, c \ldots$ étant des coefficients numériques d'une valeur déterminée dans chaque cas particulier.

Nous n'entrerons pas ici dans des détails qu'on doit chercher dans les traités d'algèbre, sur la forme du polynôme formé par les multiplications successives d'un premier polynôme; nous citerons seulement le cas de l'élévation à une puissance quelconque d'un binôme, d'un polynôme composé de deux termes. C'est sur la découverte de la loi de ce développement, due à Newton, que sont fondés des résultats importants pour la théorie des équations.

D'après cette loi, un terme de rang n du dé-

veloppement du binôme $x+h$ à la puissance m sera $h^n x^{m-n}$ multiplié par le produit :

$$\frac{m(m-1)(m-2)\ldots m-n}{1.2.3\ldots n},$$

fraction dont le numérateur correspond à toutes les permutations possibles, de m lettres prises n à n, et le dénominateur au nombre de fois que ces permutations se répètent pour former des produits équivalents.

Équations. — Nous arrivons présentement au grand problème que l'algèbre se propose, celui de la résolution des *équations;* condition de l'interprétation arithmétique de la loi qu'elles expriment.

Équations du premier degré. — Dans cette théorie on se propose de trouver les valeurs de m quantités inconnues, connaissant m relations ou équations du *premier degré* qui lient entre elles ces quantités. Le cas le plus simple, celui d'une équation à une inconnue, se résout immédiatement; l'équation étant ramenée à la forme $ax=h$, on en déduit $x=\frac{k}{a}$, valeur qui est dite racine de l'équation; il est à remarquer que cette valeur satisfait à la proposée, quels que soient les signes de a et de k, pourvu qu'on se conforme aux règles des signes. Considérons présentement les deux équations :

$$ax+by=k \quad a'x+b'y=k'.$$

Les valeurs de x et y, susceptibles de satisfaire à ces équations, satisferont aussi à la suivante :

$$(a-\lambda a')x+(b-\lambda b')y=k-\lambda k',$$

que l'on obtient en retranchant de la première des proposées la deuxième préalablement multipliée par λ, et cela quel que soit le facteur λ; cela posé, si l'on donne à λ les deux valeurs $\frac{a}{a'}$, $\frac{b}{b'}$, on aura les deux nouvelles relations

$$\left(b-\frac{ab'}{a'}\right)y=k-\frac{ak'}{a'},$$

$$\left(a-\frac{ba'}{b'}\right)x=k-\frac{bk'}{b'},$$

qui sont équivalentes aux proposées, et qui fournissent les valeurs suivantes de x et y

$$x=\frac{kb'-bk'}{ab'-ba'},\quad y=\frac{ak'-ka'}{ab'-ba'}.$$

La même méthode, due à Bezout, ramène la résolution d'un système de m équations à m inconnues à celle de $m-1$ équations à $m-1$ inconnues, et conduit par suite aux racines cherchées.

Équations du deuxième degré. L'équation du deuxième degré peut toujours être ramenée à la forme $x^2+px+q=0$, ou

$$\left(x+\frac{p}{2}\right)^2-\left(\frac{p^2}{4}-q\right)=0.$$

Si $\frac{p^2}{4}-q$ est positif, le polynôme du premier membre se décomposera en deux facteurs, et l'équation deviendra :

$$\left(x+\frac{p}{2}+\sqrt{\frac{p^2}{4}-q}\right)\left(x+\frac{p}{2}-\sqrt{\frac{p^2}{4}-q}\right)=0.$$

Elle sera donc satisfaite par la valeur de x, qui annulera l'un ou l'autre de ces facteurs. Soient x' et x'' ces deux valeurs de x qu'on appelle *racines* de l'équation proposée, l'équation prendra la forme $(x-x')(x-x')=0$. On en déduit aisément les deux relations suivantes entre les coefficients et les racines : $x'+x''=-p$, $x'x''=q$. Il résulte de là que si l'on demandait deux quantités dont le produit fût q et la somme $-p$, il suffirait de résoudre l'équation $x^2+px+q=0$, dont les racines feraient connaître les quantités cherchées.

Si la quantité $\frac{p^2}{4}-q$ est négative, l'équation proposée prend la forme $(x-\alpha)^2+\beta^2=0$, et l'on voit qu'elle ne peut être satisfaite pour aucune valeur de x; mais si, au lieu de β^2, on met $-i^2\beta^2$, elle devient $(x-\alpha)^2-i^2\beta^2=0$, d'où l'on déduit $x=\alpha\pm i\beta$. Les deux valeurs de x que nous venons de trouver satisferont encore à l'équation proposée, si après les calculs effectués on remplace i^2 par -1. Il n'existe aucun nombre dont le carré soit -1, la racine carrée d'une quantité négative, qui ne peut exister, est dite une expression *imaginaire*, et il en est de même des valeurs précédentes de x, qui ne sont susceptibles d'aucune représentation concrète. Mais c'est toujours rigoureusement que sous forme algébrique, sinon arithmétique, on dit encore que l'équation du deuxième degré a deux racines $\alpha+i\beta$, et $\alpha-i\beta$. L'emploi logique de ces expressions imaginaires est d'une immense utilité dans l'analyse.

La résolution des équations littérales du troisième et du quatrième degré a été indiquée pour la première fois par *Cardan*. La formule à laquelle il a été conduit n'a guère d'utilité dans la pratique, mais elle est fort remarquable en ce sens qu'elle fait connaître les racines en fonction des coefficients, ce qui n'a été fait jusqu'ici en général que pour les équations des quatre premiers degrés.

Théorie générale des équations. — Dans l'impossibilité de trouver d'une manière générale les expressions des racines des équations de tous les degrés en fonction des coefficients, les géomètres ont dû y suppléer par l'étude des propriétés générales des équations. Les travaux faits dans cette direction comprennent des recherches admirables qu'il n'est certes pas possible d'exposer ici; néanmoins nous indiquerons quelques-uns des résultats les plus remarquables, ne pouvant passer sous silence les travaux qui comprennent le

point le plus élevé peut-être auquel l'esprit humain ait porté la déduction.

On démontre d'abord, ce que nous avons déjà vérifié pour l'équation du deuxième degré, que :

Le premier terme d'une équation ayant un coefficient égal à l'unité, ou tous les termes étant divisés par le coefficient qui pouvait l'affecter, ce qui est toujours possible,

1° Une équation qui a pour racine une valeur de x égale à a est divisible par $x - a$;

2° Le coefficient du second terme est égal à la somme des valeurs des racines;

3° Le coefficient du troisième terme est égal à la somme des produits (différents) deux à deux des racines;

4° Le coefficient du quatrième terme est égal à la somme des produits (différents) trois à trois des racines et ainsi de suite.

On démontre encore qu'une équation a autant de racines réelles ou imaginaires qu'il y a d'unités dans la puissance la plus élevée de l'inconnue qui entre dans l'équation.

La théorie générale des équations repose surtout sur l'emploi des dérivées et sur la formule de Taylor qui indique les relations de celles-ci avec l'équation fondamentale $f(x) = 0$.

Pour indiquer comment on arrive à cette formule fondamentale, il faut remplacer dans l'équation x par $x+h$, h étant un accroissement de la variable. Tous les termes viendront se développer suivant la loi que nous avons indiquée sous le nom de binôme de Newton, et si nous appelons $f'(x)$ la dérivée d'une fonction $f(x)$, $f''(x)$ la dérivée de $f'(x)$ ou la seconde dérivée de $f(x)$, on trouve, en effectuant les opérations, la célèbre formule de Taylor qui s'écrit ainsi :

$$f(x+h) = f(x) + \frac{h}{1} f'(x) + \frac{h^2}{1.2} f''(x) + \dots$$

Lorsque l'accroissement h de la variable est très-petit, le rapport de l'accroissement de la fonction à celui de la variable ou $\frac{f(x+h)-f(x)}{h}$ tend à devenir égal à $f'(x)$, à la dérivée, seul terme qui ne renferme pas h supposé très-petit. Elle représente la limite de ce rapport.

Cette interprétation de la dérivée fait pressentir le parti qu'on en tire pour la théorie des équations lorsqu'on étudie les variations de valeur de la fonction, au lieu de considérer seulement celles qui la rendent égale à zéro, c'est-à-dire, en réalité, si on y introduit l'étude de la continuité de la fonction lorsqu'on fait croître d'une manière continue la valeur de la variable. Nous verrons bientôt, en traitant du calcul infinitésimal, combien cette méthode est féconde.

Nous verrons aussi bientôt, en exposant la géométrie de Descartes, comment les équations à deux variables facilitent l'étude et la découverte des propriétés des courbes, précisément en permettant de les considérer comme engendrées par l'accroissement continu de la variable; inversement on peut se servir soit du théorème de Taylor, soit de la propriété équivalente des courbes de permettre de suivre la loi de continuité de la variation des valeurs d'une équation à une seule inconnue pour établir quelques théorèmes de la théorie générale des équations.

Si, au lieu de considérer seulement les racines, c'est-à-dire les valeurs de la variable qui rendent l'équation égale à zéro, on considère toutes les valeurs que celle-ci peut prendre, qu'on la regarde comme une autre variable y, on aura l'équation

$$y = x^m + px^{m-1} + qx^{m-2} \dots + v$$

qui représentera une courbe du degré m, et les points de rencontre de cette courbe avec l'axe des x fourniront les racines réelles, positives ou négatives de l'équation.

Cette courbe du premier degré en y aura deux branches infinies. En effet, y croîtra indéfiniment, car on peut toujours supposer à x une valeur assez grande pour qu'on ait

$$x^m > px^{m-1} + qx^{m-2} \dots v$$

ou en divisant par x^{m-1} les deux termes

$$x > p + \frac{q}{x} \dots \quad \dots + \frac{v}{x^{m-1}}$$

puisque, hors le premier terme du second membre dont la valeur est finie, tous les autres décroissent à mesure que x augmente.

On tire facilement de l'inspection des formes générales de ces courbes ainsi étudiées un certain nombre de théorèmes principaux que nous nous contenterons d'énoncer ici.

Ils résultent en général des rapports des courbes avec l'axe de x, puisque les points de rencontre fournissent précisément des valeurs des racines.

1° Dans toute équation de degré impair, il y a toujours au moins une racine réelle.

2° Lorsque deux nombres substitués successivement dans le premier membre d'une équation donnent deux résultats de signes contraires, ces deux nombres comprennent au moins une racine réelle.

3° Toute équation de degré pair dont le dernier terme est négatif a au moins deux racines réelles, l'une positive et l'autre négative.

4° Entre deux racines réelles et inégales d'une équation, il se trouve au moins une racine réelle de sa dérivée.

Il nous resterait à montrer le parti que M. Sturm a tiré de la considération des dérivées et de la division successive de l'équation par la dérivée et de celle-ci par le reste obtenu. Ne pouvant entrer dans ces détails, nous dirons seulement que le théorème qui porte son nom permet, pour la détermination du nombre de racines d'une équation, de fournir des résultats plus précis, mais de même ordre, que ceux que donne la règle des

signes de Descartes, remarquable théorème qui s'énonce ainsi :

Une équation ne peut avoir plus de racines positives qu'elle n'a de variations (différence de signes de deux termes consécutifs), ni plus de racines négatives qu'il ne se trouve de variations dans l'équation obtenue en changeant x en $-x$; et si toutes ses racines sont réelles, elle a précisément autant de racines positives que de variations et autant de racines négatives qu'il y a de variations dans sa transformée en $-x$.

Ce théorème est fondé sur ce que dans le produit d'un polynôme par un facteur $x - a$, dans lequel a est positif, le produit a toujours au moins une variation de plus que le multiplicande.

De l'élimination. — Dans tout ce qui précède, sauf le cas des équations du premier degré, nous ne nous sommes occupés que des équations à une seule inconnue.

Examinons maintenant le cas de deux équations d'un degré quelconque à deux inconnues.

S'il était toujours possible de résoudre une des équations par rapport à l'une des inconnues qu'elle renferme, en substituant la valeur ainsi trouvée dans l'autre équation, on obtiendrait une équation qui ne contiendrait plus qu'une inconnue qui servirait à en déterminer les valeurs. Mais la résolution d'une équation par rapport à l'une des inconnues est le plus souvent impossible. Il est en effet démontré, depuis les belles recherches d'Abel, qu'à partir du cinquième degré les racines des équations ne peuvent plus être exprimées par une fonction algébrique des coefficients[1], et jusqu'à ce jour rien n'indique qu'aucune fonction transcendante ait été trouvée qui puisse fournir une solution de ce problème.

On a alors cherché une méthode à l'aide de laquelle on pût, sans avoir besoin de résoudre aucune équation, effectuer l'élimination de l'une des inconnues entre les deux équations proposées et obtenir ainsi une équation à une seule inconnue dont les racines fussent toutes les valeurs, et les seules valeurs de cette inconnue. Tel est le but de la méthode dite d'élimination.

Cette méthode est fondée sur la recherche du plus grand commun diviseur entre les deux équations. Elle est trop spéciale pour que nous puissions l'exposer ici avec détail; nous voulions seulement indiquer comment on surmontait une difficulté capitale.

Résolution des équations numériques. — L'impossibilité de trouver sous forme algébrique la valeur des racines des équations en fonction des coefficients pour des degrés supérieurs au quatrième, a fait reporter les recherches sur les méthodes les plus expéditives pour trouver les valeurs numériques des équations dont les coefficients sont de valeur connue. Cette solution, dont il faut bien se contenter, est malheureusement fort insuffisante; car c'est souvent moins la valeur numérique d'une inconnue qu'il importe de connaître que la *formule*, la manière dont elle se forme de quantités inconnues. Toutefois, il est juste d'observer que quand les lois sont représentées par des équations d'un ordre élevé, on peut dire que leur compréhension échappe presque aux forces de l'esprit humain; aussi la solution des équations des premiers degrés comprend-elle la très-majeure partie des lois de la nature que nous avons pu soumettre au calcul.

La méthode employée est essentiellement une méthode de tâtonnements que l'on abrége toutefois considérablement par la détermination des limites entre lesquelles peuvent être comprises les racines; elle est l'équivalent de la méthode géométrique que nous avons indiquée, c'est-à-dire de celle qui consiste à déterminer assez de valeurs de la fonction pour en saisir les variations, et approcher de plus en plus de la valeur de la variation qui la rend égale à zéro.

Des équations exponentielles, des logarithmes. — Dans ce qui précède, nous avons supposé que l'inconnue x était élevée à certaine puissance, mais jamais qu'elle était l'exposant de la puissance d'une quantité connue. La considération de termes semblables conduit aux logarithmes. Le logarithme d'un nombre est l'exposant de la puissance à laquelle il faut élever un nombre invariable, positif et autre que l'unité, pour reproduire le premier. On appelle système de logarithmes la série des logarithmes de tous les nombres possibles pour une valeur particulière du nombre invariable que l'on nomme la base de ce système. Pour les tables habituellement employées, la base est 10.

On voit que x étant le logarithme d'un nombre quelconque b, dans un système dont la base est a, $a^x = b$. Pour $b = a$, x ou log. $a = 1$, c'est-à-dire que le logarithme de la base est égal à l'unité.

Les propriétés des logarithmes résultent clairement de leur définition.

Soient b, b', b''... des nombres quelconques, et x, x', x''..., leurs logarithmes respectifs, nous aurons :

$$a^x = b \quad a^{x'} = b' \quad a^{x''} = b''...$$

et en multipliant membre à membre :

$$a^{x+x'+x''...} = bb'b''...$$

Mais, d'après la définition, $x+x'+x''...$ est le logarithme du produit $bb'b''...$; donc le logarithme d'un produit de plusieurs facteurs est égal à la somme des logarithmes de ces facteurs.

Si on divise membre à membre les équations $a^x = b$ $a' = b'$, on trouvera :

$$a^{x-x'} = \frac{b}{b'}$$

(1) Voir le *Cours d'Algèbre supérieure de M. A. Serret*, de l'Institut.

Ainsi $x - x'$ est le logarithme de $\frac{b}{b'}$; donc le logarithme du quotient de la division de deux nombres est égal au logarithme du dividende, moins le logarithme du diviseur.

Si on élève à la puissance m les deux membres de l'équation $a^x = b$, il viendra $a^{mx} = b^m$; donc le logarithme d'une puissance quelconque d'un nombre est égal au logarithme de ce nombre multiplié par l'exposant de cette puissance.

On verra de même que $a^{\frac{x}{m}} = \sqrt[m]{b}$, c'est-à-dire que le logarithme d'une racine quelconque d'un nombre est égal au logarithme de ce nombre divisé par l'indice de la racine.

On voit, d'après cela, de quelle ressource sont les logarithmes pour simplifier les calculs les plus compliqués à l'aide d'une table de logarithmes, c'est-à-dire d'une suite de tableaux renfermant dans une colonne la suite des nombres entiers 1, 2, 3, ..., et en regard leurs logarithmes calculés d'avance. En reportant sur les logarithmes les opérations à effectuer sur les nombres, pour remonter ensuite à ceux-ci à l'aide des tables, on voit que les multiplications deviennent des additions, les divisions des soustractions, les élévations aux puissances de simples multiplications par les exposants, les extractions de racines des divisions par les indices.

Revenons aux équations exponentielles. Tant qu'elles sont de la forme $a^x = b$, elles sont facilement résolues numériquement à l'aide des tables de logarithmes, puisque, prenant le logarithme de chacun des membres de cette équation, on a l'équation nouvelle $x \log. a = \log. b$ ou $x = \frac{\log. b}{\log. a}$, qui fournit la valeur de x.

Fonctions circulaires. — Les fonctions circulaires correspondent aux relations qui existent entre un arc de cercle et certaines lignes qui varient avec lui. L'étude de ces fonctions, dont l'origine est toute géométrique, mais dont le calcul est une partie de l'algèbre, constitue la trigonométrie. L'introduction dans le calcul de ces fonctions transcendantes en synthétisant des relations extrêmement complexes a ouvert la voie aux derniers progrès des sciences mathématiques qui ont cherché à s'enrichir de quelques autres fonctions transcendantes, des fonctions elliptiques notamment.

De la combinaison algébrique de ces lignes résulte, dans nombre de problèmes, le moyen de mesurer des arcs, ou plutôt les angles mesurés par ceux-ci, par voie indirecte. Nous nous contenterons de dire que les principales fonctions circulaires à considérer sont le sinus, le cosinus et la tangente, liées intimement à l'arc de cercle auquel elles appartiennent. Ces fonctions sont liées entre elles par les relations :

$$\sin.^2 x + \cos.^2 x = 1 \qquad \text{tang. } x = \frac{\sin x}{\cos x}.$$

CALCUL INFINITÉSIMAL.

La difficulté la plus grande qui s'oppose en général à l'étude d'une question est la mise en équation du problème, l'expression sous forme algébrique de la loi d'un phénomène. C'est pour résoudre cette difficulté que le calcul infinitésimal fournit un élément d'une merveilleuse fécondité, comme le prouvent les grandes découvertes dont il a été la source.

Pour en comprendre l'esprit, il faut le considérer comme se proposant d'étudier la continuité, caractère qui peut toujours être considéré comme appartenant au mode de génération de l'objet considéré, puisque c'est avec ce caractère que tout se produit dans la nature, et que la loi de continuité d'une fonction, quand la variable varie, a un rapport intime avec cette fonction, dont on comprend bien qu'on puisse la déduire.

Ainsi une courbe peut toujours être considérée comme engendrée par un certain mouvement d'un point qui la parcourt. On comprend donc comment on peut parvenir à la notion de la courbe par celle des positions successives du point, par les conditions auxquelles doivent satisfaire successivement les éléments infiniment petits de cette courbe. Telle est précisément la donnée fondamentale de la conception de Leibnitz.

La méthode consiste à introduire dans le calcul les éléments infiniment petits dont on considère comme composées les quantités entre lesquelles on cherche les relations. Ces éléments ou *différentielles* auront entre eux des relations constamment et nécessairement plus simples et plus faciles à découvrir que celles des quantités primitives, d'après lesquelles on peut ensuite, par un calcul spécial ayant pour destination propre l'élimination de ces infinitésimales auxiliaires, remonter aux équations cherchées, qu'il eût été le plus souvent impossible d'obtenir directement.

Il peut paraître que les accroissements infiniment petits des grandeurs proposées étant de même espèce qu'elles, leurs relations ne devaient pas s'obtenir plus aisément. Mais il est aisé de s'expliquer d'une manière tout à fait générale à quel point, par un tel artifice, la question doit se trouver simplifiée. Il faut, pour cela, commencer par distinguer les différents ordres d'infiniment petits, dont on peut se faire une idée fort précise en considérant que ce sont ou les puissances successives d'un même infiniment petit primitif, ou des quantités qu'on peut présenter comme ayant avec ces puissances des rapports finis, en sorte que, par exemple, les différentielles seconde, troisième, etc., d'une même variable, sont classées comme infiniment petit du second ordre, du troisième, etc.

Ces notions préliminaires étant posées, l'esprit

de l'analyse infinitésimale consiste à négliger constamment les quantités infiniment petites devant des quantités finies, à considérer que, lors de la continuité, l'infiniment petit s'évanouit devant une quantité finie, et généralement les infiniment petits d'un ordre quelconque vis-à-vis de ceux d'un ordre supérieur. On conçoit immédiatement combien une telle faculté doit faciliter la formation des équations entre les différentielles des quantités, puisqu'à ces quantités on pourra substituer tels autres éléments qu'on voudra, et qui seraient plus simples à considérer, en se conformant à cette seule condition, que les nouveaux éléments ne diffèrent des précédents que de quantités infiniment petites par rapport à eux. C'est ainsi qu'il sera possible, en géométrie, de traiter les lignes courbes comme composées d'une infinité d'éléments rectilignes, les surfaces courbes comme formées d'éléments plans; et en mécanique, les mouvements variés comme une suite infinie de mouvements uniformes, se succédant à des intervalles de temps infiniment petits.

Essayons par quelques exemples d'éclaircir le caractère fondamental de la méthode infinitésimale.

Qu'il s'agisse, par exemple, de déterminer la longueur de l'arc d'une courbe quelconque, considéré comme une fonction des coordonnées de ses extrémités. Il serait impossible d'établir immédiatement l'équation entre cet arc s et ses coordonnées, tandis qu'il est aisé de trouver la relation correspondante entre les accroissements, les différentielles de ces diverses grandeurs. Les plus simples théorèmes de la géométrie élémentaire donneront, en effet, sur-le-champ, en considérant l'arc infiniment petit ds comme une ligne droite, les équations :

$$ds^2 = dx^2 + dy^2, \text{ ou } ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

suivant que la courbe sera plane ou à double courbure. Dans l'un et l'autre cas, la question est maintenant tout entière du domaine de l'analyse, qui introduira dans ces relations celles propres à la nature de la courbe considérée dont on a l'équation, puis finalement à la relation qui existe entre les quantités finies elles-mêmes que l'on considère, par l'élimination des différentielles qui est l'objet propre du calcul intégral.

Il en serait de même pour la quadrature des aires curvilignes. Si la courbe est plane et rapportée à des coordonnées rectilignes, on concevra l'aire A comprise entre elle l'axe des x et deux ordonnées extrêmes, comme augmentant d'une quantité infiniment petite d A, par suite d'un accroissement analogue de l'abscisse. Alors la relation entre ces deux différentielles pourra s'obtenir immédiatement avec la plus grande facilité, en substituant à l'élément curviligne de l'aire proposée le rectangle formé par l'ordonnée extrême et l'élément de l'abscisse, dont il ne diffère évidemment que d'une quantité infiniment petite du second ordre, ce qui fournira aussitôt, quelle que soit la courbe, l'équation différentielle très-simple :

$$d\,\mathrm{A} = y\,dx$$

d'où le calcul intégral, quand la courbe sera définie par son équation, apprendra à déduire l'équation finie, objet immédiat du problème.

Ce qui précède montre bien clairement les immenses avantages qu'offre le calcul infinitésimal dans nombre de cas pour mettre un problème en équation; on voit aussi qu'il est fondé sur un artifice logique d'une grande finesse et que des intelligences supérieures telles que celles de Newton et Leibnitz pouvaient seules concevoir.

Voyons maintenant les méthodes de calcul qui permettent de passer des fonctions aux différentielles et inversement.

Si nous considérons, par exemple, l'équation $y = ax^2$, si l'on fait croître x d'une quantité très-petite Δx, y croîtra d'une quantité Δy telle que l'on ait :

$$y + \Delta y = a(x + \Delta x)^2 = ax^2 + 2ax\Delta x \times \Delta x^2$$
$$\text{ou } \Delta y = 2ax\Delta x + \Delta x^2$$

Or, plus on prendra Δx petit, plus le terme Δx^2 deviendra petit par rapport à $2ax\Delta x$, et il sera rigoureusement nul si nous passons de la notion de ses valeurs diverses à la notion de continuité, c'est-à-dire si l'accroissement peut être considéré comme d'un tout autre ordre que celui de toute quantité appréciable, ce que nous appelons infiniment petit, et n'est qu'une autre manière de nous représenter le fait de continuité.

En raisonnant de la sorte, c'est-à-dire en négligeant les différentielles du second ordre en présence de celles du premier, on aura pour les diverses fonctions simples les différentielles contenues dans le tableau suivant, les dérivées premières comme nous l'avons déjà indiqué.

$y = a + x$	$dy = dx$
$y = a - x$	$dy = -dx$
$y = ax$	$dy = adx$
$y = \frac{a}{x}$	$dy = -\frac{adx}{x^2}$
$y = x^m$	$dy = mx^{m-1}dx$
$y = a^x$	$dy = \log. a a^x\, dx$
$y = \log. x$	$dy = \log. e \frac{dx}{x}$
$y = \sin. x$	$dy = \cos. x dx$
$y = \cos. x$	$dy = -\sin. x dx$
$y = \text{arc. sin.} = x$	$dy = \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$
$y = \text{arc. cos.} = x$	$dy = -\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$

Nous ne pouvons entrer ici dans le calcul des

fonctions composées, non plus que dans les artifices du calcul intégral, inverse du calcul différentiel dont nous venons d'indiquer l'esprit. Il est clair seulement que l'intégrale de la seconde colonne du tableau ci-dessus est la fonction donnée dans la première, ainsi $\int \frac{a dx}{x^2} = \frac{a}{x} + C$, C représentant une constante à déterminer pour chaque cas et qui ne change pas la forme de la différentielle. On voit bien par cet exemple en quoi consiste l'intégration des fonctions simples, et comment on peut remonter des relations entre les différentielles aux équations entre les quantités.

II. GÉOMÉTRIE.

La géométrie est la science de l'étendue ou, pour parler avec plus de précision, la science de la mesure de l'étendue.

On voit que cette science emprunte à la nature, à la connaissance des corps, son idée fondamentale, la notion d'étendue, et paraît en quelque sorte une science naturelle; mais cette notion générale à tous les corps est réduite par l'esprit à une abstraction qui fait de la géométrie une véritable science mathématique.

Bien qu'il soit évidemment impossible de concevoir aucune étendue privée de l'une quelconque de ses trois dimensions fondamentales : longueur, largeur et hauteur, il y a grand avantage pour l'esprit à considérer l'étendue dans deux sens ou dans un seul à la fois, ce qui constitue des *surfaces*, des *lignes*. Il suffit pour cela de concevoir la dimension que l'on veut éliminer comme décroissant indéfiniment, et parvenant à un tel degré de ténuité, que l'esprit conçoive clairement l'abstraction qu'il imagine lorsque cette quantité disparaît, abstraction sur laquelle repose la science mathématique rigoureusement exacte pour la conception de notre esprit, et non d'approximation, comme la science d'observation, qui constitue la *géométrie*.

Ainsi, la *surface* est l'étendue à deux dimensions, la *ligne* d'étendue a une seule dimension, et enfin le *point* est l'étendue considérée uniquement par rapport à son lieu, abstraction faite de toute grandeur, et destinée par conséquent à préciser les positions. Les surfaces, ont d'ailleurs, évidemment la propriété générale de circonscrire exactement les volumes, de même que les lignes, à leur tour, circonscrivent les surfaces, et sont limitées par les points.

Ces préliminaires étant posés (1), revenons à la définition de la géométrie, au but final que nous lui avons assigné, la *mesure* de l'étendue.

Si l'on prend le mot *mesure* dans son acception mathématique directe et générale, qui signifie simplement l'évaluation des *rapports* qu'ont entre elles des grandeurs homogènes quelconques, on doit considérer, en géométrie, que la mesure des surfaces et des volumes, par opposition à celle des lignes, ne s'effectue jamais immédiatement. En effet, on conçoit que deux lignes peuvent être superposées; mais la superposition de deux surfaces, et à plus forte raison de deux volumes, est évidemment impossible à établir dans la plupart des cas.

Mais quelle que puisse être la forme d'un corps, il existe toujours un certain nombre de lignes, plus ou moins faciles à assigner, dont la longueur suffit pour déterminer exactement la grandeur de sa surface ou de son volume. La géométrie, regardant ces lignes comme seules susceptibles d'être mesurées immédiatement, se propose de déduire de leur simple détermination le rapport de la surface ou du volume cherchés à l'unité de surface ou de volume. Il résulte de cela la possibilité de réduire à des questions de lignes toutes les questions relatives aux volumes et aux surfaces, envisagées quant à leur grandeur.

De la même manière, la géométrie des lignes a pour objet général de ramener constamment la mesure des lignes courbes à celle des lignes droites; et par suite, sous un point de vue plus étendu, de réduire à de simples questions de lignes droites toutes les questions relatives à la grandeur de courbes quelconques. Pour comprendre la possibilité d'une telle transformation, il faut remarquer que, dans toute courbe quelconque, il existe constamment certaines droites dont la longueur est intimement liée à celle de la courbe. Ainsi, dans un cercle, il est évident que de la longueur du rayon on doit pouvoir déduire celle de la circonférence; de même la longueur d'une ellipse dépend de celle de ses deux axes. Découvrir la relation qui existe entre la longueur d'une ligne courbe et celle de semblables lignes droites, tel est le problème qu'on a essentiellement en vue dans la partie de la géométrie relative à l'étude des lignes.

Ainsi, comme des formes diverses peuvent être

(1) A. Comte, tome I, page 358.

déterminées par des conditions fort éloignées de tout moyen direct de mesure, on doit considérer comme rentrant dans le but assigné à la géométrie toutes les recherches relatives aux propriétés des formes étudiées. Ces recherches, qui constituaient une part si considérable de la géométrie des anciens, et qui sont si propres à développer l'esprit et à préparer aux recherches scientifiques, en faisant résulter des données d'une question une foule de conséquences intéressantes, permettent d'atteindre les éléments d'où résulte la mesure obtenue ainsi indirectement, but de la science géométrique.

GÉOMÉTRIE PRÉLIMINAIRE.

D'après ce qui précède, la géométrie préliminaire pourrait être restreinte à la seule étude de la ligne droite pour ce qui concerne la géométrie des lignes, à la quadrature des aires planes rectilignes, et enfin à la cubature des corps terminés par des surfaces planes.

Les propositions élémentaires relatives à ces trois questions fondamentales constituent, en effet, le point de départ nécessaire de toutes les recherches géométriques; elles seules ne peuvent être obtenues que par une étude directe du sujet; tandis qu'au contraire la théorie complète de toutes les autres formes quelconques, même celle du cercle, dont on introduit l'étude dans les préliminaires surtout en vue d'arriver promptement à la mesure des angles, peut aujourd'hui rentrer dans la géométrie générale ou analytique.

Ce n'est, au contraire, que par une aberration étrange qu'on a pu essayer de présenter, sous un point de vue purement algébrique, l'établissement des principaux théorèmes de la géométrie élémentaire qui résultent de la nature de la ligne droite, ou qui servent à constituer les unités de surface, de volume : comme la relation constante qui existe entre les trois angles d'un triangle rectiligne, la proposition fondamentale de la théorie des triangles semblables, la mesure des rectangles, des parallélipipèdes, etc. Ces propositions, et elles seules, ne peuvent être obtenues que pour des considérations directes relatives à l'étendue, ne peuvent ressortir que de la nature propre de celle-ci, sans que le calcul puisse y avoir la moindre part.

Passons en revue l'énoncé des principales théories de la géométrie, qui comprennent toutes les belles découvertes des géomètres anciens, la science d'Archimède, Euclide, etc. La forme des démonstrations spéciales pour chaque cas, résultant des propriétés particulières du système considéré, ne permet guère d'observations d'un caractère général.

Ligne droite. — Se définit le plus court chemin d'un point à un autre. — Intersection de deux droites. — Angles. — Angle droit formé par deux angles égaux à la rencontre de deux

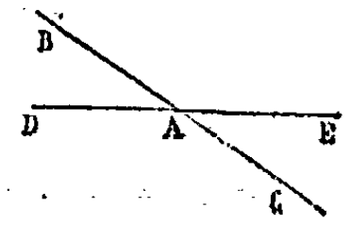


Fig. 1.

droites. — Lignes parallèles, ne pouvant se rencontrer, à quelque distance qu'on les prolonge.

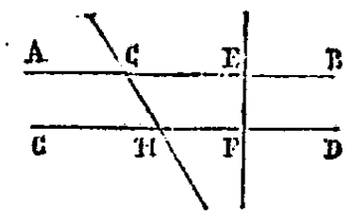


Fig. 2.

— Égalité des angles formés par des parallèles avec une même ligne droite.

Triangles. — Conditions d'égalité de deux triangles, démontrées par superposition. — La somme des angles d'un triangle est égale à deux angles droits.

Du cercle. — Ligne courbe la plus simple, celle dont tous les points sont également distants du centre. — Mesure des angles au centre par des arcs de cercle, ou les cordes ou autres lignes intimement liées avec l'arc (fonctions circulaires).

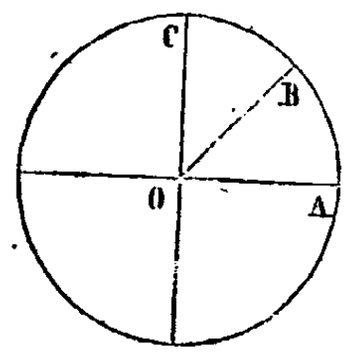


Fig. 3.

Mesure de la circonférence en raison du rayon. Égale à $2\pi r$, π ou rapport de la circonférence au diamètre (incommensurable) égal en valeur approchée à :

$\frac{22}{7}$ ou mieux $\frac{355}{113}$.

Mesure des surfaces. — Mesure du rectangle égal au produit de la base par la hauteur. — Du triangle, égal à la moitié de ce produit. — D'où se déduit aisément la mesure du trapèze, du parallélogramme, — d'un polygone quelconque.

Théorème du carré de l'hypothénuse. — Mesure de la surface du cercle.

La surface d'un cercle du rayon r est πr^2, π étant le rapport de la circonférence au diamètre.

Le carré fait sur l'hypoténuse d'un triangle rectangle est égal à la somme des carrés faits sur les deux autres côtés.

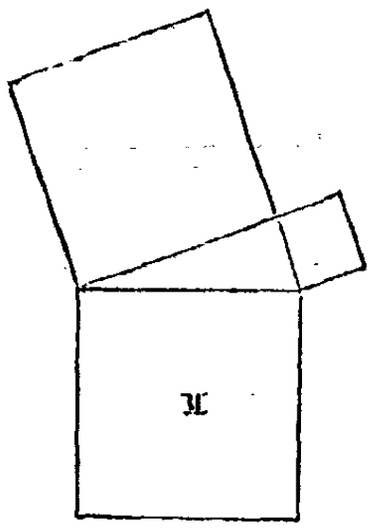


Fig. 4.

Similitude des figures. — Triangles semblables. Deux triangles sont semblables, lorsqu'ils ont les trois angles égaux chacun à chacun. Les côtés opposés aux angles égaux dans les deux triangles, dits *homologues*, sont proportionnels.

Les triangles semblables conduisent à la notion des polygones semblables et des centres de similitude souvent utilisés dans l'industrie, notamment dans le *Pantographe*.

Intersection des plans dans l'espace. — Angles dièdres. — Angles trièdres.

Polyèdres. — On appelle *polyèdre* tout solide terminé par des plans ; ceux-ci se coupant avec les plans voisins sont nécessairement terminés par des lignes droites qui sont les arêtes du polyèdre.

On appelle polyèdre régulier celui dont les faces sont des polygones réguliers égaux, et dont tous les angles solides sont égaux entre eux.

On distingue :

1° Le tétraèdre régulier, dont les faces sont des triangles (fig. 5).

2° L'hexaèdre régulier ou *cube*, dont les faces sont des carrés (fig. 6).

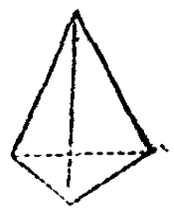


Fig. 5.

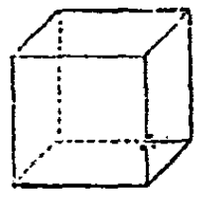


Fig. 6.

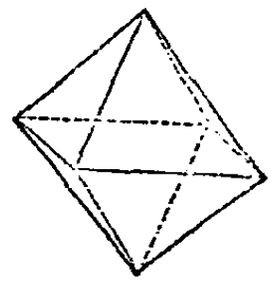


Fig. 7.

3° L'octaèdre régulier, dont les faces sont des triangles (fig. 7).

4° Le dodécaèdre régulier, dont les faces sont des pentagones (fig. 8).

5° L'isocaèdre régulier, dont les 20 faces sont des triangles (fig. 9).

Mesure des volumes. — Polyèdres à faces parallèles, parallélipipède, prisme, la pyramide.

Le volume d'un parallélipipède, ou en général d'un prisme quelconque, est équivalent au produit de la base par la hauteur ; ou, en d'autres termes, si l'on multiplie le rapport de la base à

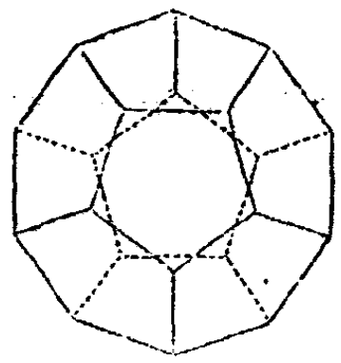


Fig. 8.

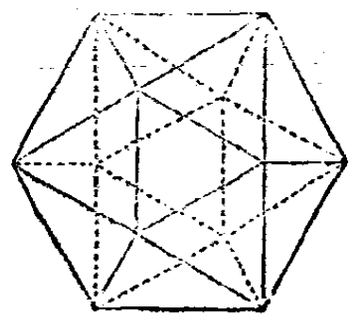


Fig. 9.

l'unité superficielle, ou au carré qui a pour côté l'unité de longueur, par le rapport de la hauteur à cette unité linéaire, le produit exprimera le rapport du solide que l'on considère à l'unité de volume, ou au cube qui a pour côté l'unité de longueur.

Algébriquement cette expression est Bh, B étant la surface de la base, h la hauteur.

Le volume d'une pyramide quelconque est égal au tiers du produit de sa base par sa hauteur, ou à $\frac{1}{3}$ Bh.

Cylindre. — *Cône.* — *Sphère.* — Mesure des volumes. — Des surfaces.

Fig. 10.

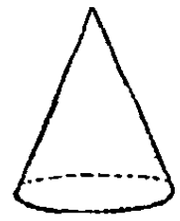


Fig. 11.

La surface convexe d'un cylindre est égale au produit de la circonférence de la base par la hauteur, ou à $2\pi rh$, π étant le rapport de la circonférence au diamètre.

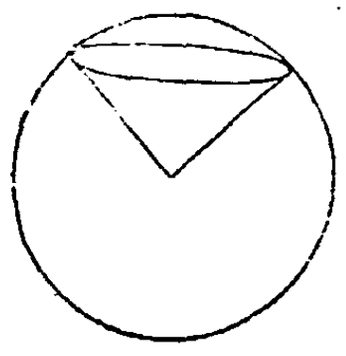


Fig. 12.

Le volume d'un cylindre est égal au produit de l'aire de la base par la hauteur ou à $\pi r^2 h$.

La surface convexe d'un cône est égale à la moitié du produit de la circonférence de la base par le côté ou à πrl.

Le volume d'un cône est égal au tiers du pro-

duit de l'aire de la base par la hauteur, ou $\frac{4}{3}\pi r^3 h$.

La surface de la sphère est égale au produit du diamètre par la circonférence du cercle générateur, ou à $4\pi r$.

Le volume de la sphère est égal au produit de la surface par le tiers du rayon, on a $\frac{4}{3}\pi r^3$.

Lorsque l'on considère un rectangle dont la hauteur est le diamètre du cercle générateur de la sphère et dont les bases égales au rayon sont tangentes au cercle; pendant que le demi-cercle engendre la sphère en tournant autour de son diamètre, le rectangle engendre un *cylindre circonscrit* à la sphère. La surface de la sphère est à la surface totale du cylindre circonscrit (en y comprenant les deux bases) dans le rapport de 2 : 3; les volumes de ces deux corps sont dans le même rapport. Archimède qui découvrit ce beau théorème le considérait comme un de ses principaux titres de gloire.

L'établissement de la géométrie par les anciens, par l'étude directe des lignes, a été une des plus admirables œuvres de l'esprit humain, la base de tout l'édifice des sciences, de tout le développement qu'elles ont pris surtout depuis deux siècles.

GÉOMÉTRIE GÉNÉRALE ET ANALYTIQUE

La géométrie générale étant entièrement fondée sur la transformation des considérations géométriques en considérations analytiques équivalentes, nous devons d'abord étudier cette conception due au génie de Descartes, sur laquelle il fonda la géométrie analytique, établit un rapport intime entre les sciences du calcul et celles de l'étendue, entre les deux premières sciences mathématiques. La grandeur géométrique, considérée jusqu'à lui au point de vue de la forme, il l'envisagea au point de vue du nombre par lequel il montra qu'on pouvait la représenter; il indiqua comment les relations de quantité pouvaient être substituées à des relations de qualité. Ce fut grâce à cette vue féconde que tous les progrès des sciences de calcul vinrent s'appliquer aux recherches de la géométrie, et donner à cette science une impulsion admirable.

Rappelons le principe fondamental de cette belle conception. Soit un cercle du rayon a par le centre duquel on a mené deux lignes à angle droit ox, oy, divisées à l'infini en fractions de l'unité de longueur. D'un point quelconque de la circonférence de ce cercle, abaissons sur ces lignes deux perpendiculaires; appelons x le nombre de divisions intercepté à partir de o sur ox (longueur égale à celle de l'une des perpendiculaires), et y le nombre de ces divisions sur l'autre axe, on aura évidemment l'équation $x^2+y^2=a^2$, qui s'appliquera à tous les points

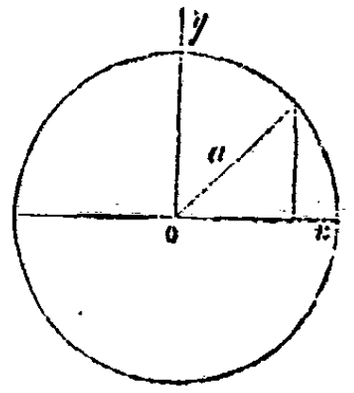


Fig. 13.

de la circonférence du cercle, et ne s'appliquera à aucun autre point du plan, de telle sorte qu'elle représentera ce cercle aussi bien que le tracé lui-même. Il n'est pas besoin de dire qu'une semblable transformation, en permettant d'appliquer le calcul à la recherche de toutes les propriétés d'une courbe, sera d'une grande utilité; mais la proposition réciproque est également vraie, comme nous l'avons vu en parlant des équations. Ainsi, pour l'équation $x^2+y^2=a^2$, on comprendra infiniment mieux les relations qui existent entre les deux variables, en sachant qu'elle représente un cercle, qu'en ne l'envisageant que sous sa forme purement algébrique.

Prenons un exemple encore plus simple :

Pour une droite passant par le point o, on aurait de même pour le rapport constant de deux perpendiculaires abaissées d'un point quelconque de la droite sur deux axes ox, oy, $\frac{y}{x}=a$; le rapport constant entre deux quantités sera donc représenté par une ligne droite, comme la valeur constante de la somme de deux carrés par un cercle.

Ainsi donc, grâce au génie de Descartes, la science des grandeurs et la science de l'étendue étant venues se confondre et se prêter un mutuel appui, une loi peut se traduire par une courbe, ou réciproquement une courbe représenter une relation entre deux quantités.

Remarquons que le système d'éléments que nous venons d'indiquer comme propres à indiquer la situation d'un point n'est pas le seul qui puisse être adopté. En général, il faut rapporter tout objet dont on veut assigner la position à d'autres objets connus, en fixant la grandeur des éléments géométriques quelconques par lesquels on le conçoit lié à ceux-ci. Ces éléments, qu'on appelle les *coordonnées* de chaque point considéré, sont nécessairement au nombre de deux si l'on sait d'avance dans quel plan le point est situé, et au nombre de trois s'il peut se trouver indifféremment dans une région quelconque de l'espace. Autant de constructions différentes on pourra imaginer pour déterminer la position d'un point, soit sur un plan, soit dans

l'espace, autant on conçoit de systèmes de coordonnées distinctes, qui sont par suite susceptibles d'être multipliés à l'infini.

C'est ainsi qu'outre le système de coordonnées rectilignes décrit précédemment et le plus souvent employé à cause de sa simplicité, on fait encore usage, dans quelques cas, des coordonnées polaires. La position d'un point sur un plan est alors déterminée par sa distance à un point fixe, et la direction de cette distance estimée par l'angle plus ou moins grand qu'elle fait avec une droite fixe.

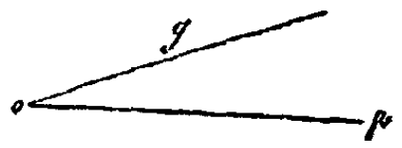


Fig. 14.

D'un point de vue général, si l'on suppose qu'un point se meuve sur un plan sans que son parcours soit déterminé d'aucune manière, ses deux coordonnées sont deux variables indépendantes; sa position est déterminée absolument si l'on donne à la fois les valeurs de ses deux coordonnées, distinctement l'une de l'autre; enfin, quand le point doit se trouver sur une ligne définie, la valeur d'une seule coordonnée suffit pour fixer entièrement sa position. La seconde coordonnée est donc alors une fonction déterminée de la première, ou, en d'autres termes, il doit exister entre elles une certaine *équation*, d'une nature correspondante à celle de la ligne sur laquelle le point est assujetti à rester. Cette équation détermine la courbe, le *lieu géométrique* des points qui satisfont aux conditions qu'elle exprime.

C'est ainsi qu'on peut établir d'une manière générale la nécessité de la représentation analytique des lignes par les équations, et inversement qu'on peut mettre en évidence la nécessité géométrique de la représentation d'une équation à deux variables par une certaine ligne, qui aura pour destination scientifique de fixer immédiatement l'attention sur la marche générale des solutions de l'équation, qui se trouvera ainsi notée de la manière la plus sensible et la plus simple.

On fait aujourd'hui dans la pratique de l'expérimentation mécanique un fréquent et très-utile usage de la représentation des lois par des courbes. Celles-ci fournissent avec facilité tous les résultats en vue desquels l'expérimentation a été combinée, tandis que la complication de la loi eût pu rendre son expression algébrique très-difficile ou même impossible à obtenir et à utiliser.

De l'expression des courbes par des équations résulte la classification naturelle des lignes comme celle des équations, en raison du degré, les plus simples étant celles du degré le moins élevé. C'est ainsi qu'on rencontre, pour le premier degré, la ligne droite; pour le second degré, le cercle et les sections coniques, c'est-à-dire l'ellipse, l'hyperbole et la parabole.

Les équations étant, en coordonnées rectangulaires :

Pour le premier degré $ax + by + c = 0$.

Pour le second $ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f = 0$

qui se réduisent par un choix convenable des coordonnées aux formes simples.

$y^2 + m^2 x^2 = p$ (ellipse, fig. 15).

$y^2 - m^2 x^2 = p$ (hyperbole, fig. 16).

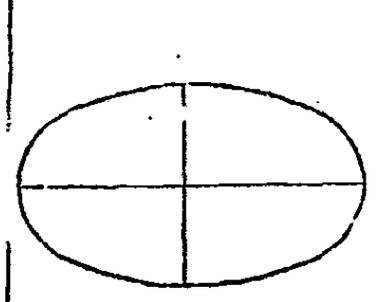


Fig. 15.

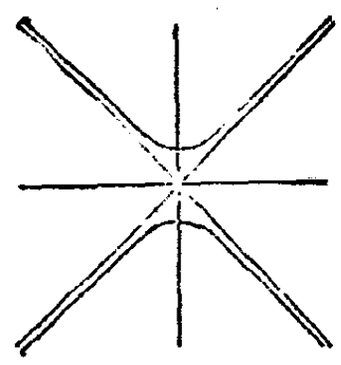


Fig. 16.

$y^2 = 2px$ (parabole, fig. 17).

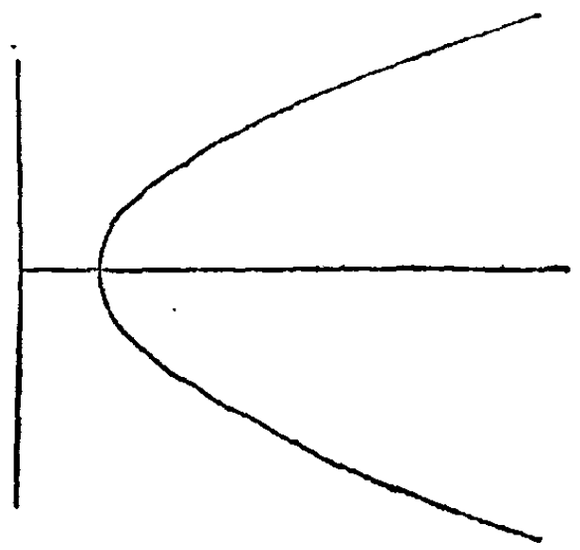


Fig. 17.

Ce qui donne une importance réelle à cette classification des courbes, c'est qu'elle répond, au moins dans le système des coordonnées rectilignes, à un fait géométriquement très-saillant. En effet, on prouve facilement que dans un tel système l'équation du premier degré appartient exclusivement à la ligne droite. D'après cela, si on voulait trouver les points de rencontre d'une ligne droite avec une courbe d'un degré déterminé, on aurait à éliminer l'une des deux variables entre une équation de ce même degré et une équation du premier. L'équation finale donnant les abscisses, ou bien les ordonnées des points de rencontre, serait donc au plus du même degré que l'équation de la courbe proposée; d'où il résulte que le plus grand nombre de points dans lesquels une ligne droite puisse rencontrer une courbe est précisément égal au degré de l'équation de cette courbe (et, par

exemple, il est infini quand l'équation est transcendante). Il y a donc ici une très-heureuse corrélation de l'algèbre avec la géométrie; car, naturellement on aurait pu prendre *à priori* pour principe *géométrique* de la classification des courbes le nombre maximum des points dans lesquels elles sont coupées par une ligne droite.

Newton a fait l'étude des courbes du troisième degré, et on a cherché à en faire la classification. Mais le nombre d'espèces différentes croissant très-rapidement avec le degré de l'équation, on a renoncé à des études qui ne menaient qu'à des résultats de peu d'intérêt, pour faire de la géométrie générale, afin de résoudre pour toutes les courbes en même temps les problèmes que l'on se propose habituellement pour chacune d'elles.

Si nous avions un autre but que d'indiquer simplement ici le domaine de chaque science, nous devrions entrer, comme on le fait dans l'enseignement, dans des détails plus étendus relativement à l'étude des courbes du second degré, et les prendre, comme on le fait avec grande raison dans l'enseignement, comme sujet des applications des méthodes de la géométrie générale. Nous ne pouvons, sans sortir de notre cadre, entrer dans des développements pour lesquels nous sommes forcés de renvoyer à des traités spéciaux.

Insistons sur le point de vue tout à fait général que comporte cette partie de la science. De même dans la théorie générale des équations on ne s'attache plus, en algèbre, à aucune équation déterminée, de même il doit être de l'esprit de la géométrie générale d'étudier, pour toutes les formes possibles, tous les problèmes de relation de forme et de mesure qui sont possibles.

On peut, en effet, ramener les résultats de l'étude des équations à deux variables, et des courbes qu'elles représentent, à la solution d'un certain nombre de problèmes. La marche à suivre, dans chaque cas, constitue une théorie spéciale qui indique la manière d'opérer pour une équation quelconque, mais se réduit toujours à l'application d'une même méthode algébrique, absolument comme la recherche des points d'intersection des deux courbes se réduit à effectuer entre leurs équations l'opération algébrique de l'élimination. On distingue les onze théories principales dont suit l'énumération, et qui se rapportent à l'étude des propriétés des courbes, à la détermination des lignes et des points dont les rapports avec ces courbes sont les plus remarquables :

1° Tangentes, ou droites ayant avec une courbe un élément commun. — Normales ou perpendiculaires sur la tangente au point de contact.

2° Asymptotes, ou droites s'approchant de certaines courbes, mais ne les rencontrant qu'à l'infini.

3° Courbes enveloppes. — Lieu des intersections successives de toutes les courbes engendrées par une équation $f(x, y, a) = o$ dans laquelle a est un paramètre variable.

4° Courbures et développées. — Le centre de courbure d'une courbe est le centre du cercle, dit cercle osculateur, qui a deux éléments communs avec la courbe, et dont la courbure est par suite la même que celle de la courbe au point commun. Ce centre de courbure se confondant par suite avec le point de rencontre de deux normales infiniment voisines, le lieu des centres de courbure se confond avec l'enveloppe des normales à la courbe.

5° Centres. Point tel que toutes les droites qui y passent et rencontrent la courbe en deux points y sont divisées en deux parties égales.

6° Diamètres. — Lieux des points milieux d'une série de cordes parallèles.

7° Axes.—Droites qui partagent une courbe en deux parties symétriques.

8° Foyers et directrices. — Points et droites jouissant de propriétés spéciales surtout au point de vue du tracé des courbes.

9° Points singuliers. — Points séparés des courbes continues, etc.

10° Conditions nécessaires à la détermination d'une courbe d'espèce donnée.

11° Similitude des courbes.

Deux autres théories complètent, au point de vue fondamental de la mesure, l'étude des courbes. Ce sont celles qui ont pour but :

1° La rectification des arcs de courbe;

2° La quadrature des surfaces planes enveloppées par des courbes.

On voit que la représentation des lignes et des surfaces par des fonctions algébriques conduit à une féconde série de conséquences géométriques déduites, découvertes, car elles ne perdent pas leur caractère géométrique à l'aide de l'emploi des ressources de l'analyse.

GÉOMÉTRIE GÉNÉRALE A TROIS DIMENSIONS.

L'étude des surfaces se compose d'une suite de questions générales exactement analogues à celles qu'on se propose en traitant des lignes. Il n'y a d'autre différence analytique que d'envisager des équations à trois variables au lieu d'équations à deux variables, un point étant évidemment déterminé par l'intersection de trois plans parallèles à trois plans qui se coupent.

L'équation du premier degré est celle du plan. Celle du second degré représente l'ellipsoïde, l'hyperboloïde ou le paraboloïde, surfaces cour-

bes dont la connaissance parfaite a fourni le point de départ à nombre de progrès scientifiques.

Quant à l'étude générale des surfaces à l'aide des ressources de l'algèbre, c'est dans le grand ouvrage de Monge qu'il faut étudier la théorie des plans tangents, des contacts de surfaces, etc., pour apprécier toute la généralité des méthodes analytiques, et en étudier notamment les applications aux surfaces du second degré qui sont d'un emploi fréquent dans l'art des constructions. Nous donnerons seulement ici les résultats de la théorie relativement aux sections principales et aux lignes de courbure qui ont des applications pratiques importantes.

Euler a le premier établi que, parmi toutes les sections normales faites par des plans passant par un même point d'une surface et la normale en ce point, on en pouvait distinguer deux principales, dont la courbure, comparée à celle de toutes les autres, était un *minimum* pour la première et un *maximum* pour la seconde, et dont les plans présentent cette circonstance remarquable d'être constamment perpendiculaires entre eux. Il a fait voir ensuite que, quelle que fût la surface étudiée et sans qu'il fût même nécessaire de la définir, la courbure de ces deux sections principales suffisait seule pour déterminer complétement celle d'une autre section normale quelconque, à l'aide d'une formule invariable et très-simple, d'après l'inclinaison de plan de cette section sur celui de la section de plus grande ou de plus petite courbure.

On voit, d'après cela, comment les géomètres ont pu parvenir à la représentation la plus exacte des surfaces à l'aide de leurs *lignes de courbure*, c'est-à-dire des lignes déterminées par la condition que deux normales consécutives à la surface soient toujours comprises dans un même plan. En chaque point d'une surface quelconque, il existe deux de ces lignes perpendiculaires entre elles, et dont les directions coïncident à leur origine avec celles des deux sections normales *principales* considérées ci-dessus. La détermination de ces lignes de courbure s'effectue très-simplement sur les surfaces les plus usuelles, telles que les surfaces cylindriques, coniques et de révolution, et est très-utile pour la représentation des surfaces dans les arts du dessin.

III. MÉCANIQUE.

La mécanique est la science du mouvement et des causes du mouvement.

La mécanique rationnelle est fondée sur les principes qui ressortent de la nature même du mouvement, idée première comme celle de la forme; sur une des séries de notions fondamentales les plus certaines que nous formulons d'après les résultats de l'expérience, et sur l'application de l'algèbre et de la géométrie à cette grandeur; d'où suit l'interprétation des formules algébriques et des théorèmes de géométrie, qui deviennent les expressions de relations mécaniques.

Les conceptions sur lesquelles repose la mécanique sont : celle des mouvements uniformes ou variés dans un temps qui, lui-même, ne peut s'apprécier que par des déplacements identiques des corps; celle de la vitesse et celle des forces.

On appelle *forces* les causes de mouvement, sans s'inquiéter aucunement, en mécanique, de la nature des forces; ainsi deux forces qui impriment à un même corps libre le même accroissement de vitesse, la même accélération en un même temps, sont regardées comme identiques, quelque différente que puisse être leur origine.

Cela posé, le problème général de la mécanique rationnelle consiste à déterminer l'effet que produiront sur un corps donné différentes forces quelconques agissant simultanément, lorsqu'on connaît le mouvement simple qui résulterait de l'action isolée de chacune d'elles. Toute la mécanique porte donc essentiellement sur la combinaison des forces, soit que, de leur concours, il résulte un mouvement dont il faut étudier les diverses circonstances, soit que, par leur neutralisation mutuelle, le corps reste en repos, se trouve dans un état d'équilibre dont la science doit fixer les conditions.

Inertie. — La définition des forces entraîne, comme conséquence, la loi d'inertie, à savoir : qu'un corps matériel en repos reste en cet état tant qu'il ne survient aucune action extérieure, qu'aucune force n'agit sur lui; et s'il se meut sans qu'aucune nouvelle force lui soit appliquée, son mouvement sera rectiligne et uniforme.

Il ne faut pas conclure de cette loi qu'il n'y a jamais lieu de tenir compte de la constitution d'un corps pour évaluer l'effet des forces extérieures qui agissent sur lui, mais seulement que la matière dont il est formé est considérée comme entièrement passive, afin de n'avoir à tenir compte que de l'action de forces convenablement déter-

minées, pour établir les lois abstraites de l'équilibre et du mouvement.

Mesure des forces. — Nous avons dit qu'une force était une cause de mouvement. Quand le mouvement du corps est empêché par un obstacle insurmontable, la force se manifeste par une pression ou une traction sur l'obstacle. Les efforts dont sont capables des agents quelconques dans une direction et en un point déterminé sont par suite toujours comparables et peuvent se mesurer par des poids, ou mieux à l'aide d'instruments à ressorts tels que le *dynamomètre* de Regnier, certains pesons du commerce, etc., qui ont été tarés ou vérifiés à l'avance, en y suspendant des poids *étalons*. Ainsi les forces sont toujours exprimables en unités de poids, en *kilogrammes* par exemple, dont le nombre représente la grandeur de la force, et qui, comme tout nombre, pourra être représenté par des longueurs de ligne droite. — Cette manière d'évaluer les forces fait bien comprendre la loi, établie comme loi fondamentale par Newton, et confirmée par tous les résultats de la science, que *l'action est égale et contraire à la réaction*, c'est-à-dire que toujours, comme on le voit dans un ressort, le corps qui presse avec une certaine force est pressé par une force égale de direction contraire.

Indépendance des mouvements. — Le principe de l'indépendance des mouvements, dit M. A. Comte, considéré sous le point de vue le plus simple, se réduit à ce fait général, que tout mouvement rectiligne et uniforme exactement commun à tous les corps d'un système quelconque n'altère pas les mouvements particuliers de ces différents corps les uns à l'égard des autres, mouvements qui continuent à s'exécuter comme si l'ensemble du système était immobile.

Cette loi est encore fondée sur l'expérience de chaque jour; c'est ainsi que dans le mouvement général d'un bateau, quelque rapide qu'il puisse être, et suivant quelque direction qu'il ait lieu, les mouvements relatifs des objets placés sur le bateau continuent à s'exécuter exactement comme s'il était immobile, bien qu'ils se composent avec le mouvement total pour un observateur qui n'y participe pas.

Ce principe conduit immédiatement à établir la proportionnalité des forces aux accélérations qu'elles produisent. On arrive ainsi par deux conceptions de la force résultant de ses effets à l'état statique ou à l'état dynamique, à établir les règles de la composition des forces, le théorème dit du parallélogramme des forces. Ces deux routes conduisent aux différentes parties de la science mécanique.

Telles sont les notions fondamentales sur lesquelles repose la mécanique rationnelle; indiquons maintenant les développements de cette science.

Divisions de la science. — On divise, en général, la mécanique en trois parties, celle qui traite des conditions d'équilibre ou la *statique*, la *cinématique* ou l'étude des mouvements mêmes considérés indépendamment des causes de mouvement, enfin l'analyse des effets des forces ou la *dynamique*. La statique offrant en général des questions plus faciles à traiter que la dynamique est ordinairement étudiée la première. Cette facilité résulte de ce que, dans les questions de statique, on fait *abstraction du temps*, c'est-à-dire que le phénomène à étudier étant considéré comme permanent, ou instantané si l'on aime mieux, on n'a pas besoin d'avoir égard aux variations que les forces du système peuvent éprouver, considération qui complique essentiellement les questions de dynamique.

Nous devons, toutefois, faire remarquer qu'il y a dans cet ordre un inconvénient, c'est que si les études sont bornées aux premiers éléments de la science, on n'en garde que des notions incomplètes, quelquefois plus dangereuses qu'une ignorance absolue. Aussi cet ordre a-t-il été modifié par plusieurs maîtres de la science, surtout lorsque l'étude de la mécanique doit être utilisée pour acquérir la science des machines.

STATIQUE.

La statique a pour objet la détermination des conditions d'équilibre d'un système, conditions qui, en dernière analyse, sont représentées par des équations qui indiquent que le corps ne pourra prendre ni mouvement de translation dans aucune direction, ni mouvement de rotation dans aucun sens, ce qui conduit aux six équations qui expriment ces deux conditions pour trois plans rectangulaires, et par suite pour des plans quelconques.

Si l'on représente les forces par des droites proportionnelles à leur grandeur, il est clair que les considérations géométriques seront parfaitement convenables pour résoudre les questions de statique synthétiquement. C'est surtout ce qu'a fait, avec grand succès, M. Poinsot à l'aide de l'introduction du couple, système composé de deux forces égales, opposées et parallèles, auquel une force unique ne saurait faire équilibre. Ces couples introduisant la considération de systèmes susceptibles d'engendrer la rotation, comme les forces concourantes répondent aux mouvements de translation, conduisent facilement aux conditions d'équilibre.

La statique peut se réduire au contraire à une pure question analytique, comme l'a fait voir le grand géomètre Lagrange, en établissant d'abord *à priori* le principe des vitesses virtuelles qui fournit une équation renfermant implicitement toutes les équations qui doivent être satisfaites pour l'équilibre.

On appelle *vitesse virtuelle* un déplacement possible infiniment petit du point d'application d'une force, estimé suivant la direction de cette force.

Voici comment Lagrange pose, dans toute sa généralité, le principe des vitesses virtuelles sur lequel il a fait reposer le grand édifice de sa *Mécanique analytique* :

Si un système quelconque de tant de corps ou de tant de points que l'on veut, tirés chacun par des puissances quelconques, est en équilibre, et qu'on donne à ce système un petit mouvement quelconque, en vertu duquel chaque point parcourra un espace infiniment petit, la somme des puissances multipliées chacune par l'espace que le point auquel elle est appliquée parcourt suivant la direction de cette même puissance (projeté sur cette puissance) sera toujours égale à zéro, en regardant comme positifs les petits espaces parcourus dans le sens des puissances, et comme négatifs les espaces parcourus dans un sens opposé (dont la projection tombe en avant ou en arrière du point d'application).

Ce principe peut être démontré *à priori* comme il suit : Considérons une poulie mobile, soutenue par deux cordons et supportant un poids P; il est bien évident que les deux cordons seront tendus avec une force égale à $\frac{1}{2}$ P. Que l'on monte sur le même axe deux poulies semblables, et qu'on fasse passer le même cordon sur ces poulies et sur deux autres poulies fixes, la tension de chacun des quatre brins du cordon sera $\frac{1}{4}$ P. Et en général, dans ce système appelé *mouffle*, composé de deux systèmes de poulies, les unes attachées à un point fixe, les autres mobiles, embrassées par une même corde, dont l'une des extrémités est fixement attachée et l'autre est tirée par une puissance, celle-ci est au poids porté par le système mobile comme l'unité est au nombre de cordons qui y aboutissent. Nous faisons abstraction, bien entendu, de tout frottement et de toute roideur de la corde dans ce raisonnement, et alors il est bien évident qu'à cause de la tension uniforme de la corde dans toute sa longueur, le poids est soutenu par autant de puissances égales à celle qui tend la corde qu'il y a de cordons qui soutiennent les poulies mobiles, puisque ces cordons sont tous parallèles, également tendus et agissent dans des circonstances identiques.

Maintenant, supposons que chaque force qui agit sur le système soit remplacée par l'action d'un même poids agissant par l'intermédiaire de mouffles, d'un nombre de poulies convenable, dont les points fixes sont extérieurs au système et dont la traction s'exerce suivant la direction de cette force. En faisant passer le même cordon sur toutes les mouffles, au moyen de poulies de renvoi, la puissance qui, appliquée à son extrémité mobile, déterminera la tension de tous les cordons, produira, à l'aide de chaque mouffle, des efforts égaux à chacune des forces du système si celles-ci sont à cette puissance unique comme le nombre des cordons est à l'unité. C'est-à-dire que si nous désignons par a, b, c, etc., les espaces infiniment petits qu'un mouvement ferait parcourir aux différents points du système, suivant les directions des puissances qui les tirent (projetés suivant la direction de ces puissances), et par P, Q, R, etc., ces forces, il faudra pour l'équilibre des puissances représentées par les nombres P, Q, R, etc., que l'on ait l'équation :

$$Pa + Qb + Rc... = 0.$$

Autrement le mouvement virtuel correspondrait à un déplacement dans l'intérieur du système, l'équilibre n'aurait pas lieu.

De l'équation fondamentale ci-dessus se déduisent les équations d'équilibre par de simples transformations algébriques.

CINÉMATIQUE PURE.

On donne aujourd'hui ce nom à la science rationnelle dans laquelle on ne s'occupe que des mouvements en eux-mêmes; on la dit *pure* quand on néglige les applications qu'on fait de cette science à la théorie des machines (où elle reçoit son entier développement, comme nous le montrerons).

L'étude directe des mouvements en eux-mêmes comprend d'abord les notions fondamentales que nous avons indiquées au début, la notion de vitesse rectiligne ou angulaire, de mouvement uniforme ou varié; la composition des mouvements et des vitesses.

La notion de la vitesse conduit à celle de l'accélération, et aussi, quand on applique les résultats de l'étude de la cinématique à la dynamique, à la mesure des forces agissant sur les corps en mouvement par les effets qu'ils produisent et non plus par les pressions qu'elles exercent sur un corps fixe, comme dans la statique.

L'idée d'étudier *les mouvements indépendamment des forces*, dit M. Chasles, qui aurait pu être suscitée par l'objet même de la *statique*, où l'on traite *des forces indépendamment des mouvements*, fut émise, il y a trois quarts de siècle, par Carnot alors capitaine du génie, dans son *Essai sur les machines en général*, et reproduite depuis dans la *Géométrie de position*, et dans un rapport à l'Institut. Néanmoins elle semblait rester inféconde, ou du moins négligée, quand Ampère, enfin, qui en comprit le caractère, fit de l'étude *des mouvements considérés en eux-mêmes* le sujet d'une division distincte de la mécanique générale, sous le nom de *Cinématique*, dans son *Essai sur la philosophie des sciences* (année 1834).

« L'illustre auteur associa cette nouvelle branche de la science à la statique, comme formant ensemble les connaissances fondamentales qui doivent précéder l'étude de la dynamique, où l'on traite à la fois *des mouvements et des forces qui les produisent*. La partie de la science qu'il

nomma la cinématique a pour objet principal, dans ses développements, l'étude des communications et transformations de mouvement dans les machines, et se rapporte plus particulièrement à la mécanique pratique, tellement que des auteurs la regardent comme la théorie des *mécanismes*. » Ceux-ci rendent possibles les mouvements, objet de cette science.

Tandis que la mécanique rationnelle telle que nous l'avons définie, consiste essentiellement dans l'application du calcul aux facteurs du mouvement des corps, la cinématique est plutôt l'application à la mécanique de la géométrie. Cette science pure doit en effet trouver à s'appliquer à une science dans laquelle se trouvent à étudier des phénomènes d'étendue, de forme. L'application de la science du calcul à la géométrie montre toute l'utilité de la réaction mutuelle de deux sciences.

En dehors de l'ordre logique que l'étude de la cinématique a permis d'introduire dans l'enseignement de la science en étudiant les forces lorsqu'elles agissent sur les corps en mouvement, et non à l'état d'équilibre (ce qui n'est qu'une méthode d'enseignement), les considérations qu'elle embrasse ont conduit à des résultats très-intéressants, d'un caractère essentiellement géométrique ; je veux parler de la théorie des centres et des axes instantanés de rotation, c'est-à-dire des points et des axes fixes lorsque se produit un mouvement quelconque, ainsi ramené, en chaque instant, à être un mouvement de rotation ; ce qui conduit simplement à la solution de problèmes difficiles.

En même temps apparaît un fait bien curieux, c'est la réaction inverse de la mécanique sur la géométrie, d'une science pure qui devait fournir et a fourni en effet de brillants théorèmes en s'appliquant à l'autre, de telle sorte que les progrès de la *géométrie mécanique* sont peut-être plus importants que ceux de la *mécanique géométrique*.

Sauf la description de la conchoïde de Nicomède, on ne trouve pas, dit M. Chasles, une seule question de la géométrie des anciens, où l'on ait à considérer le mouvement d'une figure de forme invariable.

« C'est, dans la solution du problème de la tangente à la cycloïde donnée par Descartes, quand cette courbe faisait le sujet des recherches passionnées des Pascal et des Roberval, que se trouve la première trace des propriétés relatives à une figure en mouvement. Mais il ne s'agit dans cette question que d'un mouvement particulier, celui d'une courbe qui roule sur une courbe fixe. Descartes remarqua que ce mouvement est à chaque instant une simple rotation autour du point de contact actuel des deux courbes. Il s'ensuit que la normale à la trajectoire d'un autre point de la courbe roulante passe par ce point de contact, et que par suite la tangente est déterminée. Solution merveilleuse de simplicité, dans une question qui alors offrait à l'analyse des difficultés. »

Je citerai encore comme appartenant à la géométrie mécanique, la méthode de Roberval pour mener une tangente à une courbe en partant de la notion du tracé de la courbe par le mouvement d'un point, et par suite de la possibilité de décomposer la vitesse considérée comme une résultante de deux composantes dirigées suivant des directions connues, ce qui conduit à la détermination de la tangente par la construction du parallélogramme des vitesses.

Mais ce qu'il faut surtout citer, c'est l'admirable théorème de Guldin pour mesurer la surface ou le volume des solides de révolution en multipliant le contour ou l'aire de la courbe méridienne par la circonférence du cercle décrit par le centre de gravité.

Il me semble, sans entrer dans d'autres détails, que l'on peut apprécier à sa juste valeur, par ce qui précède, l'importance des applications qui peuvent être faites d'une des sciences fondamentales à l'autre, et comment les théorèmes auxquels elles conduisent sont peut-être ceux qui frappent le plus vivement l'esprit, la première fois qu'on les rencontre.

DYNAMIQUE.

Mouvement d'un point. — La question générale de la dynamique consiste à déterminer exactement toutes les circonstances du mouvement composé résultant de l'action simultanée de diverses forces, en supposant connu le mouvement rectiligne que prendrait le mobile sous l'influence exclusive de chaque force envisagée isolément.

Il faut concevoir, sous le point de vue le plus général, que la loi d'un mouvement varié peut être donnée par une équation quelconque pouvant contenir quatre variables dont une seule est indépendante : le temps, l'espace parcouru, la vitesse ou la force. Le problème consistera à déduire de cette équation la détermination distincte des trois lois caractéristiques relatives à l'espace, à la vitesse et à la force en fonction du temps, et par suite en corrélation mutuelle. Il se réduit, dans chaque cas, à une recherche purement analytique, à l'aide des deux formules dynamiques fondamentales qui expriment, en fonction du temps, la vitesse et la force, étant supposée connue la loi relative à l'espace.

Mouvement rectiligne d'un point libre. — La méthode infinitésimale conduit à ces deux formules avec la plus grande facilité.

Il suffit, en effet, pour les obtenir, de considérer, suivant l'esprit de cette méthode, le mouvement comme uniforme pendant la durée d'un intervalle de temps infiniment petit, et comme uniformément accéléré pendant deux intervalles consécutifs. Dès lors, la vitesse, supposée mo-

mentanément constante, sera exprimée par la différentielle de l'espace divisée par celle du temps, et la force continue par le rapport entre l'accroissement infiniment petit de la vitesse et le temps employé à produire cet accroissement.

Ainsi, en appelant t le temps écoulé, e l'espace parcouru, v la vitesse acquise et φ l'intensité de la force continue à chaque instant, la corrélation générale de ces quatre variables simultanées sera exprimée analytiquement par les deux formules fondamentales,

$$v = \frac{de}{dt} \qquad \varphi = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2e}{dt^2}.$$

D'après ces formules, toutes les questions relatives à cette théorie préliminaire du mouvement varié se réduiront immédiatement à de simples recherches analytiques.

Mouvement curviligne d'un point libre. — D'après la méthode d'Euler, on obtient les équations de ce mouvement en décomposant directement le mouvement du corps en chaque instant, ainsi que la force continue totale dont il est animé, en trois autres dans le sens des trois axes coordonnés. D'après la loi de l'indépendance des mouvements, le mouvement selon chaque axe étant indépendant du mouvement suivant les deux autres, n'est dû qu'à la composante totale des forces accélératrices parallèlement à cet axe; en sorte que le mouvement curviligne se trouve ainsi continuellement remplacé par le système de trois mouvements rectilignes, à chacun desquels on peut aussitôt appliquer la théorie dynamique préliminaire exposée ci-dessus. En nommant X, Y, Z les composantes totales, parallèlement aux trois axes des x, des y et des z, des forces continues qui agissent à chaque instant dt sur la molécule dont les coordonnées sont x, y, z, on obtient immédiatement les équations :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = X, \frac{d^2y}{dt^2} = Y, \frac{d^2z}{dt^2} = Z.$$

Telles sont les équations différentielles fondamentales du mouvement curviligne d'après lesquelles les questions quelconques de dynamique se réduisent immédiatement à des problèmes purement analytiques, lorsque les données ont été convenablement exprimées.

En considérant d'abord la question générale directe, qui est la plus importante, on se propose, connaissant la loi des forces continues dont le corps est animé, de déterminer toutes les circonstances de son mouvement effectif. Pour cela, de quelque manière que cette loi soit donnée, ou en fonction du temps, ou en fonction des coordonnées, ou en fonction de la vitesse, il suffira, en général, d'intégrer ces trois équations du second ordre, ce qui donnera lieu à des difficultés analytiques plus ou moins élevées, que l'imperfection du calcul intégral pourra souvent rendre insurmontables. Les six constantes arbitraires, successivement introduites par cette intégration, se détermineront d'ailleurs en ayant égard aux circonstances de l'état initial du mobile, dont les équations différentielles n'auront pu garder aucune trace. On obtiendra ainsi les trois coordonnées du point en fonction du temps, de manière à pouvoir assigner exactement sa position à chaque instant, et on trouvera ensuite les deux équations caractéristiques de la courbe qu'il décrit en éliminant le temps entre ces trois expressions.

Si, prenant maintenant en sens inverse la théorie générale du mouvement d'une molécule libre, on se propose de déterminer, au contraire, d'après les circonstances caractéristiques du mouvement effectif, la loi des forces accélératrices qui ont pu le produire, la question sera nécessairement beaucoup plus simple sous le rapport analytique, puisqu'elle ne consistera essentiellement qu'en des différentiations; car il sera toujours possible alors, par des recherches préliminaires plus ou moins compliquées, qui pourront ne porter que sur des considérations purement géométriques, de déduire, de la définition primitive du mouvement proposé, les valeurs des trois coordonnées du mobile à chaque instant en fonction du temps écoulé; et dès lors, en différentiant deux fois ces trois expressions, on obtiendra les composantes des forces continues suivant les trois axes, d'où l'on pourra conclure immédiatement la loi de la force accélératrice totale, de quelque nature qu'elle soit.

C'est ainsi qu'en astronomie, les trois lois fondamentales trouvées par Képler pour les mouvements des corps célestes qui composent notre système solaire, conduisent à la loi de la gravitation universelle qui devient ensuite la base de toute la mécanique de l'univers.

Mouvement sur une courbe. — Après avoir établi la théorie du mouvement curviligne d'une molécule libre, il est aisé d'y faire rentrer le cas où cette molécule est assujettie, au contraire, à rester sur une courbe donnée.

Il suffit de comprendre alors dans les forces continues auxquelles la molécule est soumise, la résistance totale exercée par la courbe proposée, ce qui permettra évidemment de considérer le mobile comme entièrement libre. Toute la difficulté propre à ce second cas se réduit donc à analyser avec exactitude cette résistance. Or, il faut, à cet effet, distinguer d'abord dans la résistance de la courbe deux parties très-différentes.

La première provient de la pression exercée sur la courbe proposée par les forces accélératrices dont le corps est animé. On l'obtiendra en déterminant la composante de la force totale, suivant la normale à la courbe donnée au point que l'on considère.

La seconde résulte de la tendance perpétuelle

du corps à abandonner la courbe qu'il est forcé de décrire, pour continuer à suivre, en vertu de la première loi fondamentale du mouvement, la direction de la tangente. Cette seconde résistance, à laquelle on a donné le nom de *force centrifuge*, qui se manifeste dans le passage du mobile, d'un élément de la courbe à l'élément suivant, est évidemment dirigée à chaque instant selon la normale à la courbe située dans le plan du cercle osculateur.

Dans un cercle elle a pour expression le carré de la vitesse avec laquelle le mobile décrit le cercle, divisé par le rayon de ce cercle. En combinant ce résultat avec la théorie des rayons de courbure également due à Huyghens, le mouvement pouvant toujours être considéré comme s'effectuant dans le cercle osculateur qui a deux éléments communs avec la courbe, l'expression générale de la force centrifuge est donc, pour toute courbe, égale au carré de la vitesse divisée par le rayon du cercle osculateur.

De la masse des corps.—Remarquons que tout ce que nous venons de dire d'un point matériel s'applique aux corps, en tenant compte de leur masse, de la quantité de matière pondérable dont ils sont composés. Le kilogramme était pris pour unité de force, le mètre pour unité de longueur, l'unité de masse sera fournie par la relation $P=mg$, P étant égal à 1 et g à 9,808. Cette relation est fournie par la proportionnalité des forces aux vitesses et aux masses qui constitue un des principes fondamentaux de la mécanique.

Principe de d'Alembert. — Puisque, par les réactions que les divers corps exercent les uns sur les autres en vertu de leur liaison, chacun d'eux prend un mouvement différent de celui que les forces dont il est animé lui eussent imprimé s'il eût été libre, on peut évidemment regarder le mouvement naturel comme décomposé en deux, dont l'un est celui qui aura effectivement lieu, et dont l'autre, par conséquent, aura été détruit. Le principe de d'Alembert consiste proprement en ce que tous les mouvements de ce dernier genre, ou, en d'autres termes, les quantités de mouvement perdues ou gagnées par les différents corps du système dans leur réaction, se font nécessairement équilibre, par suite des liaisons du système.

En considérant le principe de d'Alembert sous le point de vue le plus philosophique, on peut, dit M. A. Comte, en reconnaître le véritable germe primitif dans la seconde loi fondamentale du mouvement établie par Newton sous le nom d'égalité de l'action et la réaction. Le principe de d'Alembert coïncide exactement, en effet, avec cette loi de Newton, quand on envisage seulement un système de deux corps agissant l'un sur l'autre suivant la ligne qui les joint.

D'après ce principe général, on conçoit que toute question de dynamique pourra être immédiatement convertie en une question de statique, puisqu'il suffira de former, dans chaque cas, les équations d'équilibre entre les mouvements détruits; ce qui donne la certitude de pouvoir mettre en équation un problème quelconque de dynamique, et de le faire ainsi dépendre uniquement de recherches analytiques.

Il en résulte, par suite, que la méthode la plus philosophique pour traiter la dynamique rationnelle consiste à combiner le principe d'Alembert avec le principe des vitesses virtuelles qui fournit directement toutes les équations nécessaires à l'équilibre d'un système quelconque. Telle est la combinaison conçue par Lagrange, et si admirablement développée dans sa *Mécanique analytique*, qui a élevé la science générale de la mécanique abstraite au plus haut degré de perfection que l'esprit humain puisse ambitionner sous le rapport logique, c'est-à-dire à une rigoureuse unité, toutes les questions qui sont du ressort de cette science étant uniformément rattachées à un principe unique, d'après lequel la solution définitive d'un problème quelconque ne présente plus nécessairement que des difficultés analytiques.

Mouvement des systèmes matériels. — Tant que l'on ne considère qu'un point mathématique, on ne peut observer que son mouvement de translation suivant une trajectoire quelconque; mais quand on étudie ceux d'un corps, d'un système de points, alors il y a à tenir compte non-seulement des actions des éléments les uns sur les autres, par suite des liaisons du système, mais encore à mesurer le double mouvement produit en chaque instant, savoir : un mouvement de translation de son centre de gravité et un mouvement de rotation autour de ce point.

Inertie de rotation. — Lorsque toute force extérieure cesse d'agir sur un corps, il ne possède pas pour cela un simple mouvement de translation, il est animé en même temps d'un mouvement de rotation. Poinsot a formulé synthétiquement et d'une manière excellente cette intéressante théorie, qui reçoit tant d'applications dans l'étude du mouvement des corps célestes, qui rend parfaitement compte de tous les phénomènes mal analysés jusqu'ici de mouvement de tout corps, de toute molécule libre.

Tout corps qui se meut dans l'espace, en vertu de son inertie, de l'action de forces qui ont cessé d'agir sur lui, possède, en général, à la fois un mouvement rectiligne et uniforme de translation de son centre de gravité et un mouvement de rotation autour de ce centre.

En vertu de l'inertie, le mouvement rectiligne de translation persistera indéfiniment avec une vitesse constante. Le mouvement de rotation continuera de même indéfiniment; mais, au lieu d'être constante, la vitesse du mouvement indéfini de rotation est nécessairement seulement

périodiquement constante. Cette vitesse a une valeur minimum et une valeur maximum; à chaque instant elle décroît du maximum au minimum, puis croît du minimum au maximum. La longueur de la période et les valeurs successives de la vitesse pendant sa durée dépendent de la forme du corps considéré, de la disposition de sa masse autour du centre de gravité.

Sphère.—Pour un corps sphérique homogène, le mouvement de rotation a lieu autour d'un *axe constant*. C'est une conséquence de la symétrie parfaite de toutes les parties de la sphère, d'où il résulte que rien ne peut faire changer l'axe spontané de rotation déterminé au premier instant.

Le bras d'inertie r, la distance au centre de gravité, déterminée par la valeur de Σmr^2 du moment d'inertie dont dépend le mouvement de rotation, égal à la somme de produits semblables pour toutes les molécules situées sur une droite passant par le centre de gravité, aura toujours la même valeur pour une sphère. Il n'en est pas de même pour un autre corps, pour un ellipsoïde, par exemple : les diamètres étant inégaux, la valeur de r l'est aussi.

Corps d'une figure quelconque. — On peut déterminer pour tout corps homogène terminé par une surface continue, son *ellipsoïde central* d'après la théorie des moments d'inertie, ellipsoïde dont les trois axes sont inversement proportionnels aux bras d'inertie qui leur correspondent dans le corps ; les formules conduisant par tous les points déterminés d'une manière semblable, dans toutes les directions possibles, à une équation du second degré qui est celle d'un ellipsoïde.

Or, le théorème des forces vives et le théorème des aires combinés (voir ci-après) conduisent à démontrer que le plan tangent mené à l'ellipsoïde central, en un instant quelconque du mouvement, au point où l'axe instantané de rotation perce sa surface, est toujours à une distance constante du centre de gravité.

Il en résulte que ce plan conserve une position invariable par rapport à des axes de direction constante qui seraient menés par le centre de gravité; puisque, d'une part, il reste toujours parallèle à lui-même, et que, d'une autre part, il est toujours à la même distance du centre de gravité. Le solide se meut donc de telle manière, que son ellipsoïde touche toujours ce plan, déterminé une fois pour toutes comme nous venons de le dire; et comme son axe de rotation passe à chaque instant par le point de contact de l'ellipsoïde, il s'ensuit que cet ellipsoïde *roule* sur le plan dont il s'agit. La vitesse angulaire avec laquelle s'effectue ce roulement varie d'un instant à un autre, de manière à rester proportionnelle à la longueur du rayon de l'ellipsoïde qui passe par son point de contact avec le plan.

Les effets de l'inertie de rotation se trouvent rendus ainsi parfaitement sensibles, et cet ellipsoïde central étant supposé lié invariablement au corps et tournant avec lui, rend compte de toute sa rotation. On peut supprimer le corps par la pensée et le supposer réduit à son ellipsoïde central. D'où ce théorème : *un corps qui possède un mouvement de rotation n'est soumis à l'action d'aucune force nouvelle, lorsque son ellipsoïde central roule sans glisser sur un seul de ses plans tangents* (mû avec la vitesse rectiligne de translation du centre de gravité du corps); *et la vitesse de ce mouvement est en général seulement périodiquement constante.* Par ces théorèmes, Poinsot a rendu tout à fait palpables les effets produits par l'inertie de rotation et aussi faciles à concevoir que les effets d'inertie qui produisent la translation.

Théorèmes généraux. — Les formules générales de la dynamique permettent d'établir quelques grands principes fort importants par leur généralité, et qui dominent toutes les applications de la science mécanique.

Théorème des forces vives. — L'équation générale qui met en présence les forces vives et le travail des forces qui agissent sur tous les points du système, qui s'exprime par la formule,

$$\Sigma mv^2 - \Sigma mv_0^2 = 2\Sigma \int (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz),$$

les forces étant décomposées suivant les trois axes des coordonnées, est le plus général et le plus fécond en conséquences dans l'étude des phénomènes physiques, pour calculer les effets produits sans avoir besoin de connaître toutes les phases du phénomène. Il sert en outre à créer la science des machines, ce qui se conçoit facilement, l'équation n'ayant plus qu'une interprétation possible dans une machine, chaque point ne pouvant parcourir qu'un chemin déterminé par les liaisons de la machine. Il en résulte que l'équation fondamentale, base que fournit la mécanique rationnelle à l'étude de la mécanique appliquée aux machines, est suffisante pour déterminer toutes les conditions de leur travail.

Principe relatif au mouvement du centre de gravité. — Ce principe peut s'énoncer de la manière suivante :

Le centre de gravité d'un système quelconque se meut de la même manière qu'un point entièrement libre dans lequel serait concentrée toute la masse du système, et auquel on appliquerait des forces égales et parallèles à celles qui sollicitent les différents points. Les actions mutuelles qui s'exercent entre les diverses parties du système sont absolument sans influence sur le mouvement du centre de gravité.

Si, par exemple, on considère un bateau mû par des rames; pour déterminer le mouvement de son centre de gravité il faut supposer que toutes les forces qui proviennent de l'action de

l'eau sur les rames et sur le bateau agissent sur un même point matériel ayant même masse que le bateau. Quant aux actions exercées par les rameurs sur les rames, par les pieds des rameurs sur le fond du bateau, etc., il est absolument inutile d'en tenir compte; car ce sont des actions mutuelles entre les points du système considéré.

Principe des aires. — Le principe des aires s'applique aux systèmes qui ne sont sollicités que par l'action mutuelle de leurs différents points. Il s'applique donc essentiellement à l'astronomie, et ne peut avoir d'emploi dans les applications de la mécanique à l'industrie. Voici son énoncé :

Si un système n'est sollicité par aucune force extérieure, que l'on joigne chacun des points matériels qui le composent à un point fixe, la somme des produits des masses élémentaires par les aires respectives que tracent leurs projections sur un plan fixe est proportionnelle au temps. Ce principe s'applique à un système ayant un point fixe, pourvu que l'on prenne le point fixe pour l'origine des rayons vecteurs.

Il s'applique aussi à un corps pesant, pourvu que l'on prenne son centre de gravité pour origine des rayons vecteurs, et que, faisant abstraction du mouvement de ce centre de gravité, on ne considère que la rotation du corps autour de ce point considéré comme fixe.

ASTRONOMIE.

D'après le but que nous poursuivons, nous devons tendre vers les applications des sciences qui trouvent leur emploi dans l'industrie; nous n'avons donc pas à nous arrêter beaucoup sur l'application directe que trouve la mécanique à l'étude des corps célestes, à l'astronomie, ce qui a fait appeler par Laplace *mécanique céleste* la théorie des mouvements des astres. Cependant nous devons dire quelques mots des admirables résultats auxquels la science est parvenue, et qui constituent peut-être le plus beau titre de gloire de l'esprit humain; elle conduit d'ailleurs à des connaissances très-importantes non-seulement pour la vie civile, mais encore pour l'agriculture, et surtout pour la navigation.

Comme nous allons le voir ci-après, la mécanique rationnelle, fondée sur l'étude du mouvement des corps, considérés comme doués des propriétés les plus générales seulement, ne peut suffire dans la pratique de l'industrie, pour l'étude des phénomènes du mouvement des corps; il faut, par l'étude de leur nature physique, tenir compte de leur constitution, combiner une foule de lois complexes qui interviennent simultanément dans la production d'un seul phénomène.

Il n'en est pas de même pour le mouvement des corps célestes : leur action mutuelle étant à chaque instant la cause unique des modifications de leurs mouvements, le problème que nous présentent les corps célestes est complétement soluble à l'aide des ressources qu'offre la mécanique rationnelle. D'où ce résultat bien remarquable, que le mouvement des corps célestes, placés à de si immenses distances de nous, peut être infiniment mieux connu, les périodes en être prévues avec une précision infiniment plus grande que les circonstances du mouvement d'un corps placé à la surface de la terre. C'est ainsi qu'à l'aide du principe des aires Newton remonta des belles observations de Kepler, qui avait précisément mesuré celles-ci pour les corps célestes, à l'admirable loi de la gravitation, la gloire des temps modernes.

Tous les grands travaux dus aux successeurs de Newton ont eu surtout pour objet d'étendre les vérifications et les applications de cette théorie. Ne parlons ici que de celles qui se rapportent à la navigation et à la théorie des éclipses.

Puisque la forme de la trajectoire, la vitesse, en un mot toutes les lois du mouvement sont déterminées pour chaque astre, il est possible de calculer les positions que chacun d'eux occupera à des époques déterminées. De là la publication de la *Connaissance des temps*, qui fournit à l'avance aux marins la position relative de plusieurs astres à certains jours et à certaines heures de l'année, en un lieu quelconque du globe, à Paris, par exemple. Le navigateur a ainsi, par une observation, le moyen de déterminer l'heure à Paris, pendant que le passage du soleil au méridien lui fournit le midi, et par suite, l'heure du lieu qu'il occupe; d'où se déduit la longitude du lieu où il se trouve par la différence des heures.

Lorsque deux astres doivent être placés de telle sorte que l'un se trouve dans le cône d'ombre projeté par l'autre, éclairé par le soleil, les calculs astronomiques permettront de déterminer à l'avance l'étendue et la durée de l'éclipse pour des points déterminés du globe.

La méthode qui a conduit à ces admirables résultats est précisément celle qui peut conduire le plus sûrement aux découvertes des lois des phénomènes physiques. L'homme, dit M. Lamé, pourra découvrir tous les secrets de la nature, en s'attachant à suivre, dans l'étude de chaque nouvelle classe de phénomènes, la marche progressive de l'astronomie, marche si bien réussie, savoir : observer et expérimenter les faits, dans toutes les circonstances réalisables; coordonner ces expériences et ces observations, de manière à les grouper sous un certain nombre de lois, puis, le calcul aidant, diminuer successivement le nombre de ces lois, en les faisant rentrer les unes dans les autres, pour arriver finalement à une seule loi, qui sera le *principe partiel* de la classe de phénomènes étudiée.

Ainsi pensent et travaillent, ont pensé et travaillé, nos chimistes et nos physiciens, nos géologues et nos minéralogistes. Les travaux de ces illustres savants ont établi un nombre fini de lois, homologues de celles de Képler, mais plus complètes, en ce sens qu'elles ne font pas abstraction des perturbations, qu'elles signalent elles-mêmes leurs écarts et leurs anomalies : sortes de jalons qui serviront de guides lorsqu'il s'agira de fondre les principes partiels de toutes les sciences en un dernier principe seul véritablement universel, dont l'attraction newtonienne ne sera que le corollaire le plus simple, ou celui qui devait être découvert le plus facilement.

DE L'ENSEMBLE DE LA SCIENCE MATHÉMATIQUE.

Nous pouvons déduire du court exposé que nous venons de faire de l'esprit des principales théories qui composent les sciences mathématiques, les principaux délinéaments de cette philosophie première qu'à l'exemple de Descartes nous avons cherché à indiquer, et qui comprend, au point de vue de son utilité, la théorie des connaissances que l'homme peut acquérir, connaissances indispensables pour que le travail industriel, la modification de la nature par l'action de l'homme, soit possible.

La notion scientifique par excellence est celle de *mesure*. Les phénomènes ne sont que décrits, que catalogués tant que l'idée de mesure n'a pas été introduite dans leur étude. Bien entendu que nous entendons parler ici de *mesure* dans l'acception la plus générale du mot, que nous ne parlons pas seulement du cas où elle est directe, mais de tous ceux où elle peut être obtenue indirectement, par les relations d'un ordre quelconque des divers éléments du phénomène avec la grandeur à déterminer.

C'est grâce à cette notion de mesure que les lois des phénomènes peuvent être considérées comme des relations exprimées par des quantités ; c'est ainsi, comme nous l'avons vu en géométrie analytique, que les rapports de position, qui paraissent d'un ordre tout spécial, peuvent être remplacés par des rapports entre des quantités ; qu'en un mot les rapports entre les grandeurs liées entre elles dans un phénomène, qui varient en même temps, sont *fonction* les unes des autres, sont représentées par une équation entre des quantités.

L'important progrès qui fait des équations l'expression des lois des phénomènes géométriques et mécaniques fait comprendre toute l'importance : 1° des sciences de calcul qui traitent des expressions possibles des fonctions, de la théorie des équations, des méthodes à suivre pour déduire les quantités inconnues de l'expression de leurs rapports avec des quantités connues ; 2° du calcul infinitésimal qui, en permettant de procéder par l'étude de la loi de continuité d'un phénomène, est le plus puissant instrument que le génie de l'homme ait découvert pour établir la loi complète qui règle les variations simultanées de diverses quantités.

Après l'étude des sciences du calcul, de la mathématique pure, que l'on doit considérer, à proprement parler, comme une extension de la logique, comme l'ensemble des conceptions de l'intelligence humaine s'appliquant à prévoir la succession des phénomènes, on doit naturellement passer à l'étude des corps de la nature, à ce qu'ils offrent de plus général.

Les corps de la nature considérés en eux-mêmes sont essentiellement définis par l'*étendue*, considérés par rapport à d'autres dont les distances varient, par le *mouvement*.

Ces deux abstractions, l'étendue base de la géométrie, le mouvement base de la mécanique, comparables à la notion de quantité base des sciences de calcul, pour l'universalité de leur application à tous les corps de la nature, forment avec celle-ci les sciences mathématiques ou sciences par excellence. Bien que l'esprit humain emprunte à l'expérience des notions, celles-ci conçues abstraitement sont telles que, de déduction en déduction, l'esprit humain a pu les faire servir de base à des sciences étendues et d'une exactitude égale dans toutes leurs conséquences à celle de la science du calcul.

Pour étudier d'une manière générale la géométrie et la mécanique, il faut parvenir à donner une forme algébrique aux relations qui se présentent sous une forme concrète et qui ne peuvent être considérées comme formant partie d'une science complète qu'autant que tous les progrès de la théorie des fonctions viennent y trouver une application. Mais pour obtenir ce résultat, il faut d'abord étudier directement les principes nécessairement spéciaux de ces sciences, puis découvrir ensuite l'interprétation concrète des résultats généraux de la science du calcul pour chaque science particulière ou inversement.

Nous avons indiqué comment la géométrie se composait d'abord de géométrie spéciale ou géométrie des anciens, dans laquelle les principes étaient établis directement ; c'est en partant de ces principes et par des méthodes géométriques spéciales, c'est-à-dire sans s'élever à la compréhension de l'identité des rapports géométriques avec les rapports algébriques, que les anciens étaient arrivés à la solution d'un nombre

important de problèmes relatifs à certaines lignes.

Dans la géométrie générale ou analytique constituée par les modernes, grâce au génie de Descartes, les lignes et leurs propriétés peuvent être étudiées d'une manière générale: les équations à deux variables trouvent leur interprétation dans les lignes, celles à trois variables dans les surfaces; les questions relatives aux tangentes, aux longueurs des arcs, à la surface des aires, etc., répondent à des formules générales, et chaque cas particulier donne lieu à effectuer un calcul déterminé.

Dans la mécanique, nous avons trouvé la même division, c'est-à-dire qu'il a fallu d'abord établir les principes fondamentaux des phénomènes auxquels le mouvement donne lieu, à l'aide de l'expérience. Ce n'est qu'après les avoir établis qu'il a été possible de chercher à formuler sous forme algébrique les lois des phénomènes. Ces séries de déductions basées sur les premiers principes, et conduisant à l'établissement des théorèmes généraux, constituent la mécanique rationnelle, l'ensemble des lois générales toujours vérifiées dans les phénomènes de mouvement.

Nous avons remarqué aussi que la mécanique venait emprunter des secours à la géométrie, non-seulement parce que le déplacement du mobile venait donner naissance à une courbe qui pouvait être étudiée par les méthodes géométriques, mais encore parce que les propriétés géométriques venaient se traduire en relations mécaniques et inversement; d'où résultaient deux extensions logiques des deux sciences pures.

Remarquons que si on doit bien apprécier les secours que le calcul apporte aux diverses sciences, il ne faut pas exagérer toutefois la vertu des formules et croire qu'il n'y a de progrès que dans le maniement des signes algébriques. C'est ce qu'un des plus grands savants du siècle, Poinsot, explique très-bien dans le passage suivant :

« Ce n'est point dans le calcul que réside cet art qui nous fait découvrir, mais dans cette considération attentive des choses, où l'esprit cherche avant tout à s'en faire une idée, en essayant, par l'analyse proprement dite, de les décomposer en d'autres plus simples, afin de les revoir ensuite comme si elles étaient formées par la réunion de ces choses simples dont il a une pleine connaissance. Ce n'est pas que les choses soient composées de cette manière, mais c'est notre seule manière de les voir, de nous en faire une idée, et, partant, de les connaître. Ainsi, notre vraie méthode n'est que cet heureux mélange de l'analyse et de la synthèse, où le calcul n'est employé que comme un instrument. » (*Théorie nouvelle de la rotation des corps*, p. 30-31.)

« Gardons-nous de croire qu'une science soit faite quand on l'a réduite à des formules analytiques. Rien ne nous dispense d'étudier les choses en elles-mêmes, et de nous bien rendre compte des idées qui font l'objet de nos spéculations. N'oublions point que les résultats de nos calculs ont presque toujours besoin d'être vérifiés d'un autre côté, par quelque raisonnement simple ou par l'expérience. Que si le calcul seul peut quelquefois nous offrir une vérité nouvelle, il ne faut pas croire que sur ce point même l'esprit n'ait plus rien à faire; mais, au contraire, il faut songer que cette vérité *étant indépendante des méthodes ou artifices qui ont pu nous y conduire*, il existe certainement quelque démonstration simple qui pourrait la porter à l'évidence : ce qui doit être le grand objet et le dernier résultat de la science mathématique. (*Ibid.*, pag. 34.) »

De ce que la géométrie et la mécanique de la science mathématique renferment les notions les plus générales, les plus abstraites qu'il nous soit possible d'avoir sur les corps de la nature, on conçoit comment c'est à réduire à des notions du domaine de ces sciences que se bornent les explications des phénomènes que les autres sciences enregistrent. Nous ne voulons pas insister ici sur cet important principe mis en lumière par le puissant génie de Descartes, nous aurons à y revenir plus en détail; mais nous devions la consigner ici pour faire apprécier toute la portée des sciences mathématiques.

Remarquons aussi, en nous plaçant au point de vue principal de ce travail, que ces sciences, essentiellement déductives, n'empruntent à l'observation qu'un petit nombre de vérités que notre esprit voit par intuition et qui, servant de base à de nombreuses déductions, ne sont pas (prises isolément) directement applicables. Elles ne font pas acception de toute la réalité des corps de la nature, mais seulement de quelques notions très-générales, très-abstraites. Les lois fondamentales qu'elles établissent sont nécessairement les plus importantes de toutes; mais elles ne peuvent être appliquées avec certitude aux corps de la nature qu'autant qu'on aura étudié ceux-ci en eux-mêmes, qu'on appliquera aux corps tels que nous aurons reconnu qu'ils existent, à l'aide de tous les moyens d'investigation dont nous pouvons disposer, et non pas seulement aux corps abstraits, simplifiés, définis seulement par des propriétés générales et prédominantes, tels que notre esprit les imagine; il faut reconnaître quels systèmes ils constituent en réalité.

Au point de vue qui nous a fait entreprendre ce travail, nous ne pouvons donc faire suivre l'exposé des sciences mathématiques de l'indication des applications de ces connaissances à la pratique industrielle, avant d'avoir étudié dans les sciences naturelles la nature intime des corps. Passons donc à l'étude de celles-ci; mais remarquons que pour elles la division précédente n'a plus d'objet. Les corps y étant étudiés en eux-mêmes, et non tels qu'une abstraction de notre

esprit peut nous les représenter, elles fournissent des connaissances qui sont scientifiques si on se place à un point de vue spéculatif, qui sont technologiques si on se place au point de vue de l'application qu'on en peut faire.

Nous réunirons donc l'indication de ces deux études dans ce qui va suivre, et aurons à insister avec un peu plus de détails sur les résultats principaux de la science qui sont intimement liés à la technologie; nous reviendrons ensuite sur les applications des sciences mathématiques aux corps conçus avec toutes leurs propriétés, et verrons que nous parcourrons ainsi le cadre complet des connaissances du savant, de l'ingénieur, du fabricant et de l'ouvrier, qui, au point de vue de l'application, se partagent, par une division bien entendue du travail, l'exploitation de la nature.

IV. PHYSIQUE.

L'homme est en communication avec le monde extérieur par ses sens; ce sont donc ceux-ci qui lui indiquent les modifications de la nature, ses modes généraux d'existence, en établissant tout d'abord des différences capitales entre des phénomènes qu'il perçoit de manière très-différente. C'est ainsi qu'il reconnaît par la vue les phénomènes de la lumière, par la vue et le toucher la forme des corps, par ce dernier seul leur matérialité et aussi les phénomènes de chaleur; enfin par l'ouïe il entend les sons. Cependant ce serait se faire une fausse idée des résultats auxquels ont conduit les recherches des physiciens que de les croire limités à la connaissance des lois des phénomènes qui se révèlent pour ainsi dire d'eux-mêmes à nos sens. Ceux-ci restent nécessairement la seule base possible de nos moyens d'observation; mais leur action, amplifiée par le secours que leur prêtent des découvertes antérieures, vient s'appliquer à l'observation de phénomènes modifiés dans leurs effets, de manière à devenir facilement observables. C'est ainsi, par exemple, que des courants électriques ne nous sont nullement perceptibles par eux-mêmes; ils le deviennent, leur étude fournit la base d'intéressantes théories, et conduit à de curieuses découvertes, lorsqu'on rend mobiles les corps que traversent ces courants, lorsqu'ils peuvent obéir à l'action de ces courants.

C'est d'après les résultats de la science, d'après une étude de la nature bien plus complète que ne l'indique la série des phénomènes perceptibles à première vue par les sens, que peut s'établir la classification des modes généraux d'existence des corps dont l'étude est l'objet de la physique.

On établit les sept divisions suivantes dans la physique :

I. *Constitution des corps.* — Corps solides. — Ténacité. — Malléabilité. — Compressibilité. — Cristallisabilité. — Corps amorphes. — Liquides. — Gaz.

II. *Pesanteur.*

III. *Chaleur.* — Mesure de la chaleur. — Lois de propagation. — Effets de la chaleur. — Production de la chaleur.

IV. *Électricité.* — Statique. — Dynamique.

V. *Magnétisme et électro-magnétisme.*

VI. *Acoustique.* — Production du son. — Sa nature. — Lois de sa propagation.

VII. *Lumière.* — Réflexion. — Réfraction. — Double réfraction. — Polarisation. — Théorie des ondulations.

But de la science physique. — Nous avons déjà remarqué que les notions, objet de la géométrie et de la mécanique, sont le dernier degré d'abstraction des propriétés inhérentes à la matière auquel notre esprit puisse s'élever; les plus irréductibles auxquelles il puisse parvenir. Il en résulte que l'explication d'un phénomène physique est pour nous complète, lorsque nous sommes parvenus à l'analyser comme d'ordre géométrique ou mécanique, à le mesurer (il n'y a vraiment science que quand ce résultat est obtenu) en vertu des lois de ces deux sciences.

Si l'on considère un instant l'explication d'un des phénomènes qu'étudie la physique, on voit comment il en est ainsi. Le son, par exemple, est un phénomène obscur pour nous, tant qu'il n'est que perçu par l'oreille; il est étudié, analysé, connu pour nous quand nous savons qu'il est produit par le mouvement vibratoire d'une corde tendue, propagé par le mouvement d'ondes formées dans l'air; il est étudié scientifiquement, il est mesuré lorsqu'on connaît l'amplitude, le nombre de vibrations de la corde en une seconde, et enfin la vitesse de propagation des ondes.

On ne saurait aller au delà de cette explication d'un phénomène aussi complexe que paraît le son, et l'on voit qu'elle n'est en réalité que la réduction de ce phénomène à des considérations mécaniques.

En s'élevant au point de vue général, on comprend que les corps en repos ne donnent essentiellement lieu qu'à des considérations géométriques; c'est par l'étendue, la forme, que nous en avons la perception. Les corps en mouvement, ou soumis à l'action de forces qui tendent à produire le mouvement, donnent lieu à des considérations mécaniques.

Toute modification dans l'état d'un corps étant naturellement rapportée dans notre esprit à une cause qui la produit, nous assimilons naturellement ces causes aux causes du mouvement, seule notion claire des modifications de la matière que l'esprit humain puisse concevoir, comme l'a si bien établi le génie de Descartes; la seule, par conséquent, qui puisse être la base de connaissances scientifiques. Nous avons traité avec quelques détails de cette question à l'Introduction du Complément, et montré les belles vérifications que les derniers progrès de la science fournissent aux déductions du philosophe.

Méthode. — L'étude des faits, leur observation multipliée étant la seule base certaine des connaissances dont la déduction puisse tirer des lois plus ou moins hypothétiques eu égard à l'état de la science, c'est évidemment l'expérience qui constitue la principale ressource des physiciens pour l'étude de toutes les questions un peu compliquées. Ce moyen artificiel fondamental consiste toujours à observer en dehors des circonstances naturelles, en plaçant les corps dans des conditions artificielles instituées expressément pour faciliter l'examen de la marche des phénomènes qu'on se propose d'analyser sous un point de vue déterminé, mis de la sorte en relief.

C'est en physique que l'expérimentation atteint son plus haut degré de développement, parce que notre pouvoir de modifier les corps n'y est forcé à aucune sorte de restriction. Sans doute, nous ne pouvons jamais isoler absolument le phénomène à étudier de tout autre, mais on peut le plus souvent approcher de ce but. Il n'en est plus ainsi, comme nous le verrons, pour l'étude des êtres organisés, chez lesquels s'ajoute la nécessité de maintenir l'état de vie et autant que possible l'état normal, ce qui exige un ensemble complexe de conditions.

Après les expériences, la principale base du perfectionnement de la physique résulte de l'application de l'analyse mathématique, d'une manière plus ou moins complète suivant les différents cas, en évitant l'exagération de déductions faites en partant d'expériences insuffisantes, un des écueils de la science moderne.

I. CONSTITUTION DES CORPS.

De la matière.

Les idées les plus abstraites, les plus générales qu'éveillent en nous les corps de la nature, l'étendue, la grandeur, la mobilité, font l'objet, comme nous l'avons vu, des sciences mathématiques.

Il est quelques autres propriétés de la matière, qui, bien que s'appliquant à tous les corps, ne nous apparaissent pas avec le degré d'abstraction des premières : ce sont ces propriétés simples qu'on appelle propriétés physiques.

Si logiquement ces propriétés donnent lieu à des phénomènes réductibles à la mécanique, il faut chercher à analyser leur caractère, à les bien connaître, sans idée préconçue, pour arriver, sans doute possible, à cette réduction. Les corps nous apparaissent sous trois états très-différents, solides, liquides ou gazeux; la première chose à faire est d'analyser leur constitution par l'étude de la manière dont ils résistent au travail mécanique, aux actions de compression, de traction que nous connaissons le mieux. Cette analyse bien faite doit être féconde en résultats pour l'interprétation des divers phénomènes qui apparaissent dans les corps placés dans des positions diverses. Ce doit être la première étude dont doit s'occuper le physicien.

Corps solides.

Les corps solides se présentent à nous doués d'un certain nombre de propriétés qui permettent d'en concevoir nettement la structure, et inversement par la connaissance des causes de cette structure de prévoir un certain nombre de phénomènes qui dépendent de celle-ci, et sont de la plus grande importance pour la pratique.

Porosité. — Les corps sont composés de parties non contiguës laissant entre elles des intervalles plus ou moins apparents. C'est ce que l'expérience démontre de bien des manières.

La notion de porosité, fournie par la vue de parties sensibles, écartées entre elles de distances appréciables, conduit à la notion de la structure des corps, considérés comme composés de parties extrêmement petites, écartées entre elles de distances non appréciables, tenus en équilibre par l'action de forces.

L'existence de l'atome extrêmement petit, mais indivisible propre à chaque corps simple, est démontrée par la partie de la physique générale qui a pris depuis un siècle un très-grand développement, et constitue une science importante, par la chimie.

De la cohésion. — La force qui rend adhérentes entre elles les molécules des corps solides, celle qui résulte de l'attraction mutuelle des molécules de la matière à des distances infiniment petites, est rendue sensible par la ténacité des corps solides, par la résistance qu'ils opposent à la rupture.

La mesure de la ténacité est fort importante pour les arts industriels, et constitue la part la

plus importante de l'étude d'un corps solide au point de vue de l'usage qu'on en peut faire.

Élasticité. — Lorsque la force mécanique appliquée à exercer une traction sur un corps est insuffisante pour produire aucune rupture entre les molécules le corps reprend son état primitif lorsque la force cesse d'agir. C'est ce qu'on appelle l'élasticité des corps, propriété dont il y a à tenir grand compte pour l'emploi des corps dans les arts.

Ductilité. — Malléabilité. — Lorsque la force qui agit sur le corps exerce une compression : tantôt le corps est réduit en poussière; tantôt ses molécules, lorsqu'il est ductible et malléable, restent adhérentes entre elles, et le corps peut s'étirer en fils à la filière, par une traction, ou s'étendre en plaques sous l'action du laminoir.

Dureté. — Un corps est plus dur qu'un autre lorsqu'étant frottés l'un sur l'autre, le premier raye ou entame le second sans en être lui-même attaqué par celui-ci. En faisant agir ainsi tous les corps les uns sur les autres, on parviendrait à les ranger suivant l'ordre de leur dureté; mais cet ordre ne conviendrait qu'aux corps placés dans les conditions de l'examen, la constitution d'un corps et sa dureté pouvant être modifiées par la chaleur, la trempe, etc.

Vibrations moléculaires. — Si, au lieu d'en rester à des considérations statiques, qui ne fournissent pas dans l'action des forces connues d'effet qui puisse limiter l'attraction, qui empêche les molécules de venir en contact, on remarque que le repos absolu n'existe pas dans la nature, ne peut être que relatif; si on se place au point de vue dynamique, on reconnaît bientôt que les corps solides sont essentiellement susceptibles d'entrer en vibration. Si celles-ci se produisent facilement pour les masses élémentaires, vibrations qui sont l'objet de l'acoustique, elles se produisent évidemment avec autant de facilité pour les éléments moléculaires. Cet état vibratoire entraîne un écartement, une action répulsive dont les effets sont bien d'accord avec l'expérience, car son existence empêche le contact moléculaire, la force centrifuge apparaissant dès qu'une molécule se meut autour d'une autre, quelque minime que soit l'élément de la trajectoire. C'est la combinaison de cette force et de celle d'attraction qui rend compte de la constitution des corps solides, que fait bien comprendre la théorie des plaques vibrantes.

Cristallisabilité. — Propriété des molécules des corps de s'orienter, de se disposer de manière à fournir des formes déterminées pour les corps placés dans des conditions convenables.

Les résultats de la cristallographie nous conduisent à des notions intéressantes sur la constitution intime des corps.

Si l'on divise un cristal en parties aussi ténues que possible, par les moyens mécaniques, on reconnaît, à l'aide du microscope, que ces parties sont de petits cristaux semblables au gros cristal primitif, ce qui conduit à admettre la seule manière dont nous puissions concevoir un peu clairement la formation d'un cristal : que les molécules premières qui s'orientent dans le liquide, sous l'influence de forces qui s'exercent par leurs pôles, sont de même forme que le cristal.

C'est cette molécule primitive, inaltérable tant que la nature du corps ne change pas, qui se forme, se meut, se dispose par rapport aux molécules voisines sous l'influence de mouvements vibratoires dont nous reconnaîtrons la cause dans la chaleur, en raison des nœuds et des ventres de la vibration calorifique.

Nous verrons bientôt comment les résultats de la chimie conduisent à compléter cette conception, en forçant à considérer dans les corps composés la molécule comme un groupe d'atomes chimiques, disposés suivant une forme géométrique déterminée, qui varie cependant quelquefois pour une même composition, dans les cas d'isomérisme.

Liquides.

Ce qui caractérise les liquides, c'est l'absence de cohésion entre les systèmes qui les composent. Le liquide parfait serait celui dont les molécules n'opposeraient au mouvement d'autre résistance que celle de leur propre inertie. L'imperfection de mobilité moléculaire qui persiste dans les liquides, d'une manière insensible pour la plupart, s'appelle la *viscosité.*

Par les divers degrés de développement que la viscosité peut atteindre, elle fait apparaître, entre l'état solide et l'état liquide, tous les degrés intermédiaires possibles, notamment l'état pâteux.

L'étude des lois du mouvement des liquides et de celles qui président à leur équilibre, se rattache théoriquement à la mécanique rationnelle et a reçu le nom d'hydrostatique et d'hydro-dynamique. Ce sont surtout des résultats d'expérience qui remplacent, dans la pratique, cette partie peu avancée de la théorie difficile qui se rapporte aux mouvements d'un système composé d'un nombre presque infini d'éléments.

Égalité de pression. — La loi fondamentale de l'équilibre des liquides est celle de l'égalité de pression en tous sens, c'est-à-dire qu'un liquide transmet sans altération, à toutes ses parties, une pression exercée sur une portion quelconque de sa surface.

Compressibilité des liquides. — La compressibilité des liquides est extrêmement minime, et on peut, sans inconvénient, les considérer, dans les applications comme incompressibles. Dans les expériences les plus précises on a trouvé en

fraction du volume primitif, pour une pression d'une atmosphère, 0,000049 pour l'eau; 0,000033 pour le mercure, 0,000091 pour l'alcool, 0,000126 pour l'éther.

Capillarité. — Lorsqu'un corps solide est réduit en un tube d'un diamètre moindre qu'un millimètre, et qu'on en plonge l'extrémité dans un liquide, on observe que le niveau intérieur se maintient au-dessus ou au-dessous du niveau extérieur, selon que le liquide mouille ou ne mouille pas la substance du tube.

Ces phénomènes s'expliquent par la comparaison des attractions que le corps solide exerce sur le liquide, avec celles que les molécules liquides exercent les unes sur les autres. Ils jouent un rôle extrêmement important dans les arts et surtout dans la biologie. Ce sont eux qui favorisent l'absorption et la circulation dans les plantes. On le comprendra facilement d'après la loi démontrée par l'expérience, que les élévations du liquide dans un tube capillaire sont en raison inverse des diamètres, et en observant combien sont petits les diamètres des canaux cellulaires des plantes, des pores des tissus animaux.

Constitution des liquides. — L'attraction existe donc dans les liquides et cependant leur division n'offre pas de résistance. Comment expliquer leur constitution à l'état dynamique seul admissible aujourd'hui? On est conduit nécessairement à admettre que l'attraction d'une part et la cause qui produit les vibrations des molécules des solides, une impulsion moléculaire de l'autre, constituent un système planétaire à orbites fermés, elliptiques, autrement les liquides exerceraient une pression à leur surface supérieure, ce qui n'est pas. Nous allons rencontrer ce cas pour les corps qui prennent l'état gazeux.

Gaz.

Dans l'état gazeux les molécules ne manifestent plus d'attraction les unes pour les autres. Le caractère distinctif des gaz est une tendance à augmenter sans cesse de volume.

Compressibilité et élasticité des gaz. — Les gaz sont des corps éminemment compressibles, et dans une foule de cas nous faisons varier leurs volumes, dans d'énormes proportions, par l'emploi de forces mécaniques. Cette variation suit une loi très-simple, dite loi de Mariotte. Elle consiste en ce que les volumes occupés par une même masse de gaz sont en raison inverse des pressions qu'elle supporte.

Les expériences de M. Regnault ont indiqué que cette loi n'était pas absolument rigoureuse, comme on l'avait cru reconnaître, et que pour de très-grandes variations de pression il fallait lui faire subir une très-faible correction, variable pour chaque gaz, ayant par suite un rapport intime avec la nature de celui-ci.

Mouvement des gaz. — Le mouvement des gaz, ou la pneumatique, fait partie de l'hydro-dynamique. Comme dans les liquides, dans les fluides élastiques la pression se répartit également dans tous les sens dans l'état d'équilibre, principe fondamental qui rend les lois des mouvements des deux espèces de corps très-voisines au moins avec une exactitude suffisante pour les besoins de la pratique.

Constitution des gaz. — Lorsqu'on voit les gaz, malgré leur nature différente, se comporter tous de la même manière dans diverses circonstances (la généralité de la loi de Mariotte, leur égale dilatation par la chaleur dont nous allons bientôt parler, etc.), on est forcé d'admettre que l'attraction n'intervient pas sensiblement dans les gaz et que les orbites hyperboliques qui résulteraient de l'impulsion de leurs molécules, combinée avec la force d'attraction moléculaire, en poursuivant le mode d'analyse de l'état liquide auquel succède l'état gazeux lorsque les impulsions augmentent; peuvent être regardés comme se réduisant à des éléments rectilignes. C'est en choquant contre les parois des vases qui les renferment que les gaz exercent une pression, conception qui explique fort bien tous les faits d'expériences et notamment la loi de Mariotte.

II. PESANTEUR

L'action de la force constante de l'attraction de la terre sur tous les corps placés à sa surface s'appelle pesanteur. L'attraction paraît là une propriété aussi incontestable au moins de la matière que lorsqu'elle intervient dans la constitution moléculaire des corps. Le calcul indique les lois du mouvement des corps sollicités par une force constante, ou plutôt l'observation des lois de la chute des graves indique qu'elle est due à l'action d'une force constante. C'est en faisant cette grande découverte, en l'analysant avec une admirable logique, que Galilée a créé la science mécanique moderne, la dynamique.

Si tous les corps de la nature ne se précipitent pas vers le sol avec une même vitesse, cet effet est dû à la présence de l'air, comme on le voit aisément, en les faisant tomber dans une capacité dont on a retiré l'air.

Du pendule. — Si l'on supporte une sphère pesante par un fil inextensible attaché à un point fixe, on aura le système appelé pendule, qui permet d'évaluer l'intensité de la pesanteur. En effet, la tige du pendule faisant un certain angle avec la direction de la pesanteur, la verticale du lieu, si le système est abandonné à lui-même, le point matériel se meut d'un mouvement accéléré; il arrive au point le plus bas de sa course avec une vitesse acquise et remonte alors de l'autre côté de la verticale; dans cette partie ascendante de sa trajectoire, la pesanteur agit comme force

retardatrice et diminue la vitesse des mêmes quantités dont elle l'avait augmentée dans la partie descendante ; il suit de là que le point matériel parviendra, avec une vitesse nulle, à la même hauteur d'où il est descendu. La pesanteur continuant d'agir, il redescendra de nouveau pour former des oscillations semblables et dans le même temps.

Si l'arc parcouru est d'un petit nombre de degrés, le temps t d'une oscillation est donné par la formule

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

l étant la longueur du pendule, g l'intensité de la pesanteur, et π la mesure de la circonférence dont le diamètre est 1.

Du poids. — Des balances. — Le poids d'un corps est la pression qu'il exerce contre l'obstacle sur lequel il repose ; cette pression est mesurée par la balance. La pesanteur s'exerçant sur tous les corps permet de mesurer en chaque lieu les masses proportionnelles aux poids et de suivre ainsi toutes les transformations de la matière, lorsque toutes les propriétés apparentes d'un corps viennent à se modifier. La science qui analyse les combinaisons des corps, la chimie, a été créée par l'emploi judicieux de la balance.

Pesanteur de l'air. — Tous les corps placés à la surface de la terre sont soumis à la pesanteur, notamment les gaz sur lesquels cette action est peu apparente. C'est ainsi que l'atmosphère qui entoure la terre doit peser sur les corps placés à la surface de celle-ci.

En effet, que l'on prenne, comme l'a fait le premier Torricelli, un tube bouché à une extrémité, et qu'après l'avoir rempli d'un liquide, de mercure par exemple, on le renverse dans un bain de mercure ; si le tube est suffisamment long, au moment où l'extrémité bouchée devient libre, on voit le mercure descendre et s'arrêter à $0^m,76$ environ au-dessus du niveau extérieur. Cette colonne exerce par son poids, sur le bain qu'elle surmonte, une pression qui remplace celle que l'atmosphère exerce à l'extérieur, elle lui fait équilibre et peut servir à la mesurer.

Cette pression, qui ne varie que dans des limites étroites, forme une unité souvent employée dans les arts et qui se nomme une *atmosphère*.

Principe d'Archiméde. — Du principe d'égalité de pression dans tous les sens, dans les fluides en repos, et de la propriété des corps d'être pesants, résulte le grand principe dont la découverte est due à Archimède. Il consiste en ce qu'un corps plongé dans un fluide perd une partie de son poids égal à celui du volume de fluide déplacé.

C'est d'après ce principe que l'on peut calculer les circonstances du mouvement, suivant la verticale, d'un corps dans un fluide, en raison des densités relatives, l'ascension d'un ballon dans l'air, par exemple.

III. CHALEUR.

La sensation que nous éprouvons, lorsqu'un de nos organes se trouve en contact avec un corps chaud, donne l'idée de la chaleur, et nous sommes entourés de phénomènes qui apparaissent dans les corps lorsqu'ils nous font éprouver cette sensation ; telle est la liquéfaction des solides, la vaporisation des liquides, etc. Les lois de production de ces phénomènes, les relations de cause à effet qui les réunissent à d'autres phénomènes plus simples, la mesure des effets produits, forment l'objet des recherches que se propose la physique.

L'influence de la chaleur est tout à fait prépondérante lorsqu'on envisage les modifications les plus profondes de la matière relatives soit à l'état d'agrégation, soit à la composition intime des molécules des corps ; la vitalité enfin lui est essentiellement subordonnée. Il est donc facile de justifier l'importance immense de l'étude des phénomènes de la chaleur dont l'application bien entendue constitue, en outre, la principale part de l'action de l'homme sur la nature.

Thermomètres. — De tous les effets de la chaleur, l'augmentation du volume des corps est le plus facile à mesurer avec exactitude, non que cette augmentation soit toujours considérable, mais parce qu'on peut toujours, par des procédés et des artifices convenables, la rendre assez apparente pour être observée. L'expérience indique que tous les corps se dilatent lorsque la chaleur augmente et se contractent lorsqu'elle diminue ; on appelle température l'intensité de l'action de la chaleur accusée par un certain état de dilatation d'un corps.

Le thermomètre est l'instrument qui sert à mesurer les températures, et en partant du thermomètre à air, on considère comme différentes de quantités égales, des températures indiquées par des dilatations successives d'une même fraction du volume primitif du gaz. En observant comparativement avec le thermomètre à air le thermomètre à mercure, à alcool, les pyromètres, etc., on réduit à une même échelle des observations faites avec les instruments les plus commodes dans chaque cas.

Mesure de la dilatation des corps par la chaleur. — Les températures étant fixées par les dilatations égales d'un corps qui sert à construire le thermomètre, on peut mesurer les dilatations des corps, leurs *coefficients de dilatation*, c'est-à-dire la fraction dont leur volume augmente pour une augmentation d'un degré de température. Ce coefficient va en croissant des solides aux liquides, des liquides aux gaz. Peu considé-

rable pour les solides et les liquides, il varie avec chaque substance; dans les gaz, il est bien plus considérable, sensiblement le même et égal à 1/267 de leur volume à zéro pour chaque degré.

M. Regnault a montré que cette loi n'était pas mathématiquement exacte pour les gaz qui s'écartent de la loi de Mariotte; toutefois les différences sont minimes et tout à fait négligeables dans les applications.

Des quantités de chaleur.—Des chaleurs spécifiques. — Les degrés de chaleur observés, les températures ne constituent qu'une mesure incomplète de la chaleur, n'en sont qu'un élément, comme la force relativement au travail mécanique. C'est la quantité de chaleur qui est l'unité complète. Cette assimilation est d'autant plus vraie que la chaleur est une force vive. (Voy. INTRODUCTION DU COMPLÉMENT de cet ouvrage.) L'unité de chaleur, la calorie, est la quantité nécessaire pour échauffer d'un degré un kilog. d'eau.

On ne saurait estimer la quantité totale de chaleur contenue dans un corps; mais on peut comparer entre elles les quantités de chaleur qu'il faut ajouter ou enlever pour produire sur un même corps des effets thermométriques différents, ou le même changement de température sur différents corps.

On y parvient, par exemple, par des expériences faites à l'aide du calorimètre, instrument dans lequel la quantité de chaleur perdue par le corps sur lequel on opère sert à échauffer une certaine quantité d'eau qui l'entoure, et dont le poids sert à mesurer la quantité de chaleur. Plusieurs lois fort importantes se rattachent aux chaleurs spécifiques des divers corps, et surtout la célèbre loi de Dulong, qui consiste en ce que le produit des chaleurs spécifiques par les poids des atomes des corps simples, est une quantité constante. (Voy. CHAL. SPÉCIF., COMPLÉMENT).

Variation des capacités. — Les capacités des corps pour la chaleur sont sensiblement constantes dans une petite étendue; mais entre des limites plus écartées, on trouve que ces capacités éprouvent des variations très-sensibles pour les liquides, et les solides surtout, à mesure que la température s'élève; ces variations ne sont pas les mêmes pour toutes les substances.

Changement d'état des corps. — Les dilatations ne constituent qu'un phénomène limité, c'est-à-dire que si le premier effet de la chaleur sur la forme des corps solides est de changer leur volume, cette dilatation n'a lieu que jusqu'à une certaine limite au delà de laquelle il y a changement d'état; le corps fond, passe de l'état solide à l'état liquide. On voit apparaître ce phénomène lors de la fusion de la glace, de la cire, du plomb, etc., et si on ne peut l'observer pour tous les corps, c'est que la température de la fusion varie d'un corps à l'autre et peut être trop élevée dans certains cas pour être produite dans les laboratoires. On doit donc admettre, ce que prouve le nombre croissant des corps qu'on peut mettre en fusion à mesure qu'on trouve moyen de produire des températures de plus en plus élevées, que tous les corps solides indéfiniment chauffés doivent finir par se liquéfier.

Lorsque de même on expose un corps liquide à des températures continuellement croissantes, il passe à l'état de gaz, de vapeur. On peut observer ce nouveau changement d'état sur un grand nombre de corps, et l'analogie porte à croire que si on pouvait produire une température aussi élevée qu'on le voudrait, tous les corps de la nature pourraient être vaporisés. Inversement, de nombreux exemples doivent aussi faire penser que les corps qui sont naturellement à l'état de gaz ou fluides élastiques pourraient être ramenés à l'état liquide, si l'on pouvait produire artificiellement une décroissance indéfinie de température.

Les vapeurs dont les forces élastiques peuvent être déterminées sous une pression connue ont fait l'objet de fort beaux travaux de physique expérimentale qui ont établi les faits suivants :

1° Les liquides donnent des vapeurs dans le vide à des températures très-inférieures à leur point d'ébullition.

2° La quantité et la force élastique de la vapeur d'un même liquide capable de saturer un espace vide, augmentent avec la température de cet espace. On trouvera à l'article VAPEUR l'indication des forces élastiques de la vapeur d'eau, pour diverses températures, déterminées avec une grande précision.

3° Lorsqu'un espace saturé de vapeur à une certaine température est en contact avec une surface dont la température est moins élevée, il y a liquéfaction de la vapeur sur cette surface; et la vapeur qui reste dans cet espace n'a que la température de la surface condensante, et la force élastique qui convient à cette température.

4° Le phénomène de l'ébullition, de l'apparition de bulles de vapeur dans une masse liquide, n'a lieu que lorsque la pression exercée à la surface du liquide est moindre ou tout au plus égale à la force élastique de la vapeur qui tend à se former, et lorsque, par la disposition des foyers ou des flux de chaleur, une portion inférieure de la masse liquide est plus échauffée que sa surface.

Chaleurs latentes. — On donne le nom de chaleur latente à la chaleur qui disparaît comme chaleur sensible, et qui est entièrement absorbée ou dégagée lors du changement d'état des corps. C'est là un de ces cas qui montre bien avec quelle facilité l'esprit humain accepte quelquefois un mot qui n'est que l'énoncé d'un fait, pour une explication. On distingue la chaleur latente de fusion et celle de vaporisation.

Chaleur latente de fusion. — Lorsqu'on fait fondre des métaux ou leurs alliages, en les exposant à un foyer très-actif et qu'on a soin d'agiter les liquides qui se forment, on observe que leur température demeure invariable jusqu'à ce que toute la partie solide soit fondue. On trouve ainsi 79 unités pour la chaleur latente absorbée pendant la fusion de l'unité de poids de la glace. Il est clair qu'un travail mécanique notable a été consommé à rompre la cohésion qui réunissait les molécules du corps solide et est la cause de la disparition de la chaleur. On a pu, d'après cela, établir des relations entre la chaleur latente de fusion et les coefficients d'élasticité qui, vérifiées pour les métaux fusibles, s'appliquent utilement à ceux qu'on ne sait pas fondre, pour déterminer approximativement leurs chaleurs de fusion.

Chaleur latente de vaporisation. — La chaleur qui passe d'un foyer dans un liquide en ébullition, dont la température reste fixe tant que la pression extérieure ne varie pas, est absorbée par le changement d'état du liquide et employée à le gazéifier. Pour évaluer la chaleur latente qui disparaît dans cette circonstance, on procède, en général, en recherchant la quantité de chaleur qui peut être restituée par la vapeur lorsqu'elle repasse à l'état liquide.

De séries d'expériences fort nombreuses, M. Regnault a déduit que toute la chaleur ajoutée à de l'eau à zéro degré pour l'amener à l'état de vapeur sous pression constante et à la température T était $L = 606 + 0{,}305\,T$, ce qui donnerait pour la chaleur totale de l'eau à 100° 637 cal. et 537 pour la seule chaleur latente de la vapeur d'eau. On a trouvé pour l'alcool 208, pour l'éther 91.

De la nature de la chaleur. — Une expérience de chaque instant montre que l'effet constant de la chaleur est d'augmenter d'une manière constante le volume d'un corps jusqu'à ce que le changement d'état ait lieu, le corps devenant liquide, puis le liquide vapeur. Ces effets s'expliquent tous, concordent avec l'analyse de la constitution des corps exposée précédemment, lorsqu'on considère l'échauffement comme produisant des impulsions moléculaires, l'intensité de celles-ci comme croissant avec la température. Une production de forces vives apparaît donc quand une quantité de chaleur disparaît, et c'est avec grande raison que Locke a dit : *Ce qui pour nous est chaleur, dans le corps est mouvement.*

Propagation de la chaleur. — Lorsque deux corps sont en présence, ils se transmettent de la chaleur par *rayonnement.* Cette propagation a lieu en ligne droite, de telle sorte que, dans l'hypothèse ci-dessus, le rayonnement indique que l'impulsion est en ligne droite.

L'intensité de la chaleur, rayonnant d'un point central, varie en raison inverse du carré de la distance à ce point. Elle est aussi proportionnelle au cosinus de l'angle que les rayons calorifiques font avec la normale à un élément rayonnant.

La chaleur se réfléchit à la surface des corps comme la lumière, ainsi que le démontre l'expérience faite à l'aide de deux miroirs paraboliques. Des charbons incandescents placés à l'un des foyers permettent de mettre le feu à des substances placées au foyer du second miroir, placé vis-à-vis du premier, et à une distance considérable.

Pour la chaleur comme pour la lumière, il y a des corps transparents et des corps opaques. On appelle *athermanes* les substances qui arrêtent la chaleur rayonnante, et *diathermanes* celles qui la laissent passer. La diathermanéité n'est pas en raison de la diaphanétié, ni l'athermanéité en raison de l'opacité; ces propriétés dépendent de la nature du corps. Ainsi le verre noir et le quartz enfumé sont très-diathermanes, et l'alun l'est excessivement peu.

Le pouvoir rayonnant ou émissif varie avec la nature des corps pour des températures égales; mais il y a toujours des rayons calorifiques émis par tout corps, de telle sorte que la température d'un corps quelconque dépend de la nature de tous les corps au rayonnement desquels il peut être soumis.

Le pouvoir absorbant est la propriété dont jouissent les corps d'absorber une partie de la chaleur qu'ils reçoivent. Cette partie varie avec la nature du corps et l'état de la surface.

La quantité de chaleur réfléchie est complémentaire de celle absorbée, c'est-à-dire que la somme des quantités de chaleur absorbées et réfléchies doit toujours reproduire la totalité de la chaleur incidente.

Conductibilité. — La rapidité avec laquelle la chaleur se propage dans les corps dépend de leur nature intime. Elle est très-grande dans les métaux, différente dans les corps cristallisés selon les divers axes de cristallisation.

Elle est très-faible dans les liquides et les gaz, mais pratiquement elle paraît souvent considérable, à cause des courants intérieurs que fait naître l'échauffement d'une partie de la masse, qui, diminuant de densité, tend à s'élever.

Refroidissement. — Lorsqu'un corps se refroidit dans une enceinte vide et entretenue à une température constante, la vitesse du refroidissement, pour des excès en proportion arithmétique, croît comme les termes d'une progression géométrique diminués d'un nombre constant.

Cette vitesse est plus grande dans un gaz, et croît avec la pression de ce gaz.

Sources ou production de chaleur et de froid.

Insolation. — La principale cause de chaleur, celle qui entretient la vie de tout le règne vé-

gétal et animal, est la chaleur due aux rayons solaires.

Percussion. — La percussion produit de la chaleur, ce qui ne peut s'expliquer pour les corps comme le plomb, dont la densité ne change pas par l'écrasement, que parce que la chaleur est une force vive communiquée aux molécules.

Compression et dilatation des gaz. — On explique de la même manière les effets calorifiques qui apparaissent par ces actions mécaniques; la chaleur qui se produit lorsqu'on comprime un gaz, et l'abaissement de température que l'on observe lorsqu'on laisse croître son volume, sont deux effets du changement de travail mécanique en force vive moléculaire, et inversement. Une expérience de Joule démontre la correspondance des deux effets et est probante en faveur de la théorie mécanique de la chaleur.

Frottement. — Le frottement est aussi une cause de chaleur en faisant naître des mouvements vibratoires moléculaires.

Combustion. — Les combinaisons chimiques et surtout la combustion des corps combustibles, principalement du charbon dans l'oxygène de l'air, constituent la source de chaleur artificielle toujours employée dans l'industrie.

Les conditions de la production de ce phénomène sont admirablement exposées, tant au point de vue de la théorie qu'à celui de la pratique, dans le beau travail dont Ebelmen a doté cet ouvrage. (Voir COMBUSTION.)

Mélanges réfrigérants. — Évaporation. — Le froid se produit en utilisant les faits de chaleur latente lors du passage des corps de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état gazeux. Ainsi de la neige mêlée à un acide est brusquement fondue à cause de l'affinité de l'acide et produit un froid considérable. De même un liquide placé dans le vide répand des vapeurs; si celles-ci sont constamment absorbées par des corps convenables, le refroidissement est rapide. On fait ainsi congeler l'eau sous la machine pneumatique.

IV. ÉLECTRICITÉ.

Les corps de la nature paraissent se partager en deux grandes catégories, sous le rapport de l'aptitude plus ou moins grande qu'ils présentent à se charger d'électricité. Les uns, tels que la résine, le verre, l'ambre, etc., sont susceptibles de se charger d'électricité par le frottement; les autres, tels que les métaux, ne prennent jamais d'électricité dans ces circonstances.

Le fluide que l'on dit, pour analyser les faits, se développer dans les circonstances précédentes sur la résine est nommé fluide *résineux*; l'autre est le fluide *vitré*. On dit généralement que le fluide isolé dans le premier cas est négatif; que celui développé dans le second est positif. Ces dénominations n'indiquent autre chose qu'une opposition de propriétés, et il est généralement admis que c'est l'électricité en excès dans un cas et en défaut dans l'autre qui doit être la cause des phénomènes.

Des expériences simples permettent de formuler un principe important, c'est que les deux fluides de même nom se repoussent, tandis qu'il y a attraction entre les fluides de noms contraires.

Électricité statique. — L'expérience et le calcul démontrent que les *attractions et les répulsions électriques sont en raison directe des quantités de fluides, et en raison inverse du carré des distances.*

Dès qu'un corps contient une proportion quelconque de fluide libre, ce dernier existe seulement à la surface en formant une couche d'une ténuité excessive.

Il est évident que sur une sphère conductrice la couche électrique doit avoir la même épaisseur dans toutes ses parties, puisque tout est symétrique autour d'un point, le centre; mais la distribution du fluide n'offre plus la même identité lorsque la forme du conducteur n'est pas sphérique.

On a démontré par le calcul que la tension du fluide électrique est toujours proportionnelle à son épaisseur. Il est facile d'en conclure que si l'un de ces éléments peut être déterminé en chacun des points d'un conducteur, l'autre sera également connu. On trouve facilement que, dans un ellipsoïde de révolution, l'épaisseur de la couche électrique est beaucoup plus considérable aux pôles qu'à l'équateur. Cette épaisseur, et par conséquent la tension, croissent avec une très-grande rapidité si les extrémités d'un tel conducteur sont amincies.

C'est en tenant compte de cette loi que l'on comprend facilement comment une pointe aiguë pouvant être assimilée au pôle d'un ellipsoïde très-allongé, la force répulsive du fluide électrique y est toujours assez grande pour vaincre la résistance de l'air. Sur ce principe est basé ce qu'on désigne en physique sous le nom de pouvoir des pointes, propriété qui a reçu par la découverte des paratonnerres une des plus brillantes et des plus utiles applications.

Des condensateurs. — On accumule de l'électricité dissimulée dans les *condensateurs* formés essentiellement de deux plaques conductrices séparées par une plaque non conductrice. Les deux électricités opposées s'accumulent sur les deux plaques conductrices et s'attirent à travers la plaque non conductrice. On peut ainsi réunir des quantités d'électricité considérables, susceptibles de produire de puissants effets, une décharge très-énergique. C'est le plus souvent le verre qui est employé comme substance non conduc-

trice, et le condensateur est formé d'une bouteille; c'est la bouteille de Leyde.

Électricité atmosphérique. — Les physiciens du dix-huitième siècle, dès qu'ils connurent les effets des condensateurs, et notamment de la bouteille de Leyde, l'action plus puissante des batteries électriques formée de la réunion d'un certain nombre d'appareils semblables, soupçonnèrent l'identité de l'électricité et de la foudre. Mais la démonstration de cette grande vérité appartient tout entière à Franklin et le place parmi les physiciens les plus illustres, comme la découverte des paratonnerres le met au rang des bienfaiteurs de l'humanité.

Vitesse de l'électricité. — Elle est, on peut dire, infiniment grande. L'expérience a donné de 100,000 à 180,000 mètres par seconde.

Électro-dynamique. — En 1790, Galvani observa que des grenouilles écorchées se contractent subitement lorsque l'on touche avec un arc composé de métaux différents les nerfs lombaires de l'animal en même temps que les muscles de la cuisse.

Cette observation singulière du médecin de Bologne a joué un rôle important dans la science moderne, car les interprétations contradictoires qu'elle suscita conduisirent Volta à la découverte de la pile. (Voyez, PILE et GALVANOPLASTIE, la description des diverses piles usitées.)

Toutes les fois que l'on place à une petite distance l'un de l'autre les rhéophores qui établissent la communication entre les deux pôles d'une pile assez forte, on observe une série d'étincelles remarquables par leur éclat. Si les fils sont de platine, la lumière qui jaillit est blanche et incolore. Lorsque ce sont des fils de cuivre, la flamme est bleue ou verdâtre, ce qui est dû à la volatilisation d'une certaine proportion de ce métal et à sa combustion dans la flamme. On peut terminer les rhéophores par deux fragments de charbon fortement calciné, et alors on a le spectacle d'une lumière tellement brillante, que son éclat ne peut être comparé qu'à celui du soleil. Si l'expérience se fait dans l'air, le charbon brûle et disparaît sous forme d'acide carbonique; mais il est possible d'engager les rhéophores dans un vase de verre où l'on fait le vide : le phénomène présente alors la même splendeur sans qu'il y ait aucune combinaison chimique. Dans ces circonstances, on constate seulement un fait digne de remarque, c'est que le charbon a subi une modification profonde dans sa constitution moléculaire. La température qui accompagne cette production de lumière est la plus élevée que l'on ait encore pu obtenir. Les corps les plus réfractaires à l'action de la chaleur n'y résistent pas; de petits fragments y sont fondus ou volatilisés.

L'espace compris entre les extrémités des rhéophores est constamment lumineux, il constitue une sorte de sphère d'un éclat moins vif que celui des extrémités conductrices, sphère dans laquelle jaillissent de temps à autre des étincelles brillantes; on lui donne le nom d'arc électrique. On a observé dans ces expériences que le rhéophore positif présente constamment un éclat plus considérable et une température plus élevée que le négatif. C'est l'application de cette expérience qui fournit la lumière électrique qui tend à entrer dans la pratique.

Effets chimiques. — A peine la pile fut-elle introduite dans les laboratoires, que les plus brillantes découvertes couronnèrent les efforts des savants qui appliquèrent ce puissant instrument aux recherches de la chimie.

L'eau avait été pendant longtemps considérée comme un élément; Nicholson et Carlisle en firent l'analyse au moyen de la pile.

Voici comment on peut se rendre compte de ce qui se passe dans cette action du courant sur l'eau et sur les dissolutions qu'il décompose.

Que l'on imagine une série linéaire de molécules d'eau comprise entre les extrémités de deux rhéophores. Au moment où le courant passe, la molécule la plus voisine du fil négatif est décomposée, les deux molécules d'hydrogène restent libres, la molécule d'oxygène chargée de fluide négatif constitue, avec les deux atomes d'hydrogène de la molécule suivante, de l'eau. Une suite de recompositions semblables s'effectue jusqu'au fil positif; mais le dernier atome d'eau décomposé en contact avec celui-ci laisse libre une molécule d'oxygène. Il n'y a donc pas eu transport des molécules décomposées d'un pôle de la pile à l'autre; il y a eu des séries de décompositions et de recompositions, qui se sont transmises comme un ébranlement moléculaire entre les deux rhéophores.

L'action de piles énergiques peut être assez puissante pour vaincre l'affinité la plus grande que les corps puissent présenter. La découverte de Davy, une des conquêtes les plus importantes de la chimie moderne, le prouve suffisamment.

Les alcalis, la potasse, la soude avaient été considérés jusqu'à Davy comme des corps simples. Cet illustre chimiste eut l'heureuse idée de les soumettre à l'action d'une forte pile. Bientôt on reconnut que les alcalis, que toutes les terres n'étaient rien autre chose que des combinaisons oxygénées.

Les rapports qui existent entre les phénomènes chimiques et l'électricité forment à eux seuls une science, l'électrochimie, riche de faits, et qui constitue une mine féconde où notre siècle a largement puisé. La loi fondamentale de cette partie de la physique peut être énoncée ainsi : Si on fait traverser par un même courant voltaïque une série de composés chimiques de nature différente, les quantités pondérables des éléments

isolés sont entre elles comme les équivalents chimiques des corps mis en liberté.

Des sources d'électricité. — En traitant des phénomènes particuliers de l'électricité statique, nous avons vu que le frottement, c'est-à-dire une action mécanique, est capable de déterminer la séparation des deux fluides électriques. Cette électricité de tension peut, au moyen de dispositions convenables, être transformée en courant. Les phénomènes chimiques sont la cause générale de la production de l'électricité, et presque toujours on parvient à découvrir une action chimique là où apparaît un courant.

La propagation de la chaleur dans l'intérieur des corps peut aussi devenir la cause de courants assez énergiques.

Rapports de la chaleur et de l'électricité. — Les relations de la chaleur et de l'électricité paraissent ouvrir la voie qui peut permettre d'évaluer convenablement la *quantité* d'électricité et de faire participer l'une des théories de partie des progrès accomplis par l'autre. En plaçant dans un calorimètre un élément d'une pile, et dans un autre, les fils partant des deux pôles, M. Fabre a toujours trouvé 1,84 calories par équivalent de zinc de l'élément oxydé, et cela quelle que fût la grosseur du fil et, par suite, sa résistance, qui faisait varier beaucoup la quantité de chaleur reçue dans le second calorimètre. La quantité reçue par le premier variait inversement, et la somme était constante. L'électricité n'est donc qu'une métamorphose de la quantité de chaleur dégagée par l'effet de la combinaison chimique.

V. MAGNÉTISME.

Si l'on place un fragment de la matière qui possède la singulière propriété d'attirer le fer dans une masse de limaille de fer, plusieurs points de sa surface se couvrent de cette poussière métallique; on observe de plus que les particules de fer adhèrent les unes aux autres en formant des espèces d'aigrettes.

L'action de l'aimant ne s'opère pas seulement au contact, il est facile de voir qu'elle s'exerce encore à une certaine distance et malgré l'interposition de lames minces de diverses substances.

La propriété attractive de l'aimant peut se communiquer au fer : l'expérience de la limaille le montre, car si les particules métalliques restent adhérentes les unes aux autres, il est facile de voir que ce phénomène est dû à l'attraction que chacune d'elles exerce sur celle qui la suit. On peut démontrer d'une manière plus nette cette influence, en prouvant qu'un petit barreau de fer doux, soumis à l'action d'un aimant naturel, attire comme ce dernier les particules de limaille. La vertu magnétique qu'il acquiert dans ces circonstances dure seulement autant que l'action de l'aimant.

Il n'en est pas de même si on fait cette expérience avec un fragment d'acier trempé; la puissance attractive paraît moins développée dans ce dernier que dans le fer doux, mais elle persiste après que l'action de l'aimant naturel n'existe plus. C'est cette faculté de conserver la vertu magnétique qui a été désignée sous le nom de *force coercitive*. Cette aptitude remarquable a été mise à profit pour former, au moyen de l'acier trempé, des aimants artificiels d'une forme déterminée, des aiguilles et des barreaux aimantés.

La force d'attraction n'est pas la même dans tous les points de la surface. Les parties où l'accumulation est la plus abondante et la puissance magnétique la plus développée, ou, si l'on aime mieux, les centres d'action de la force magnétique, ont reçu le nom de *pôles*. Dans tout aimant naturel ou artificiel, il existe au moins deux pôles; ils se trouvent en général à chacune des extrémités.

Si on suspend, au moyen d'un fil de cocon, une aiguille de manière qu'elle se tienne dans un plan horizontal, on observe alors qu'elle s'arrête dans une position telle que, si on vient à l'en écarter, elle y retourne sans cesse après une série d'oscillations plus ou moins longue.

Le plan vertical passant par les deux extrémités de l'aiguille, lorsqu'elle a pris sa position d'équilibre, est le *méridien magnétique* du lieu où se fait l'observation. L'angle compris entre le méridien magnétique et le méridien terrestre d'un point de la surface du globe est désigné sous le nom de *déclinaison*.

Si cette dernière était nulle, une des extrémités de l'aimant serait dirigée exactement vers le nord, et l'autre vers le sud. Telle était la position de l'aiguille à Paris en 1664; depuis cette époque, la position du méridien magnétique s'est déplacée, et la valeur de la déclinaison est aujourd'hui d'environ 22°. La portion de l'aiguille qui regarde vers le nord se portant à l'ouest, on dit que la déclinaison est occidentale.

Lorsqu'on rapproche deux aiguilles aimantées bien suspendues, on observe que si l'on place les deux pôles qui se dirigeaient dans le même sens à une petite distance, ils se repoussent; ceux dont la direction est inverse s'attirent au contraire.

Si vers le milieu d'un fort barreau aimanté offrant deux pôles on place une aiguille, elle paraît ne plus obéir à sa force directrice primitive et prend une position telle que son pôle nord regarde l'extrémité de l'aimant qui se dirigerait vers le sud, et réciproquement.

Cette observation porte à conclure que la terre agit sur l'aiguille aimantée comme un énorme aimant ayant deux pôles, l'un au nord, pôle boréal, l'autre au sud, pôle austral. Le pôle austral

de l'aiguille est celui qui se dirige vers le nord, son pôle boréal regarde le sud.

Mais l'expérience démontre encore que la direction que prend une aiguille aimantée, dans les circonstances où nous l'avons supposée placée, n'est pas celle que la terre tend sans cesse à lui imprimer. Pour arriver à définir complétement cette position, il faut déterminer le point par lequel on doit suspendre l'aiguille avant son aimantation pour qu'elle se tienne dans un plan horizontal.

Si, après l'avoir aimantée, on la suspend par le même point au moyen d'un fil de cocon sans torsion, on observe qu'elle se place dans le plan du méridien magnétique. Mais elle s'incline par rapport à l'horizon d'une quantité notable, c'est l'angle formé par l'aiguille et l'horizon qui a reçu le nom d'*inclinaison*.

A Paris, il est facile de constater par cette expérience que le pôle austral de l'aiguille aimantée occupe la partie inférieure, tandis que le pôle boréal se dirige en haut. La valeur de l'angle d'inclinaison est d'environ 7° dans ce point du globe.

Électro-magnétisme.

En 1820, Œrsted découvrit que, si on place dans le voisinage d'une aiguille de déclinaison un fil métallique traversé par un courant voltaïque, l'aiguille est déviée de sa position primitive et prend une position d'équilibre déterminée par sa situation relativement au courant.

Pour se former une idée exacte des relations qui peuvent exister entre un courant et l'aiguille aimantée, quelques définitions sont nécessaires. Tous les faits portent à admettre l'existence d'une circulation électrique dont les caractères sont ceux d'un *courant*. On admet que le mouvement s'opère dans le rhéophore du pôle positif au pôle négatif; c'est une simple convention dans la théorie des deux fluides, mais le *courant apparent* se comprend bien dans le cas d'une accumulation d'électricité à un pôle et de déficit à l'autre relativement à l'état normal du corps. Un courant est toujours désigné par la forme de l'arc qu'il parcourt; et si le fil métallique qui joint les pôles d'une pile est rectiligne, circulaire, rectangulaire, on donne au courant qui le traverse ces mêmes épithètes.

C'est à Ampère que nous devons une formule simple, qui permet de définir avec la plus grande précision la position d'équilibre d'une aiguille sous l'influence d'un courant quelconque. Supposons, pour plus de simplicité, qu'il soit rectiligne, et, avec l'illustre physicien, imaginons que, suivant sa longueur soit étendu un personnage humain dont les pieds sont constamment dirigés vers le pôle positif de la pile, la tête vers le pôle négatif, le visage regardant toujours l'aiguille magnétique. Le courant ainsi personnifié aura une droite et une gauche faciles à retrouver d'après les conventions précédentes; toutes les positions que peut prendre l'aiguille par rapport au fil interpolaire seront comprises dans cette phrase : « l'aiguille magnétique se met en croix avec le courant, son pôle austral se portant à sa gauche. »

C'est en s'appuyant sur ces principes que Schweiger a construit un appareil précieux dans les recherches de la physique moderne, le *galvanomètre* ou *multiplicateur*, destiné à faire reconnaître l'existence de faibles courants, qu'aucun autre instrument n'eût pu mettre en évidence, et à mesurer leurs intensités liées intimement aux causes qui les produisent.

Pour arriver à comprendre la théorie du galvanomètre, il faut ne pas perdre de vue que, d'après la formule d'Ampère, une aiguille aimantée entourée par un circuit fermé, de forme rectangulaire par exemple, est sollicitée par toutes ses parties, lorsqu'un courant le traverse, à se diriger dans un seul et même sens. Mais la force qui agit croît avec l'étendue des portions du circuit qui sont en rapport avec elle. Si, au lieu de faire agir sur une aiguille un seul circuit rectangulaire, on contourne un fil métallique dont les différents plis sont isolés par de la soie, de façon que le nombre des rectangles soit très-grand, on comprend que l'influence d'un courant qui, par lui-même serait incapable de dévier l'aiguille, deviendra assez grande pour lui imprimer une direction facilement appréciable. Telles sont les idées qui ont présidé à la construction du galvanomètre.

L'intensité du courant ne peut pas toutefois être mesurée directement par les degrés qu'on lit sur le limbe. La proportionnalité entre ces deux espèces de quantités ne doit être admise que pour des angles très-petits, de 8° ou 10° par exemple. Pour les courants plus forts, il est nécessaire de construire des tables.

De l'effet des courants sur l'aiguille aimantée est résultée l'assimilation des aimants aux courants électriques. Arago a démontré qu'un morceau de fer doux entouré d'un fil de fer couvert de soie, dans lequel passe un courant électrique, se comporte comme un véritable aimant. Inversement les aimants peuvent servir à déterminer des courants. Ceux obtenus dans ces circonstances, dont la découverte est due à Faraday, sont dits courants d'*induction*.

La démonstration des courants de cette espèce est facile. Il suffit, pour y arriver, d'enrouler autour d'une bobine de bois creuse, un fil de cuivre entouré de soie et dont les extrémités communiquent avec les fils d'un galvanomètre. Si on plonge dans l'intérieur de la bobine le pôle d'un fort aimant cylindrique, on observe qu'au moment de l'immersion l'aiguille du galvanomètre est chassée de sa position d'équilibre; il y a donc eu un courant développé dans le fil; après quelques oscillations, l'aiguille revient à sa pre-

mière position. Mais, si on enlève brusquement l'aimant, elle est de nouveau déviée, dans une direction inverse de la première, et revient encore dans le méridien magnétique.

De ces expériences Faraday a déduit la proposition fondamentale qui comprend l'ensemble des faits de l'induction, quelque compliqués qu'ils puissent paraître. « Toutes les fois, dit-il, que l'on soumet un circuit fermé, dans une de ses parties, à l'action d'un aimant ou d'un courant, au premier moment le circuit est parcouru par un courant inverse. Lorsque l'action cesse par suite de l'éloignement de l'aimant ou de l'interruption du courant, le circuit est parcouru par un courant direct; mais si l'influence du courant ou de l'aimant est maintenue pendant quelque temps, toute manifestation électrique cesse. »

La propriété des courants induits d'avoir une forte tension est venue fournir au physicien le moyen précieux d'obtenir, au moyen de la pile qui directement produit de grandes quantités d'électricité à faible tension, de puissants effets. C'est en multipliant les interruptions et créations de courants induits, en employant un condensateur, qu'on y est arrivé dans l'appareil de Rumkorf.

Remarquons que l'emploi d'aimants naturels ou artificiels mis en mouvement par une force mécanique et produisant de la chaleur et de la lumière, est une des plus brillantes démonstrations de la corrélation des forces physiques, de la métamorphose du travail mécanique en chaleur, en électricité, en lumière, c'est-à-dire de l'*homogénéité* de ces forces, dont nous traitons avec quelques détails dans l'*Introduction* du Complément; ce qui revient, d'après ce qui a été dit au début, à la réduction de la *totalité* des phénomènes physiques à la mécanique, vérité que Descartes posait en principe philosophique, et que les expériences de la science moderne se trouvent démontrer.

VI. Acoustique.

La vue et le toucher permettent de constater, dans presque tous les cas, que le son qui frappe notre oreille a pour cause le mouvement vibratoire d'un corps solide, liquide ou gazeux.

Dans une expérience très-simple, le son produit dans le vide n'arrivant plus à nos oreilles, on en conclut que c'est l'air qui est le véhicule qui nous transmet le son le plus généralement.

Vitesse du son dans l'air et dans l'eau. — Le son ne se transmet pas instantanément; il suffit de voir tirer un coup de canon pour s'apercevoir de l'intervalle de temps très-notable qui s'écoule entre l'explosion indiquée par le phénomène lumineux et la perception du son.

Des expériences ont fait reconnaître que le son parcourt 333 mètres par seconde à la température de 0; pour une température plus élevée qui diminue la densité de l'air, cette vitesse augmente; elle s'est trouvée de 337 mètres par seconde à la température de 6 degrés.

Ces résultats, déduits d'expériences faites au bruit du canon, donnent-ils la vitesse réelle de propagation de tous les sons possibles? Autrement, les sons qui diffèrent par leur intensité, leur hauteur et leur timbre, se propagent-ils tous également vite? Cela paraît démontré par le fait seul que l'harmonie d'un concert n'est pas troublée à quelque distance qu'on se place pour l'entendre. L'intensité générale diminue, ainsi que cela doit être; mais la mesure et la simultanéité des sons différents qui concourent à former les accords restent inaltérées. Il est donc permis de conclure de la vitesse observée par le bruit du canon à celle d'un autre son quelconque.

L'air n'est pas le seul milieu dans lequel on ait entrepris de déterminer la vitesse du son. MM. Colladon et Sturm ont déterminé cette vitesse dans l'eau calme par une belle série d'expériences faites sur le lac de Genève. Ils ont trouvé que la vitesse de propagation du son dans l'eau était de 1,435 mètres par seconde.

Mesure des sons. — La mesure des sons et les moyens de les produire sont la base d'une industrie, celle qui se propose la construction des instruments de musique. Nous renverrons aux articles Acoustique, Orgues, Pianos, de cet ouvrage, où ces questions sont traitées.

Mode de propagation du son. — Le mouvement de vibration se propage dans l'air d'une manière particulière, et qui donne lieu à une des plus belles théories, à la mathématique appliquée à la physique. Ce mode de propagation est dû non plus à un mouvement direct d'un corps, mais à une transmission de proche en proche, que l'on peut assimiler grossièrement à des épis courbés par le vent et se relevant successivement dans un champ de blé, ou aux vagues de la mer. Elle a permis d'analyser tous les phénomènes qui se passent dans ce mode de propagation, que l'expérimentation n'est, en quelque façon, plus chargée que de vérifier. C'est ainsi notamment que, par son application aux phénomènes de la lumière, on parvient à analyser de curieux phénomènes qui étaient inexplicables quand on partait de l'idée d'émission, de mouvement direct qui s'offre la première à l'esprit. La différence des phénomènes physiques que l'on peut rapprocher, à ce point de vue, de ceux qu'on étudie dans l'acoustique, c'est que dans cette partie de la science qui relève directement de la mécanique ordinaire, ce sont, en général, des masses, des fractions notables du corps vibrant qui sont en mouvement, tandis que ce sont ou les éléments d'un fluide comme l'éther, qu'on est forcé de considérer comme impondérable, pour la lumière, ou pour la chaleur, les premiers éléments des corps,

les atomes presque infiniment petits, qui sont en mouvement, et il n'en peut résulter pour nous de perception semblable à celles que nous procurent les phénomènes mécaniques ordinaires dans lesquels des masses notables sont en jeu.

Lorsqu'une lame se met en mouvement, elle comprime les molécules d'air qu'elle rencontre, exerce une certaine pression qui va croissant avec la vitesse de la lame, puis décroissant et enfin devenant nulle quand celle-ci rentre en repos. Un effet inverse se produit par le mouvement d'avant en arrière de la lame. On appelle onde sonore l'ensemble des couches d'air à diverses pressions croissantes et décroissantes pour une vibration complète.

Par suite de la grande élasticité des gaz, ces couches d'air communiquent leur vitesse aux couches suivantes, puis rentrent en repos; les molécules d'air ne parcourent donc que des chemins peu étendus, tandis que l'onde se propage, comme les ondes liquides à la surface de l'eau.

Expérimentation. — On doit signaler parmi les plus heureux progrès accomplis, dans ces dernières années, dans les méthodes expérimentales appliquées à cette science, l'emploi de procédés graphiques et optiques pour matérialiser les phénomènes acoustiques.

VII. LUMIÈRE.

La lumière qui paraît propre à certains corps, que l'on dit, par suite, lumineux tels que le soleil, les flammes, etc., tend à se répandre et à se propager dans toutes les directions. Les corps qu'elle rencontre peuvent: soit la laisser passer, et s'appellent alors transparents; soit l'arrêter, être opaques. Ces propriétés sont susceptibles de divers degrés.

L'expérience prouve que la lumière se propage en ligne droite dans un milieu transparent homogène, en ligne courbe dans un milieu hétérogène.

Comme toutes les émanations d'un centre unique, les surfaces des sphères de rayons variables ayant leur centre en ce point qui en reçoivent l'effet, étant entre elles comme les carrés des rayons, l'intensité d'une même lumière décroît comme le carré des distances. C'est sur cette loi que sont fondées les expériences photométriques, les mesures d'intensité de lumière de deux points lumineux, dont on fait varier la distance à un tableau jusqu'à ce que deux ombres projetées soient d'égale intensité.

Vitesse de la lumière. — Des observations astronomiques (celle des éclipses des satellites de Jupiter dans des positions différentes de cette planète) ont permis d'établir que la vitesse de la lumière était de 310,000 kilomètres par seconde. Cette détermination a été confirmée, avec une réduction toutefois, par des expériences directes faites à la surface de la terre.

Catoptrique ou réflexion de la lumière.

La surface d'un corps poli est, pour tout rayon de lumière qui la frappe, la cause d'un changement de direction. Toute la portion de lumière qui ne pénètre pas dans le corps est dite *réfléchie.*

Le cas le plus simple à examiner tout d'abord, et qui permet de mettre en évidence les deux lois fondamentales de la réflexion de la lumière, est celui où cette réflexion a lieu sur une surface plane.

Si l'on fait pénétrer, par un orifice étroit, dans une chambre obscure, un faisceau délié de lumière solaire pour la faire tomber sur une plaque plane et polie, on aura à considérer trois directions ou trois lignes : 1° la ligne que suit le rayon incident et qui est déterminée par l'orifice d'admission et par le point de la surface métallique frappé par la lumière; 2° la perpendiculaire ou normale élevée en ce point du plan réfléchissant; 3° la ligne que suit le rayon réfléchi, et qui est déterminée par le point déjà considéré sur le miroir et par celui des parois de la chambre obscure où va tomber la lumière après sa réflexion.

On remarque 1° que ces trois lignes sont contenues dans un même plan, nommé plan de réflexion, nécessairement perpendiculaire à celui de la surface réfléchissante; 2° on remarque aussi que, dans ce plan de réflexion, le rayon incident et le rayon réfléchi font avec la normale des angles égaux. Ces conditions sont toujours satisfaites, quelle que soit l'inclinaison sous laquelle le miroir se présente au rayon lumineux.

C'est sur ces lois qu'est fondée la propriété des miroirs plans, des glaces planes, d'offrir une représentation symétrique des objets situés devant eux.

Des miroirs, formant un angle, permettent de multiplier les images. (Voyez KALÉIDOSCOPE.)

On construit aussi, pour les besoins de l'optique, des miroirs terminés par des surfaces de sphère, soit concaves, soit convexes. Ils produisent des effets variables avec la distance à laquelle on les considère et avec celle qui les sépare des objets environnants, variables aussi avec la longueur de leurs rayons de courbure.

L'image des objets éloignés viendra se concentrer au foyer d'un miroir de forme parabolique; c'est sur ce principe qu'est fondé le télescope.

Dioptrique ou réfraction de la lumière.

Lorsque la lumière tombe sur la surface polie d'un corps transparent, une partie seulement se réfléchit suivant les lois précédemment indiquées.

L'autre pénètre dans le corps en éprouvant une déviation à laquelle on donne le nom de *réfraction*. Ce phénomène s'observe chaque jour lorsqu'on examine des corps plongés en partie dans l'eau; ils paraissent rompus au point où ils émergent de la surface de l'eau.

Descartes a découvert les lois de la réfraction, dont voici l'énoncé : 1° Le plan qui contient le rayon incident et le rayon réfracté passe par la normale à la surface de séparation des deux milieux au point de concours de ces deux rayons; 2° le rapport des sinus des angles que ces rayons font avec la normale reste constant pour les mêmes milieux quand l'incidence varie et est dit *l'indice de réfraction;* 3° si la lumière rebroussait chemin, elle suivrait les mêmes directions dans un ordre inverse.

Théorie des lentilles. — Si l'on dresse les faces d'un corps réfringent de manière qu'il se trouve terminé par deux surfaces de sphère, il prend le nom de *lentille*. La forme des lentilles, et par suite leur propriété de réunir ou d'écarter les rayons lumineux, peuvent varier à l'infini, puisqu'on dispose de deux surfaces que l'on peut faire à volonté ou concaves ou convexes, et dont les rayons de courbure peuvent prendre toutes les longueurs possibles. Elles sont dites *convergentes* ou *divergentes*. Au premier groupe appartiennent les lentilles dont le centre est plus épais que le bord; celles, au contraire, dont le bord est plus épais que le centre, sont comprises dans la seconde catégorie.

La distance à laquelle s'opère le croisement des rayons tombés parallèlement sur la lentille est ce qu'on appelle la distance focale principale; on la trouve par expérience, et, une fois connue, elle peut servir à prévoir la distance d'un des foyers conjugués, celle de l'autre étant donnée. On peut trouver *a priori* cette distance focale principale et la déduire de l'indice de réfraction de la substance qui compose la lentille et des rayons de courbure qui la terminent.

Décomposition et recomposition de la lumière.

Si l'on fait tomber sur une des faces d'un prisme un mince faisceau de lumière solaire pénétrant dans une chambre obscure par un orifice étroit, celui-ci éprouve, en traversant successivement les deux surfaces, deux réfractions dans le même sens, et peut être projeté finalement sur un écran. Outre que le faisceau est dévié vers la base du prisme, on trouve qu'il se dilate dans le plan de réfraction et donne naissance à une image oblongue, formée par la succession et la superposition de disques circulaires dus à la forme circulaire du soleil. Cette image, issue de rayons primitivement blancs, étale aux yeux les plus vives couleurs, parmi lesquelles on distingue les nuances suivantes : *rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet.* L'ordre dans lequel nous venons de les énumérer est constant, et toujours c'est le rouge qui éprouve la moindre déviation. Tout rayon ou tout faisceau de lumière blanche que l'on voit se résoudre ainsi en une image colorée porte généralement après sa transformation le nom de *spectre*. Le *spectre solaire* est celui que l'on forme avec la lumière empruntée au soleil. En réalité, il ne se compose pas seulement de sept couleurs, mais bien d'une infinité de couleurs qui viennent se ranger d'elles-mêmes dans l'ordre de leur réfrangibilité.

Newton, qui a analysé le premier cette belle expérience, en a conclu que la lumière blanche n'est pas homogène, qu'elle est composée d'une infinité de rayons qui diffèrent les uns des autres par la couleur et aussi par leur aptitude à être plus ou moins déviés par la réfraction; cette dernière qualité, plus ou moins développée chez les rayons de différentes couleurs, est ce qu'on appelle la *réfrangibilité*. Quand un faisceau de lumière, émané du soleil, traverse les espaces célestes, ou bien pénètre dans des milieux réfringents normalement à leur surface, il n'y a pas de raison pour que les diverses espèces de rayons dont il se compose s'isolent les uns des autres; mais du moment où ce faisceau rencontre sur son passage la surface oblique d'un milieu réfringent, celui-ci agit inégalement sur les différents rayons, leur imprime des directions variées, et fait apparaître le brillant phénomène de la *dispersion*.

Ce qui prouve que dans son passage à travers le prisme la lumière blanche n'a été que décomposée et non altérée, c'est qu'on peut la recomposer en recevant le spectre entier sur une large lentille convergente ou sur un miroir concave, qui auront pour effet l'un et l'autre de réunir en un foyer les rayons de toutes couleurs et d'y faire réapparaître la lumière blanche.

Au lieu d'opérer la recomposition complète de la lumière, il est curieux d'en combiner ensemble partiellement les rayons. On reçoit un spectre sur un système de plusieurs miroirs plans qui peuvent prendre indépendamment les uns des autres toutes sortes de positions; on en profite pour recevoir sur quelques-uns d'entre eux les rayons dont on veut connaître l'effet résultant, et l'on fait converger ces mêmes rayons après leur réflexion sur un écran placé à proximité. Quand on fait concourir de la sorte en un même lieu tous les rayons du spectre, on tombe sur une nouvelle manière de recomposer la lumière blanche; mais si l'on partage tous ces miroirs en deux groupes disposés pour recevoir la totalité du spectre, et si chaque groupe est orienté pour déterminer sur l'écran un point de convergence, il en résultera deux images colorées, qui, par leur réunion, régénéreraient la lumière blanche. Quel que soit le mode de répartition des deux groupes de miroirs par rapport au spectre, les

couleurs qu'ils font naître sont dites *complémentaires*, l'une par rapport à l'autre; et en général on nomme ainsi deux couleurs susceptibles, par leur réunion, de donner du blanc.

Les teintes formées d'une partie des rayons colorés, toutes variées qu'elles soient, ne se forment pas au hasard, elles obéissent à des lois déterminées. Cela est si vrai qu'après avoir répété un grand nombre de fois ces sortes d'expériences, on finit par acquérir la notion confuse de ces lois, et qu'on peut prédire à l'avance quel sera le résultat du mélange de tels ou tels rayons. Mais, pour arriver à la précision, on rencontre un obstacle insurmontable dans l'impossibilité absolue d'évaluer numériquement nos sensations visuelles. Aussi est-il bien curieux que Newton ait pu formuler une règle empirique que nous avons rapportée à l'article CONTRASTE DES COULEURS, à l'aide de laquelle il est permis de prévoir, comme par le fait d'une très-grande habitude, les effets résultant d'un mélange de rayons donnés.

Couleurs propres des corps. — Puisque toutes les couleurs existent dans la lumière blanche, on admettra sans peine que les corps de la nature lui empruntent les teintes qui les distinguent les uns des autres. Ceux qui renvoient indistinctement tous les rayons tombant à leur surface sont pour nous des corps blancs, tels sont le papier, la neige, et généralement tous les corps transparents et incolores, réduits en poudre fine ou en filaments déliés. Les corps noirs, au contraire, sont ceux qui absorbent également et en abondance toutes les espèces de rayons; leur présence au milieu d'autres objets qui rayonnent plus vivement fait naître cette sorte de contraste que l'on rapporte ordinairement à la couleur noire. Enfin les corps qui absorbent certains rayons préférablement aux autres nous paraissent doués de la teinte complémentaire de celle que formeraient les rayons absorbés; ainsi l'on peut être assuré, en voyant un corps rouge, qu'il absorbe le vert, et, semblablement, que les corps jaunes absorbent le violet, et les violets le jaune. On en acquiert la certitude en promenant dans le spectre des corps remarquables par une couleur franche; on les voit alors devenir très-lumineux quand ils sont plongés dans les rayons qui présentent le plus d'analogie avec leur teinte propre; dans les autres parties du spectre, ils paraissent presque noirs, et le peu de lumière qu'ils réfléchissent est toujours identique pour la couleur aux rayons éclairants; elle n'est aucunement influencée par la teinte propre du corps.

Les milieux transparents et diversement colorés présentent des phénomènes analogues. Quand une substance transparente et incolore, comme le verre, l'eau, le cristal de roche, est placée comme écran sur le trajet des rayons qui composent un spectre, celui-ci reste inaltéré. Mais si la substance est fortement colorée, soit en rouge, en bleu ou en vert, le spectre en le traversant se dépouille de certaines couleurs et conserve avec une intensité prédominante celles que l'on reconnaît à l'œil dans la substance interposée; autrement dit, un verre rouge, vert ou bleu est transparent pour le rouge, pour le vert ou pour le bleu, et se montre au contraire plus ou moins opaque pour les autres couleurs.

Achromatisme. — Achromatiser un rayon de lumière qui a été dispersé par la réfraction, c'est le recomposer dans son état primitif sans annuler sa déviation.

Si on réunit deux espèces de verre nommées crown-glass et flint-glass, le dernier produisant une dispersion bien plus forte que le premier, on conçoit que, par des épaisseurs et formes convenables, on pourra contre-balancer la dispersion. Toutefois, la recomposition de la lumière n'est jamais obtenue complétement au moyen des verres que l'on possède; l'achromatisme n'est jamais parfait : cela tient à ce que les spectres obtenus par les prismes de crown et de flint ne sont pas entièrement superposables. Certaines couleurs sont plus dilatées dans l'un, plus contractées dans l'autre; ces spectres sont, comme on dit, *irrationnels*. Quand l'achromatisme a été obtenu aussi parfaitement que possible, c'est-à-dire quand les rayons rouges et violets ont été ramenés au parallélisme, les rayons intermédiaires conservent une petite divergence qui devient sensible à grande distance.

Raies du spectre. — En étudiant le spectre solaire, Wollaston remarqua plusieurs lignes nettement accusées entre des couleurs voisines, et bientôt après Frauenhoffer montra qu'il existait un très-grand nombre de raies noires dans toute l'étendue d'un spectre, raies qui sont perpendiculaires à la plus grande longueur de l'image.

Le nombre des raies et surtout leur disposition varient avec la nature de la source lumineuse; et dans certains cas on voit des bandes brillantes d'un éclat remarquable se substituer aux lignes noires du spectre solaire.

Frauenhoffer a établi le premier de ces deux résultats, en comparant aux raies du spectre solaire celles du spectre qui lui fournissait la lumière des planètes ou celle des étoiles. La lumière des premières est bien identique à la lumière du soleil dont elle provient, tandis que celle de chaque étoile fixe fournit des raies disposées d'une manière particulière qui indique des différences dans leur constitution.

Quant à l'autre phénomène, celui de l'apparition des bandes brillantes, on l'a découvert en étudiant les spectres formés par des lumières artificielles. Il devient surtout extrêmement remarquable, lorsque les rayons sont émis par l'arc lumineux que l'on obtient entre les deux pôles d'une pile, lorsque l'on volatilise et brûle entre eux une substance métallique.

Analyse spectrale. — Ce sont ces bandes co-

lorées en raison de la nature des substances volatisées dans la flamme que MM. Bunsen et Kirchhoff ont mises à profit pour constituer un nouveau mode d'analyse chimique qui constitue une des découvertes les plus curieuses de notre siècle.

« Ils ont vu, dit M. Dumas, que tous les sels d'un même métal, mis en contact avec une flamme, produisent dans le spectre des raies colorées, brillantes, identiques de teintes et de situation; que les sels des métaux différents produisent des raies différentes de teintes et de position; enfin, que des quantités infiniment petites d'un métal suffisent pour en faire apparaître les caractères spécifiques.

« Chacun des métaux, ou plutôt, en généralisant la proposition, chacun des éléments de la chimie actuelle imprime donc au spectre des flammes, au sein desquelles sa vapeur se répand, un caractère propre qui signale sa présence; méthode d'analyse chimique aussi extraordinaire par sa simplicité et son exquise sensibilité que par sa généralité et sa certitude, car elle indique dans tout composé ou dans tout mélange quels éléments s'y trouvent, quels éléments y manquent, et, chose plus merveilleuse encore, elle y manifeste avec une incomparable précision la présence même de tout élément inconnu jusqu'ici.

« La méthode est tellement délicate, et ce spectre se montre tellement impressionnable, que la puissance de ces nouveaux moyens d'analyse dépasse tout ce que l'imagination aurait pu rêver. Que l'on partage, par exemple, un kilogramme de sel marin en un million de parties et chacune de celles-ci en trois millions d'autres plus petites, une seule de ces dernières traces si insaisissables de sel marin suffira pour communiquer à la flamme les propriétés caractéristiques par lesquelles se révèle la présence du sodium, qui en est la base.

« C'est ainsi que MM. Bunsen et Kirchhoff ont reconnu que des éléments réputés très-rares, tels que le lithium, faisaient, en réalité, partie des matières les plus communes, et c'est ainsi que, rectifiant les anciennes analyses chimiques les plus dignes de confiance, ils ont signalé dans les roches et les sédiments très-répandus à la surface de la terre certains éléments que rien n'y faisait soupçonner.

« C'est ainsi surtout que l'apparition dans le spectre de caractères qui n'appartenaient à aucun métal connu a permis à MM. Bunsen et Kirchhoff de deviner l'existence, dans certains produits minéraux, de deux métaux dont les traces auraient été inappréciables par tout autre moyen. Justement confiants dans la sûreté du principe qui leur servait de guide, ils sont parvenus à les isoler en quantité convenable à une étude exacte. Le *rubidium* et le *cæsium*, dont la découverte fait époque dans l'histoire des sciences, sont, dès à présent, inscrits à leur rang parmi les corps simples.

« Désormais aucun élément connu ou inconnu ne pourra donc se dérober aux perquisitions de la chimie; les lacunes existant encore dans la liste des corps simples qui empêchent d'en compléter le classement méthodique seront comblées; l'analyse des eaux minérales sera moins souvent impuissante à rendre compte de leurs propriétés thérapeutiques; la géologie, qui employait surtout les débris des êtres organisés comme témoignages de la contemporanéité des terrains sédimentaires, invoquant la présence ou l'absence de certain élément dans ces mêmes terrains, comme caractères non moins décisifs, rétablira la constitution chimique des mers antédiluviennes d'où ils ont été déposés, ainsi qu'elle en a restitué depuis un demi-siècle la population végétale ou animale. »

Double réfraction.

Nous avons supposé que les substances à travers lesquelles passait la lumière pour se réfracter étaient composées de molécules équidistantes et par suite exerçant une action égale sur la lumière. Il n'en est pas ainsi pour la plupart des substances cristallisées, et alors la loi de la réfraction est plus compliquée que la loi de Descartes. Lorsque la forme primitive élémentaire du cristal diffère du cube ou de l'octaèdre régulier, un rayon lumineux en pénétrant dans le milieu cristallisé se décompose en deux faisceaux différents; l'un de ces faisceaux suit la loi ordinaire, et l'autre une loi toute différente, lorsque la forme primitive est un polyèdre semi-régulier, comme un rhomboïde, un octaèdre isocèle à base carrée; ces deux faisceaux suivent tous les deux des lois nouvelles quand la forme primitive est un polyèdre tout à fait irrégulier.

Les cristaux dans lesquels on observe la double réfraction forment ainsi deux classes distinctes. Si l'on taille une face plane dans un cristal de l'une ou l'autre classe, un rayon lumineux qui y tombera perpendiculairement se divisera, en général, en deux faisceaux; mais pour un cristal de la première classe il existe une seule direction particulière de la face plane, pour laquelle le rayon incident normal pénètre sans se diviser. Pour un cristal de la deuxième classe, il y a deux directions qui jouissent de cette propriété. La normale à la face particulière d'un cristal doublement réfringent pour laquelle cette propriété est observée, ou la direction suivie par le rayon incident normal non divisé, est appelée un axe de *double réfraction*. C'est pour cela qu'on donne aux deux classes différentes de cristaux, jouissant de la double réfraction, le nom de cristaux à un seul axe et celui de cristaux à deux axes.

Parmi les cristaux à un seul axe on doit particulièrement distinguer la chaux carbonatée connue

sous le nom de spath d'Islande : c'est la substance la plus usitée dans les expériences.

Polarisation.

Lorsqu'un rayon lumineux incident normal traverse un cristal à un seul axe doublement réfringent, et à faces parallèles, il s'y partage en deux rayons réfractés d'inégale intensité. Si les deux rayons émergents de ce premier cristal sont reçus sur un autre cristal à faces parallèles, aussi doublement réfringent, chacun d'eux s'y bifurque encore en deux autres, en sorte qu'il y a quatre rayons émergents du second cristal. Si donc on regarde un objet à travers les deux cristaux, on verra, en général, quatre images de cet objet. Mais si l'on fait tourner le second cristal, en laissant le premier fixe, on n'apercevra plus que deux images dans quatre positions rectangulaires pour lesquelles les deux sections principales sont parallèles ou perpendiculaires entre elles.

L'intensité de lumière de ces quatre images sera très-différente, si ce n'est pour certains angles ; d'où l'on doit conclure que la lumière qui a traversé un cristal bi-réfringent a acquis des propriétés nouvelles et qui la distinguent de la lumière naturelle.

Celle-ci peut acquérir ces propriétés nouvelles après une simple réflexion sur des corps polis, sous de certaines incidences.

On donne le nom de polarisation à la propriété que la lumière réfléchie acquiert dans ces circonstances, parce que, pour l'expliquer dans le système de l'émission, on admettait que les molécules lumineuses ont deux pôles ou centres d'action analogues aux pôles des aimants, et que la réflexion fait tourner toutes les molécules lumineuses du rayon réfléchi suivant une même direction, de manière que l'axe de chacune d'elles, ou la ligne qui joint ses pôles, soit parallèle au plan de réflexion. De cette hypothèse sont nées plusieurs dénominations : la lumière qui jouit des propriétés énoncées précédemment est dite *polarisée* ; on appelle *plan de polarisation* le plan de la réflexion suivant lequel la lumière a acquis les propriétés dont il s'agit, ou, dans l'hypothèse de l'émission, le plan auquel les axes des molécules de la lumière sont parallèles ; on dit alors que *la lumière est polarisée suivant ce plan*. Ainsi le rayon ordinaire dans le spath d'Islande est polarisé suivant le plan de la section principale, et le rayon extraordinaire l'est suivant un plan perpendiculaire à cette section principale.

Si l'on reçoit un rayon polarisé, c'est-à-dire réfléchi par une glace de verre sous l'angle de 35° 25′ sur une seconde glace faisant le même angle avec ce rayon ; que l'on fasse tourner cette seconde face autour du rayon, sans changer l'angle qu'elle fait avec lui ; on remarque que la lumière réfléchie par cette nouvelle glace a son maximum d'intensité quand le second plan de réflexion est parallèle au premier, qu'il n'y a au contraire presque aucune lumière réfléchie lorsque ces deux plans de réflexion sont perpendiculaires entre eux, et que, dans ce dernier cas, toute la lumière polarisée suivant le premier plan de réflexion pénètre dans la seconde glace.

On appelle *angle de polarisation* d'une substance l'angle que doit faire un rayon lumineux incident avec une surface plane et polie de cette substance pour que le rayon réfléchi correspondant soit polarisé le plus complétement possible. Brewster a découvert cette loi remarquable, que l'angle de polarisation est celui pour lequel le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon réfracté. De telle sorte que A étant cet angle, l l'indice de réfraction, $\cos. A = l \sin. A$ ou $\text{tang}. A = \frac{1}{l}$.

L'industrie a su tirer un très-heureux parti des propriétés qu'acquiert la lumière en traversant des milieux cristallisés ou des solutions de corps cristallisables, pour reconnaître la présence des cristaux élémentaires. (Voyez SUCRE, POLARIMÈTRE.)

De la théorie des ondulations.

Comme nous l'avons souvent répété, toutes les recherches scientifiques ont pour objet de rattacher les phénomènes les plus compliqués à des phénomènes dont la nature est intelligible à l'aide des notions fondamentales de la mécanique. On y parvient le plus souvent par des hypothèses heureuses qui permettent de grouper avec avantage un très-grand nombre de faits. Telle est la théorie des ondulations, dans laquelle la lumière est considérée comme se propageant absolument comme le son, par la propagation de vibrations d'un milieu infiniment subtil appelé éther, ce qui ramène les phénomènes lumineux dans le domaine de la mécanique.

Interférences. — C'est par un mode de propagation de cette nature que peut s'expliquer un des phénomènes les plus curieux que présente la lumière ; nous voulons parler des interférences.

Considérons deux systèmes d'ondes, ou deux rayons lumineux déterminés par les axes perpendiculairement auxquels se produisent les vibrations, et qui suivent la même direction de propagation ou deux directions faisant entre elles un très-petit angle. Supposons que ces deux systèmes d'ondes de même longueur soient en retard l'une sur l'autre d'un certain nombre entier ou fractionnaire d'ondulations, soit qu'émanées du même centre d'ébranlement elles y aient eu leur origine à deux époques différentes, soit que, parties en même temps, elles aient parcouru des chemins différents avant d'atteindre le point considéré. Si ce retard est d'un nombre pair de demi-ondulations, elles tendront à imprimer à

chaque instant à l'élément du fluide deux vitesses de vibration égales et de même signe; l'effet de leur superposition sera donc, en quelque sorte, d'augmenter l'intensité de la lumière. Mais, si ce retard est d'un nombre impair de demi-ondulations, les deux systèmes d'ondes tendant à imprimer au même instant à ce même élément deux vitesses égales et de signes contraires, l'effet de leur superposition sera le repos de la molécule et la *lumière de l'un des rayons ajoutée à celle de l'autre produira de l'obscurité.*

C'est ainsi que s'expliquent la scintillation des étoiles, et diverses expériences de physique qui ne peuvent s'analyser si on n'admet le mode de propagation de la lumière par vibrations.

DE L'EXISTENCE DE L'ÉTHER AU POINT DE VUE DES THÉORIES GÉNÉRALES DE LA PHYSIQUE.

Il faut tenir compte de l'existence de l'éther démontrée par les phénomènes lumineux qui ne peuvent s'analyser qu'avec son aide, dans les diverses théories de la physique, pour celles surtout où il a fallu faire pour l'explication des faits des hypothèses qui ne sont pas justifiées par d'aussi brillantes conséquences théoriques que celles auxquelles l'éther a conduit, qui ne sont pas nécessaires au même degré.

L'existence de l'éther paraît, avec celle de l'attraction moléculaire, devoir suffire pour le grand œuvre de la corrélation synthétique des phénomènes physiques qui paraît devoir être le grand progrès que notre époque accomplira dans le domaine scientifique. Voici comment s'exprime à ce sujet un de nos savants les plus profonds, M. Lamé.

« L'existence du fluide éthéré est incontestablement démontrée par la propagation de la lumière « dans les espaces planétaires, par l'explication si « simple et si complète des interférences dans « la théorie des ondes; enfin par les lois de la « double réfraction qui prouvent avec non moins « de certitude que l'éther existe dans les milieux « diaphanes. Ainsi la matière pondérable n'est pas « seule dans l'univers, ses particules nagent en « quelque sorte au milieu d'un fluide. Si ce « fluide n'est pas la cause unique des phénomènes observables, il doit au moins les modifier, « les propager, compliquer leurs lois. Il n'est « donc plus possible d'arriver à une explication « rationnelle et complète des lois de la nature « physique sans faire intervenir cet agent dont la présence est inévitable. »

Si nous passons en revue, en tenant compte de cet élément, les deux grandes catégories de phénomènes physiques, ceux qui se rapportent à la chaleur et ceux qui se rapportent à l'électricité, dont nous avons parlé sans tenir compte de l'éther, il sera facile de voir que plusieurs lacunes évidentes seront comblées, que la voie dans laquelle des progrès futurs doivent presque sûrement faire entrer la science sera indiquée.

Chaleur. — Les phénomènes de la chaleur rayonnante sont de tout point assimilables à ceux de la lumière, et Melloni a démontré qu'aucune distinction n'était possible. C'est donc par les ondulations de l'éther que la propagation se produit dans l'un et l'autre cas pour produire des réflexions, des réfractions, etc., suivant les mêmes lois.

Si l'éther joue un très-grand rôle dans les phénomènes de la chaleur rayonnante, il n'est pas permis de ne pas en tenir compte dans l'étude de la chaleur dans les corps, qui se formule si complétement dans la *Théorie mécanique de la chaleur.* Celle-ci suffit pour le calcul total des effets, mais l'intervention de l'éther conduit à l'explication de la manière dont se produisent les phénomènes; il contribue d'une manière prédominante à la production des impulsions, cause des changements que la chaleur produit dans les corps, et même ainsi à l'analyse de leur constitution intime.

L'ensemble des faits, ceux de réfraction notamment, devant faire admettre que la molécule pondérable agit sur l'éther, condense autour d'elle une atmosphère éthérée, on peut, en effet, déduire de cette notion l'explication de faits difficiles à analyser sans son aide, je veux parler des communications des mouvements de l'éther aux molécules pondérables, et inversement.

L'éther en vibration, comme nous le voyons dans la chaleur rayonnante, ne paraît pas pouvoir agir directement sur les molécules pondérables dont la masse est infiniment grande par rapport à la sienne; on conçoit, au contraire, fort bien qu'il agit nécessairement sur l'éther adhérent aux molécules, action transmise à celles-ci immédiatement par l'effet de cette adhérence même. Inversement les molécules pondérables entraînent dans leurs mouvements l'éther adhérent, et les vibrations de celui-ci se communiquent à l'éther ambiant pour faire naître le calorique rayonnant.

Électricité et magnétisme. — L'électricité, qui ne rentre que par des métamorphoses d'effets dans la grande synthèse des forces physiques, y sera sans doute ramenée prochainement par l'analyse même des premiers effets, au moyen du principe des atmosphères moléculaires. N'est-il pas infiniment probable que les effets des courants, leur rapide propagation à travers les corps, tout à fait assimilable pour la vitesse à celle des phénomènes lumineux à travers l'éther libre, se rapportent à des actions produites dans l'éther condensé autour des molécules? Sans développer des considérations qui n'ont pas encore pris place dans la science, nous pouvons indiquer à coup sûr que cette route doit conduire à l'explication des faits, des métamorphoses nombreuses des phénomènes électriques en phénomènes calorifiques ou lumineux, qui démontrent l'homogénéité intime de ces divers modes d'action.

I. PHYSIQUE INDUSTRIELLE.

La physique industrielle comprend les applications au travail industriel des théories que fournit l'étude des forces et agents divers de la nature, l'utilisation des lois générales des phénomènes que l'on observe.

Nous avons reconnu que l'étude scientifique des forces de la nature consiste à mesurer, suivant les cas, les quantités, l'étendue, les mouvements produits; que, par suite, la physique ne présente, pour des phénomènes en apparence d'un ordre spécial, que des applications multiples des sciences mathématiques.

Pour rendre possible l'application des lois, il faut que l'expérience ait constaté les relations des phénomènes qui se succèdent, dans chaque cas, avec la cause qui les produit. Mais on voit de suite à quel degré de précision, en quelque sorte mathématique, il faut que l'art expérimental soit amené pour que la loi réelle puisse se dégager des résultats nécessairement toujours fort complexes que l'expérience fournit, pour que les mille causes d'erreur qui se rencontrent dans la pratique soient évitées, ou au moins appréciées; combien, en un mot, la loi mathématique d'un phénomène est difficile à découvrir. Il est évident que de semblables lois, dès qu'elles sont établies, fournissent des règles certaines pour la pratique. Ainsi la loi mathématique de la réfraction de la lumière permet de déterminer les formes et les courbures des lentilles des instruments d'optique, et donne par suite la règle de la pratique. Mais la certitude mathématique fait souvent défaut quand il s'agit des phénomènes naturels, et dans les cas les plus fréquents, les lois physiques ne sont que des approximations obtenues par la vérification approchée des résultats de l'expérience avec une loi mathématique admise pour la loi véritable. Mais alors même que les lois obtenues sont scientifiquement incomplètes, ne sont qu'approchées, elles sont suffisantes pour les applications pratiques.

Les lois empiriques déduites des expériences s'appliquent directement à l'industrie, aussitôt qu'un emploi industriel le réclame, que le phénomène vient à être utilisé. Obtenues dans des conditions semblables à celles des applications, elles trouvent dans l'industrie un utile emploi, même sans avoir un véritable caractère scientifique, et leur ensemble constitue, à proprement parler, une science expérimentale, une des sciences que nous appellerons sciences de l'ingénieur.

Il n'y a donc pas ici de place pour des connaissances intermédiaires entre la science et l'application, comme lorsqu'il s'agit de sciences abstraites. Ainsi, entre les résultats expérimentalement et scientifiquement déduits relativement à la chaleur, et les règles qui guident dans le chauffage, nul intervalle; toute la différence entre la théorie pure et la règle de la pratique n'est que dans l'utilisation, dans la pratique d'une partie seulement des lois découvertes.

C'est, au reste, le caractère des sciences de la nature de s'appliquer directement et immédiatement à l'industrie, et cela résulte trop évidemment de leur essence même pour qu'il y ait lieu d'insister à cet égard.

Un des plus importants emplois de l'étude physique des corps est, après celle de la mécanique physique qui repose sur l'étude de leur constitution, et que nous étudierons plus loin comme une science appliquée qui procède à la fois de la mécanique et de la physique, la classification, la connaissance des corps, d'après leurs propriétés physiques bien définies. Passons en revue les principales divisions établies.

Cristallographie. — De la forme que prennent les corps susceptibles de cristalliser, se déduit un moyen de les classer, moyen fort commode pour trouver dans les recherches minéralogiques la nature d'un minéral cristallisé, presque par une simple inspection. Cette étude intéressante a été ramenée par Haüy à un ensemble de doctrines qui, appliquées à tous les corps, offrent le caractère d'une science naturelle. Ce n'est pourtant pas véritablement une science dans le sens que nous attachons à ce mot, comme nous le disons plus loin; elle ne constitue en réalité qu'un catalogue des corps arrangés d'après le point de vue physique des formes qu'ils prennent en cristallisant.

Il n'en serait pas ainsi si l'on pouvait prévoir ces formes, les déduire de l'ensemble des conditions de leur formation. C'est dans la chimie que rentrent les recherches qui paraissent pouvoir conduire à la solution de ce problème, celles qui se rapportent aux corps isomorphes et aux corps dimorphes notamment.

Dureté, — Ductilité, — Malléabilité, — Élasticité, — Ténacité. — Toutes ces propriétés physiques des corps solides, considérés au point de vue des résistances qu'ils opposent aux actions des forces qui agissent sur eux, forment l'objet de la mécanique physique dont nous parlons plus loin, c'est-à-dire sont utilisées surtout au point de vue mécanique auquel elles se rapportent. Les corps, considérés par rapport à ces propriétés, peuvent être rangés dans un ordre où celles-ci vont croissant ou décroissant, et l'industrie tire grand parti de semblables tableaux, qui lui indiquent les corps les plus convenables à employer dans chaque cas.

Ainsi la dureté des corps sera indiquée par un tableau où les corps seront disposés de telle sorte, que l'un soit rayé par ceux qui le précèdent et raye ceux qui le suivent.

Caractères physiques en général. — En réalité tous les caractères physiques qui servent à défi-

nir les corps sont la base de semblables classifications utiles pour les applications. Telle est la couleur, la conductibilité pour la chaleur, l'électricité, etc., caractères qui permettent de rendre raison de l'emploi des divers corps dans l'industrie.

Corps liquides et gazeux. — De même que les propriétés physico-mécaniques des solides, celles des liquides et des gaz trouvent des applications de toute sorte dans l'industrie; et il résulte du caractère de science de la nature qui appartient à la physique, que les connaissances qui en font partie se trouvent être directement applicables. Ainsi, pour les liquides l'incompressibilité, la capillarité, etc.; pour les gaz, la faible densité, la loi de leur compression, etc., trouvent des applications de chaque instant.

Chaleur. — L'art du chauffage est fondé entièrement sur l'étude scientifique de la production et de la propagation de la chaleur, mais n'a besoin d'emprunter à la théorie qu'une partie des connaissances qu'elle fournit, complétée par des règles empiriques suffisamment exactes pour la pratique; sa théorie doit être considérée comme constituant une science d'ingénieur. La production du travail mécanique par la chaleur, étude qui n'est plus seulement physique, qui se rapporte autant aux phénomènes du ressort de la mécanique qu'à ceux qui sont l'objet de l'étude de la physique, constitue une section capitale de la mécanique physique.

Lumière. — Comme les règles fournies par l'étude des phénomènes calorifiques guident pour les applications au chauffage, l'art de l'éclairage emprunte les siennes à la théorie de la lumière.

La photographie fournit une application industrielle nouvelle des propriétés des lentilles de réduire les images des corps, et a permis d'obtenir par l'action de la lumière la représentation perspective des objets.

Acoustique. — L'acoustique fournit toutes les lois auxquelles doivent satisfaire les instruments de musique, et fournit un exemple des cas où l'expérimentation des industriels a bien souvent devancé les recherches des savants.

Électricité. — *Magnétisme.* — Les applications des phénomènes de l'électricité et du magnétisme, et par suite des lois que la science est parvenue à reconnaître, sont nombreuses dans l'industrie et le deviennent encore bien davantage chaque jour. Citons, entre autres, la galvanoplastie, la boussole, la télégraphie électrique, l'éclairage électrique, etc.

V. CHIMIE.

Si, au lieu de se borner à l'étude générale des corps, indépendamment de tout changement dans leur nature, comme on le fait dans la physique, on étudie, au contraire, exclusivement ces modifications spéciales dans la nature de chacun d'eux mis en rapport avec tous les autres et dans toutes les circonstances imaginables, on rentre dans le domaine de la science appelée *chimie*. On comprend quels grands résultats a dû produire une science qui accroît en quelque sorte la nature par la création incessante de nouveaux corps, et par suite quels importants résultats elle a fournis à l'industrie depuis qu'elle a été si récemment constituée.

Méthode. — Au point de vue de la méthode scientifique, il est à remarquer que c'est en chimie que l'*observation* proprement dite acquiert son entier développement. En astronomie, la vue, en physique, la vue, l'ouïe et le toucher, tels sont nos moyens d'exploration. En chimie, le goût et l'odorat viennent se joindre aux sens précédents, et acquièrent une importance dont on ne peut se faire une idée qu'en supposant pour un instant ce que serait la chimie sans l'emploi de ces deux sens, en analysant leur influence dans le langage chimique, les acides, les amers, etc. Mais c'est surtout la balance qui, depuis Lavoisier, a constitué la science en y introduisant la précision et l'élément *mesure*. La propriété générale de tous les corps d'être pesants et l'axiome fondamental que la matière ne se détruit pas, que *rien ne se perd, rien ne se crée,* comme disait Lavoisier, telles sont les données sur lesquelles, à la suite de ce grand homme, a été élevé avec une rapidité inouïe un merveilleux édifice.

De l'ordre assigné à la chimie. — Nous paraissons négliger, dans l'ordre que nous suivons ici, une foule de connaissances, indispensables cependant pour l'existence même de la chimie, comme la minéralogie, la géologie, etc. Nous laissons en apparence une lacune considérable.

C'est qu'il faut distinguer, dit A. Comte, par

rapport à tous les ordres de phénomènes, deux ordres de sciences : les unes, abstraites, générales, ont pour objet la découverte des lois qui régissent les diverses classes de phénomènes, en considérant tous les cas qu'on peut concevoir; les autres, concrètes, particulières, descriptives et qu'on désigne quelquefois sous le nom de sciences naturelles proprement dites, consistent dans l'application de ces lois à l'histoire effective des différents êtres existants. Les premières sont fondamentales, les autres, quelle que soit leur importance propre, ne sont réellement que secondaires, bien qu'indispensables pour les applications.

Telles sont, par exemple, la chimie et la minéralogie; la première est évidemment la base rationnelle de la seconde. Dans la chimie, on considère toutes les combinaisons possibles des molécules, dans toutes les circonstances imaginables; dans la minéralogie, on considère seulement celles de ces combinaisons qui se trouvent réalisées dans la constitution effective du globe terrestre, et sous l'influence de circonstances particulières.

Nous devons donc subordonner aux sciences *dynamiques*, à celles qui se rapportent aux lois de phénomènes mécaniques, et telle est la chimie qui se rapporte évidemment à des phénomènes de mécanique moléculaire, les sciences naturelles descriptives, celles qui ont pour objet le catalogue des corps qui se rencontrent dans l'univers, qui ne fournissent aucun moyen d'action sur ceux-ci : telles sont la minéralogie et la géologie qui indiquent dans quel état et où se rencontrent les substances qui font l'objet de la chimie générale dont nous allons parler, et qui sont par suite d'un grand intérêt industriel. Nous les rencontrerons plus loin lorsqu'il s'agira non des lois de l'action de l'homme sur la nature, mais du travail même dans son application. Nous ne contestons pas l'importance de leur étude; nous disons seulement qu'elles sont d'un ordre tout à fait différent des sciences proprement dites. Leur importance dépend bien plus de la variété des objets qui se rencontrent dans l'univers que de leur valeur propre au point de vue intellectuel; car toutes les lois qui ont présidé à la formation des corps qu'elles étudient ne sont autres que les lois qui constituent la chimie et la physique.

LOIS DE LA CHIMIE GÉNÉRALE.

Distinction des corps en corps simples et en corps composés. — Les corps composés sont ceux desquels on peut extraire plusieurs substances différentes entre elles par leurs propriétés et différentes de la substance primitive. Au contraire, on considère comme simples tous les corps qui n'ont pu être décomposés en d'autres principes.

On compte aujourd'hui 65 corps simples, parmi lesquels 45 seulement sont l'objet des études sérieuses des chimistes; les autres, rares et récemment découverts, offrent peu d'intérêt.

Un assez grand nombre de corps simples, le chlore, l'iode, le brome, par exemple, sont assez voisins les uns des autres par leurs diverses propriétés, forment assez clairement des familles naturelles, pour qu'on puisse penser que plusieurs de ces corps pourront un jour être reconnus avoir un radical commun; mais les chimistes ont grand soin de se fier, pour la majeure partie, aux progrès de la science du soin d'éclairer ce genre de questions et de ne pas perdre leur temps en recherches qui seraient évidemment faites dans une fausse voie; car c'est celle où se rencontre cette espèce de folie qui a fait tant de victimes, la recherche de la pierre philosophale: Personne ne peut prévoir ce que les progrès de la science amèneront à ce sujet; il n'est pas absolument impossible que certains métaux voisins ne puissent, comme les corps que nous venons d'indiquer, provenir d'un corps plus simple et par suite le métal le plus précieux être obtenu à l'aide de corps d'une moindre valeur. Tout ce qu'on peut dire, c'est que, dans l'état actuel de la science, rien de semblable n'est possible, et que ce ne peut être que de la découverte de lois nouvelles, c'est-à-dire des progrès généraux de la science que peut jamais provenir une semblable possibilité, mais non de la contemplation indéfinie des corps sur lesquels on croirait trouver bon d'opérer.

La notion de corps simple, dernière limite des décompositions que la chimie parvient à effectuer, peut servir à définir celle-ci, à assigner le but vers lequel elle tend, c'est-à-dire : étant données les propriétés de tous les corps simples, trouver tous les composés qu'ils peuvent former, et les propriétés de ces composés.

Ce but, surtout quant aux propriétés des composés, est malheureusement bien loin d'être atteint; aussi la chimie est-elle encore, sous ce rapport, une science empirique, c'est-à-dire que les propriétés d'un composé ne sont guère connues que par l'expérience, et la science est-elle bien voisine de la simple description du fait. Elle constitue encore une science presque purement expérimentale, purement industrielle par suite, puisque le fait y tient la plus grande place.

Des atomes. — La notion de composé qui est celle sous laquelle nous arrivons à comprendre les divers corps, sauf les corps simples, nous entraîne nécessairement à comprendre comme composée la dernière molécule des corps; elle est formée de la réunion des dernières molécules des corps constituants, de ce qu'on nomme leurs atomes, Ces atomes ne sont pas seulement des entités que l'esprit se propose pour expliquer les phénomènes; ils existent réellement et constituent la limite au-dessous de laquelle la divisibilité de la matière cesse d'être possible. C'est

là une conséquence directe des résultats de la chimie. En effet, si cette proposition était erronée, il est évident que dans les compositions d'un corps avec tous les autres corps, les quantités de ce corps seraient sans aucun rapport entre elles, et les combinaisons de deux corps suivant toutes les proportions imaginables pourraient avoir lieu. Or, il n'en est nullement ainsi.

Loi des proportions multiples. — Lorsque deux corps simples A et B se combinent, si le principe ci-dessus énoncé est vrai, et dans ce cas seulement, 1 atome de A se combinera avec 1, 2, 3, 4... atomes de B, ou bien 2 atomes de A se combineront avec 3, 5, 7... atomes de B, et ainsi de suite. Il est évident, d'après cela, que les quantités pondérables des deux substances A et B que l'on trouvera dans les divers composés qu'elles peuvent former seront entre elles dans des rapports rationnels et commensurables. Ce fait, qui a été parfaitement démontré par l'expérience, est la principale preuve que nous invoquons pour établir la divisibilité limitée de la matière, et l'existence des atomes indivisibles. L'expérience montre même que les rapports les plus simples sont ceux qui se présentent le plus fréquemment; ainsi on rencontre ordinairement dans les corps composés les rapports de 1 : 2, de 1 : 3, de 1 : 4, de 1 : 5 ou les rapports de 2 : 3, de 2 : 5, de 2 : 7.

Cette belle loi établie par Dalton, qui étendit la loi trouvée par Richter, a été confirmée par tous les travaux des chimistes, mais surtout mise hors de doute par Gay-Lussac, qui, dans des expériences faites sur les gaz, put opérer sur les volumes au lieu d'opérer sur les poids. Il a démontré que les gaz (dont la nature ne peut se concevoir qu'en se les représentant comme formés de molécules écartées les unes des autres, molécules qui, pour les gaz simples très-éloignés de leur point de liquéfaction, très-surchauffés, doivent être les atomes mêmes) se combinent toujours dans un rapport simple, et que si le produit de la combinaison est gazeux ou volatil, il existe aussi un rapport simple entre son volume et celui qu'occupaient les gaz avant leur combinaison.

Équivalents chimiques. — On donne le nom d'équivalents chimiques aux nombres qui représentent les quantités pondérables des différents corps pouvant se remplacer mutuellement dans les combinaisons chimiques.

La loi des équivalents repose sur l'idée des rapports simples et des proportions multiples qui règlent toutes les combinaisons chimiques et en est une conséquence indirecte. L'équivalent des corps simples est la quantité la plus minime qui puisse former des composés relativement à une quantité déterminée d'un corps pris pour unité. L'équivalent des composés est la somme des équivalents des corps simples qui les constituent. Ces lois furent d'abord établies par Wenzel et Richter.

La loi de Wenzel peut être énoncée ainsi :

Si P, P′, P″, P‴ représentent les poids d'une série de bases pouvant neutraliser un poids Q d'un certain acide, si Q′, Q″, Q‴ représentent les poids d'une série d'acides neutralisant un poids de la base P, ces quantités d'acides Q′ Q″ Q‴ neutraliseront également les proportions de bases P′, P″, P‴.

La loi de Richter est la suivante :

Pour les sels d'un même genre, il existe un rapport constant entre la quantité d'oxygène de l'acide et la quantité d'oxygène de la base.

Ces lois combinées avec les précédentes permettent d'établir la série des équivalents des corps, c'est-à-dire de former un tableau des proportions en poids suivant lesquels ils se combinent avec une unité déterminée.

On comprend de quelle importance industrielle est une semblable loi qui permet de calculer avec une extrême facilité les dosages des substances à employer pour toutes les combinaisons à effectuer.

Nomenclature chimique. — Parmi les sciences où la multitude des objets considérés excite à la formation des nomenclatures spéciales, la chimie est la seule où, par sa nature, les phénomènes soient assez simples, assez uniformes, et en même temps assez déterminés, pour que la nomenclature rationnelle puisse être à la fois claire, rapide et complète, de façon à contribuer puissamment au progrès général de la science. Toutes les considérations chimiques sont nécessairement dominées, d'une manière directe et incontestable, par une seule notion prépondérante, celle de la composition; le but propre de la science étant de tout rallier à ce caractère suprême. Ainsi le nom systématique de chaque corps, en faisant directement connaître sa composition, peut aisément indiquer, d'abord, un juste aperçu général, et ensuite un résumé fidèle, quoique concis, de l'ensemble de son histoire chimique.

Tel est l'esprit de la nomenclature heureusement fondée par Guyton-Morveau et qui a eu une puissante influence sur les progrès de la chimie. Malheureusement l'esprit de cette nomenclature devait porter l'empreinte des idées théoriques qui régnaient à l'époque où elle fut créée. Ces idées s'étant beaucoup modifiées, il en résulte que la nomenclature n'est plus en harmonie avec l'état actuel de la science et qu'il importerait de la modifier. C'est ce qui a été fait pour quelques noms, mais ne peut être tenté qu'avec une extrême circonspection pour ne pas rompre la tradition entre les ouvrages des chimistes antérieurs à une réforme et ceux postérieurs.

Nous exposerons en quelques mots cette no-

menclature dont les principes ont servi à former tous les noms des composés employés dans l'industrie.

Corps simples. — Les corps simples sont habituellement rangés en deux classes.

Dans la première on range ceux qui sont gazeux et liquides, et ceux qui, étant solides, sont le plus souvent privés de l'éclat métallique, sont mauvais conducteurs du calorique. On les appelle corps simples non métalliques ou métalloïdes. Il y en a 14, savoir :

Oxygène, Hydrogène, Silicium, Bore, Carbone, Phosphore, Arsenic, Soufre, Sélénium, Chlore, Brôme, Iode, Azote et *Fluor.*

La deuxième classe renferme les éléments généralement pourvus de l'éclat métallique, solides à l'exception d'un seul, bons conducteurs du calorique. On les appelle corps simples métalliques ou métaux. On en compte 47, savoir :

Aluminium, Antimoine, Argent, Baryum, Bismuth, Cadmium, Calcium, Cérium, Chrôme, Cobalt, Cœsium, Cuivre, Didymium, Erbium, Etain, Fer, Glucinium, Iridium, Lanthane, Lithium, Magnésium, Manganèse, Mercure, Molybdène, Nickel, Niobium, Or, Osmium, Palladium, Pélopium, Platine, Plomb, Potassium, Rhodium, Rubidium, Ruthénium, Sodium, Strontium, Tantale, Tellure, Terbium, Thallium, Thorium, Titane, Tungstène, Uranium, Vanadium, Yttrium, Zinc, Zirconium.

Des composés binaires. — L'oxygène, que l'on considérait comme le corps par excellence lors du renouvellement de la chimie et qui conserva longtemps dans les esprits quelque chose du phlogistique de Stahl, forme en s'unissant avec les autres éléments, deux classes de corps, les *acides* et les *oxydes;* les premiers ont une saveur aigre, analogue à celle du vinaigre, et rougissent la teinture bleue de tournesol; les deuxièmes sont insipides, ou, s'ils ont une saveur, elle n'est pas aigre, mais âcre et brûlante; ils ramènent au bleu la teinture de tournesol rougie par un acide. Les oxydes conservent toujours ce nom lorsqu'ils n'ont pas de saveur; s'ils en ont une urineuse et analogue à celle de la potasse, on les appelle habituellement alcalis.

Acides. — On ajoute au nom du radical la terminaison *ique* ou *eux,* suivant que le corps renferme une plus ou moins grande quantité d'oxygène; acide sulfureux, acide sulfurique, indiquent l'union du soufre (radical) et de l'oxygène; mais il y a plus d'oxygène dans le deuxième composé que dans le premier.

Cette règle suffisait à l'époque où elle fut faite, quand on ne connaissait que l'oxygène pour principe acidifiant; mais les progrès de la science ont forcé de modifier cette partie de la nomenclature : ainsi, quand l'hydrogène vient former un acide, le nom de l'acide comprend le radical hydro, pour indiquer que l'hydrogène entre dans le composé; l'acide hydrosulfurique ou mieux sulfhydrique est un acide formé d'hydrogène et de soufre.

Oxydes. — Corps composés d'un radical combustible, métallique ou non, et d'oxygène, n'ayant pas de saveur ou ayant une saveur urineuse analogue à celle de la potasse. L'oxygène peut s'unir en diverses proportions avec un radical, en formant toujours un oxyde : on fait donc précéder le mot oxyde des prépositions *prot, deut, per,* pour indiquer la proportion d'oxygène. Protoxyde de potassium, protoxyde et deutoxyde de fer, protoxyde et deutoxyde de mercure, indiquent les combinaisons : 1° d'oxygène et de potassium; 2° de fer avec une et deux proportions d'oxygène; 3° de mercure avec une et deux proportions d'oxygène. Certains oxydes alcalins ont conservé leurs noms anciens : potasse, soude, baryte, strontiane, chaux, etc., se disent pour protoxyde de potassium, protoxyde de sodium, protoxyde de barium.

Composés binaires. — Ils peuvent être formés de deux corps combustibles quelconques. La nomenclature varie suivant que la combinaison a lieu : 1° entre des combustibles non métalliques; 2° entre un métal et un combustible non métallique; 3° entre deux métaux.

Si le composé est liquide ou solide, ou formé de deux substances non métalliques, ou d'un élément métallique et d'un élément non métallique, on nomme le composant non métallique en lui donnant la terminaison *ure,* et on le fait suivre du deuxième élément au génitif; sulfure de phosphore, sulfure de zinc, indiquent les combinaisons binaires liquides ou solides du phosphore et du soufre, du soufre et du zinc.

Si le corps est gazeux, il renferme au moins un gaz dans sa composition; on nomme le gaz le premier, et on le fait suivre du nom du deuxième corps, terminé en *é* : hydrogène carboné, indique le composé gazeux formé d'hydrogène et de carbone.

Les métaux, en se combinant entre eux, forment des composés qui portent le nom générique d'alliages. Exemples : alliage d'étain et de plomb, de cuivre et d'étain.

Sels. — Les composés binaires peuvent s'unir entre eux, de manière à former des composés plus complexes; les acides et les oxydes forment les sels. Voici comment on forme leurs noms. Le nom des acides terminés en *ique* reçoit la désignation *ate;* celui des acides terminés en *eux,* la désignation *ique.* A ces noms ainsi modifiés, on joint le nom de l'oxyde qui fait partie du sel. Ainsi, borate de soude, sulfite de soude désignent

des sels composés d'acide borique ou d'acide sulfureux et d'oxyde de sodium.

De la combinaison des corps.

Les idées de combinaison des corps entraînent nécessairement avec elles l'idée de forces qui les déterminent et que la science doit apprendre à mesurer; cependant, ce n'est que tout récemment qu'on a pensé à atteindre ce que Lavoisier entrevoyait dans le lointain comme le couronnement de l'édifice. Jusqu'ici, les chimistes n'ont guère cherché que les théories conduisant au plus à la prévision de quelques faits; c'est ce que fit Berthollet. Nous ne connaissons, sur ce sujet, qu'un curieux essai de M. Chevreul, auquel nous allons emprunter la partie la plus importante, celle qui se rapporte aux phénomènes de combinaisons et de décompositions sur lesquels reposent la plupart des procédés d'analyse, et l'on verra combien est incomplète aujourd'hui la théorie des combinaisons chimiques.

Analyse chimique. — L'affinité d'antagonisme des corps, considérée au point de vue analytique, c'est-à-dire au point de vue des décompositions des corps composés, se manifeste par des phénomènes dont les principaux peuvent être rapportés aux cinq cas suivants :

Premier cas. — Action des dissolvants sur les principes immédiats d'un sel qui sont inégalement solubles.

Deuxième cas. — Effet de la force d'expansibilité ou de la volatilité considérée relativement à la décomposition d'un sel par un acide, par un alcali ou par un sel.

Troisième cas. — Influence de l'insolubilité considérée dans la précipitation produite par l'addition d'un acide ou d'un alcali à la solution d'un sel.

Quatrième cas. — Influence de l'insolubilité dans la solution mutuelle des sels solubles.

Cinquième cas. — Intervention d'un corps combustible dans la décomposition d'un sel dissous dans l'eau.

Premier cas. — Action des dissolvants sur les principes immédiats d'un sel qui sont inégalement solubles.

Si l'action des dissolvants est généralement plus faible que l'affinité d'antagonisme existant entre un acide et une base salifiable, ce serait une erreur que d'en conclure que l'affinité qui produit une neutralisation étant une force essentiellement supérieure à l'affinité d'un dissolvant pour les corps qu'il dissout, il n'y aura aucun sel susceptible d'être décomposé, en tout ou en partie, par un dissolvant dont l'affinité est plus ou moins différente pour chacun des principes immédiats de ce sel. Il est évident que la température à laquelle le dissolvant agira, et sa masse, sa proportion relativement au sel, auront une grande influence sur le résultat.

Parmi les sels formés d'une base insoluble dans l'eau et d'un acide qui s'y dissout, il en est qui sont réduits par l'action de ce liquide en sous-sel et même en oxyde qui ne se dissout pas, et en acide qui se dissout en entraînant une proportion variable d'oxyde, ou plutôt de sous-sel. Un résultat inverse peut avoir lieu pour un sel dont la base est soluble et l'acide insoluble.

On voit donc comment l'insolubilité d'un des principes d'un sel dans un liquide, capable de dissoudre l'autre principe, peut devenir une cause de la décomposition de ce sel.

Deuxième cas. — Effet de la force d'expansibilité ou de la volatilité considérée relativement à la décomposition d'un sel par un acide, par un alcali ou par un sel.

Un acide volatil est expulsé d'un sel par un acide plus fixe ou moins volatil que le premier dans les circonstances où la réaction a lieu.

La théorie est surtout applicable lorsque la chaleur intervient : ainsi, par exemple, lorsqu'on chauffe du sulfate d'ammoniaque avec du sous-carbonate de chaux, on obtient du carbonate d'ammoniaque sublimé, et un résidu fixe de sulfate de chaux. Les tendances différentes à l'expansion et l'affinité mutuelle des corps fixes d'une part, l'affinité mutuelle des corps volatils d'autre part, expliquent le résultat de la réaction. En effet, la chaleur tendant à volatiliser l'acide carbonique et l'ammoniaque d'une part, affaiblit l'affinité de l'acide sulfurique pour l'ammoniaque, et celle de l'acide carbonique pour la chaux, en même temps que l'affinité mutuelle de l'acide sulfurique et celle de la chaux tendent à constituer un sel fixe à la température où le carbonate d'ammoniaque peut se former par l'affinité mutuelle de l'acide et de la base qui sont tous deux volatils.

Troisième cas. — Influence de l'insolubilité dans la précipitation produite par l'addition d'un acide ou d'une base à la solution d'un sel.

Lorsqu'un sel dissous dans un liquide est formé d'un principe immédiat soluble et d'un principe immédiat insoluble dans ce même liquide, on doit voir dans l'insolubilité du dernier principe une cause tendant incessamment à opérer la décomposition du sel, puisque cette tendance est opposée à l'affinité dissolvante du liquide qui tend à retenir le principe soluble en solution.

De là, les conséquences suivantes :

1° Toute force qui tendra à affaiblir l'affinité du principe soluble pour le principe insoluble, favorisera la séparation des deux principes l'un avec l'autre. Ce sera le cas de l'action d'un corps

soluble doué de l'affinité antagoniste de celle du corps soluble.

2° Toute force qui tendra à augmenter la tendance du principe insoluble à se séparer, favorisera la séparation de l'un des principes du sel d'avec l'autre. Ce sera le cas de l'action d'un corps soluble antagoniste du principe soluble, qui pourra former avec ce dernier un sel insoluble.

Quatrième cas. — Influence de l'insolubilité dans la décomposition mutuelle de deux sels solubles qui ne contiennent ni un même acide, ni une même base.

L'influence de l'insolubilité dans le mélange de deux sels différents par l'acide et la base, mais dissous dans un même liquide, est si grande, qu'en général on peut prévoir l'ordre suivant lequel deux acides et deux bases alcalines qui seront en présence s'arrangeront pour constituer deux sels, lorsqu'on sait, d'ailleurs, le degré de solubilité dans le dissolvant des différents sels que les acides et les bases en présence peuvent constituer. La prévision du résultat de la réaction n'est pas bornée au cas d'insolubilité de l'un ou des deux sels nouvellement produits, elle s'applique encore au cas où les nouveaux produits, sans cesser d'être solubles, l'étant inégalement, la proportion du dissolvant est insuffisante pour les tenir tous deux en solution.

C'est à Berthollet que l'on doit la généralisation des faits concernant la décomposition de deux sels différents l'un de l'autre par l'acide et la base, généralisation qu'on peut formuler ainsi : toutes les fois que deux sels différents par l'acide et la base sont dissous dans un même liquide, ils se décomposent mutuellement, si, du mélange de leurs solutions respectives, il résulte un ou deux sels moins solubles qu'ils ne le sont, et si d'ailleurs ils ne peuvent produire un sel double.

Cinquième cas. — Intervention d'un corps combustible dans la décomposition d'un sel dissous dans l'eau.

Certains sels, ceux d'étain, de plomb, etc., par exemple, sont réduits par le fer et le zinc à l'état métallique.

Quatre forces peuvent concourir à la production de ce phénomène, savoir :

1° L'affinité du corps combustible pour l'oxygène ou le chlore, etc.;

2° La force alcaline du nouvel oxyde formé qui tend à se combiner avec l'acide du sel ;

3° L'état électro-négatif du corps précipité résultant de son contact avec le corps précipitant;

4° L'affinité du corps précipitant pour le corps précipité.

Résumé. — Ces divers résultats d'expérience, groupés d'une manière empirique sous forme de lois, ne forment évidemment qu'un premier pas vers une théorie bien vaguement entrevue. Les notions qui s'en dégagent et que l'on peut essayer de généraliser sont, avec celle de l'attraction moléculaire : 1° l'idée de dualisme; 2° celle de l'intervention des phénomènes de la chaleur en présence des affinités.

1° L'idée de dualisme, c'est-à-dire d'antagonisme entre molécules de nature différente, a reçu des développements théoriques exagérés en chimie minérale ; c'est ce qu'a prouvé l'étude des composés organiques; tous formés de groupements variés de trois, quatre éléments, dans lesquels l'un d'eux peut être remplacé par un autre. Toutefois, il est vrai que le dualisme est respecté le plus souvent lorsque les forces qui ont déterminé une première combinaison sont énergiques, ce qui fait que dans les diverses réactions où elle est engagée, on reste fort éloigné du point où la séparation de ses éléments pourrait avoir lieu. Ainsi, l'acide sulfurique une fois formé pourra participer à bien des compositions et décompositions salines, sans se trouver dans des conditions où le soufre et l'oxygène qui le forment pourraient se séparer. Il agit donc nécessairement comme un corps simple, et c'est parce qu'il en est le plus souvent ainsi dans la chimie minérale que la loi du dualisme y doit être reconnue comme capitale ;

2° Si on cherche les causes premières des réactions formulées ci-dessus, on reconnaîtra facilement qu'elle résident dans des quantités de chaleur. En effet, quelle est la cause de l'insolubilité d'un corps? Ce ne saurait être l'absence absolue d'attraction qui existe toujours entre les molécules matérielles; c'est la distance du point de fusion de ce corps, c'est la chaleur latente qui répond à l'éloignement du corps considéré de l'état liquide, celui du dissolvant, à la température de l'expérience. Un état analogue à celui de liquidité, la mobilité moléculaire, est évidemment la condition essentielle de toute réaction; *corpora non agunt nisi soluta* était un aphorisme souvent répété autrefois. C'est en effet à l'étude de la production de la chaleur que se ramène le problème de mécanique moléculaire, dont on étudie en chimie les manifestations diverses, et les différents effets dus à la solidification, à la vaporisation répondent à des effets produits par des quantités de chaleur de changement d'état. C'est ce que nous allons facilement reconnaitre.

MÉCANIQUE CHIMIQUE.

La constitution de la mécanique chimique sera peut-être le plus beau résultat d'ordre scientifique de la constitution de la *théorie mécanique de la chaleur*. Je crois l'avoir établi pour la première fois et d'une manière irréfutable dans l'article PRODUCTION DE LA CHALEUR du complément

de cet ouvrage. Je n'y reviendrai pas longuement ici, je dirai seulement que du moment que quantité de chaleur est reconnue être quantité de travail, on ne peut se refuser à voir dans la chaleur qui apparaît, lors d'une réaction chimique, le résultat du travail moléculaire entre éléments déterminés par les poids des équivalents. De telle sorte qu'en négligeant d'évaluer les quantités de chaleur, les chimistes ont jusqu'ici laissé de côté l'élément qui permettrait de constituer la mécanique chimique, de réduire la chimie à la mécanique, et de l'amener par suite à un état de perfection définitive.

On verra dans divers articles de cet ouvrage, et notamment dans l'Introduction du Complément, l'idée que nous pouvons nous faire de la chaleur, qui fait bien comprendre comment une quantité de chaleur représente une quantité de travail. Je n'y reviendrai pas ici, mais dirai seulement quelques mots de l'attraction intermoléculaire, qui joue le même rôle en chimie que la gravitation en astronomie et qui lui paraît identique. Au point de vue philosophique, ces deux conceptions qui consistent à douer la matière d'une qualité occulte, ne sont pas soutenables. On peut sans doute s'en tenir à la formule de Newton et dire que *tout se passe comme s'il existait une attraction*, laissant aux progrès de la science à déterminer la véritable cause de cette attraction. Sans qu'on soit en mesure aujourd'hui de dire comment elle se produit, on peut dire que la confirmation de la réalité de l'éther par l'analyse des phénomènes lumineux et l'évidence de la constitution dynamique de l'univers, tendent à faire sortir cette analyse des mouvements de l'éther. Newton, après avoir longtemps réfléchi aux causes de la gravité, dit, dans une des notes de son Optique : « Ce serait ici le lieu « d'ajouter quelque chose sur cette espèce d'es- « prit subtil qui pénètre à travers les corps so- « lides et qui est caché dans leur substance; « c'est par la force et l'action de cet esprit que « les particules des corps s'attirent mutuelle- « ment aux plus petites distances et qu'elles « cohèrent quand elles sont contiguës. »

Euler était toujours resté convaincu que la gravitation était un effet dont la cause réside dans une impulsion extérieure. Il dit dans sa lettre LXVIII à une princesse d'Allemagne : « Certains philosophes ont recours à la toute- « puissance divine et soutiennent que Dieu a re- « vêtu tous les corps d'une force leur permet- « tant de s'attirer mutuellement. Mais comment « un corps pourrait-il, sans intermédiaire, *sentir* « un autre corps éloigné de lui? Comment pour- « raient-ils avoir le désir de s'approcher? Ce « sont des idées qui révoltent. Puisque nous sa- « vons, ajoute-t-il, que tout l'espace entre les « corps célestes est rempli d'une matière subtile « qu'on nomme l'éther, il semble bien plus rai- « sonnable d'attribuer l'attraction mutuelle des « corps à une action que l'éther y exerce, quoi- « que la manière nous soit inconnue, que de re- « courir à une qualité inintelligible. »

Quoi qu'il en soit, les atomes se réunissant dans les composés chimiques, *comme si une force attractive agissait*, nous pouvons étudier les phénomènes de mécanique chimique, comme si celle-ci existait réellement.

Je rapporterai ici la série de raisonnements qui conduit directement à l'établissement de la théorie mécanique, les principes fondés sur l'expérience qui conduisent sans erreur possible, sans hypothèse contestable, à l'analyse de la production de la chaleur, ou, ce qui est la même chose, des phénomènes qu'a à étudier et à mesurer la mécanique chimique.

1° Les combinaisons chimiques sont produites par de véritables forces tout à fait de la nature de l'attraction;

2° Les atomes composés sont formés d'atomes composants réunis par ces forces; ils ne peuvent, par suite, être séparés que par l'application d'un travail mécanique ou la consommation d'une quantité de chaleur équivalente;

3° Nous connaissons très-bien les effets calorifiques qui accompagnent l'apparition de la cohésion entre molécules semblables, qui, au point de vue des phénomènes calorifiques et mécaniques, ne peut différer de celle qui prend naissance entre les molécules de corps différents. Nous savons que la cohésion ne peut être rompue que par l'emploi d'une certaine quantité de travail mécanique, ou par la consommation d'une certaine quantité de chaleur équivalente dite *chaleur latente*, et que lorsque cette cohésion s'établit, lorsqu'un corps passe de l'état liquide à l'état solide, il dégage une quantité de chaleur égale à cette chaleur latente.

4° Ce qui est vrai pour les atomes semblables est évidemment vrai également pour les atomes différents. On vérifie à chaque instant le fait de la destruction de la cohésion d'un composé par une certaine quantité de chaleur, qui est ainsi consommée à produire ce travail de séparation. Inversement le dégagement de cette chaleur, lors de la naissance de la cohésion chimique du composé, est un fait général qui est constaté lors de chaque combinaison. On ne peut révoquer en doute l'un des deux phénomènes, car nécessairement le résultat est inverse quand la cause agit en sens opposé.

Par une simple extension parfaitement fondée et parfaitement logique de résultats d'expériences, se rapportant aux cohésions entre molécules semblables, pour analyser les cohésions atomiques entre molécules différentes, c'est-à-dire le jeu des mêmes forces, on arrive donc à ce principe fondamental :

Les combinaisons gazeuses formées entre éléments gazeux (pour ne pas tenir compte de leur constitution physique qui ne diffère de l'état ga-

zeux que d'une quantité de chaleur déterminée), *considérés les uns et les autres à une même température, produisent le dégagement d'une quantité de chaleur équivalente au travail mécanique qui serait nécessaire pour rompre leur cohésion atomique; les décompositions consomment, au contraire, cette même quantité de chaleur.*

Ce principe, qui ne paraît pas discutable, suffit pour l'analyse du phénomène de la production de la chaleur, et permet de remonter de la mesure de celle-ci à celle du travail moléculaire. Il était impossible de le tenter tant que la notion de la corrélation de la chaleur et du travail mécanique dans les actions moléculaires était inconnue, qu'on ignorait qu'une consommation de chaleur correspondait à une production de travail, que la catégorie des idées, qui devait naître de l'étude de la production du travail mécanique par la chaleur, n'avait pas pris un développement suffisant. C'est là le principe nouveau dont l'application doit permettre de fonder, sur des bases solides, la théorie des actions chimiques.

CHIMIE ORGANIQUE

La chimie permet de retirer des corps organisés des substances diverses, comme elle le fait des masses minérales. Cela fait, elle étudie les propriétés de chacune de ces substances, et cherche à utiliser, d'après cette connaissance, les actions des divers corps sur ces substances pour les modifier au profit de l'homme. Cette analyse est l'action principale qui peut être exercée; la synthèse, la production des corps que produisent les êtres organisés, au moyen d'actions chimiques et de corps d'une composition plus simple, lutte difficilement avec les actions vitales; mais les résultats obtenus dans cette voie n'en sont pas moins, au point de vue scientifique, d'une grande valeur.

En procédant par analyse, on est arrivé à bien connaître, en premier lieu, les produits de l'organisme végétal et animal.

L'analyse de ces produits de l'organisme, tels que les huiles, les graisses, etc., appartient réellement à la chimie, et l'opportunité de l'application de cette science à l'étude de ces corps se manifeste par l'importance même des résultats auxquels on est conduit.

Quant à l'étude des tissus proprement dits, des liquides tels que le sang, la lymphe, assujettis à des variations continuelles, n'étant presque toujours que de simples mélanges, leur étude ne saurait appartenir à la chimie; ils rentrent dans le domaine de la biologie, qui les étudie à l'aide des données fournies par la chimie.

C'est en se plaçant au point de vue de la biologie, que les produits peuvent être classés d'après le rôle que chacun d'eux remplit dans le développement des êtres organisés; on doit étudier, par exemple, comment la fécule, les huiles qui se rencontrent dans les graines, fournissent les éléments nécessaires à leur germination et à la nutrition de la jeune plante.

Les méthodes d'analyse des substances organiques sont d'une extrême importance, puisqu'elles permettent d'étudier toutes les transformations des substances qui entrent dans l'organisme et s'y modifient continuellement.

Mais, au point de vue de la chimie pure, les substances doivent être surtout considérées au point de vue des forces qui ont concouru à les former, et d'abord naturellement, par assimilation avec la chimie minérale, au point de vue d'antagonisme qui est si utile, puisqu'il conduit à prévoir les réactions des divers corps avec lesquels elles peuvent être en contact. On distingue donc :

Les acides organiques;

Les corps neutres, parmi lesquels on distingue les corps peu altérables à l'air et ceux qui se transforment par fermentation en d'autres composés;

Les alcalis organiques.

Le grand nombre des substances neutres, la facilité de la décomposition des produits du règne organique en d'autres produits par les actions de fermentation, l'effet de la chaleur, l'intervention des actions chimiques, s'expliquent facilement par les conditions spéciales auxquelles ils ont été soumis en prenant naissance. C'est sous l'action de forces peu énergiques, que les végétaux s'assimilent l'eau et l'air. Ils sont donc composés d'oxygène, d'hydrogène, de carbone et, pour quelques produits analogues aux substances animales, d'azote. D'autres éléments ne peuvent s'y rencontrer qu'accidentellement et en petites quantités. Les éléments principaux fixés successivement, soudés par adjonction les uns les autres donnent naissance à de nombreux composés, dont la molécule comprend des nombres multiples d'atomes de corps simples, qui diffèrent beaucoup, sous ce rapport, des composés de la chimie minérale.

La composition complexe de la molécule organique fait comprendre les fermentations, c'est-à-dire la facilité de ces molécules à se grouper d'une manière nouvelle, pour engendrer de nouveaux corps plus fixes, moins facilement décomposables que les premiers. C'est à son aide que les végétaux viennent servir à l'alimentation des animaux, et qu'inversement s'accomplit le grand circulus du développement et de la décomposition de tous les êtres.

Aux ressources que fournissait l'analyse, la séparation des éléments des corps composés, se sont jointes celles que fournit la synthèse, l'addition d'éléments nouveaux.

Tout, dit M. Berthelot, avait concouru à faire regarder par la plupart des esprits, comme impossible en chimie organique ce qui se produit à chaque instant en chimie inorganique et la barrière entre les deux chimies comme infranchis-

sable. Pour expliquer notre impuissance, on tirait une raison spécieuse de l'intervention de la force vitale, seule apte jusque-là à composer des substances organiques. C'était, disait-on, une force particulière qui résidait dans la nature vivante, et qui triomphait des forces moléculaires propres aux éléments de la matière inorganique. L'on ajoutait : « C'est cette force mystérieuse qui détermine exclusivement les phénomènes chimiques observés dans les êtres vivants; elle agit en vertu de lois essentiellement distinctes de celles qui règlent les mouvements de la matière purement mobile et quiescible. Elle imprime à celle-ci des états d'équilibre particuliers, et qu'elle peut seule maintenir, car ils sont incompatibles avec le jeu des affinités minérales. » Elle était l'explication au moyen de laquelle on justifiait l'imperfection de la chimie organique, et on la déclarait pour ainsi dire sans remède.

En proclamant ainsi notre impuissance absolue dans la production des matières organiques, deux choses avaient été confondues : la formation des substances chimiques dont l'assemblage constitue les êtres organisés, et la formation des organes eux-mêmes. Ce dernier problème n'est point du domaine de la chimie. Jamais le chimiste ne prétendra former dans son laboratoire une feuille, un fruit, un muscle, un organe. Ce sont là des questions qui relèvent de la physiologie; c'est à elle qu'il appartient d'en discuter les termes, de dévoiler les lois du développement des êtres vivants tout entiers, sans lesquels aucun organe isolé n'aurait ni sa raison d'être, ni le milieu nécessaire à sa formation. Mais ce que la chimie ne peut faire dans l'ordre de l'organisation, elle peut l'entreprendre dans la fabrication des substances renfermées dans les êtres vivants. Si la structure même des végétaux et des animaux échappe à ses applications, elle a le droit de prétendre à former les principes immédiats, c'est-à-dire les matériaux chimiques qui constituent les organes, indépendamment de la structure spéciale en fibres et en cellules que ces matériaux affectent dans les animaux et dans les végétaux. Cette formation même et l'explication des métamorphoses pondérales que la matière éprouve dans les êtres vivants constituent un champ assez vaste, assez beau; la synthèse chimique doit le revendiquer tout entier. »

Ce qui différencie les composés organiques des composés inorganiques, ce qui fait que les combinaisons de synthèse des premiers ne peuvent prendre naissance le plus souvent qu'au moyen de combinaisons accessoires, c'est que les composés organiques emmagasinent souvent de la chaleur, de telle sorte que leur décomposition occasionne un *dégagement* au lieu d'une consommation de chaleur.

Cette anomalie apparente se manifeste surtout dans les premiers termes des familles organiques qui comprennent les carbures, les alcools, les acides. Ce sont là, par conséquent, les corps dont la synthèse est la plus difficile. Mais dès qu'ils ont pu être formés, on obtient tous les autres, par une suite de réactions et de combinaisons régulières, effectuées en général avec dégagement de chaleur et conformément aux lois ordinaires.

Un des résultats les plus curieux de la chimie moderne est *la loi de substitution* ainsi formulée par M. Dumas :

Quand on traite une substance hydrogénée par le chlore, le brome, l'iode ou l'oxygène, etc., ces corps lui enlèvent généralement de l'hydrogène, et, pour un équivalent d'hydrogène enlevé, il se fixe un équivalent de chlore, de brome, d'iode ou d'oxygène dans le composé.

Par cette voie, on a obtenu un nombre presque infini de substitutions, de transformations, de décompositions partielles qui permettent d'obtenir des produits de plus en plus stables, plus voisins des produits minéraux, en partant des éléments associés d'une manière particulière par l'action lente des affinités dans l'élaboration des végétaux.

La complication de composition de la plupart des corps que l'on rencontre dans les végétaux, la facilité avec laquelle on parvient, dans nombre de cas, à remplacer dans un composé un atome d'un corps par un atome d'un autre corps très-différent, sans changer le mode de groupement, comme le montre la conservation de la forme cristalline, ont ouvert de nouvelles voies aussi importantes en théorie qu'en pratique. M. Laurent, en montrant combien la théorie du dualisme avait été exagérée dans la chimie organique, a pu en conclure que celle des substitutions devait venir occuper dans la théorie une place d'égale importance pour le moins. Au point de vue des applications, cette dernière conduit à la production, par dédoublements, substitutions, etc., de produits utiles à l'aide de substances sans valeur. Il est évident que le nombre de corps qui peuvent être ainsi obtenus, en partant de groupes très-complexes élaborés dans les êtres vivants, par des réactions lentes dans des appareils appartenant à l'organisme vital, sont, pour ainsi dire, en nombre infini, et qu'on peut espérer arriver, par bien des routes, à produire une substance précieuse. Inversement les procédés de synthèse peuvent permettre de remonter dans un ordre inverse, mais il est évident qu'on ne peut espérer d'aussi féconds résultats pour les applications dans cette voie que dans la précédente. Les recherches ne pourraient se poursuivre qu'au hasard, et par suite avec bien peu de chances d'obtenir d'importants résultats, sans l'introduction dans cette partie de la science d'une notion nouvelle. Nous voulons parler de l'idée de série sur laquelle Gerhardt

fit reposer la classification des substances organiques, différant en général des voisines par un carbure d'hydrogène.

Cette notion repose en réalité sur la classification en familles naturelles, si utile dans la botanique et la zoologie, et qui faisant déjà sentir son utilité dans la chimie minérale, est nécessaire, à plus forte raison, au milieu de la multitude de composés qu'on étudie dans la chimie organique. En effet, cette *sériation* permet de prévoir les propriétés, l'existence même de corps inconnus, d'après celles de corps connus, et par suite de simplifier l'étude de la chimie, d'en étendre singulièrement les résultats.

Pour bien préciser cette importante méthode, qui a trouvé à s'appliquer si avantageusement dans la chimie organique, rappelons comment elle s'introduit dans la chimie inorganique.

Malgré la différence radicale qui sépare entre eux les corps simples, on a été conduit presque immédiatement par leur étude à reconnaître entre certains d'entre eux une analogie, une similitude dans leur manière de se comporter dans les mêmes circonstances, qui ont dû les faire classer en familles naturelles. Nous nous contenterons de rappeler ici trois familles parfaitement déterminées, renfermant les principaux métalloïdes.

La première comprend les quatre corps qui ont les analogies les plus marquées : fluor, chlore, brome et iode.

La seconde comprend également quatre corps, savoir : l'oxygène, le soufre, le sélénium et le tellure.

La troisième comprend l'azote, le phosphore et l'arsenic, auxquels on peut encore associer l'antimoine.

Si maintenant on considère les combinaisons si nombreuses et si variées que présente l'étude des corps non métalliques, on remarquera que des analogies de composition correspondront à des analogies de propriétés. Ainsi en prenant pour l'exemple l'eau, on voit que ce composé peut échanger tantôt son hydrogène, tantôt son oxygène contre certains corps simples, ou contre certains *groupes* plus ou moins complexes, en engendrant des substances qui présenteront avec elle des analogies plus ou moins étroites en même temps que le même groupement moléculaire.

Cette *sériation* de corps analogues, dit M. Cahours dans ses *Leçons de Chimie*, présente un immense avantage dans l'étude des phénomènes chimiques en ce qu'elle permet de déduire de la connaissance parfaite des propriétés d'un des corps les plus importants de la série, de la famille, l'histoire à peu près complète des autres termes qui la composent. Une série étant donc établie, pour en faire une étude complète, le chimiste n'aura qu'à choisir le terme qui lui paraîtra le plus convenable.

Ce terme sera comme une sorte de pivot autour duquel tourneront tous les composés qui lui correspondent par leurs propriétés, leur composition, et par la similitude des métamorphoses auxquelles ils donnent naissance, lors de leur contact avec les différents réactifs.

Ce qui est encore propre à la chimie organique, c'est que l'immense variété de corps qu'elle étudie ne comprenant jamais que trois ou quatre éléments combinés en proportions simples, grand nombre peuvent renfermer les mêmes éléments dans le même rapport sans être nullement les mêmes. C'est du mode de combinaison des atomes 2 à 2, 3 à 3, etc., ou plutôt de cohésions entre atomes similaires, que résultent ces formations effectuées dans les appareils si délicats de l'être organisé. Ces questions sont aujourd'hui les plus difficiles de cette partie de la science, et les moyens manquent le plus souvent pour décider entre des hypothèses également probables. Je montre à l'article *Production de la chaleur* comment la mesure des phénomènes calorifiques apparaissant lors des réactions, doit permettre d'analyser le mode de combinaison d'un composé, et par suite d'élucider cette partie encore obscure de la science.

II. CHIMIE INDUSTRIELLE.

La chimie étant une science de faits qui enregistre les modifications, les combinaisons mutuelles des corps qui agissent les uns sur les autres, ses résultats sont presque tous applicables à l'industrie; il n'y a vraiment d'exception que pour les corps qui ne se rencontrent que dans les laboratoires, qu'on ne sait pas encore préparer à des prix peu élevés, qu'on ne rencontre pas par suite en quantités considérables. Non-seulement les résultats de la chimie sont presque tous applicables à l'industrie, mais encore c'est toujours immédiatement qu'ils peuvent s'appliquer. Ce qu'on appelle aujourd'hui la chimie est le plus souvent une véritable science d'ingénieur, le laboratoire se confondant absolument avec la fabrique; l'échelle de la production diffère seule.

Malgré cette observation, les faits plus spécialement applicables dans certaines séries industrielles sont assez nombreux pour constituer de véritables sciences d'ingénieur, peu différentes de la chimie pure, mais assez considérables pour faire l'objet des études spéciales des ingénieurs qui en poursuivent les applications. Nous allons les passer en revue.

GÉOLOGIE, MINÉRALOGIE, ETC.

L'étude des substances minérales qui se rencontrent dans l'intérieur de la terre a conduit à

des séries de connaissances de la plus grande importance, basées sur la chimie.

La *géologie* se rattache à la fois à la géographie physique, quant à l'étude des lieux où certaines substances sont déposées sur le globe, et à la chimie, quant à l'étude de la nature de ces substances. De l'observation, elle permet de déduire sûrement (et indépendamment des hypothèses par lesquelles ces résultats peuvent s'expliquer) s'il est possible de rencontrer une couche d'une espèce de terrain sous une autre que l'observation fait connaître; les diverses espèces de terrain se succédant toujours dans un ordre déterminé par l'observation; non qu'elles se rencontrent nécessairement toutes, mais à ce point de vue seulement que les inversions dans l'ordre de la succession sont impossibles. Ces beaux résultats, qui permettent de conjecturer comment s'est formée l'écorce du globe, constituent un ordre de connaissances tout à fait fondamental pour l'ingénieur des mines.

La *minéralogie* a surtout pour objet la classification et la description des minéraux et, comme les sciences naturelles dont elle fait partie, elle permet de reconnaître par l'inspection de la place que les corps étudiés occupent dans une classification leurs principales propriétés. Nous avons déjà parlé de la cristallographie qui fournit les moyens les plus précieux d'atteindre ce résultat. Comme nous l'avons déjà dit en traitant de la chimie, cette science fournit à la minéralogie la connaissance des éléments qui composent le minéral, de telle sorte que les progrès de celle-ci ont fait négliger les méthodes spéciales de la minéralogie pour réduire à de véritables analyses les essais qui permettent de fixer la nature d'un minéral.

Nous avons donc à dresser ici la liste des principaux produits d'ordre minéral sur lesquels s'exerce l'industrie et qui se présentent en masses considérables. Considérées au point de vue de la composition chimique et de la constitution physique des corps qui en font partie, ces séries doivent être complétées par l'indication des utilités qu'ils nous procurent, car c'est là évidemment la cause de leur exploitation; mais le classement scientifique qui facilite leur étude doit toujours dominer comme nous l'avons expliqué, car c'est toujours à la science qu'il faut avoir recours, si on veut trouver de nouvelles ressources pour la pratique.

MINÉRALOGIE INDUSTRIELLE.

1° Roches.

Fournissant les matériaux de construction naturels.

A. Roches feldspathiques.....	Granit, .. / Porphyre.	Les plus durs des matériaux. — Employés dans les cas où une très-grande résistance est nécessaire.
	Ardoises.	— Espèces ayant la propriété de se déliter en lits parallèles.
	Serpentines.	— Servent pour l'ornementation; prennent un beau poli.
B. Roches quartzeuses.....	Silex.	— Pierre à fusil.
	Pierres meulières.	— Meules de moulin.
	Grès quartzeux.	— Pavage.
C. Calcaires....	Marbres blancs et colorés.	— (Carbonate de chaux.)
	Pierres calcaires habituellement employées dans la construction.	
	Anhydride.	— Gypse compacte. — (Chaux sulfatée.)

Matériaux artificiels. — Matières premières provenant de roches quelquefois après leur décomposition lente, servant pour les constructions et les usages domestiques après un travail préparatoire très-simple, consistant en une simple action de la chaleur.

Chaux diverses. — Pouzzolanes. — Trass. — Arènes.
Kaolins.
Produits argileux. — Briques et poteries.

2° Combustibles et produits minéraux.

Servant dans l'économie domestique après simple extraction.

Houille. — Anthracite. — Bitume. — Lignite.
Soufre.
Eaux douces et salées. — Sel gemme.

3° Métaux.

Les propriétés des métaux en font la matière première, tant de la plus grande partie des objets d'un usage usuel que de presque tous les outils à l'aide desquels nous transformons les produits naturels pour les appliquer à nos besoins. Nous ne pouvons indiquer ici que quelques exemples des principaux minéraux; c'est dans les articles spéciaux qu'il faut en chercher une liste un peu complète, et l'indication de l'âge des terrains dans lesquels ils se trouvent, à quelle époque de la formation, des révolutions du globe ils sont venus se déposer, se condenser dans les fissures lorsqu'il s'agit de filons. Les modes de formation peu nombreux rendent compte du nombre assez limité de minéraux.

Fer.	Peroxyde de fer cristallisé. — Oxydes alliés avec pierre calcaire ou argile.
Plomb.	Sulfure en filons. — Carbonate en poches.
Cuivre.	Sulfure en filons. — Carbonate et sulfate.
Étain.	Oxyde. — Se trouve dans les terrains d'alluvion.
Zinc.	Sulfure. — Carbonate en amas.
Plomb.	Sulfure en amas et en filons.
Argent.	A l'état métallique. — Combiné au plomb.
Or.	A l'état métallique dans les roches quartzeuses.
Platine.	A l'état métallique.
Mercure.	Sulfure.

4° Pierres précieuses.

Cristallisations naturelles produites pendant les révolutions du globe, utilisées pour leur dureté dans les arts mécaniques, pour leur éclat dans l'ornementation.

Carbone. Diamant. — Diamant noir.
Alumine. Rubis. — Corindon. — Émeraude, etc.

5° Sol.

La surface de la terre, sur laquelle s'exerce le travail agricole, où se passent les principaux phénomènes de végétation, est formée des détritus de toute nature de roches. (Voyez AGRICULTURE.) On distingue comme éléments principaux les suivants :

Débris quartzeux...	Sables.	*Débris calcaires*..	Terrains calcaires,
Débris alumineux..	Argiles.	*Détritus végétaux*.	Humus.

Métallurgie, docimasie. — Un des objets principaux des connaissances dont nous venons de parler, est d'arriver à l'extraction des métaux enfouis, le plus souvent à l'état de combinaisons chimiques, dans les entrailles de la terre. La préparation du minerai, les opérations chimiques qu'on lui fait subir dans l'industrie, forment l'objet de la métallurgie; les opérations analogues faites sur une petite échelle et par suite sans qu'il y ait alors à s'occuper du prix de revient, pour juger des procédés, étudier les dosages des substances diverses, constituent la docimasie.

Les opérations métallurgiques (en dehors de la partie mécanique qui constitue une application de la science des machines) consistent essentiellement dans la production artificielle d'un certain nombre de combinaisons et décompositions chimiques, et surtout d'oxydations et désoxydations. Il n'y a donc rien d'étranger à la chimie proprement dite dans les méthodes employées, mais seulement une application variée d'éléments déterminés, dans des conditions particulières, qui en rendent l'étude indispensable pour l'ingénieur des mines.

Métalloïdes. — Corps organisés. — Les sections qui précèdent sont les seules qui, fondées sur les connaissances chimiques, aient été constituées en un corps de doctrine formant science appliquée. Ainsi les opérations qui s'exécutent sur les métalloïdes et qui sont en grande partie du domaine du fabricant de produits chimiques ne forment pas un corps spécial de doctrine, distinct de la chimie générale, bien que des observations importantes soient à noter pour la fabrication sur une grande échelle. Il en est de même pour l'extraction des produits du règne organique, du sucre, par exemple, bien que les usines soient le plus souvent établies par de véritables ingénieurs-chimistes.

Une exception doit être faite pour la teinture. Bien que reposant aujourd'hui sur les théories chimiques, l'art de la teinture est bien loin de n'avoir recours qu'à des théories complètes. Bien des recettes empiriques, des tours de main particuliers y sont nécessaires, et l'ensemble de ces connaissances peut, à bon droit, être considéré comme constituant une science de l'ordre de celles que nous appelons sciences d'ingénieur.

VI. BIOLOGIE.

Les phénomènes de l'univers, considérés dans leur ensemble, peuvent être divisés en deux grandes classes principales : la première renferme tous les phénomènes des corps bruts, la seconde tous ceux des corps organisés.

Les premiers ne dépendent que des faits géométriques et mécaniques, ou au moins les phénomènes peuvent être compris comme réductibles aux notions fondamentales sur lesquelles reposent ces sciences; les seconds sont plus compliqués que les précédents et dominés par eux. Les propriétés dynamiques des éléments anatomiques, dites *propriétés vitales*, diffèrent de celles des corps bruts, ou plutôt la complication des causes de tout genre qui concourent à la production de chaque phénomène et à leur modification incessante fait que les relations obtenues sous la forme habituelle des premières sciences ne sont que secondaires et tout à fait insuffisantes pour l'explication du développemment des phénomènes.

La différence capitale qui existe entre ces deux ordres de phénomènes réside dans cet élément nouveau qu'on rencontre dans les corps organisés qu'on appelle la *vie*, et qu'il importe d'abord d'analyser.

On donne le nom de VIE *au double phénomène du mouvement moléculaire, à la fois général et continu, de composition et de décomposition, que présentent les corps organisés placés dans un milieu convenable.*

Cette définition est l'énoncé du seul phénomène absolument et rigoureusement commun à l'ensemble de tous les êtres vivants; elle ne comprend pas la division habituelle de la vie en *organique* et en *animale*, parce que la vie animale n'est qu'un simple perfectionnement complémentaire surajouté chez certains êtres à la vie *organique* ou vie fondamentale.

Pour les actes fondamentaux dont la succession perpétuelle caractérise la vie, la science des corps vivants se subordonne d'une manière directe et complète à la chimie, à plus forte raison à la physique dont relèvent les conditions qui rendent possibles les réactions chimiques. Ils sont, en effet, nécessairement chimiques, puisqu'ils consistent en une suite continue de compositions et de décompositions plus ou moins profondes. Au moment où a lieu une combinaison chimique quelconque, il se passe réellement quelque chose d'analogue à la vie, mais avec cette différence que le phénomène est instantané ici et cesse dès qu'il est produit; tandis que dans tout organisme placé dans un milieu convenable, il se renouvelle continuellement par cette lutte régulière et permanente entre le mouvement de composition et celui de décomposition.

Il est même quelques cas en chimie où certaines circonstances de structure (quelque peu analogues à celle des corps organisés) déterminent des réactions énergiques qui n'eussent pu se produire indépendamment de cette structure particulière, telles sont celles que font naître l'éponge de platine et certains corps poreux.

Tout corps organisé placé dans un milieu convenable a la propriété de présenter le double phénomène général qui caractérise la vie, lequel se manifeste par la nutrition ou accroissement, et le décroissement de ses éléments anatomiques. Ce sont là les *propriétés vitales* les plus générales de ces éléments, propriétés variables pour chaque élément anatomique distinct. Ce sont autant de *propriétés vitales élémentaires et spéciales* inhérentes à chaque élément des tissus.

Connaissant donc :

1° L'*élément anatomique*, c'est-à-dire les derniers corps nettement déterminés auxquels on puisse ramener les tissus organisés par séparation mécanique ou isolement successif des tissus qui les constituent (1), et qui possèdent un ensemble des propriétés physiques qui leur sont tout à fait propres;

2° Le *tissu* composé par l'enchevêtrement des éléments anatomiques;

On est amené à considérer :

3° Les *systèmes*, ou l'ensemble des parties formées d'un même tissu;

4° Les *organes* qui sont des instruments constitués par un ou plusieurs tissus prenant une forme spéciale appropriée à leur distinction ;

5° Enfin, les *appareils* formés par une certaine disposition réciproque des organes constituants, conformément, d'une part, à la *fonction* qu'ils ont à remplir, et, d'autre part, au *milieu* dans lequel celle-ci s'exécute.

D'après ce qui précède, on peut reconnaître que le but de la biologie doit être de chercher à rattacher constamment l'un à l'autre dans chaque cas déterminé le point de vue anatomique et le point de vue de la fonction, le milieu dont l'étude appartient aux sciences physiques étant supposé connu.

La biologie est donc la science qui étudie les êtres organisés dans le but d'arriver par la connaissance des organes ou des modifications orga-

(1) C'est surtout le mode de groupement des principes immédiats, d'où résultent les éléments anatomiques dans les corps organisés, et la forme primitive de chaque type cristallin dans les corps bruts, qui distingue ceux-ci des corps organisés.

niques à connaître les fonctions ou actes, et réciproquement.

Ainsi prévoir comment agira, quelles modifications éprouvera dans des circonstances données tel être organisé, ou quel est l'organe qui a pu produire tel acte et réciproquement, tel est le but que doit toujours se proposer le biologiste.

Il est inutile d'insister sur la nécessité de comprendre dans cette définition, à la fois, la physiologie et l'anatomie, sans distinction de l'une avec l'autre; car il ne peut exister de physiologie sans anatomie, comme aussi, sans la physiologie, l'anatomie n'aurait aucun caractère scientifique, c'est-à-dire ne pourrait conduire à aucune découverte.

Cette définition ajoute à l'anatomie et à la physiologie une autre branche essentielle, peu connue, et encore imparfaite. C'est la science qui traite *de l'étude des milieux, ou modificateurs externes généraux et spéciaux, et de leur action sur l'organisme.*

Nous avons vu, en effet, que si l'idée de vie est inséparable de celle d'organisation, elle l'est au même degré de celle du milieu en relation déterminée avec l'organisme.

Après ces généralités que nous empruntons au grand ouvrage du docteur Robin, et qui s'appliquent en même temps aux végétaux et aux animaux, nous pouvons établir, d'après le même auteur, les définitions des deux genres d'êtres organisés, définitions qu'expliquera et complétera ce qui va suivre.

1° Les végétaux sont des êtres organisés, formés de cellules proprement dites, ou de fibres et tubes celluleux cloisonnés, ayant la cellulose, substance très-oxygénée, pour principe immédiat fondamental de leurs éléments anatomiques définitifs, lesquels se forment par simple métamorphose des cellules embryonnaires du germe.

2° Les animaux sont des corps organisés ayant la faculté de se contracter volontairement, formés soit de substances homogènes et granuleuses seulement, soit en même temps de fibres pleines, ou de tubes non cloisonnés et de cellules; ayant l'albumine et ses congénères, substances très-azotées, pour principes immédiats de leurs éléments anatomiques définitifs, lesquels se forment par substitution de toutes pièces aux cellules embryonnaires du germe.

NUTRITION.

La biologie doit d'abord, avec le secours de la chimie, étudier les phénomènes de nutrition, de vie, relativement au milieu dans lequel vivent tous les êtres organisés.

Les fonctions vitales se manifestent chez tous les animaux par un dégagement de chaleur, une absorption d'oxygène et l'expulsion de divers produits parmi lesquels figurent principalement l'eau, l'acide carbonique et l'azote contenu dans les urines à l'état d'urée.

Ces phénomènes établissent d'une manière bien frappante l'analogie qui existe entre les produits de la vie chez les animaux et ceux de la combustion de nos foyers; des deux côtés il y a absorption d'oxygène et production d'acide carbonique et de chaleur. « Dans la respiration comme dans la combustion, a écrit Lavoisier au moment où la vérité lui est apparue, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique; mais, comme dans la respiration, c'est la substance même de l'animal, c'est le sang qui fournit à la combustion; si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait, comme une lampe qui s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture. On dirait que cette analogie qui existe entre la respiration et la combustion n'avait point échappé aux poëtes, ou plutôt aux philosophes de l'antiquité, dont ils étaient les interprètes et les organes. Ce feu dérobé du ciel, ce flambeau de Prométhée, ne présente pas seulement une idée ingénieuse et poétique, c'est la peinture fidèle des opérations de la nature. On peut donc dire avec les anciens que le flambeau de la vie s'allume au moment où l'enfant respire pour la première fois, et qu'il ne s'éteint qu'après la mort. » Les organes des animaux sont donc des appareils de combustion lente, qui transforment en produits oxydés, à l'aide de l'oxygène de l'air qu'ils respirent, les aliments qu'ils absorbent chaque jour. Ces combustions, cause de production de chaleur, sont par suite en rapport intime avec le travail mécanique que les animaux peuvent produire.

Si les animaux sont des appareils d'oxydation, les végétaux sont, au contraire, dans les circonstances les plus ordinaires, des appareils de réduction. Au lieu d'absorber l'oxygène pour brûler du carbone, ils décomposent l'acide carbonique sous l'influence de la lumière solaire, s'assimilent le carbone et mettent en liberté l'oxygène. Il suffit, en effet, d'exposer à la lumière une branche garnie de feuilles dans un vase rempli d'acide carbonique, pour voir au bout de quelques heures cet acide carbonique complétement absorbé et remplacé par un volume sensiblement égal au sien d'oxygène pur.

Quant à l'azote que les végétaux renferment, ils le puisent en grande partie dans les fumiers, et ces fumiers eux-mêmes doivent principalement leur richesse aux matières azotées excrétées par les animaux.

Ainsi donc, les animaux se nourrissent ou de végétaux, ou de la chair d'autres animaux; ils transforment ces aliments, à l'aide de l'oxygène de l'air, en eau, acide carbonique et produits azotés; les végétaux, au contraire, se développent et se nourrissent, en décomposant l'acide carbonique et les produits azotés rejetés par les ani-

maux. Ils les rencontrent dans l'air ou dans le sol qui les porte, et présentent de nouveau aux animaux, sous une forme appropriée à leurs besoins, les aliments qu'ils consomment. Tel est, d'une manière générale, l'admirable mécanisme que la nature emploie pour fournir sans cesse, avec une quantité limitée de matière, aux besoins des plantes et des animaux et leur procurer les matériaux nécessaires à leur entretien et à leur développement.

Après les phénomènes de nutrition, considérés dans l'ensemble de la statique chimique des êtres organisés, phénomènes les plus importants de tous au point de vue de l'utilité, puisque c'est à aider à leur développement, à assurer leur existence que se réduit en général le travail de l'homme, résumons les principes fondamentaux des sciences physiologiques dont quelques applications rentrent dans le domaine industriel, tandis que les plus importantes rentrent dans celui des sciences médicales dont nous n'avons pas à nous occuper ici.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE.

Anatomie végétale. — Le tissu fondamental des végétaux, le tissu cellulaire se compose de vésicules transparentes dont les parois se touchent; la membrane qui sépare deux cellules voisines est donc nécessairement double. Souvent l'adhérence entre les cellules contiguës n'est pas parfaite, il existe entre elles des espaces que l'on nomme des *méats intercellulaires.*

Lors du développement d'un végétal, les cellules s'engendrent l'une l'autre par leur face externe ou interne, ou bien une seule cellule se sépare en plusieurs parties qui finissent par s'isoler complétement.

Les vaisseaux sont des cellules modifiées qu'on trouve dans les végétaux pourvus de fleurs.

Organographie.

Organes de la nutrition. — On nomme ainsi tous ceux qui sont nécessaires ou utiles à l'existence et à l'accroissement de l'individu.

Racine. — C'est la partie du végétal qui tend sans cesse vers le centre de la terre et est ordinairement cachée sous la surface du sol.

Les racines ne s'allongent que par leurs extrémités, et leur longueur n'est pas toujours proportionnelle à la hauteur des tiges. Les racines de la luzerne sont aussi longues que celles du peuplier et plus longues que celles du sapin.

Les racines ont plusieurs formes, dont voici les principales : pivotante, fibreuse, bulbifère, rameuse, fasciculée.

Les racines fixent le végétal au sol et absorbent l'eau et les sucs contenus dans la terre par *leur extrémité seulement.* C'est pourquoi les jeunes arbres épuisent le sol près de leur pied, les vieux dans les limites d'un cercle dont le diamètre est plus grand en général que celui de la cime de l'arbre.

Quand une portion de racine rencontre un sol fertile, elle s'y développe prodigieusement comparativement à celles qui se trouvent dans un mauvais terrain. C'est surtout dans l'eau qu'elles prennent un développement extraordinaire et forment des masses connues vulgairement sous le nom de queues de renard.

Tige. — C'est la partie du végétal qui tend à s'élever verticalement et qui porte en haut les feuilles et les fleurs, en bas les racines.

La direction des tiges varie; généralement verticales, quelquefois elles sont rampantes, quelquefois enroulées.

Tiges des végétaux dycotylédonés. — Appartiennent à cette classe les tiges de tous les arbres et de beaucoup d'autres plantes de nos climats. Examinées de dedans en dehors, elles se composent des parties suivantes :

La moelle. — C'est un cylindre plein, composé de tissu cellulaire dans les jeunes branches, surtout dans celles du sureau, mais qui disparaît avec l'âge. Elle est entourée d'un cylindre creux formé de trachées et appelé *étui médullaire.*

Les rayons médullaires sont des lames de tissu médullaire analogues à la moelle et qui la mettent en communication avec la périphérie de l'arbre. Ces deux organes servent probablement à nourrir le bourgeon. De là leur disparition avec l'âge.

Autour de l'étui médullaire on remarque une série de couches concentriques qui constituent le *bois.* Autour du tronc des arbres il se forme chaque année une nouvelle couche de bois, et dans les climats où la végétation est interrompue par l'hiver, on peut savoir l'âge d'un arbre en le coupant au pied et en comptant le nombre de ses couches. En général, l'épaisseur des couches annuelles va en décroissant régulièrement du centre à la circonférence.

Les couches ligneuses n'ont pas toutes la même dureté. Celles qui entourent la moelle sont les plus résistantes et constituent le *cœur du bois*, celles qui sont le plus excentriques forment l'*aubier*. L'aubier n'offre jamais une teinte foncée, il est presque toujours blanc, mou et facilement décomposable.

Après l'aubier vient l'écorce qui se compose en dedans de lames superposées, formées elles-mêmes par un réseau de vaisseaux entremêlé de tissu cellulaire. On donne à ces couches le nom de *liber.*

Chaque année, il se forme une nouvelle couche de liber en dedans de celle de l'année précédente, c'est-à-dire entre celle-ci et l'aubier. Ainsi donc, l'aubier et le liber croissent en sens inverse l'un de l'autre : l'aubier de dedans en dehors, le liber de dehors en dedans.

Un corps inséré dans l'aubier finit par être recouvert de bois par l'addition successive de couches nouvelles; un corps placé dans le liber est rejeté vers la périphérie.

Les couches corticales les plus extérieures étant distendues et déchirées par l'accroissement de l'arbre, sont en général privées de vie. Dans les jeunes tiges, l'enveloppe extérieure est appelée *médulle externe*, et forme comme un fourreau.

Types des végétaux monocotylédonés. — Nous n'avons point dans nos climats d'arbres de ce genre; on indique comme types les palmiers, les cocotiers, arbres des régions intertropicales. Leur structure est tout à fait différente de celle des arbres dont nous venons de parler. Au centre, nous ne trouvons pas de moelle ni de rayons médullaires, mais des fibres ligneuses distinctes, séparées ou unies seulement par un tissu cellulaire très-lâche. A mesure qu'on s'approche de la circonférence, ces fibres se rapprochent, se soudent et finissent par former un bois parfait qui envelope la partie centrale comme un cylindre creux.

Ces tiges n'ont pas de véritable écorce, la dernière enveloppe est formée par la base des feuilles qui persiste, tandis que le reste s'est détaché.

Un palmier s'accroît d'abord en hauteur et en épaisseur; mais lorsqu'il a atteint un certain diamètre et que les fibres extérieures ont formé un anneau ligneux inextensible, alors son accroissement en diamètre s'arrête, et l'arbre, au lieu d'offrir la forme conique des troncs de nos chênes et de nos ormes, est cylindrique dans toute sa hauteur.

Organes appendiculaires. — On nomme ainsi tous les organes auxquels la tige sert de support.

1° *Poils.* — Analogues à ceux des animaux.

2° *Bourgeons.* — Corps ovoïdes qui, dans leur développement, produisent les feuilles et les fleurs qu'ils renferment d'abord.

3° *Feuilles.* — Expansions d'un faisceau de fibres de formes variées et le plus souvent colorées en vert.

Organes de la reproduction. — Les organes destinés à reproduire le végétal, entourés des enveloppes qui les protégent, constituent la fleur.

La fleur est *mâle, femelle* ou *hermaphrodite*, suivant qu'elle contient des *étamines* seulement, ou un *pistil* seulement, ou bien ces deux organes réunis.

La plupart des fleurs sont hermaphrodites.

Le mode de disposition des fleurs sur la tige est un des caractères employés pour la classification.

Structure de la fleur. — Une fleur complète se compose : 1° d'une première enveloppe ordinairement verte appelée *calice;* 2° d'une seconde enveloppe presque toujours colorée appelée *corolle;* 3° d'un rang d'organes filiformes et terminés par de petites bourses ou *étamines* ; 4° d'un ou plusieurs organes, contenant une ou plusieurs graines, appelés *pistil* quand il est jeune, *fruit* quand il est arrivé à son plus haut degré de développement.

Fécondation végétale. — Pour qu'un pistil devienne fruit et renferme des graines fertiles, c'est-à-dire capables de reproduire la plante qui les a portées, il faut que le pollen des anthères (partie supérieure des étamines) ait touché le stigmate du pistil.

De la graine. — C'est un corps particulier contenu dans le fruit et renfermant l'embryon qui doit reproduire la graine.

Germination. — Pour qu'une graine germe, il faut qu'elle ait été fécondée et qu'elle soit mûre.

Les agents nécessaires à la germination sont :

1° L'eau qui ramollit le test, favorise la sortie de l'embryon et dissout les matières nutritives;

2° Une température modérée, mais pouvant être comprise entre un ou deux degrés au-dessous de zéro, et 40 et 50° au-dessus.

La graine en germant absorbe l'oxygène de l'air et dégage de l'acide carbonique.

Classification des végétaux.

En biologie, outre les moyens d'exploration appartenant aux sciences précédentes, la *comparaison*, c'est-à-dire la considération de toutes les similitudes qui n'est qu'à l'état rudimentaire dans celles-ci, atteint son plus haut degré de développement. La multiplicité des êtres vivants, et l'extrême variété de leurs rapports tendent à rendre leur comparaison, leur *classification* d'autant plus parfaite qu'il est possible de saisir des analogies plus étendues et plus variées, de manière à éviter l'équivoque.

Le naturaliste se propose deux buts : le premier, de classer les plantes de manière à trouver facilement le nom d'une plante qu'il a sous les yeux. C'est le seul but qu'on s'est d'abord proposé dans tous les systèmes artificiels et dans celui de Linnée en particulier. L'autre but est beaucoup plus élevé, c'est de classer les plantes suivant leurs affinités, de réunir celles qui ont le plus de rapports entre elles, d'éloigner celles qui en ont le moins. La méthode naturelle tend à atteindre ce résultat.

C'est des cotylédons ou parties de la graine, lorsque la germination commence, que l'on part pour la classification naturelle; l'expérience prouve que l'on rapproche ainsi des plantes par les analogies les plus importantes, celles qui partent de la similitude de la graine qui les contient virtuellement. Tous les végétaux se divisent en deux grands embranchements : les *végétaux vas-*

culaires ou phanérogames ou colytédones, les *plantes cellulaires cryptogames ou acotylédones*.

Les végétaux *vasculaires* sont formés de tissus cellulaires et de vaisseaux, leurs feuilles sont garnies de stomates. Ils ont une racine et une tige; ils ont des fleurs plus ou moins visibles, et au moment de leur germination, l'embryon plus ou moins protégé par des téguments se montre avec un ou plusieurs cotylédons.

Les végétaux *cellulaires* n'ont point de vaisseaux. Leurs organes de la reproduction ne sont pas doubles (étamines et pistils), ils se propagent par graines non fécondées appelées sporules. Enfin, lors de leur germination, on ne voit pas de cotylédons.

La nature ne passe pas sans transition du premier de ces embranchements au second : ainsi les fougères sont des végétaux vasculaires, acotylédones et cryptogames.

Les végétaux vasculaires se divisent en deux classes : les *dicotylédones*, plantes qui germent avec deux ou plusieurs cotylédons, et dont la tige est formée de couches concentriques distinctes, dont la solidité décroît du centre à la circonférence; et en *monocotylédones*, plantes à embryon pourvu d'un seul cotylédon, dont la tige n'est pas formée de couches concentriques distinctes, dont la solidité décroît de la circonférence vers le centre.

Les subdivisions de ces grandes classes, acotylédones, monocotylédones et dicotylédones, s'obtiennent par les apparences de la fleur de chaque plante, élément très-important pour établir des divisions secondaires, de moindre valeur que les divisions fondamentales qui se rapportent aux plus importants organes, à la nature intime du végétal.

Ces classes se subdivisent donc en familles par la réunion des genres de plantes les plus analogues entre eux.

Les familles se divisent en genres qui sont à leur tour formés de l'ensemble des espèces qui ont le plus de rapports entre elles.

L'espèce, enfin, est la réunion de tous les individus qu'on peut supposer être issus originairement d'une seule plante.

De la vie chez les végétaux. — Chaque élément organisé des végétaux constitue une *monade*, douée de propriétés vitales que l'on peut assimiler aux forces vives du règne inorganique; ce qui mène à considérer comme constante la quantité de vie végétale dans l'univers, ou tout au moins comme faisant partie de la quantité constante de matière et de forces vives qui constitue l'univers. C'est là précisément la grande synthèse formulée par Gœthe. Le travail humain ne peut intervenir pour créer d'une manière absolue, mais seulement pour faire prendre une forme utile aux éléments des végétaux; il peut agir surtout pour accélérer la production et la consommation utile, qui conduit bientôt à une nouvelle production dont elle restitue les éléments.

ZOOLOGIE.

On donne le nom de zoologie à la partie de la science biologique qui traite des animaux.

Tissus.— Les tissus élémentaires des animaux ne sont plus comme ceux des végétaux des cellules ou utricules pourvues de parois distinctes, creuses à l'intérieur; ils sont, en général, composés de filaments ou de lamelles qui s'entrecroisent de façon à circonscrire imparfaitement des lacunes et à constituer des masses ou des membranes plus ou moins spongieuses.

De la nutrition. — La nutrition des animaux s'opère par le concours de plusieurs phénomènes.

Absorption. — L'absorption est l'acte par lequel les êtres vivants pompent, en quelque sorte, les substances qui les environnent ou qui sont déposées dans l'intérieur de leur corps. L'absorption par un tissu est d'autant plus rapide que ce tissu offre une texture plus lâche et plus spongieuse, et est d'autant moins active que le corps approche davantage de son point de saturation; l'eau étant d'ailleurs le principal élément constitutif des liquides qui se rencontrent dans l'économie animale.

Digestion. — Les aliments des animaux sont élaborés dans l'appareil digestif : 1° pour séparer la partie nutritive des parties qui ne possèdent pas cette propriété et doivent être rejetées; 2° pour transformer cette partie nutritive en un liquide propre à se mêler au sang pour nourrir le corps.

C'est par le travail mécanique de la mastication que les éléments sont d'abord préparés, puis ils arrivent humectés de salive, dans l'estomac, véritable laboratoire où ils sont élaborés à l'aide de l'action mécanique des parois, et surtout de l'action chimique du suc gastrique qui vient s'y mêler et qui est la cause principale des altérations, des fermentations qu'ils éprouvent.

Une portion des substances dont les animaux se nourrissent étant solubles dans l'eau, sont dissoutes directement par la salive, le suc gastrique ou les boissons ingérées dans l'estomac; le suc gastrique agit sur l'albumine, la fibrine, etc., et liquéfie ces matières dans la cavité de l'estomac; la fécule qui a résisté à l'action de la salive et qui est arrivée intacte dans l'intestin, y rencontre le suc pancréatique qui en opère la transformation en glucose; celui-ci agit également sur les matières grasses, et les rend absorbables en les émulsionnant. A mesure que ces diverses réactions s'effectuent, les matières alimentaires liquéfiées sont absorbées par les parois de la cavité stomacale ou de l'intestin. Le liquide

ainsi absorbé est le chyle qui, à l'origine des vaisseaux absorbants, est surtout formé d'albumine, plus loin il renferme aussi de la fibrine, et sa composition va se rapprochant de celle du sang avec lequel il va enfin se réunir.

Du sang. — Dans les animaux dont la structure est la plus simple, tous les liquides de l'économie sont semblables entre eux ; ils ne paraissent renfermer que de l'eau plus ou moins chargée de particules de matières organisées; mais dans les êtres qui occupent un rang plus élevé dans le règne animal, les liquides ne sont plus tous de même nature, et il en est un qui joue un rôle tout à fait prépondérant, c'est le sang.

Blanc chez les animaux inférieurs, rouge chez les autres, le sang se compose d'un liquide dans lequel nagent de petits globules.

Le sang contient presque tous les éléments qui se rencontrent dans les diverses parties qui constituent le corps des animaux ; aussi l'a-t-on appelé avec raison de la *chair coulante.*

Circulation du sang. — Chez la plupart des animaux, l'appareil de circulation consiste dans un système de canaux, dits vaisseaux sanguins, qui conduisent le sang et dans un organe particulier, le cœur, destiné à le mettre en mouvement.

Le cœur est le centre de l'appareil de circulation; c'est une espèce de poche charnue en communication avec les vaisseaux sanguins, qui reçoit le sang dans son intérieur, et qui, en se contractant et se dilatant alternativement, lance ce liquide dans les canaux et y détermine un courant continuel.

Les vaisseaux sanguins sont de deux ordres, savoir :

1° Les artères qui servent à porter le sang du cœur dans toutes les parties du corps ;

2° Les veines qui rapportent ce liquide de toutes les parties du corps dans le cœur.

Les dernières ramifications des artères dans la substance des organes se continuent avec les racines également capillaires des veines, de manière à former une suite non interrompue ; de telle sorte que l'appareil vasculaire forme un circuit complet dans lequel le sang se meut pour revenir sans cesse à son point de départ.

Par l'effet de l'élasticité des artères, le mouvement intermittent du cœur produit le mouvement continu du sang.

Prenons l'homme pour exemple et suivons le phénomène d'alimentation dont nous avons parlé ci-dessus. Les produits variés qui sont portés dans le ventricule droit du cœur se mélangent avec le sang veineux qui s'y trouve ramené de toutes les parties du corps par les veines caves. Les contractions du ventricule droit chassent tout ce mélange dans les poumons où il se trouve en contact avec l'oxygène de l'air, et aussitôt de brun foncé qu'il était il devient d'un rouge vif en absorbant l'oxygène et en dégageant de l'acide carbonique; se transforme ainsi en sang artériel qui revient au ventricule gauche par un système spécial de vaisseaux.

Enfin, le ventricule gauche lance ce sang rouge dans le système artériel qui le porte aux différents organes, dans chacun desquels il éprouve des modifications spéciales dont le résultat général est de lui enlever sa couleur rouge, de remplacer l'oxygène qu'il avait absorbé dans les poumons par de l'acide carbonique et de le transformer de nouveau en sang veineux qui retourne au ventricule droit pour effectuer de nouveau le trajet circulatoire que nous venons d'indiquer.

Respiration. — Les rapports de l'animal avec l'air ou plutôt l'oxygène qui en constitue la partie utile sont la cause d'une série de phénomènes qui constituent la respiration.

Nous venons de parler de ce phénomène fondamental, cause essentielle de la chaleur animale, et de la force motrice de la machine animale. C'est dans le sang, qui dissout l'air que se passe le phénomène de la combustion, qui a ainsi lieu dans les profondeurs de l'organisme. C'est dans un organe spécial, les poumons (les branchies chez les poissons), et par un mouvement d'exhalation et d'inhalation, que l'air est mis en contact avec le sang, et que les produits de la combustion sont expulsés.

Sécrétions. — On donne le nom de sécrétions à la formation de liquides spéciaux qui, dans l'économie animale, se produisent aux dépens du sang et diffèrent essentiellement de la partie séreuse de ce liquide.

Les principaux instruments à l'aide desquels la nature opère ce travail de chimie vitale se composent de cavités, en général d'une petitesse extrême, qui ont la forme de poches, de bourses ou de canaux d'une grande ténuité, et qui reçoivent un nombre considérable de vaisseaux sanguins ainsi que des nerfs. On désigne ces organes sous le nom de GLANDES.

Leur disposition varie beaucoup, mais elles peuvent se rapporter à deux types principaux. Elles se composent soit de petits sacs à orifices plus ou moins rétrécis, soit de tubes d'une ténuité extrême.

Ces organes sont baignés d'un côté dans le fluide nourricier, tandis que la surface opposée, revêtue d'une couche plus ou moins épaisse de cellules ou utricules, est libre et circonscrit d'ordinaire une cavité ; le liquide absorbé et sécrété suinte de cette dernière surface ; les matériaux dont ce liquide se compose sont puisés dans le sang.

Assimilation et décomposition nutritive. — Nous avons déjà traité, au point de vue chimique, de ces fonctions fondamentales de la vie

animale ; il nous reste à énoncer les principaux résultats que la science a obtenus sur la manière dont se passent ces phénomènes dans l'animal.

L'introduction des matières étrangères s'effectue par imbibition, et leur absorption ne peut avoir lieu qu'autant qu'elles sont dans un état de division extrême, liquéfiées en quelque sorte par la digestion.

Ces éléments nutritifs se mêlent avec le sang et sont portés dans les diverses parties de l'organisme par ce liquide. Là ils se décomposent et le tissu vivant s'accroit à leurs dépens. C'est ce dépôt de molécules nouvelles, leur arrangement en un tissu organique, et leur admission au partage des propriétés vitales, qui constituent le phénomène de l'assimilation.

Mais comment s'opèrent ces phénomènes? La science est peu avancée à cet égard, et ne le sera probablement jamais beaucoup, car ils se passent sous l'influence immédiate des forces vitales d'une nature propre et dont les modes d'action peuvent seuls faire l'objet de recherches.

Excrétion. — Pendant que les parties vivantes s'approprient des molécules nouvelles et les incorporent à leur substance, il se fait dans ces mêmes parties un mouvement de décomposition qui amène un résultat inverse, c'est-à-dire la séparation d'une portion des molécules constituantes des tissus organiques et leur expulsion au dehors.

C'est ainsi que les matériaux qui alimentent la respiration sont brûlés par l'oxygène de l'air, et expirés à l'état d'acide carbonique.

Toutes les transformations opérées dans l'économie animale paraissent résulter de cette combustion poussée plus ou moins loin, en brûlant une partie de carbone ou de l'hydrogène des substances préexistantes, phénomènes qui font de l'animal un véritable appareil réductif. C'est ainsi, lorsque l'alimentation est insuffisante, que l'animal brûle sa graisse et ses propres tissus. maigrit avant de périr d'inanition.

Système nerveux.

Le système nerveux représente, sans contredit, la partie la plus admirable de l'organisation animale ; c'est par son intermédiaire que les décisions de la volonté, du *moi* pensant qui se détermine dans sa liberté et indépendamment du corps matériel, se transmettent aux diverses parties de celui-ci.

Indépendamment de cette union mystérieuse, objet éternel des méditations infructueuses des philosophes, car elle est de sa nature même parfaitement insaisissable pour notre esprit, le système nerveux est la source d'une action chimique extrêmement remarquable et qui n'a commencé à être sérieusement étudiée que dans ces derniers temps, à savoir, la différence de sécrétion des glandes suivant l'état du système nerveux. Ces appareils, plus ou moins excités par le système nerveux, ont une action différente sur les liquides sur lesquels ils agissent; ainsi, d'après une expérience de M. Bernard, en piquant un certain lobe du cerveau, on donne à un animal la maladie connue sous le nom de diabète sucré, c'est-à-dire que tous les aliments féculents ingérés passent à l'état de glucose jusque dans les urines.

Le système nerveux est formé par une substance particulière, molle et pulpeuse, qui est presque fluide dans les premiers temps de la vie, et qui acquiert plus de consistance à mesure que l'homme s'avance vers l'âge mûr (nous prenons l'homme pour type parce que c'est chez lui que se rencontre le système nerveux le plus complet). L'aspect de cette substance, que l'on nomme *tissu nerveux*, varie beaucoup; tantôt elle forme des masses plus ou moins considérables, d'autres fois elle forme des cordons allongés et ramifiés. Ces derniers organes portent le nom de *nerfs*, et les premiers celui de *ganglions* ou de *centres nerveux*, car ils servent de point de réunion aux premiers.

Dans l'homme et dans tous les animaux qui s'en rapprochent le plus, l'appareil nerveux se compose de deux parties.

1° Le système *cérébro-spinal*, composé du cerveau, du cervelet et de la moelle épinière, logé dans une gaîne osseuse formée par le crâne et la colonne vertébrale ou épine du dos.

2° Le système *ganglionnaire*, composé de petites masses nerveuses bien distinctes, mais liées entre elles par des cordons médullaires ou des nerfs qui vont s'anastomoser avec ceux du système cérébro-spinal ou se distribuer dans les organes voisins.

Les nerfs du système cérébro-spinal se rendent aux organes des sens, à la peau, aux muscles, etc.; ceux qui font partie du système ganglionnaire se distribuent aux poumons, au cœur, à l'estomac, aux intestins, aux parois des vaisseaux sanguins. En un mot, les premiers appartiennent spécialement aux organes de relation, les seconds aux organes de nutrition.

Ce système nerveux complet est celui de l'homme, mais il ne se retrouve pas dans les animaux inférieurs. Ainsi chez les insectes l'axe cérébro-spinal paraît manquer, et tous les nerfs vont se réunir dans un certain nombre de ganglions plus ou moins éloignés entre eux.

De la sensibilité. — La sensibilité est la faculté de recevoir des impressions et d'en avoir conscience. Elle appartient à tous les animaux, mais elle est plus ou moins développée pour chacun d'eux. C'est surtout la conscience de l'impression reçue, la connaissance qui en résulte, qui varie avec le degré qu'occupe l'animal dans l'échelle des êtres, pour atteindre le plus haut degré de perfection dans l'homme.

Partout où les sensations produites par les objets extérieurs sont un peu variées, il existe un système nerveux distinct, et c'est de son action que résulte la faculté de sentir.

Les nerfs aboutissent tous au cerveau ou à la moelle épinière, qui elle-même se termine dans le cerveau. Or l'expérience prouve que l'action du cerveau est seule indispensable à la perception de la sensation et à la manifestation de la volonté, et que c'est à cet organe que les impressions reçues par les nerfs doivent arriver pour que l'animal en ait conscience.

Les nerfs qui servent aux mouvements et en même temps au sens du toucher naissent, soit de la moelle épinière, soit de la base du cerveau par deux racines; et l'expérience a prouvé que les fibres dont se compose l'une des racines servent à la transmission des sensations, tandis que celles qui constituent l'autre racine servent à produire les mouvements involontaires.

Le système nerveux ganglionnaire n'est que peu ou point sensible.

Des sens. — *Sens du toucher.* — La sensibilité dont la peau est douée dépend des nerfs qui se distribuent dans sa substance.

Un organe spécial, la main, permet à l'homme, par l'action du tact, d'exercer ce sens dans les conditions les plus convenables.

Sens du goût. — La saveur est l'action que des substances solubles exercent sur un organe spécial, la langue, dont la surface est formée d'une muqueuse dans laquelle s'épanouissent de nombreuses ramifications d'un nerf principal, dit nerf lingual.

Sens de l'odorat. — Les odeurs sont produites par des particules d'une extrême ténuité, qui, émanant des corps odorants, sont transportées par l'air et qui viennent agir sur la muqueuse placée à l'orifice des organes respiratoires.

Le sens de l'odorat a son siége dans les fosses nasales ; le mucus qui les tapisse s'imbibe des particules odorantes qui sont ainsi arrêtées sur la membrane pituitaire qui reçoit les filets du nerf olfactif.

Sens de l'ouïe. — Les vibrations des corps sont transmises par l'air à l'appareil auditif, de manière à impressionner le nerf auditif. C'est par l'action d'une membrane vibrante que ces sons viennent agir dans l'appareil.

Sens de la vue. — L'œil, formé essentiellement d'une lentille dite cristallin, reçoit sur sa partie postérieure les images des objets. C'est dans cette partie postérieure, la rétine, que s'épanouissent les derniers filaments du nerf optique, qui transmet au cerveau la sensation de la vue.

Des muscles. — De la charpente osseuse.

Des muscles. — On appelle muscles des réunions de faisceaux fibreux qui constituent la seule partie de l'économie qui, chez les animaux supérieurs, possède la faculté de se contracter; mais cette propriété n'est mise en jeu que par l'influence du système nerveux.

Chaque faisceau musculaire reçoit un ou plusieurs nerfs ; si on sépare ceux-ci de la masse du système nerveux, on empêche les muscles de se contracter. Il suffit même de comprimer le cerveau d'un animal vivant pour lui faire perdre la faculté d'exécuter des mouvements.

Les muscles dont les mouvements peuvent être déterminés par la volonté reçoivent tous des nerfs du système cérébro-spinal.

Quant aux muscles dont les contractions sont entièrement indépendantes de la volonté, ils reçoivent leurs nerfs du système ganglionnaire.

Os. — Les os sont des cartilages, des parties gélatineuses durcies par le dépôt de sels calcaires dans leur épaisseur. Les os se réunissent par des articulations qui sont en général formées de parties rondes, convexes, pouvant rouler l'une sur l'autre et maintenues en contact par des ligaments ou liens qui s'y rattachent. L'articulation est entourée de toutes parts d'une poche, dite bourse synoviale, qui se remplit d'un liquide visqueux pour la graisser et diminue le frottement. Cette poche, en écartant les liquides ambiants, fait naître entre les os l'adhérence qui résulte de la pression atmosphérique sur des surfaces en contact.

Action des muscles sur les os. — Tous les muscles destinés à produire les grands mouvements du corps sont fixés au squelette par leurs deux extrémités. Il en résulte que lors de leur contraction ils doivent déplacer l'os qui leur présente le moins de résistance, et l'entraîner vers celui qui reste immobile et qui leur sert de point d'appui pour mouvoir le premier.

Les os sont donc de véritables leviers, et les muscles des cordes y attachées qui servent à les mettre en mouvement. En vertu des lois de la mécanique, on peut donc établir que:

Toutes choses égales d'ailleurs, le mouvement déterminé par certaine contraction d'un muscle sera d'autant plus grand que ce muscle s'insérera moins obliquement sur l'os mobile.

La distance qui sépare le point d'attache du muscle du point d'appui sur lequel l'os se meut et de l'extrémité opposée du levier que cet organe représente, influe puissamment sur les effets produits par sa contraction.

La longueur des leviers influe autant sur la rapidité des mouvements que sur l'effort transmis; autrement dit, on perd en effort ce qu'on gagne en vitesse.

De la locomotion. — L'impulsion nécessaire au mouvement du corps est donnée par le déploiement d'un certain nombre d'articulations plus ou moins fléchies. Le phénomène est d'ordre méca-

nique, doit être étudié avec les ressources de la mécanique.

De la voix. — La voix se forme dans la portion du conduit aérifère appelé larynx.

Dans la formation de la voix, le larynx agit de la même manière que le ferait un instrument à anche ordinaire, un hautbois par exemple; c'est-à-dire que le courant d'air venant des poumons écarte les cordes vocales jusqu'à ce que ces lèvres élastiques, revenant sur elles-mêmes, interrompent momentanément le passage du fluide, qui bientôt les écarte de nouveau et produit ainsi des vibrations assez rapides pour donner naissance à des sons.

Des difficultés que présente la découverte des lois en biologie. — Tout être vivant constitue un appareil physico-chimique extrêmement compliqué, agissant continuellement sur le milieu dans lequel il est placé, appareil variable d'un individu à un autre, en raison de leur organisation, de leur tempérament, et de plus variable chez le même individu, d'un instant à un autre, en raison de la nutrition, de l'action du milieu, de son développement.

Donc, l'expérimentation appliquée à l'étude des phénomènes, pour découvrir l'influence de chacun des éléments qui concourent à leur production, ne pouvant jamais les reproduire dans des conditions identiques, ne disposant que d'êtres sans cesse transformés par leur vie même, ne peut plus conduire à des lois précises, mathématiques.

Cela ne veut pas dire que les sciences biologiques ne puissent établir un grand nombre de lois générales, au milieu des modifications spéciales pour chaque individu; je me contenterai de citer celles du développement et de la vieillesse pour chaque espèce; la permanence de la vie, la mort succédant à la production de germes d'individus de même nature. Mais ce qu'on ne saurait trouver, c'est la formule mathématique de l'individu, déterminant ce qu'il sera en un instant donné, non pas à peu près par une appréciation générale des éléments en jeu, mais d'une manière positive, absolue, et cela parce que la vie, que ne peut atteindre l'expérimentation, est une cause incessante de modifications impossibles à prévoir avec une certitude absolue.

Ceci est d'autant plus vrai qu'il s'agit d'êtres plus éloignés du règne inorganique et déjà très-sensible quand on étudie le premier degré de la vie, la vie végétale des plantes, le devient bien davantage quand il s'agit des animaux et surtout de l'homme placé au degré le plus élevé de l'échelle. Non-seulement les variations de la vie qui proviennent des caractères spécifiques de chaque individu viennent souvent modifier les phénomènes d'une manière imprévue, mais encore des réactions intérieures, n'ayant plus leur origine dans l'action du milieu qui peut être prévue, au moins approximativement, les changent complétement.

Tout le monde a entendu parler de ces merveilleuses expériences, dans lesquelles une action exercée sur le système nerveux transforme la nature des liquides sécrétés par diverses glandes; mais, sans entrer dans des détails physiologiques, nous prouverons aisément notre proposition en rappelant quelques faits que chacun a éprouvés, qui démontrent la puissante réaction du moral sur le physique; la circulation du sang qui s'arrête par la frayeur, la congestion qui suit la colère, etc.

Nous pensons avoir démontré que l'expérimentation ne peut être utilisée aussi profitablement dans les sciences biologiques que dans les sciences physiques, et que la précision avec laquelle les détails des phénomènes peuvent être prévus y est infiniment moindre. Et *à priori* on eût pu reconnaître qu'il devait en être ainsi, que la vie étant un élément d'ordre supérieur à celui des forces du monde inorganique, l'homme ne pouvait être placé au même degré au-dessus d'elle; que la difficulté d'observer devait croître avec celle de dominer. Il ne pourrait y parvenir sans arriver à comprendre son être, et surtout sa propre intelligence qui réagit sur cette nature, à un degré impossible à admettre.

Sans donc vouloir décourager les personnes qui se vouent à des recherches aussi importantes que difficiles, on peut établir que les problèmes atteignent, dans les sciences biologiques, un degré de complication qui en rend la solution nécessairement incomplète pour l'esprit humain, et le force à proportionner la probabilité de ses conclusions au degré de certitude que fournit l'expérimentation; l'intuition n'est pas plus claire que pour les corps inorganiques et la déduction devient plus douteuse. Il faut renoncer à l'espoir de manier les éléments de la vie des corps organisés, avec la même certitude que ceux que l'on rencontre dans une question de mécanique.

Conception mécanique de la vie. — La forme particulière et constante, dit M. Virchow, sous laquelle se manifeste la vie, est la cellule. Quel que soit l'être vivant que nous examinions, toujours nous reconnaissons qu'il tire son origine d'une cellule, qu'il est formé de cellules. La plante nous offre un arrangement plus lâche, l'animal un arrangement plus serré de cellules, dont chacune a certains signes caractéristiques. Plus la créature devient parfaite, plus l'organisme total le devient, plus les cellules deviennent variées. Dans plusieurs espèces d'algues, la plante totale est un pied composé de cellules de même espèce, rangées les unes à la suite des autres. Chez les vertébrés et chez l'homme, la disposition intérieure ne reste la même que pour les cellules d'un même tissu ou d'un même organe, pour les parties similaires dont l'existence était déjà soupçonnée par les

anciens; au contraire, les cellules de tissus ou d'organes différents présentent de très-grandes différences dans leur disposition intérieure, souvent même dans leur apparence extérieure. Ces différences répondent à l'activité propre, aux fonctions propres de chaque tissu, de chaque organe; elles nous expliquent l'énorme variabilité des propriétés, non-seulement des parties isolées de l'organisme total, mais de chaque organisme complet en particulier.

Ce sont des cellules qui donnent naissance à la couleur verte des feuilles, aux brillantes et merveilleuses couleurs des fleurs, sans pour cela cesser d'être des cellules. De même aussi ce sont des cellules qui produisent dans la plume et dans le poil, dans l'œil et dans le sang, ces colorations variées qui caractérisent, d'une manière si tranchée, le genre et l'espèce, la race et la variété, jusqu'à l'individu lui-même. A la matière colorante verte des feuilles, à la matière colorante rouge du sang, sont dévolues les fonctions de la respiration, que la cellule simple serait incapable d'accomplir. Ce sont des cellules qui produisent le bois rigide de l'arbre et la masse librement mobile du muscle. Et ainsi, de proche en proche, l'analyse nous conduit jusqu'aux arrangements délicats du système nerveux, dans lequel on voit les manifestations les plus élevées de la vie animale, la sensation, la motilité, la pensée, liées à des groupes cellulaires déterminés.

La vie est l'activité de la cellule, ses caractères sont ceux de la cellule. La cellule est un véritable corps, composé de substances chimiques déterminées. Son activité varie avec la substance qui la forme et qu'elle contient; sa fonction varie, croît et diminue, naît et disparaît avec le changement, l'augmentation et la diminution de cette substance. Mais cette matière ne diffère pas dans ses éléments de la matière du monde inorganique, inanimé, qui lui sert, au contraire, à toujours se compléter, et à laquelle elle retourne après avoir accompli son rôle spécial; ce qu'elle a de propre, c'est la manière dont elle est disposée, le groupement particulier des plus petites particules de la matière, et cependant ce groupement n'est pas tellement particulier qu'il soit en opposition avec les dispositions et les groupements que la chimie reconnaît dans les corps organiques. Ce qui nous paraît particulier, c'est le genre d'activité, ce sont les fonctions spéciales de la substance organique, et cependant cette activité, ces fonctions ne diffèrent pas de celles que la physique étudie dans la nature organique.

Quelque spéciale, quelque particulière, quelque intime que soit donc la vie, elle n'est pas pour cela soustraite à ces lois chimiques et physiques. Bien plus, chaque pas nouveau que nous faisons dans la connaissance de la nature nous fait mieux comprendre les phénomènes chimiques et physiques dont l'accomplissement constitue la base de la vie. Chaque particularité de la vie trouve son explication dans des dispositions spéciales, soit anatomiques soit chimiques de la matière, qui, dans ces dispositions, manifeste les propriétés qui lui sont toujours inhérentes. C'est ainsi que le corps vivant engendre sa chaleur par combustion comme nos foyers, il la consomme par le travail et le mouvement comme nos machines à vapeur; l'amidon se transforme en sucre, dans l'animal et dans la plante, comme dans une fabrique de glycose.

La cellule vivante n'est donc qu'une partie existant par elle-même, dans laquelle des substances chimiques connues, douées de leurs propriétés ordinaires, sont disposées d'une manière particulière, et prennent une activité conforme à cette disposition et à ces propriétés. Cette activité ne peut être qu'une activité mécanique. C'est en vain qu'on s'efforce de trouver une opposition entre la mécanique et la vie; l'expérience nous conduit toujours à la même conclusion: la vie n'est qu'un genre particulier de mouvement de substances déterminées, qui se mettent en activité par une nécessité intétieure, lorsqu'elles subissent une excitation, une « impulsion. » Toute action vitale entraîne une modification des parties vivantes, ou plutôt toute modification des parties vivantes nous apparaît, tant que les parties sont vivantes, comme l'impulsion d'une activité, comme l'excitateur d'une manifestation vitale. Lorsque le muscle se contracte, les plus petites parties se disposent dans son intérieur d'une manière différente de celle qui correspond à l'état de repos, et il se produit des modifications chimiques par lesquelles certaines de ces parties sont détruites. Mais le muscle ne se contracte pas de lui-même, il n'est pas lui-même l'excitateur des changements intérieurs, de l'activité; il reçoit l'excitation du dehors, et il n'a pas le choix de se contracter ou non; il est obligé de se contracter si l'excitation extérieure a été assez grande pour faire sortir du repos les particules intérieures. La loi de causalité est vraie aussi pour la nature organique.

Classification.

La classification de la zoologie repose sur la division fondamentale du règne animal en quatre classes, savoir :

Vertébrés; Annelés; Mollusques; Zoophytes.

Chacune de ces classes se divise en genres et en espèces, en raison des caractères spéciaux moins importants que ceux de la division fondamentale qui se rapporte au système nerveux.

La classification peut être considérée comme une méthode logique très-importante, presque étrangère aux sciences mathématiques et physiques, qui ne commence à être appliquée d'une manière utile qu'en chimie, où elle entre néces-

sairement dans la nomenclature, et qui trouve tout son développement, son type dans la biologie.

Quelles sont les conditions fondamentales, dit A. Comte, sur lesquelles doive nécessairement reposer l'application rationnelle d'un tel mode d'exploration ? Elles consistent évidemment, par la nature même du procédé, dans l'indispensable concours de l'unité essentielle du sujet principal avec la grande diversité de ses modifications effectives. Sans la première condition, la comparaison n'aurait aucune base solide ; sans la seconde, elle manquerait d'étendue et de fécondité ; par leur réunion, elle devient à la fois possible et convenable.

La méthode naturelle est principalement caractérisée, sous le point de vue philosophique, par l'établissement général de la vraie hiérarchie organique, d'où résulte par suite la coordination rationnelle la plus utile des genres et des familles.

III. BIOLOGIE INDUSTRIELLE.

Les études pratiques basées sur la connaissance de la biologie sont : 1° l'*éducation* des êtres vivants, végétaux et animaux, c'est-à-dire les modifications qu'on leur fait subir par une direction systématique imprimée dans un but déterminé durant l'ensemble de leur développement ; 2° leur *médication*, c'est-à-dire l'action rationnelle exercée par l'homme pour ramener à l'état normal les êtres dont les organes sont altérés.

Laissant de côté cette seconde partie, qui n'est pas de même ordre que la technologie, nous rencontrons ici la série de connaissances qui constitue l'agriculture proprement dite, en comprenant, sous ce nom, comme c'est l'usage, l'élève du bétail aussi bien que la production des céréales.

L'ingénieur agriculteur, indépendamment des connaissances qu'il trouve dans la physiologie végétale et animale, les plus importantes de toutes, a besoin de nombreuses connaissances de chimie, de mécanique, dont il fait de journalières applications. Toutefois l'agriculture doit être surtout considérée comme l'application de la biologie, puisque le travail de l'homme ne peut qu'aider au développement des forces vitales agissant suivant des lois complexes. C'est même parce que ces lois sont très-complexes, parce que l'observation ne permet guère de guider les travaux de manière à reproduire avec exactitude les conditions d'une abondante production sans être guidé par une théorie complète permettant d'apprécier les causes de succès dans chaque cas particulier, que la science agricole, la plus ancienne et la plus importante de toutes, est en même temps la plus imparfaite.

Sans aucun doute, les progrès de la science feront naître une science de l'ingénieur agriculteur extrêmement importante, mais qui aujourd'hui encore n'est pas nettement formulée. Il en existe cependant déjà de magnifiques parties, la théorie des assolements, par exemple, qui tend à indiquer pour chaque sol l'ordre de succession des cultures le plus avantageux. La théorie des engrais et amendements, des conditions de leur emploi, a également fait des progrès immenses dans ces derniers temps.

Nous noterons ici comme connaissance indispensable pour l'ingénieur agriculteur la chimie organique, qui lui fournit les règles de l'extraction et de l'utilisation des produits que l'agriculture s'efforce de créer en abondance.

Nous ne pouvons entrer ici dans de longs détails sur les conditions de production et de développement qui ressortent des résultats de la science. Nous renvoyons pour cela aux articles de cet ouvrage, et notamment à l'article AGRICULTURE, qui comprend presque tout ce qui se rapporte à la biologie appliquée.

Nous donnerons, pour le règne végétal et animal, des tableaux analogues à ceux donnés précédemment, dans lesquels on peut faire entrer, sous les grandes divisions de la science, les matières premières que fournissent ces deux règnes au travail industriel. Nous n'indiquerons que quelques types pour chaque division.

BOTANIQUE INDUSTRIELLE.

Principaux végétaux utiles obtenus tant par l'action spontanée de la végétation (forêts, prairies naturelles) qu'avec l'intervention du travail humain (agriculture).

ACOTYLÉDONÉES.....	*Lichens, mousses, etc.* — Premier produit végétal, prépare la matière de l'existence d'autres plantes sur le sol.
MONOCOTYLÉDONÉES..	*Herbes.* — Servant à la nourriture des mammifères, qui élaborent la viande qui forme la base de l'alimentation humaine.
	Céréales. — Blé, seigle, riz, maïs, etc., servant à la nourriture végétale de l'homme.
	Plantes sucrées. — Renfermant le sucre cristallisable. — Canne à sucre.
DICOTYLÉDONÉES. ...	*Plantes à fibres filamenteuses.* — Lin. — Chanvre.
	» *tinctoriales.* — Garance. — Indigo.
	» *féculentes.* — Pommes de terre.
	» *oléagineuses.* — Pavot. — Colza.
	» *légumineuses.* — Haricots. — Pois. — Lentilles.
	» *médicinales.* — Aconit. — Tabac.

DICOTYLEDONÉES. . . .	ARBRES ET ARBUSTES. *Feuilles.* — Thé. *Bois.* — Variétés très-nombreuses. — Espèces communes, employées comme combustibles. — Espèces résistantes, emplois : construction, menuiserie, charpente. — Chêne. — Orme. *Bois colorés.* — Acajou. — Palissandre. — Thuya, etc., pour ébénisterié. *Bois tinctoriaux.* — Campêche. — Santal. *Écorces.* — Liége. — Spartérie. — Tan. *Fleurs.* — Fleurs d'oranger. — Rose. — Jasmin, etc. *Fruits.* — Vigne. — Olivier. — Pommier, etc. *Accessoires* filamenteux de certaines graines. — Coton. *Exsudations* et produits de la séve. — Gommes. — Résines. — Caoutchouc. Gutta-percha.

ZOOLOGIE INDUSTRIELLE.

L'intervention du travail humain est ou nulle ou limitée à faciliter les conditions d'existence des animaux.

Zoophytes et Mollusques.

Utilisés comme aliment et quelquefois pour leurs enveloppes calcaires :

Moules. — *Huîtres.* — *Éponges.* — *Corail.* — *Nacre.* — *Écaille.*

Insectes.

Sangsues. — Usage médicinal.
Abeilles. — Cire et miel.
Cochenille. — Servant à préparer le carmin.
Ver à soie. — Soie.

Vertébrés.

Laissant de côté les différences qui subsistent entre les espèces et l'utilité mécanique des animaux qu'on peut faire travailler, comme le cheval et le bœuf, nous considérerons les éléments qu'ils fournissent au travail industriel, point de vue auquel nous devons surtout nous placer ici.

Viande. Lait. OEufs. — Base de l'alimentation humaine.
Poils. — Laine. — Matières premières pour tissus.
Plumes. — Duvets.
Peaux. — Tissus naturels.
Os. — Ivoire.
Graisse. — Suifs.
Huile. — Huile de baleine.
Corne. — Écaille.

Excréments et décomposition des produits végétaux et animaux privés de vie, formant engrais, fumiers, guanos, etc., restituant au sol les éléments nécessaires à la production que les récoltes enlèvent; d'où une rotation à l'aide de laquelle l'importance de la production végétale et animale, au lieu de s'amoindrir, peut aller toujours croissant par une utilisation plus complète et plus rapide des produits de la décomposition des matières organiques, et la fixation, sous forme de substance végétale, d'éléments du règne inorganique, du carbone provenant de l'acide carbonique de l'atmosphère principalement.

SCIENCES APPLIQUÉES.

Les sciences étudiées uniquement au point de vue abstrait de l'explication des phénomènes, de la satisfaction intellectuelle qu'éprouve l'esprit quand il arrive à prévoir les phénomènes, leur ordre de succession, leur dépendance mutuelle, ne sont pas toujours essentiellement propres à être directement appliquées. Elles doivent souvent recevoir des développements spéciaux pour répondre aux divers cas de la pratique, être transformées en quelque sorte pour être mises sous une forme qui permette de les utiliser plus facilement.

La nécessité de ce travail préparatoire est bien

indiquée par la grande utilité des personnes qui sont chargées d'effectuer ce travail : nous voulons parler des ingénieurs. Leur tâche consiste à utiliser constamment les derniers progrès des sciences pour les traduire en progrès industriels et à transmettre aux fabricants, aux ouvriers, des projets dont l'exécution, des méthodes dont l'emploi rentrent dans les limites d'adresse ou d'expérience ordinaires.

Cette classe de sciences intermédiaires, que l'on peut appeler sciences de l'ingénieur, n'appartient en réalité qu'aux sciences pures, aux sciences abstraites, qui se composent de lois qui s'appliquent à des corps définis mathématiquement. Il existe un intervalle entre la théorie et la pratique. Il n'en est pas de même des dernières sciences que nous venons de considérer, des sciences physiques, chimiques et biologiques, qui ne donnent que les lois des modifications et du développement de corps naturels, et qui trouvent leur application immédiate dès qu'on considère ces corps à un point de vue quelconque. C'est pour cela que, dans ce qui précède, nous avons traité des connaissances applicables à l'industrie après celles qui constituent la science pure, ce qui s'est à peu près borné à montrer que celle-ci s'appliquait alors directement à la pratique. Il nous reste donc à parler des sciences d'application qui se rapportent à la mécanique, puis de celles qui fournissent des applications à la géométrie; la première partie des mathématiques, le calcul, n'étant qu'une extension de la logique, ne pouvant évidemment donner lieu à aucune application concrète.

IV. MÉCANIQUE INDUSTRIELLE.

PREMIÈRE PARTIE. — CINÉMATIQUE.

La mécanique, science plus concrète, moins abstraite que le calcul et la géométrie, est subordonnée à ces deux sciences et leur emprunte d'importants résultats. Elle se divise au point de vue général de ses rapports avec ces sciences, en deux parties : l'étude algébrique des mouvements et des forces, leur combinaison comme quantité, c'est celle qui constitue la mécanique proprement dite, et l'étude géométrique des mouvements, l'application plus directe de la géométrie, constituant la partie de la science à laquelle on a donné le nom de Cinématique (1).

Disons de suite que dans le cas le plus général et indépendamment des principes généraux qui ont été classés sous le nom de *Cinématique pure*, cette seconde partie de la science se confond avec la première, comme la géométrie avec l'analyse dans la géométrie analytique; les relations des forces entre elles étant, dans la mécanique rationnelle, établies par des équations dans lesquelles entrent les positions variables des divers points où elles agissent ; ces équations traduites à l'aide des méthodes de la géométrie analytique fournissent les trajectoires suivies par les corps, les formes géométriques du mouvement.

La science est donc complète à cet égard, au moins quand il s'agit de corps libres ; car quand on passe à une des plus importantes parties de la mécanique, à son application aux machines, c'est à-dire à des corps gênés par des liaisons, des guides divers, les équations du mouvement ne peuvent plus comprendre utilement toutes les relations qui existent entre les divers éléments de systèmes aussi complexes ; elles ne s'établissent plus qu'entre les résultats des actions des forces sous l'influence des liaisons du système qu'on ne pourrait introduire dans le calcul qu'à l'aide de complications extrêmes et le plus souvent sans en tirer aucune utilité.

La traduction géométrique des équations qui suffisent au calcul des effets des machines, et sur lesquelles repose la mécanique appliquée aux machines, ne représentant plus les trajectoires, les mouvements des divers points du système, c'est à la cinématique à combler la lacune qui en résulte ; car tandis que la complication des mouvements qu'il est nécessaire d'obtenir pour les besoins des arts rendrait peu utile leur étude à l'aide des ressources du calcul, par voie analytique : au contraire, au moyen de considérations géométriques, par voie synthétique, la détermination des divers mouvements, des tracés des différentes pièces d'après la nature de leur mouvement devient relativement facile et en même temps bien utile, puisqu'elle fournit immédiatement les règles de la pratique.

On peut donc définir cette science appliquée en disant que *la cinématique a pour objet l'étude, au point de vue géométrique, des systèmes à l'aide desquels on peut produire, transmettre et modifier un mouvement donné*. Cette science est donc la véritable science du mécanicien, car elle embrasse tous les problèmes que se propose l'industrie manufacturière en construisant des machines.

Il y a en réalité deux parties entièrement distinctes dans la mécanique appliquée aux machines. La première, qui traite du meilleur emploi possible de la force motrice, du maximum d'effet utile, de l'évaluation des résistances, constitue la mécanique que nous appellerons *dynamique*; elle a été admirablement résumée dans les travaux de M. Poncelet, le principal créateur de la mécanique appliquée aux machines. La seconde partie traite des directions et des vitesses des mouvements qui s'engendrent les uns par les autres, c'est celle que nous appellerons la mécanique *géométrique* ou la *cinématique;* celle qui jusqu'ici n'est pas entrée dans l'enseignement et que nous avons tenté de formuler dans notre

1. Ce qui suit est emprunté à notre *Traité de Cinématique.*

traité. Autrefois les corps savants, l'ancienne Académie des sciences, par exemple, se plaçaient toujours au point de vue de cette science: Lahire, Deparcieux, Vaucanson, etc., ont toujours dirigé leurs travaux dans cette voie que les grands progrès du calcul de l'effet des machines n'eussent pas dû faire abandonner, car il s'agit de deux parties également utiles d'une même science.

« L'objet d'une machine, dit Carnot dans son rapport sur le *Traité des machines* de M. Hachette (1811), est de modifier l'action d'un moteur donné suivant le but qu'on se propose. Cette machine peut modifier l'action du moteur, ou relativement à sa direction, ou relativement à sa quotité. Les différentes directions que la machine fait prendre à l'action du moteur dépendent de la liaison que la forme même de la machine établit entre les corps et se rapportent aux mouvements purement géométriques dont la théorie complète serait si importante.

« Lorsqu'il s'agit, dit encore Carnot dans un de ses ouvrages de géométrie, de déterminer la marche d'un fil qui forme successivement les mailles d'un tricot, il ne s'agit nullement des lois de l'action et de la réaction, ni de la force avec laquelle le fil est tendu; il en est de même enfin de toutes les machines dont le but n'est pas d'économiser des forces, mais d'établir tels ou tels rapports entre les directions et les vitesses des différents points d'un système. »

Maintenant que nous avons expliqué l'esprit de la cinématique, disons quelles en sont les limites, les divisions naturelles.

Faudra-t-il étudier les nombreuses machines qu'emploie l'industrie, passer en revue successivement celles qui servent à la filature, au tissage, les horloges, etc.? Faudra-t-il, en un mot, étudier successivement toutes les fabrications pour comprendre comment fonctionnent les divers mécanismes qui y sont employés, et dont le nombre augmente chaque jour? Cette marche serait la seule possible, la seule qui permît un enseignement industriel complet (si tant est qu'on pût réunir les éléments d'un enseignement aussi étendu), si aucun principe scientifique ne venait nous guider, c'est celle qu'emploie l'apprenti pour apprendre un état en bien du temps que quelques heures de leçons eussent pu beaucoup diminuer.

Mais si l'on parvient à formuler d'abord la science qui préside à la construction des organes élémentaires des machines, le champ indéfini qui se présentait devant nous se circonscrit singulièrement, et toutes les machines seront connues, ou, pour le moins, comprises à une première inspection, quand on aura étudié les lois qui président à la construction des organes qui se retrouvent dans toutes et qui sont bien loin d'être en nombre aussi considérable qu'on pourrait le croire, d'après la multiplicité des machines qu'engendre la variété des combinaisons de ces éléments.

Si nous portons notre attention sur ces organes dont sont composées les machines, nous apprécierons mieux un aperçu dû au génie de Monge, et sur lequel seul peuvent reposer les divisions fondamentales de la cinématique. Monge reconnut *à priori* que les mouvements d'un organe d'une machine étaient continus ou alternatifs, et quant au mouvement d'un de leurs points, circulaires, rectilignes, ou d'après une courbe donnée. Mais pourquoi en est-il ainsi? Cette classification est-elle simplement empirique, ou bien fondée sur la nature des choses? C'est une question à laquelle il est facile de répondre.

Du mouvement dans les machines.

Soit un corps soumis à l'action de forces, et faisons croître le nombre de points fixes faisant obstacle à son mouvement, ce qui en fait une machine, nous reconnaîtrons les trois cas suivants :

1° L'obstacle est *un point fixe;* le corps, ne pouvant pas déplacer cet obstacle, ne pourra que tourner en tous sens autour de ce point; c'est ce qui constitue la machine simple appelée *levier.* Le mouvement d'un point quelconque appartenant au levier aura lieu sur une sphère, sera *circulaire,* en chaque instant, et *alternatif* dans une machine, le support matériel du point fixe s'opposant à ce qu'il puisse être continu dans le cas général.

2° L'obstacle consiste en *deux points* ou une *droite fixe;* dans le cas général où la résultante de toutes les forces agissant sur le corps ne passera pas par cette droite, il se produira un mouvement de rotation autour de celle-ci, un *mouvement circulaire* continu. Le *tour* est la machine simple, type du mouvement circulaire.

3° L'obstacle consiste en *trois points* fixes ou un *plan inébranlable* passant par ces trois points. Dans le cas général, le corps se mouvra suivant un élément linéaire de ce plan, ne pouvant déplacer les obstacles inébranlables. Le mouvement ayant lieu en chaque instant suivant un élément linéaire de ce plan, l'ordre de la succession de ces éléments déterminera le *mouvement rectiligne ou suivant une courbe donnée.*

Le *plan incliné,* ainsi nommé parce qu'on considère le plus souvent le plan fixe supportant des corps pesants et incliné à l'horizon, est la machine simple, type de ce genre de mouvement.

Le nombre de points fixes, non en ligne droite, peut être plus grand que trois; mais il n'en résulte pas de nouveau genre de mouvement. En effet, trois points fixes déterminant, pendant un instant, le mouvement le long du plan passant par ces trois points, un quatrième point fixe ne peut que faire naître la rotation du corps autour

de la normale au plan des trois points fixes, en même temps que le glissement a lieu. Ce n'est donc alors que la réunion d'un des systèmes précédents et du système plan, c'est-à-dire qu'un plus grand nombre de points ne produira pas une nouvelle nature de mouvements. Si en plus des trois points fixes qui déterminent la nature de l'organe, d'autres points fixes agissent sur le corps, et sont convenablement disposés pour permettre la continuité du mouvement, ils pourront seulement servir à déterminer la direction du mouvement élémentaire, fournir des guides courbes, par exemple. Un nombre de points plus grand que trois ne sert donc qu'à assurer les formes particulières du chemin parcouru, mais ne fournit pas de système nouveau. D'où résulte une importante conséquence, c'est que les seules machines simples sont : le levier, le tour et le plan, et que si l'on décompose en leurs derniers éléments les mécanismes les plus complexes, ces derniers éléments seront nécessairement un de ces systèmes.

Quant aux mouvements produits, on déduira encore cette conséquence non moins essentielle, que puisque les obstacles qui gênent le mouvement des corps pour constituer des machines ne peuvent fournir que l'un des trois systèmes précédents, les mouvements produits sont nécessairement ceux engendrés dans le genre *levier*, ou dans le genre *tour*, ou dans le genre *plan*, en comprenant dans ce dernier les successions de plans, les surfaces courbes, etc. Par suite, les mouvements élémentaires seront tous ou circulaires alternatifs, ou circulaires continus, ou enfin rectilignes; la succession des éléments linéaires pouvant d'ailleurs engendrer les mouvements suivant une courbe, qui comprennent les mouvements rectilignes alternatifs.

On doit entrevoir, dès à présent, combien cette observation simplifie l'étude de la cinématique. Les machines n'étant plus composées que d'un nombre d'éléments très-limité quant à leur mode de mouvement, il n'y aura plus qu'à étudier la théorie géométrique du levier, du tour et du plan et des combinaisons de ces éléments, pour en arriver promptement à analyser les mouvements des machines les plus compliquées, au lieu d'être contraint d'étudier celles-ci successivement et comme des systèmes n'ayant aucun rapport entre eux. Il en résulte, en un mot, la possibilité de constituer sur des théories élémentaires l'étude géométrique des machines. (Voyez article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.)

Nous citerons parmi les principales applications de la cinématique traitées dans le présent ouvrage :

Les organes de transformation de mouvement et leurs combinaisons de tout genre;

Les appareils de mise en mouvement ou d'arrêt de variation, de régularisation, de vitesse;

Enfin la partie géométrique de toutes les machines opératrices, celles notamment combinées en vue de dispositions géométriques comme la filature, le tissage.

DEUXIÈME PARTIE. — MÉCANIQUE APPLIQUÉE OU MÉCANIQUE PHYSIQUE.

La partie, qu'on peut appeler *analytique*, de la science mécanique est encore plus importante que la partie *géométrique* pour les nombreuses applications qu'on en fait dans le travail industriel. Nous entrerons ici dans quelques détails sur la notion fondamentale de cette science, celle du travail des forces, et sur le principe des forces vives. Nous n'avons pas à traiter ici des théories particulières, objet d'articles étendus de cet ouvrage, puisqu'il s'agit ici de sciences appliquées, c'est-à-dire précisément des questions auxquelles il est consacré.

Du travail des forces.

Les forces de la nature agissent toujours par une succession continue d'efforts déterminés le long du chemin parcouru par leur point d'application. Il y a donc une relation intime entre les efforts, le chemin parcouru et l'effet produit par les causes de mouvement. Ces deux éléments, l'effort en chaque instant et le chemin parcouru, doivent être étudiés en même temps; si on peut à la rigueur les étudier séparément quand il s'agit de corps libres, pour lesquels le chemin parcouru résulte directement de la grandeur des forces, il n'en est point de même quand on considère des systèmes de corps pour lesquels des liaisons spéciales contribuent à déterminer les chemins que l'action de la force fait parcourir à son point d'application. Dans ce cas, le mouvement de ce point ne dépend plus seulement de la force, mais encore des liaisons du système.

Pour considérer en même temps la force et le chemin parcouru, on introduit dans le calcul un nouvel élément, *le produit de la force par le chemin décrit par son point d'application, évalué suivant la direction de cette force*. C'est ce qu'on appelle le travail de cette force, notion fondamentale de la mécanique appliquée. Entrons dans quelques détails à cet égard.

Supposons qu'une force verticale, dirigée de bas en haut, soit employée à élever uniformément un fardeau; cette force sera constante et égale au poids du fardeau. Quant à l'effet produit, il sera évidemment proportionnel au poids du fardeau élevé, ou, ce qui revient au même, à la force considérée, mais il sera aussi proportionnel à la hauteur verticale que le fardeau aura parcourue; en sorte que celui-ci sera, en définitive, mesuré par le produit de cette force par cette hauteur. Cette quantité est ce qu'on appelle *le travail*. Rien de plus facile donc pour le cas de l'élévation verticale des corps que d'évaluer ce

travail en nombres; car, si l'on prend pour unité de travail celui qui consiste à élever l'unité de poids à l'unité de hauteur, il paraîtra évident qu'élever à une hauteur quelconque H un poids donné P, c'est répéter autant de fois l'effet partiel qui répond à l'unité de travail qu'il y a d'unités de longueur dans H et d'unités de poids dans P; le produit PH est donc la mesure naturelle de l'effet ou du travail *utile* total de la force motrice qui, par son activité, a élevé le poids P à la hauteur H; peu importe, au surplus, la manière dont aient varié l'effort et la vitesse propre de l'agent en intensité ou en direction. L'effet dont il s'agit ne suppose en lui-même autre chose qu'un effort vertical constant, mesuré par P, et dont le point d'application décrit un certain chemin H dans sa direction propre.

Cette notion et cette mesure du travail mécanique cadre d'ailleurs avec la manière dont se payent, dans les arts, tous les travaux qui se rapportent à l'élévation verticale des fardeaux; par exemple, quand il s'agit de tirer de l'eau du fond d'un puits, d'élever des terres, des matériaux quelconques à certaines hauteurs. En effet, le prix est toujours réglé proportionnellement au nombre des *mètres cubes* de chaque espèce de matière, dont le poids, et par conséquent la valeur vénale doivent augmenter avec la densité.

L'unité de poids étant le kilogramme, et l'unité de longueur le mètre, l'unité de travail sera le kilogrammètre ou le kilogramme élevé à un mètre.

Voyons maintenant comment on peut évaluer le travail mécanique de forces quelconques, dont la grandeur peut toujours être évaluée en poids, et ramener l'expression de sa mesure aux mêmes unités que celle qui se rapporte à l'élévation d'un poids suivant la verticale.

En y réfléchissant un peu, on voit qu'exécuter un travail mécanique quelconque c'est vaincre, d'une manière utile pour le besoin des arts, des résistances telles que la force d'adhésion des molécules des corps, la force du calorique et des ressorts, la force de la pesanteur, la résistance des fluides, les frottements et quelquefois l'inertie de la matière, comme lorsqu'il s'agit de lancer des projectiles, de mettre en action des marteaux, des pilons, etc. Mais, pour vaincre et détruire successivement des résistances continuellement renouvelées le long d'un certain chemin, il faut un effort de traction ou de pression agissant au point d'application de cette résistance, et qui se renouvelle en se déplaçant lui-même constamment. Or il peut arriver, ou que l'effort soit dirigé à chaque instant dans le sens du chemin décrit par son point d'application, ou que cet effet varie d'une manière quelconque, en grandeur et en direction, sans cesser néanmoins de faire constamment équilibre à la résistance que lui oppose directement son point d'application, en vertu du principe de l'action égale et contraire à la réaction.

Considérons d'abord le premier cas, et supposons que l'effort et par suite la résistance conservent une valeur constante à tous les instants, on pourra évidemment appliquer à cet effort le même raisonnement que pour le cas où il s'agissait d'élever directement un poids à une certaine hauteur, sans lui faire quitter la même verticale, la quantité d'action qu'il développera dans une longueur de chemin donnée sera donc ici encore directement proportionnelle et à l'intensité constante de cet effort et au nombre de fois qu'il a été répété, ou au nombre des résistances partielles et égales qui ont été vaincues, c'est-à-dire au produit de cet effort, exprimé en unités de poids par la longueur effective du chemin parcouru dans sa direction propre, estimé en unités de distance. Q étant donc le nombre des kilogrammes qui mesurent l'effort, q celui des mètres qui mesurent la longueur du chemin, la valeur du travail pourra encore être exprimée par le produit :

$$Q^{k} \times q^{m} \text{ ou } Qq^{km},$$

en faisant attention qu'ici l'unité de travail 1^{km} se rapporte à un effort constant de 1^{k}, qui se répète le long d'un chemin d'un mètre dirigé d'une manière quelconque.

Dans le second cas, quand le point d'application d'une force se meut dans une direction différente de celle de la force, ce n'est plus l'espace parcouru par ce point qu'on multiplie par la force pour former l'expression du travail produit par la force, c'est la projection de cet espace sur la direction de la force, ou, si l'on aime mieux, on n'a à tenir compte que du travail de la composante suivant le chemin parcouru. La composante perpendiculaire à cette direction ne produit aucun travail, et il n'y a à en tenir compte que pour l'évaluation des résistances, des frottements.

Si l'effort est variable, tout ce que nous venons de dire s'applique encore à ce cas, à la seule condition d'obtenir le travail total par la somme de tous les produits élémentaires de l'effort en chaque instant par le chemin élémentaire parcouru pendant que cet effort est constant, ce qui rentre dans les questions du calcul infinitésimal les plus simples, les questions de quadrature.

C'est en établissant, dès le début de la science, la notion du travail des forces, en suivant la transmission de ce travail dans les machines et les opérations mécaniques, que Poncelet a fondé la mécanique industrielle et a fait pour celle-ci ce que Monge avait fait pour la géométrie descriptive. En partant de l'unité complète, du travail, il a simplifié, élucidé une science trop complexe avant lui, pour la plupart de ceux qui avaient à l'appliquer.

Principe des forces vives.

La notion de force est une conception de no-

tre esprit ; ce qui existe dans la nature, ce sont des mouvements, auxquels des obstacles ne peuvent être opposés sans qu'apparaissent des effets de pression, de traction dont nous déduisons l'idée de force première, bien qu'elle soit toujours secondaire. C'est dans le principe des forces vives que s'introduit cette transformation des mouvements et son rapport avec le travail des forces. Il consiste en ce que l'accroissement de la force vive d'un système, pendant un temps quelconque, est égal au double de la somme des quantités de travail des forces qui ont agi sur lui, ou $Te = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$.

On sait que la force vive d'un système est la somme des produits des masses par le carré des vitesses. Ce théorème fondamental se démontre avec facilité (voyez *Mécanique*) comme résultat des définitions mêmes, et, réuni à celui de la transmission du travail, permet l'établissement des théories les plus utiles, de celles dont les applications sont les plus fécondes.

Des machines.

On donne le nom de machine à tout système de corps destiné à transmettre le travail des forces et par suite à modifier celles-ci quant à leur intensité, et le mouvement quant à la vitesse et à la direction en raison du but à atteindre.

Ce sont surtout les variations du chemin parcouru qui rendent les machines propres à une infinité d'usages industriels. Ces variations déterminées ne sauraient avoir lieu sur un corps entièrement libre, ne pouvant par suite qu'obéir aux forces qui agissent sur lui, que prendre le mouvement qui résulte de leur direction. C'est en gênant le mouvement d'un corps par des obstacles inébranlables, par des points fixes, que le travail des forces devient utilisable par machines, et que le mouvement est transformé de manière à satisfaire à toutes les conditions nécessaires pour le besoin des arts.

Que des points fixes transforment les mouvements d'un système, cela est bien évident ; mais, de plus, ces points interviennent d'une manière très-importante dans l'équilibre des forces qui agissent sur ce système.

On comprend facilement comment, par l'intervention de points fixes, des forces de grandeurs quelconques peuvent se faire équilibre. Dans de pareils systèmes, il n'est plus nécessaire que les résultantes des forces qui agissent sur eux soient nulles d'elles-mêmes ; il suffit que leurs directions rencontrent les obstacles inébranlables qui les annulent par leur résistance.

Ainsi, à l'aide d'un corps solide qui s'appuie sur un point fixe, d'un levier, une force minime fera équilibre à une très-grande force, si elle est disposée à l'égard de celle-ci de manière que la résultante des deux forces passe par le point fixe ; d'où l'on voit que la plus petite force ne détruit pas la plus grande, ce qui serait impossible, mais qu'elle ne sert en quelque sorte qu'à détourner l'effort de la plus grande et à le faire passer avec le sien propre combiné vers un obstacle invincible. Cet obstacle agit comme une force égale à la résultante et de sens opposé, et par suite en détruit l'effet.

Il résulte du principe des forces vives, comme conséquence importante, qu'une fois la machine arrivée à l'état permanent, le travail total développé par les forces qui agissent sur elle est nul, ou, en nommant travail moteur celui des forces qui tendent à accélérer le mouvement, et travail résistant celui des forces qui tendent à le retarder, quand la vitesse est uniforme, le travail moteur est égal au travail résistant pendant un même intervalle de temps. Mais il faut distinguer, dans le travail résistant, le travail utile et le travail inutile. Le travail utile est celui qui provient de la résistance des corps sur lesquels la machine exerce son action ; le travail inutile provient du frottement, des chocs, etc. On voit donc que le travail utile d'une machine est toujours moindre que le travail moteur employé à le produire. Le travail est par conséquent une quantité que l'on ne peut augmenter par l'effet de machines ; celles-ci peuvent servir à modifier soit la force motrice, soit le chemin décrit par leur point d'application, à les partager l'un et l'autre en plusieurs autres, à modifier leur position et leur direction, mais sans jamais augmenter leur produit. La science ne peut que rendre le travail utile une fraction du travail moteur la plus voisine de l'unité qu'il est possible.

Production et consommation du travail.

Dans toutes les applications des forces, c'est-à-dire pour tous les travaux qu'exécute l'industrie de l'homme, la nature propre des corps, leur résistance à toute action extérieure résultant de leur constitution physique est la première chose à considérer. On reconnaît bientôt que cet ordre de phénomènes ne peut s'analyser que par l'étude des forces qui s'exercent entre les molécules des corps, et que, par suite, cette étude est à la fois une application des connaissances qui constituent la physique et de celles qui sont étudiées dans la mécanique.

La production du travail est encore une étude à la fois d'ordre physique et d'ordre mécanique, liée intimement aux forces moléculaires.

On peut diviser en quatre parties cette science de l'ingénieur : 1° Conditions de la production de ce travail ; mode de l'appliquer à la première pièce d'une machine, au récepteur ; 2° Résistances des corps à toute action exercée sur eux, à l'état statique, lorsqu'ils ne supportent que des pressions, comme lorsqu'ils entrent dans des constructions ; 3° Résistances à l'état dynamique, lorsque des corps doivent être mis en mouvement relatif, soit entièrement, soit partiellement lorsqu'il s'agit de surmonter la résis-

tance qui s'oppose à la désunion de leurs molécules, comme dans les opérations mécaniques qui ont pour objet la division des corps pour les amener à une forme voulue.

4° Résistances au mouvement des fluides et des surfaces des solides en contact.

I. — *Production du travail.*

La force motrice, qu'il est possible d'utiliser pour mettre en mouvement des machines qui effectuent des opérations industrielles, provient de quatre sources :

1° Des moteurs animés ;

2° De la vitesse des corps et surtout des liquides et fluides élastiques qui se rencontrent à l'état de mouvement ;

3° De la pesanteur ;

4° De la chaleur, des actions chimiques et électro-magnétiques résultant des combinaisons des diverses substances entre elles.

Moteurs animés. — Les efforts des moteurs animés, bien qu'étant pour nous, économiquement parlant, une source de force motrice, sont en réalité le résultat de la machine complexe qui constitue l'animal. Composés d'os et de muscles, c'est-à-dire de leviers et de cordes, les organes qui servent au développement de la force animale sont de véritables organes de machines et la cause première de la puissance motrice, la combustion produite dans l'acte de la respiration, cause de la vie et de la vigueur de l'animal, a fait établir un parallèle incontestable entre la machine animale et la machine à feu.

Quoi qu'il en soit, ce n'est qu'à l'état de moteur primitif que la mécanique considère l'animal, et c'est à l'aide de l'expérience, aidée des lumières des sciences biologiques, que l'on détermine les conditions les plus favorables à leur emploi, la valeur de l'effort et la vitesse au point d'application les plus convenables pour produire le maximum de travail journalier pour une fatigue qui n'altère pas la santé de l'animal supposé recevoir une alimentation convenable.

Corps en mouvement. — Corps solides. — On ne rencontre pas sur la terre de corps solides en mouvement autres que ceux mus par l'action des machines. Leur action à l'état de mouvement constitue un phénomène fort important par ses applications industrielles, le choc qui se produit à la rencontre de deux corps.

La théorie mathématique du choc est une des plus importantes de celles de la mécanique appliquée. Elle se résume dans le théorème de Carnot, qui s'énonce ainsi : La force vive perdue par le choc est égale à la différence des forces vives correspondantes aux vitesses du corps avant et après le choc. Contraire en apparence au principe général de la nature, à celui de conservation des forces vives, l'effet des chocs est une des bases les plus solides de la théorie mécanique de la chaleur, la quantité de celle-ci qui apparaît ne pouvant évidemment être autre chose que le travail qui ne se retrouve pas.

Corps liquides. — Les corps liquides se rencontrent fréquemment en mouvement dans la nature, et la vitesse des cours d'eau est un des moyens le plus fréquemment employés dans l'industrie pour donner le mouvement aux machines. Du principe des forces vives et de l'étude du choc résulte la théorie des moteurs hydrauliques, celle peut-être qui a fait le plus de progrès de nos jours. La détermination des vitesses des récepteurs, de leurs formes, résulte directement de cette théorie.

Gaz. — L'air atmosphérique en mouvement est utilisé pour faire mouvoir des machines par son action sur les voiles. La théorie des moulins à vent, bien qu'ayant fait des progrès importants par l'application des principes généraux qui ont conduit à la théorie complète des roues hydrauliques, est pourtant loin d'être arrivée au même degré de perfection.

Forces agissant d'une manière continue. — Chutes d'eau. — Pesanteur. — Pression atmosphérique, etc. — La pesanteur agissant d'une manière continue et constante sur tous les corps placés à la surface de la terre, est une source de travail mécanique. Comme la pression atmosphérique, la pression d'un ressort, etc., la pesanteur des corps solides n'est utilisée que comme moteur secondaire, c'est-à-dire quand un premier travail les ayant écartés de leur position, la pesanteur ou l'élasticité leur font faire reprendre la position initiale.

L'eau, au contraire, se formant dans les parties les plus élevées du globe, par la condensation, sur les sommets des montagnes, des vapeurs produites par l'action de la chaleur (source première du travail) descend, en vertu de la pesanteur, vers les parties basses. Lorsqu'on utilise la vitesse qu'elle prend en obéissant à l'action de la pesanteur, on rentre dans le premier cas dont nous venons de parler. Lorsqu'au contraire, soit par le barrage d'un cours d'eau, soit par une disposition quelconque, on maintient le liquide à un niveau supérieur à celui qu'elle peut prendre dans un réservoir avec lequel elle communique, on peut utiliser directement par machines le travail mécanique dû à la descente du poids de l'eau, du niveau supérieur au niveau inférieur. Le principe de la transmission du travail s'applique facilement dans ce cas à l'étude des récepteurs convenablement disposés, et permet la détermination des règles d'établissement des roues à augets, des balances d'eau, etc.

Chaleur. — La chaleur est la source de force la plus générale et la plus importante ; c'est elle qui, par la vaporisation, élève les masses liquides à l'état de nuages. La chaleur est encore la cause

ou au moins la condition essentielle du travail des moteurs animés, dont l'appareil respiratoire constitue un véritable appareil de combustion, et qui ne peuvent produire du travail qu'en raison des aliments qui fournissent les matériaux que consume cette combustion.

Ne parlant ici que de la chaleur produite par la combustion dans les foyers, le principe fondamental de son emploi est celui-ci, qui est presque évident de soi : le travail d'une unité de chaleur (capable d'échauffer un kilogramme d'eau d'un degré) a un maximum théorique dont on s'approche plus ou moins dans la pratique, comme un poids d'eau qui tombe d'une certaine hauteur. Autrement ce serait admettre qu'une quantité limitée de chaleur pourrait produire un travail infini, ce serait admettre par voie détournée le mouvement perpétuel.

Cette conséquence presque évidente de soi, en partant de la nécessité d'un rapport entre la cause et l'effet, était à peine comprise avant les nouveaux progrès accomplis dans la théorie de chaleur. S. Carnot l'avait pourtant mise en lumière dans son admirable brochure sur la puissance motrice du feu, et on peut voir dans l'article Calorie de cet ouvrage, que j'ai eu soin de laisser tel qu'il a été écrit en 1844, comment, avant les travaux modernes, ceux de R. Mayer notamment, la lumière commençait à se faire dans tous les esprits qui ne pouvaient se résoudre à admettre les conséquences évidemment erronées auxquelles conduisait la théorie mathématique des machines à feu, fondée sur des données physiques insuffisantes.

La théorie mécanique de la chaleur fournit aujourd'hui une analyse tout à fait satisfaisante de la production du travail mécanique par la chaleur dans les *machines à feu*, et on peut dire avec raison que l'importance prépondérante de la machine à vapeur dans l'industrie conduisait presque nécessairement à un progrès qui subordonne le caractère chaleur au caractère travail mécanique, à l'homogénéité des deux ordres de quantité. C'est le résultat logique que devait entraîner le fait technique, l'avance que le constructeur de machines avait prise sur les savants purs, J. Watt, sur les philosophes de son temps. La chaleur étant, comme je l'ai expliqué plus haut, une force vive moléculaire, la production de travail mécanique par la chaleur n'est autre chose que la conversion de cette force vive en travail. Dans le cas où de la machine à vapeur ou de la machine à air, les molécules gazeuses exercent leur pression sur le piston par une succession indéfinie de chocs résultant de leur vitesse en raison de la température. Sur les parois fixes, elles rebondissent et le sens de leur mouvement est seul changé, la vibration passe à une autre période, mais la somme des forces vives ne varie pas ; sur la surface du piston mobile, au contraire, la vitesse de la molécule diminue en raison du mouvement de celui-ci. La production du travail par la détente et la consommation de chaleur qui l'accompagne, comme les effets inverses de la compression par travail mécanique se trouvent parfaitement expliqués et comme confirmation tout à fait probante que c'est bien l'expression de la vérité, je citerai l'expérience de Joule, qui, faisant détendre des gaz comprimés dans des vases inextensibles, par suite en empêchant toute production de travail mécanique extérieur, a montré qu'il n'y avait pas de variation dans la quantité de chaleur.

Production de travail par des actions chimiques et électro-magnétiques. — Pour compléter les considérations qui précèdent, et qui limitent le champ des résultats qu'il est possible d'obtenir des machines à feu, on peut pousser plus loin les recherches et se demander si, comme bien des inventeurs en ont conçu l'espérance, on peut espérer produire, par certaines actions chimiques ou électro-magnétiques, un travail mécanique dont le prix de revient soit notablement inférieur à celui obtenu à l'aide de la vapeur d'eau produite par la combustion du charbon. Les preuves de la corrélation des forces physiques que le progrès des sciences accumule, montrent que la plupart de ces espérances sont chimériques. C'est ce qu'on peut établir directement.

Actions chimiques. — Les actions chimiques peuvent fournir de la chaleur, comme le fait la combustion du charbon, mais aucune dans des conditions comparables sous le rapport de l'économie, et sans aucun avantage spécial.

En est-il de même de celles qui, comme le mélange d'acide sulfurique et de bi-carbonate de soude, peuvent donner lieu à un dégagement de gaz qui se continue même sous des pressions très-considérables? Cela est certain d'après la théorie qui fait de la chaleur le produit direct et nécessaire des réactions chimiques ; mais néanmoins on ne peut pas dire qu'il puisse y avoir certains cas spéciaux dans lesquels, indépendamment de l'économie, on ne puisse employer, quelque jour, quelques réactions soit connues, soit de celles que la chimie pourra faire découvrir. Remarquons que ces actions n'ont lieu que dans certaines conditions qui répondent au maximum possible dans chaque cas. Ainsi un dégagement de gaz ne peut avoir lieu que jusque sous une certaine pression, en raison de l'affinité ; par exemple M. Galy-Cazalat a reconnu par expérience que l'hydrogène cessait de se dégager lors de l'action de l'eau acidulée sur le zinc sous une pression de 28 atmosphères.

Les seules actions chimiques utilisées jusqu'à ce jour sont les explosions et surtout celle de la poudre à canon, dont la puissance est due au volume et à la haute température de la vapeur d'eau et des gaz produits par la combustion,

c'est-à-dire toujours à des quantités de chaleur. Le moyen de l'utiliser consiste à faire naître l'explosion dans un cylindre résistant qui reçoit une partie mobile, le boulet de même diamètre. La projection du boulet qui est ici le travail à produire et la grande vitesse nécessaire pour atteindre le but constituent un problème mécanique d'un ordre particulier. Quant à employer la poudre à canon pour produire un travail mécanique utilisable dans l'industrie, M. Poncelet a calculé (voyez *Introduction à la mécanique*) que le travail fourni par la poudre était 90 fois plus cher que celui fourni par la houille.

Le mélange des gaz hydrogène ou hydrogène carboné et d'air a été aussi tenté ; de semblables systèmes fournissent toujours un travail mécanique plus cher que celui fourni par l'emploi des combustibles pour vaporiser l'eau. Ce que nous rapportons ci-après, d'après M. Liebig, relativement aux actions électro-chimiques s'applique, au reste, en partie, aux actions chimiques et nous paraît limiter parfaitement ce qu'on peut retirer de semblables recherches.

Actions électriques et électro-magnétiques.

Dans l'application la plus importante de ces actions, dans le télégraphe électrique, on produit le mouvement de va-et-vient d'un morceau de fer doux par les établissements et les interruptions successives de l'attraction d'un aimant momentané qui soulève un contre-poids. Cette application a prouvé les grands avantages de l'électricité pour transmettre instantanément de petites forces à de très-grandes distances; résultat fort précieux, mais pour lequel le prix de revient de l'unité de travail est sans importance.

A l'aide d'électro-aimants disposés en cercle et d'une roue portant des morceaux de fer doux qu'ils viennent attirer, on a construit des machines électro-magnétiques qui sont fort curieuses et dont on a prétendu quelquefois tirer une production économique de travail. Dans ses Lettres sur la chimie M. Liebig s'est posé, il y a déjà bien des années, cette question, et y a fait une réponse bien précise : Quel est le plus économique des deux moteurs, l'un étant la houille servant à produire de la vapeur, l'autre du zinc se dissolvant dans l'acide sulfurique et produisant un courant capable d'attirer et de repousser un aimant?

« Lorsque, dit-il, nous prenons du zinc et que nous le mettons en contact avec de l'acide sulfurique étendu, il se dissout sous forme d'oxyde de zinc: il y a combustion de zinc aux dépens de l'oxygène que lui cède le liquide. Cette action chimique a pour résultat la formation d'un courant électrique qui, si on le conduit au moyen d'un fil, fait passer ce fil à l'état magnétique.

« Dans l'exemple que nous venons de citer, nous savons que la puissance motrice est produite par la dissolution (par l'oxydation) du zinc. Mais si nous faisons abstraction du nom que l'on donne à la force motrice qui se développe dans ce cas-ci, nous savons que nous pouvons également la produire au moyen d'un appareil tout différent. Ainsi, lorsque nous faisons brûler du zinc sous la chaudière d'une machine à vapeur, c'est-à-dire dans l'oxygène de l'air au lieu de l'oxygène de la pile galvanique, nous produisons de la vapeur d'eau, et, par le moyen de cette vapeur, une certaine quantité de force motrice. Si maintenant nous admettons (ce qui, du reste, n'est nullement prouvé) que la quantité de force obtenue soit inégale dans les deux cas de combustion du zinc, c'est-à-dire que nous obtenions deux ou trois fois plus de force, ou bien, si l'on veut, que la déperdition de force soit beaucoup moins considérable quand nous employons la pile galvanique, nous ne devons pas perdre de vue que le zinc peut être représenté par certains équivalents de charbon; et nous devons les prendre pour éléments de notre calcul. D'après les expériences de Despretz, 6 kil. de zinc, en se combinant avec l'oxygène, ne développent pas plus de chaleur que la combustion d'un seul kil. de charbon : par conséquent, toutes choses étant égales d'ailleurs, 1 kil. de charbon produira six fois plus de force motrice que 1 kil. de zinc. Il est évident qu'en supposant la perte de force égale de chaque côté, il serait beaucoup plus avantageux de se servir de charbon que de zinc, alors même que ce métal brûlé dans la pile galvanique produirait quatre fois autant de chaleur qu'un poids égal de zinc brûlant sous la chaudière d'une machine à vapeur. En un mot, il est extrêmement probable que si nous brûlions sous la chaudière d'une machine à vapeur la quantité de charbon nécessaire pour traiter une certaine quantité de minerai de zinc, nous obtiendrions une somme de travail de beaucoup supérieure à celle que pourrait produire le zinc obtenu, sous quelque forme et dans quelque appareil que ce métal fût employé.

« Il existe entre la chaleur, l'électricité et le magnétisme des rapports intimes. Avec une quantité donnée d'électricité, nous produisons une proportion correspondante de chaleur ou de force magnétique : la chaleur et la force obtenues sont réciproquement équivalentes. Nous nous procurons cette quantité déterminée d'électricité au moyen de l'affinité chimique qui, sous une forme, donne de la chaleur, et, sous une autre, de l'électricité ou du magnétisme. Avec une certaine somme d'affinité, nous produisons un équivalent d'électricité; de même, en sens inverse, avec une somme déterminée d'électricité, nous décomposons des équivalents de combinaisons chimiques. Ainsi donc la dépense de force magnétique correspond rigoureusement à la dépense d'affinité chimique. Dans la pile, c'est l'affinité chimique du zinc et de l'acide sulfurique qui produit la force motrice; dans la machine à vapeur, c'est

l'affinité du charbon et de l'oxygène du courant d'air. »

Si donc on songe au bas prix auquel on obtient le charbon (le seul corps combustible qui se trouve, dans la nature, en masses considérables sous forme de houille), on en conclut qu'aucun corps combustible ne peut lui être comparé pour l'économie dans la production du travail, d'autant plus qu'en général ceux-ci n'ont pu être extraits de leurs combinaisons qu'à l'aide d'un poids de charbon capable de produire une quantité de chaleur au moins égale à celle qui pourrait être produite par une nouvelle combinaison de ces corps avec l'oxygène ou par une force électro-magnétique correspondante à cette quantité de chaleur.

II. — *Des résistances que les corps opposent en raison de leur constitution, de leur nature propre à l'action directe des forces.*

Les corps solides sont formés de molécules juxtaposées. On a donné le nom de cohésion à la force qui les réunit, et qui est mesurée par celle qu'il faut employer pour les séparer.

On sait que les corps placés dans des conditions convenables cristallisent, c'est-à-dire que les atomes chimiques qui constituent les molécules, et par suite les molécules elles-mêmes, possèdent, quant à leurs forces d'attraction réciproques, des propriétés qui varient, non-seulement avec leurs distances absolues, mais encore avec leurs positions relatives, avec la direction de leurs axes; de sorte qu'elles ont elles-mêmes une tendance à se grouper dans un certain ordre régulier lorsque les circonstances sont favorables, et que rien ne vient troubler le jeu des forces qui les animent. Tel est le phénomène de la cristallisation ou de la formation des cristaux ou corps à facettes planes, décomposables avec le minimum de résistance suivant des plans parallèles à ces faces planes, dits plans de clivage.

La lenteur dans le rapprochement des molécules est une condition indispensable de la cristallisation ; autrement elles se trouvent en quelque sorte *surprises* dans leur mouvement, et il en résulte un état de cristallisation incomplète ou confuse, qui est celui de tous les corps qui passent brusquement de l'état liquide à l'état solide. Tout corps que l'on examine est en général, dans la pratique, très-différent des corps définis par sa seule composition chimique. On peut dire, d'après l'analyse de la constitution des corps indiquée précédemment, qu'il lui reste à dégager une quantité de chaleur pour passer à l'état cristallin, seul fixe et invariable, répondant à l'action complète des forces moléculaires.

Les corps organisés, les végétaux et les animaux ont une constitution toute différente. On n'y trouve plus des formes polyédriques, et sous l'influence des forces vitales les molécules sont groupées d'une manière spéciale. En général, elles se disposent en réticules, en fibres ou filets rangés les uns à côté des autres, ou recroisés de manière à former tantôt des cylindres, tantôt des tissus à mailles plus ou moins serrées.

Des hypothèses concernant les forces moléculaires. — L'ensemble des phénomènes que présentent les corps considérés au point de vue de leur structure est bien représenté par l'antagonisme de la force attractive, dite attraction, cohésion, considérée comme propre à ces molécules, et de la force centrifuge qui tend à écarter ces molécules les unes des autres en raison des impulsions, de la force vive qui correspond à leur température. Suivant que la distance qui joint les molécules est augmentée ou diminuée par l'action d'une cause ou force étrangère, l'état de stabilité est altéré et l'attraction l'emporte sur la répulsion, ou la répulsion sur l'attraction.

Élasticité moléculaire. — Des molécules d'un corps solide, écartées de leur position de stabilité par une force étrangère, se rapprochent ou s'éloignent jusqu'à la position qui répond à l'énergie de la force étrangère et pour laquelle il y aura équilibre ou repos; si ensuite cette force vient à cesser son action, les molécules tendront à reprendre leur première position. Comme elles sont alors animées d'une certaine vitesse, ou plutôt d'une force vive égale au double de la quantité de travail dépensé pour produire la déformation, elles dépasseront leur position d'équilibre naturel pour y revenir bientôt, et ainsi de suite indéfiniment par une série d'oscillations qui décroissent de plus en plus par la communication du mouvement aux corps environnants.

De l'analyse de ces mouvements se déduit le principe suivant, qui est fondamental pour l'application du calcul aux phénomènes d'élasticité:

Les forces totales en vertu desquelles les molécules des corps s'attirent ou se repoussent entre elles sont proportionnelles aux déplacements correspondants de ces molécules, tant qu'ils demeurent très-petits par rapport à l'intervalle absolu qui sépare celles-ci.

Mesure de la force élastique. — La résistance élastique des molécules, leur roideur, est d'autant plus grande que les déplacements qu'elles subissent, au premier instant, sont plus petits par rapport aux efforts de traction ou de compression qui les produisent; le rapport de ceux-ci à ceux-là donne immédiatement la mesure de cette roideur. C'est le coefficient d'élasticité des corps, qui peut encore se définir le poids susceptible d'allonger de 1 mètre une base de 1 mètre de longueur, si un tel allongement était possible. (Voyez article RÉSISTANCE.)

Le principe ci-dessus énoncé revient donc à dire que, pour des déplacements très-petits des molécules des corps, la force élastique conserve des valeurs sensiblement constantes.

Les forces qui agissent dans les limites d'élasticité des corps sont telles qu'après leur disparition le corps reprend sa forme primitive.

L'élasticité dépend moins de la valeur absolue de la force de cohésion que de la sphère d'action de cette force. Il suffit de citer le caoutchouc pour prouver combien l'élasticité peut être étendue dans des corps dont la ténacité est peu considérable.

L'analyse des phénomènes d'élasticité s'établit en admettant :

Que la résistance d'une barre est indépendante de sa longueur absolue et proportionnelle à l'aire de sa section par un plan perpendiculaire à sa longueur;

Que les allongements sont proportionnels à la longueur de la barre;

Enfin, que la réaction élastique a pour mesure le rapport des charges aux allongements très-petits qui correspondent aux premiers déplacements des molécules, avant que le corps puisse avoir subi aucune altération. C'est de ce rapport que se déduit le module ou coefficient d'élasticité pour chaque corps, le nombre qui nous représente le mieux la nature des corps solides, l'énergie des forces qu'ils opposent, par exemple à l'action des corps durs disposés de manière à modifier leurs formes, et notamment aux outils tranchants.

Causes de l'imparfaite élasticité des corps. — La cause la plus fréquente de l'imparfaite élasticité des corps employés dans l'industrie, réside dans les opérations mécaniques qu'ils ont supportées et qui ont fait dépasser à quelques molécules la limite au-dessus de laquelle l'action moléculaire cesse de s'exercer; le corps s'est en quelque sorte rompu dans certaines régions, quoiqu'on n'en aperçoive aucune trace extérieure.

De plus, il faut tenir grand compte du mode d'agrégation des molécules qui rend, par exemple, dans des cristaux, l'élasticité bien différente dans la direction des axes ou perpendiculairement à ceux-ci. Or dans tout corps des groupes de molécules forment des cristallisations partielles, et il faut évidemment tenir compte de la forme de ces groupes, de leurs points de contact. Des actions mécaniques occasionnent aussi des passages de l'état cristallin à l'état fibreux qui modifient les résistances des corps.

C'est par de semblables considérations qu'on peut apprécier les effets des causes qui, tendant à modifier l'état d'agrégation moléculaire des corps, changent par cela même leurs propriétés physiques. Parmi ces causes, la plus importante et celle dont les arts tirent le plus grand parti, la trempe, est dans cet ouvrage l'objet d'un article étendu qui nous permet de ne pas insister ici sur les considérations relatives à ce phénomène, si important pour la pratique des arts.

Résistance des matériaux.

Des principes que nous venons d'exposer relativement à la structure des corps solides se déduisent quelques théories importantes, et, dans beaucoup de cas, seulement quelques règles empiriques qui règlent l'emploi des divers corps solides dans les arts et le mode d'action le plus convenable à employer pour en modifier les formes.

Les forces qui agissent sur les corps solides peuvent se classer, au point de vue de leur action sur les corps, en deux classes, celles qui restent dans les limites de l'élasticité et celles qui dépassent ces limites. Le premier cas est le seul à considérer dans la grande application des sciences aux arts de construction.

1° *Résistance à l'extension.* — Les nombreux résultats des expériences qui peuvent guider les constructeurs, se représentent habituellement par des tableaux ou des courbes, dont les éléments sont les charges d'une part et les allongements de l'autre. Tant que la proportionnalité des deux effets se maintient, on est dans les limites d'élasticité; il ne se produit pas de déformations permanentes, et le corps reprend sa forme primitive quand l'action d'allongement a cessé, au moins sans variation sensible pour la pratique; car, à mesure que les moyens d'observation se perfectionnent, on constate des déformations pour des charges de moins en moins considérables. Les allongements permanents sont une source de dangers, conduisant à la rupture dans une foule de cas : ainsi, un pont suspendu, dont le tablier est soutenu par un certain nombre d'attaches, sera menacé de rompre si l'une d'elles est allongée d'une manière permanente par un choc accidentel. Comme elle cessera de porter le tablier, les deux voisines s'allongeront bientôt par suite à leur tour, et ces allongements successifs et répétés amèneront bientôt à un état assez voisin de la rupture pour être dangereux. C'est par ce motif que dans des circonstances analogues les métaux les plus roides sont préférés, que l'acier est employé à la place du fer. Toutefois cela ne peut avoir lieu qu'en tenant compte du travail total que la rupture consomme, de la *résistance vive de rupture.* Il y a en effet quelque chose de tout à fait insuffisant, de tout à fait en arrière des derniers progrès de la science, à se limiter à une étude *statique* des effets de l'élasticité, quand la rupture est évidemment due à la consommation d'un travail mécanique. Si l'on fait la quadrature des courbes dont il a été parlé plus haut, dont les ordonnées sont les efforts exercés, et dont les abscisses sont les allongements ou les chemins parcourus dans la direction de ces efforts, on aura bien le travail qui répond à un allongement donné. Si celui-ci répond au point où commencent les déformations permanentes, on aura la résistance vive d'élas-

ticité; si elle répond au point de rupture, on aura la résistance vive de rupture. On reconnaît ainsi, pour nous reporter à l'exemple cité, que les fers doux possèdent une résistance vive de rupture bien plus grande que les fers durs et les aciers.

2° *Résistance à la compression.* — La résistance des corps à la compression, à des actions qui tendent à rapprocher leurs molécules avant le point de rupture, est en général bien plus grande que celle qu'ils opposent à la rupture par extension. Pour les corps cassants, les pierres, les briques qui forment les massifs en maçonnerie, les efforts doivent être dans la pratique bien inférieurs à ceux qui pourraient, en causant un commencement d'altération, faire courir les plus grands dangers à la solidité d'un édifice. On voit par là quel rôle capital jouent, dans l'art de l'architecture et les arts de construction en général, les recherches dont il s'agit, et dont l'ensemble constitue la théorie de la résistance des matériaux. Celle-ci résulte de l'ensemble des expériences faites sur les substances employées, expériences interprétées avec toutes les ressources du calcul. (Voy. *Résistances.*)

3° *Résistance à la flexion.* — La partie où le calcul prête le plus d'aide à l'expérience est celle qui se rapporte à la résistance des corps de sections diverses soumis à un effort transversal qui tend à en déterminer la rupture. Cette théorie conduit à la détermination des formes des solives des planchers, des différentes parties des fermes, aux formes des fers dits à T, si employés dans les constructions; enfin à la forme parabolique des solides d'égale résistance, forme usitée dans les grandes constructions de machines, et qui est celle du solide qui, encastré à une de ses extrémités et chargé d'un poids à l'autre, offre la même résistance en tous les points quelle que soit leur distance du point où le poids est suspendu.

III. — *Fabrications mécaniques. — Outils et machines-outils.*

Nous rangeons sous ce titre (en laissant de côté les questions d'assemblage dont les principes sont du domaine de la géométrie) les opérations dans lesquelles les corps sont soumis à des forces supérieures à celles qui répondent à la limite d'élasticité, ce qui n'a guère jamais lieu, en effet, que pour leur donner des formes voulues, pour atteindre un but utile.

1° *Désagrégation, pulvérisation des corps durs.* — Nous citerons d'abord l'emploi du choc pour pulvériser les corps durs, pour les broyer et les amener à l'état de poussières d'une grande ténuité. On peut dire que la théorie de ces opérations est encore peu avancée, surtout pour ce qui se rapporte à la forme des éléments. (Voy. *Broyage*).

2° *Le changement de forme pour les métaux.* — On distingue la propriété si précieuse pour l'industrie, de modifier la forme des métaux par l'action des forces en deux classes. La *malléabilité* se rapporte à la faculté de s'étendre en lames spécialement à l'aide du laminoir, de se forger, soit à froid, soit à chaud, base de tout le travail du fer, du cuivre pour chaudronnerie, etc., propriété surtout utilisée par des actions de compression. La *ductilité* se rapporte seulement aux actions d'extension dans un cas spécial, à la facilité du corps à s'étendre en fils, en lames, par son tirage à la filière; à sa résistance à la rupture en même temps qu'à sa malléabilité.

Dans les deux cas, les molécules sont déplacées au delà de la limite d'élasticité, puisqu'elles ne reviennent pas à leur position primitive; ce qui explique la nécessité, dans la plupart des cas, de réchauffages pour ressouder les molécules entre elles.

L'écoulement du métal sous l'influence de forces supérieures à celles de cohésion, se produit comme celui d'un liquide par l'effet des forces les plus minimes.

3° *Division des corps.* — C'est en réalité par une action de rupture par compression qu'agissent tous les outils qui servent à donner la forme voulue aux corps sur lesquels on opère. Seulement la forme tranchante donnée aux outils permet d'opérer la division avec de faibles efforts, d'après la théorie mécanique du plan incliné. Cela est vrai non-seulement pour les corps fibreux, tels que le bois, mais aussi pour les corps fondus, pour la fonte de fer, par exemple; l'outil agit encore comme un corps dur qui repousse et comprime la partie du métal qu'il rencontre, la fait rompre des parties voisines du corps. Ces phénomènes forment la base de l'importante théorie des *machines-outils*.

IV. — *Résistances au mouvement.*

Frottement de glissement. — Des expériences très-précises et fort utiles, puisqu'elles ont permis d'évaluer exactement des résistances qui se rencontrent à chaque instant du mouvement d'un corps, et qui sont souvent presque les seules forces retardatrices qui s'opposent à la continuation d'un mouvement une fois imprimé, ont permis d'établir les trois grandes lois du frottement, qui sont :

1° Le frottement est proportionnel à la pression;

2° Le frottement est indépendant de l'étendue des surfaces en contact;

3° Le frottement est indépendant de la vitesse du mouvement.

Il suit de là que, pour avoir le travail consommé par le frottement, il suffit de connaître par expérience le rapport du frottement à la

pression pour les surfaces en contact, ce qu'on appelle le coefficient du frottement. Les valeurs de ces coefficients déterminées avec grande précision pour les substances habituellement en contact dans les applications, forment des tableaux qui permettent d'évaluer avec facilité la résistance passive due au frottement de glissement, la plus importante de toutes.

La nature des lois du frottement prouve bien clairement qu'il ne provient pas d'un engrénement des molécules des surfaces en contact, qui serait nécessairement en raison des aspérités rencontrées, et par suite de la vitesse, mais d'une vibration qui se propage dans l'intérieur du corps, ce qui se reconnait au reste dans nombre de cas où le frottement engendre des vibrations sonores.

Frottement de roulement. — On appelle frottement de roulement la résistance qui s'exerce au contact d'une partie circulaire qui roule *sans glissement*. Cette résistance est tout à fait insignifiante; si, dans la pratique, il ne paraît pas quelquefois en être ainsi, c'est qu'on confond avec le roulement soit le travail consommé par une action de compression sur le support, soit un frottement de glissement qui se produit en même temps.

Résistance des liquides. — La résistance des liquides n'a pas jusqu'à ce jour pu être ramenée à une théorie simple. Ce sont les résultats obtenus par voie expérimentale qui fournissent surtout les règles de la pratique.

La règle fondamentale formulée par Newton *a priori*, et qui serait exacte si les filets liquides ne participaient au mouvement imprimé, c'est que la résistance est proportionnelle au carré de la vitesse du corps en mouvement dans le fluide.

Cette loi doit être modifiée en raison de la forme des corps, tant de la forme de la partie antérieure que de la partie postérieure et latérale. C'est sur l'étude du mode d'inflexion des filets fluides et leur séparation avec le minimum de communication de forces vives à la masse liquide qu'est fondée la science de l'ingénieur maritime, du constructeur de navires.

Résistance de l'air. — Comme dans le cas précédent, cette résistance peut approximativement être considérée comme proportionnelle au carré de la vitesse, multipliée par un coefficient variable en raison de la forme du corps en mouvement.

V. GÉOMÉTRIE INDUSTRIELLE.

APPLICATIONS DE LA GÉOMÉTRIE.

La géométrie étant, comme nous l'avons dit, la science de l'étendue figurée, fournit la base de plusieurs sciences d'application d'une grande importance, de l'ordre de celles que nous avons appelées sciences d'ingénieur.

L'application directe de la géométrie des anciens fournit les règles des tracés de tout genre, de l'arpentage, de la mesure des surfaces, des volumes. etc.

Pour ce qui se rapporte aux corps, il faut employer des méthodes constituées en corps de doctrine, formant une science qui fournit des instruments indispensables pour toutes les industries, et qui constitue la base de l'instruction de tout ingénieur; nous voulons parler de la géométrie descriptive.

Géométrie descriptive. — C'est sous ce nom que l'illustre Monge a résumé sous forme scientifique l'ensemble des méthodes qui ont pour but, soit de représenter toutes les formes extérieures des corps, soit de résoudre sur des figures considérées dans l'espace, à l'aide de constructions exécutées seulement sur un plan, tous les problèmes qui peuvent se présenter.

Pour parvenir à ce but, la géométrie descriptive emploie la méthode des projections; rappelons en quoi elle consiste essentiellement.

Si l'on considère un point dans l'espace, et trois plans se coupant à angles droits, la position de ce point sera complétement déterminée si l'on connaît la distance de ce point aux trois plans; ou, ce qui revient au même, les longueurs des perpendiculaires abaissées de ce point sur chacun des trois plans, puisqu'il se trouve à la rencontre des trois plans parallèles aux premiers, distants de ces longueurs de perpendiculaires. Si on suppose celles-ci construites, et qu'on abaisse du point de rencontre de chaque perpendiculaire avec le plan une perpendiculaire sur la ligne d'intersection de ces plans, on formera ainsi pour chaque système de deux plans un rectangle, et les lignes tracées sur un plan représenteront la distance du point à l'autre plan. Donc les deux lignes tracées sur deux des plans suffiront, avec les pieds des deux perpendiculaires abaissées du point, et qui sont dites *projections* de ce point, à déterminer rigoureusement la position du point, par rapport à ces deux plans, et même d'une manière absolue, car l'ensemble des deux perpendiculaires détermine le plan parallèle au troisième, que nous avons supposé passant par le point; ce troisième est donc superflu.

Mais si le système des deux plans suffit pour déterminer la position d'un point, en faisant tourner un de ces plans autour de la ligne d'intersection, dite *ligne de terre*, rien ne sera déformé dans ce plan qui viendra se superposer au premier.

Donc, rigoureusement, mathématiquement, la position d'un point dans l'espace sera déterminée par des tracés faits sur un seul plan.

Une ligne droite, une ligne courbe seront de

même déterminées par les projections des points qui composent ces lignes. Un plan sera déterminé par ses intersections avec les deux plans de projection; un corps engendré par une ligne droite (cylindres, cônes, etc., corps qui s'exécutant à l'aide de la règle, sont presque seuls usités dans les constructions), par leur intersection avec les plans de projection et la direction des droites génératrices.

Il est difficile de montrer en quelques mots comment se résout, dans chaque cas, le problème, théoriquement assez simple, qui forme l'objet des méthodes de la géométrie descriptive, à savoir : passer d'une ligne dans l'espace, déterminée par des relations avec des lignes connues, à ses projections, ou inversement, à l'aide des projections connues, construire cette ligne.

Sans entrer dans aucun détail, on comprend facilement que le problème se réduit toujours à déterminer pour chaque point le rectangle formé par le plan passant par les deux perpendiculaires qui déterminent les projections de ce point et qui coupe les plans de projection. Ayant obtenu les projections, en rabattant ce rectangle sur un des plans de projection (et on a tous les éléments nécessaires pour le construire), on pourra obtenir tout élément dont la connaissance sera utile.

En réunissant ainsi les méthodes simples qui conviennent pour chaque nature de problème, on peut résoudre tous les problèmes d'intersection, de tangence, etc., des divers corps, comme si on opérait sur les mêmes corps eux-mêmes, trouver la solution rigoureusement exacte de tout problème qui peut être proposé sur tous les corps dans l'espace. Toutes les opérations d'assemblage, de construction, pourront donc partir de ces dessins dits *épures*, au moyen desquels on déterminera la forme exacte des parties qui doivent s'assembler, dont les formes seront complétement déterminées par le tracé.

Nous rapporterons ici une belle page, c'est la préface de la Géométrie descriptive de G. Monge, le maître qui a le plus fait pour l'application des bonnes méthodes. Aussi respire-t-elle l'esprit du véritable progrès, et montre-t-elle bien l'utilité de la géométrie descriptive. Elle mérite à tous égards d'être conservée précieusement.

L'art de la géométrie descriptive a, dit-il, deux objets principaux : le premier est de représenter avec exactitude, sur des dessins qui n'ont que deux dimensions, les objets qui en ont trois, et qui sont susceptibles de définition rigoureuse.

Sous ce point de vue c'est une langue nécessaire à l'homme de génie qui conçoit un projet, à ceux qui doivent en diriger l'exécution, et enfin aux artistes qui doivent eux-mêmes en exécuter les différentes parties.

Le second objet de la géométrie descriptive est de déduire de la description exacte des corps tout ce qui suit nécessairement de leurs formes et de leurs positions respectives. Dans ce sens, c'est un moyen de rechercher la vérité; elle offre des exemples perpétuels de passage du connu à l'inconnu : et parce qu'elle est toujours appliquée à des objets susceptibles de la plus grande évidence, il est nécessaire de la faire entrer dans le plan d'une éducation nationale. Elle est non-seulement propre à exercer les facultés intellectuelles d'un grand peuple et à contribuer par là au perfectionnement de l'espèce humaine, mais encore elle est indispensable à tous les ouvriers, dont le but est de donner aux corps certaines formes déterminées; et c'est principalement parce que les méthodes de cet art ont été jusqu'ici trop peu répandues, ou même presque entièrement négligées, que les progrès de notre industrie ont été si lents.

On contribuera donc à donner à l'éducation nationale une direction avantageuse, en familiarisant nos jeunes artistes avec l'application de la géométrie descriptive aux constructions graphiques, qui sont nécessaires au plus grand nombre des arts, et en faisant usage de cette géométrie pour la représentation et la détermination des éléments des machines, au moyen desquelles l'homme, mettant à contribution les forces de la nature, ne se réserve pour ainsi dire, dans ses opérations, d'autre travail que celui de son intelligence.

ARTS DE CONSTRUCTION.

Une des plus importantes applications de la géométrie descriptive est celle que l'on en fait aux arts de construction et notamment à la coupe des pierres et à la charpente, pour déterminer les formes les plus convenables à la solidité de toutes les parties qui entrent dans une voûte, un pont, ou dans un système de charpente.

Coupe des pierres. — Une voûte qu'il s'agit de diviser en voussoirs étant représentée par les projections de ses lignes génératrices, il faudra mener par les points de division les plus convenables, les plans suivant lesquels le contact doit avoir lieu. Les projections des intersections de ces plans avec la surface intérieure et extérieure de la voûte étant construites, il suffira de faire tourner ces plans jusqu'à ce qu'ils se confondent avec un plan de projection, pour en déduire le tracé exact des patrons dits *panneaux* qui servent à tailler les voussoirs.

Charpente.—Le travail des épures nécessaires pour le travail des bois et l'assemblage des charpentes est de même nature que celui relatif à la coupe des pierres. De la projection faite en plan horizontal et vertical résulte presque toujours directement l'écartement de grande partie des pièces principales, les plans de projection étant parallèles aux plans verticaux et horizontaux qui renferment en général ces pièces dans

une charpente. Les assemblages obliques déterminés en projection sont tracés à l'aide de panneaux déterminés au moyen de la méthode de rabattement dont nous venons de parler.

ARTS D'IMITATION. — 1. *Dessin.*

Nous venons de parler des épures, du dessin linéaire appliqué aux arts de construction. Les mêmes méthodes s'appliquent aux dessins qui doivent servir pour l'exécution, et dans lesquels par suite on doit éviter d'altérer les formes et proportions, comme pour les machines, l'architecture, les fortifications, etc. On les trace alors en général le plus souvent sur un plan parallèle à la disposition générale des objets, et on construit une projection qui se trouve être en même temps un dessin représentatif.

Traitons maintenant des méthodes scientifiques qui s'appliquent surtout au dessin artistique.

Perspective. — La *perspective* a pour but la représentation sur un plan des objets tels qu'ils nous apparaissent dans la réalité. Le problème à résoudre consiste à tracer sur ce plan ses points de rencontre avec tous les rayons qui, partant de l'œil, vont joindre tous les points des objets, c'est-à-dire tous les rayons lumineux qui, partant des contours des objets, se dirigent en ligne droite vers l'œil.

On voit que la détermination de la perspective est entièrement d'ordre géométrique, et que les méthodes de la géométrie descriptive suffisent parfaitement pour l'obtenir.

Le plan du tracé étant le plan vertical de projection, et les projections de l'objet et du point de vue étant données, le problème se réduit à déterminer le point de rencontre de ce plan avec chaque ligne menée par le point de vue et un point de l'objet, problème de géométrie descriptive fort simple.

On voit facilement que :

Toute ligne droite reste droite en perspective;

Toute droite parallèle au plan du tableau reste parallèle à elle-même en perspective;

Les droites parallèles entre elles, mais qui ne sont pas parallèles au plan du tableau, concourent en perspective; et, pour obtenir leur point de fuite ou de concours, il faut par l'œil du spectateur mener une droite parallèle aux premières et la prolonger jusqu'à la rencontre du plan du tableau.

Ombres. — On appelle *ombre* la portion de l'espace pour laquelle tous les rayons lumineux émanant d'un corps de forme quelconque sont interceptés par la présence d'un autre corps opaque, et *pénombre* la portion où parvient une partie seulement des rayons éclairants.

Le problème général des ombres consiste dans la détermination des lignes qui limitent l'ombre et la pénombre projetées sur une surface quelconque pour des formes connues du corps lumineux et du corps opaque.

Si l'on imagine un plan dont la position varie, mais de telle sorte qu'il reste toujours à la fois tangent aux deux corps, les intersections du plan dans ses positions successives détermineront une surface développable tangente à ces deux corps. Cette surface aura généralement plusieurs nappes dont la plus extérieure déterminera les limites extrêmes de la pénombre, et la plus intérieure les limites de l'ombre proprement dite. Les intersections de ces nappes, avec une surface quelconque, donneront les contours de l'ombre et de la pénombre *portées* sur cette surface.

Toutes ces constructions s'effectueront dans chaque cas particulier d'après les principes de la géométrie descriptive, puisque le problème se réduit à mener des plans tangents à des surfaces (le plus souvent seulement un cône tangent, quand l'objet lumineux se réduit à un point, est situé à une grande distance). La perspective des lignes d'ombre dont on aura ainsi obtenu les projections, se trouvera d'après les méthodes dont nous venons de parler précédemment.

Du dessin en général. — Le dessin artistique étant surtout fondé sur la perspective et les ombres, trouve donc dans la géométrie descriptive la règle des déterminations que l'expérience permet ensuite de tracer, à main levée, avec une exactitude suffisante.

C'est encore l'étude de la géométrie descriptive qui permet à l'artiste d'apprécier les lignes essentielles d'un corps, celles qui accusent sa forme plus complétement que toute autre, les génératrices des surfaces de révolution, les lignes de plus grande courbure, dont l'emploi judicieux fait le charme des travaux des grands graveurs; travaux qui paraissent engendrés à peu de frais, et qui cependant sont le résultat d'une science profonde.

Dans la gravure, dit Monge, les teintes des différentes parties de la surface des objets représentés sont exprimées par des hachures que l'on fait d'autant plus fortes ou d'autant plus rapprochées, que la teinte doit être plus obscure. Lorsque la distance à laquelle la gravure doit être vue est assez grande pour que les traits individuels de la gravure ne soient pas aperçus, le genre de la hachure est à peu près indifférent; et, quel que soit le contour de ces traits, l'artiste peut toujours les forcer et les multiplier, de manière à produire la teinte qu'il désire et à produire l'effet demandé. Mais, et c'est le cas le plus ordinaire, quand la gravure est destinée à être vue d'assez près pour que les contours des traits de la hachure soient aperçus, la forme des contours n'est plus indifférente. Pour chaque objet et pour chaque partie de la surface d'un objet, il y a des contours de hachure plus propres que tous les autres à donner une idée de

la courbure de la surface; ces contours particuliers sont toujours au nombre de deux, et quelquefois les graveurs les emploient tous deux à la fois, lorsque, pour forcer plus habilement leurs teintes, ils croisent les hachures.

Ces contours, dont les artistes n'ont souvent qu'un sentiment confus, sont les *projections des lignes de courbure* de la surface qu'ils veulent exprimer.

Comme les surfaces de la plupart des objets ne sont pas susceptibles de définition rigoureuse, leurs lignes de courbure ne sont pas de nature à être déterminées, ni par le calcul, ni par les constructions graphiques. Mais si, dans leur jeune âge, les artistes avaient été exercés à rechercher les lignes de courbure d'un grand nombre de surfaces différentes et susceptibles de définitions exactes, ils seraient plus sensibles à la forme de ces lignes et à leur position, même pour les objets les moins déterminés scientifiquement; ils les saisiraient avec plus de précision, et leurs ouvrages auraient plus d'expression.

Représentation des surfaces du sol.

Représentations de petite étendue. — Pour représenter un terrain, c'est-à-dire une surface ondulée suivant des lois souvent très-complexes, on suppose celui-ci coupé par des plans horizontaux équidistants, et on projette ces courbes à l'échelle du levé sur un plan horizontal, par suite sans les défigurer. Ces courbes sont cotées suivant la hauteur du plan coupant, et serviront par suite à tracer sur le terrain, avec une extrême facilité, les routes, canaux, etc., assujettis à des conditions déterminées de pentes. Tous les éléments nécessaires sont fournis par le levé dont les méthodes sont des applications directes de la géométrie. (Voyez *Levé de plans.*)

Si l'on désire une figure du terrain plus représentative, on trace entre chaque courbe les lignes de plus grande pente, qui sont perpendiculaires aux deux courbes. Ces lignes étant tracées d'autant plus fortes qu'elles sont moins longues, les pentes les plus rapides seront plus noires, et l'œil saisira avec grande facilité les mouvements du terrain.

Le terrain ainsi figuré permet en fortification l'opération du défilement, opération qui consiste essentiellement à mener d'un point donné un plan tangent au terrain, afin de pouvoir élever un rempart dont la crête atteigne ce plan, et soit par suite assez élevée pour que du point culminant du sol on ne puisse voir l'intérieur d'un ouvrage de fortification.

C'est l'étude de cette question, la tradition des travaux faits dans le corps du génie, et surtout à l'école de Mézières, qui a permis à Monge d'extraire tout ce qu'il y avait de général dans les méthodes employées, et d'en faire le corps de doctrine dit de *Géométrie descriptive*, si important depuis lui, et devenu une des bases fondamentales de l'enseignement industriel.

Représentations d'une grande étendue. — Cartes de géographie. — La position d'un point sur le globe se détermine à l'aide de deux coordonnées, les longitudes et les latitudes, c'est-à-dire par l'arc du méridien compris entre ce point et l'équateur (la latitude); et l'angle de ce méridien avec un autre méridien servant de point de départ, celui de Paris, par exemple (la longitude).

Sur toutes les cartes ces deux systèmes de coordonnées sont tracés, mais d'une certaine manière en raison de la nature de la carte. De la même manière devront être représentées les parties du globe entrant dans ces carreaux, en partant du système précédemment décrit pour les détails.

C'est par des applications diverses de la méthode des projections que l'on obtient le mode de représentation dont il s'agit.

2. *Reproduction des objets.*

Passons maintenant au cas plus général où il s'agit, non plus seulement comme dans les arts du dessin, de produire l'image d'un objet, mais un objet en tout semblable à un autre. Cette question paraît surtout une question de mécanique; en effet, une section importante des applications de celle-ci correspond aux moyens de donner à un corps une forme voulue. Mais ces moyens mécaniques ne sont pas les seuls, il est d'autres procédés physiques et chimiques, le moulage par fusion ou dépôt galvanique, par exemple, qui sont destinés au même but, et qui, assez simples par eux-mêmes, sont utilement réunis au point de vue géométrique, au point de vue des formes à obtenir, car ils constituent alors une industrie qui dérive des beaux-arts, la classe des arts d'imitation. La question de la forme, de la pureté et de la proportion des lignes de l'objet à créer en rend le caractère d'arts géométriques prédominant et doit lui faire subordonner les moyens qui sont utilisés pour les produire.

Nous arrivons ainsi aux procédés des beaux-arts qui constituent des moyens industriels trop simples pour devoir être, la plupart du temps, longuement décrits; ils deviennent dignes d'une étude spéciale quand le procédé technique se complique et que la production perd de son caractère purement artistique. Ainsi le procédé industriel qu'emploie le sculpteur pour produire une statue avec un ciseau et un marteau est d'une extrême simplicité; mais si cette statue est produite par un outil dont la position varie de manière à engendrer successivement tous les points de la surface, le procédé qui permet d'atteindre ce résultat exige toutes les ressources de la mécanique.

On voit de plus que ce mouvement ne peut être produit convenablement qu'autant qu'il est

déterminé par un système qui a une relation intime avec la surface à produire. Un genre de relations semblables existe nécessairement pour toute création analogue à celles des beaux-arts engendrée par procédés industriels, c'est-à-dire dont la production peut être répétée à l'infini, indépendamment du talent de l'opérateur ; c'est pour ce motif qu'ils constituent la division des arts d'imitation.

Il en sera de même, en général, de tout ce qui contribue à la décoration, à l'ornement de tout produit industriel. Le produit spontané du talent de l'artiste sera de l'art, la reproduction indéfinie de cet objet sera du domaine de l'industrie.

Comme procédés rentrant dans cette division, nous citerons ceux : de la gravure en tout genre, — de la sculpture, — du moulage, — de l'impression en général.

ART INDUSTRIEL.

L'analyse des sciences appliquées à l'industrie, nous conduit finalement à un ordre de questions d'un ordre spécial, se rapportant aux Beaux-Arts dont l'importance est manifeste. Il faut que la création artistique qui viendra servir de modèle pour l'ornementation, que l'élégance d'un produit industriel, que la forme qui sera assignée à celui-ci dérive des beaux-arts, satisfasse aux conditions de goût, de beauté que la culture de ceux-ci apprend à connaître.

Il n'est donc pas permis de laisser de côté les applications des beaux-arts à l'industrie dans une œuvre consacrée à l'ensemble de l'art industriel, et de se limiter à l'étude des procédés techniques, en négligeant ce qui se rapporte à l'élégance des formes, à l'harmonie des proportions et des couleurs. Une semblable étude doit être le couronnement indispensable de notre œuvre comme celle des sciences devait en former la base. Il est facile d'en démontrer l'absolue nécessité.

Il n'est pour ainsi dire pas de fabrication qui n'exige l'emploi de la faculté que nous appelons le goût, pour laquelle il suffise de remplir des conditions de solidité, d'économie. Qu'on jette un coup d'œil sur la plupart, et on aura bientôt reconnu que l'art entre pour une grande part dans la production industrielle, et c'est souvent la plus importante ; il n'est pas de fabricant qui, à un point de vue spécial, ne l'ait senti. Il me suffit, pour le prouver, d'indiquer quelques cas pour lesquels aucune contestation n'est possible, de citer l'orfévrerie, les bronzes, les meubles, les poteries, les étoffes. Pour tous ces produits, la bonté de fabrication ne suffit pas ; il faut compléter l'œuvre par l'élégance des formes, le charme des décorations.

Les beaux-arts, c'est-à-dire l'architecture, la sculpture, la peinture, viennent remplir pour l'art industriel exactement le même rôle que les sciences pures pour les sciences appliquées aux arts, fournir les règles de l'application, sans pouvoir toutefois conduire à des résultats aussi précis. En effet, la méthode à suivre pour s'avancer quelque peu dans un ordre de connaissances tout différent des connaissances scientifiques, est tout autre que pour celles-ci. Il suffit pour le comprendre facilement de réfléchir à la nature du genre de notions auquel appartient l'esthétique, dont relèvent les règles qui dominent les beaux-arts, c'est-à-dire à une théorie essentiellement d'ordre moral, philosophique, à une analyse de sentiments bien différents des axiomes des sciences positives. Aussi, ce n'est plus l'expérimentation physique aidée de la déduction pure, c'est l'étude des aspirations successives qui ont passionné l'humanité, c'est l'ordre historique qui peut seul mener à quelques résultats. Il faut, pour développer en nous le sentiment du beau, étudier les œuvres produites aux époques de plus grande splendeur de la civilisation, c'est-à-dire, comme pour la littérature : la Grèce de Démosthène, de Platon, de Sophocle ; la Rome de Virgile, d'Horace ; le Moyen âge de l'Imitation, de Froissart ; la Renaissance du Dante, de Pétrarque ; le siècle de Racine, de Corneille ; celui de Voltaire, de Rousseau. Enfin, l'époque actuelle avec sa passion pour l'art dans toutes ses manifestations.

Malheureusement il résulte de ce que les règles ne se déduisent pas d'un premier principe, qu'on ne peut formuler des résumés aussi satisfaisants, établir des règles aussi positives que celles que fournit l'application des sciences exactes au travail industriel. Toutefois, l'on peut espérer dans un semblable travail : fournir un utile point de départ, montrer la voie pour des recherches ultérieures, enfin, guider et épurer le goût, c'est-à-dire, ce qui varie le plus avec l'individu, en réunissant ce qu'il est possible de formuler de plus incontestable, et ainsi sûrement, tout au moins, faire éviter des grossières erreurs en signalant les écueils.

RÉSUMÉ.

Nous pouvons résumer le travail qui précède aux deux points de vue auxquels nous nous sommes placés, ce qui en montrera bien les relations intimes.

Etude de la nature et des lois au point de vue de la connaissance.

I. Mathématique pure. — Étude des lois et des relations en elles-mêmes.
II. Géométrie. — Étude de l'étendue figurée.
III. Mécanique rationnelle. — Étude des lois du mouvement.
IV. Physique. — Étude des propriétés générales des corps de la nature.
V. Chimie. — Étude des modifications de la nature intime des corps.
VI. Biologie. — Étude de la vie des êtres organisés.

Application au travail industriel des connaissances réunies dans les sciences précédentes.

I. Physique industrielle. — Règles pour le chauffage, l'éclairage, l'emploi de l'électricité, etc.
II. Chimie industrielle. — Lois des actions réciproques des corps. — Leur extraction. — Métallurgie. — Produits chimiques, etc.
III. Biologie industrielle. — Agriculture. — Culture des plantes. — Élève des animaux.
IV. Mécanique industrielle. — I. Cinématique (mouvement au point de vue géométrique). Théorie des mécanismes. — II. Mécanique physique. — 1° Production du travail; — 2° Résistance des matériaux, stabilité des constructions; — 3° Fabrication mécanique, outils et machines-outils; — 4° Résistances au mouvement.
V. Géométrie industrielle. — Géométrie descriptive. — Arts de construction. — Arts d'imitation.

Si le lecteur veut bien réfléchir un instant à ce qui précède, à moins que nous n'ayons pas su nous faire comprendre, il admettra avec nous :

1° Que notre classification des sciences pures comprend dans son cadre toutes les connaissances positives qui peuvent être acquises sur les lois des phénomènes que peuvent présenter tous les corps de la nature, tous les travaux à l'aide desquels on peut prévoir le résultat d'une action quelconque;

2° Que notre classification de l'emploi de ces connaissances comprend toutes les méthodes qu'elles peuvent fournir et à l'aide desquelles l'homme peut agir, le travail industriel s'effectuer. Toutes les pratiques industrielles doivent donc pouvoir se rattacher directement à l'une de ces divisions, et y trouver leurs règles;

3° Que les beaux-arts, qui sont l'expression la plus élevée du goût à chaque époque, dominent et inspirent les formes, les dessins, les couleurs des œuvres que l'industrie produit, et par une conséquence nécessaire, réagissent sur l'exécution de tous les produits d'usage journalier. On doit classer sous le nom d'*Art Industriel*, l'ensemble des notions d'art qui trouvent leur application dans l'industrie.

Nous devons par suite compléter notre classification en y ajoutant la classe suivante, relevant des beaux-arts comme les précédentes des sciences.

Art industriel. — Application des Beaux-Arts à l'industrie. — Architecture. — Sculpture. — Peinture.

Si nous avons bien raisonné, nous avons accompli l'œuvre que nous nous étions proposée, et la table suivante des matières renfermées dans le *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, disposée d'après l'ordre ci-dessus indiqué, fait de cet ouvrage un traité complet de technologie, tout en lui laissant les avantages pour la facilité de recherches, la variété pour la lecture, que lui procure l'ordre alphabétique.

TABLE

DU

DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES

INTRODUCTION.

Importance de la technologie. — Sa classification. — Divers systèmes proposés : en partant des matières premières ; en partant des emplois des utilités produites, des besoins auxquels l'industrie satisfait. — Vices de ces systèmes. — Le meilleur système, sans contestation possible lorsqu'il s'agit de l'étude de la technologie, pour l'analyse des moyens de production, est celui qui fait reposer la classification de ceux-ci sur l'ordre logique des sciences, qui renferment les lois dont les procédés industriels sont des applications.

Une semblable classification fait apprécier la liaison intime qui existe entre les sciences, les arts et l'industrie, et, par suite, tend à inciter puissamment tout producteur industriel, une fois qu'il a bien compris comment il ne peut parvenir à la création d'un objet que par l'application des lois naturelles, à avancer dans la voie de son perfectionnement, à devenir capable d'analyser les phénomènes.

Pour en démontrer la valeur, nous passons en revue dans cette introduction les connaissances que les sciences mettent à la disposition du travail industriel ; on voit clairement qu'elles embrassent la totalité de celles qu'utilise l'industrie. La classification des sciences conduit par suite à celle des procédés de l'industrie.

INTRODUCTION. De la méthode scientifique, et de son application à tout genre de recherches. — Règles pour la direction de l'esprit, par Descartes. — Des sciences en général.

Sciences pures. I. Mathématique, ou Science des lois en elles-mêmes. — De la grandeur et des quantités. — Arithmétique, science des nombres. — Théorie des fonctions : Algèbre, Calcul infinitésimal.

II. Géométrie, science de la mesure de l'étendue. — Géométrie préliminaire ou des anciens. — Géométrie générale ou analytique. — Conception de Descartes.

III. Mécanique rationnelle, science du mouvement et des causes du mouvement. — Cinématique pure, ou étude du mouvement indépendamment de ses causes. — Statique, ou étude de l'équilibre. — Dynamique, ou effets des forces. — Théorèmes généraux de la mécanique : théorèmes des forces vives, des aires, de la conservation du centre de gravité. — Astronomie.

De l'ensemble de la science mathématique, renfermant les ressources de la logique appliquée à l'étude du caractère le plus général de tout phénomène, à la grandeur, et subjectivement les lois du monde matériel réduites au plus haut degré possible d'abstraction.

Sciences physiques. Étude de la nature intime et de l'état des corps.

IV. Physique, science des états généraux des corps, des forces vives et des actions des molécules élémentaires qui les composent. — Constitution des corps solides, liquides, gazeux. — Densités. — Chaleur. — Électricité. — Magnétisme. — Électro-magnétisme. — Acoustique. — Lumière.

1. PHYSIQUE INDUSTRIELLE. — Application à l'industrie des lois des phénomènes naturels qui constituent la science physique.

V. Chimie, ou Science des combinaisons des premiers éléments de la matière. — Chimie générale. — Mécanique chimique. — Chimie organique.

2. CHIMIE INDUSTRIELLE. — La science et l'application se confondent dès que le corps produit par la réaction peut être utile. — Minéralogie, métallurgie.

VI. Biologie, science des phénomènes vitaux. — Physiologie végétale. — Classification des végétaux. — Zoologie : Circulation, respiration, nutrition, système nerveux. — Classification des animaux.

3. BIOLOGIE INDUSTRIELLE. — Botanique industrielle, produits fournis à l'industrie par les végétaux. — Zoologie industrielle, produits fournis par les animaux. — Agriculture. — Culture des végétaux et élève du bétail. — Hygiène.

Sciences appliquées. Application des sciences pures aux corps doués de toutes les propriétés que les sciences physiques nous ont fait connaître comme leur appartenant, et non réduits à une abstraction.

4. MÉCANIQUE INDUSTRIELLE. — Cinématique : — Transformations et modifications du mouvement. — 1. Génération du travail mécanique. — Récepteurs. — Moteurs animés, moteurs hydrauliques, machines à feu. — 2. Mécanique physique : outils et machines-outils servant à agir sur les corps. — 3. Fabrications mécaniques. — 4. Production de mouvement et résistances.

5. GÉOMÉTRIE INDUSTRIELLE. — Arts d'assemblage. — Arts de construction : — Architecture, Travaux publics. — Arts d'imitation : — Sculpture mécanique, — Moulage et fonderie, — Dessin, — Gravure, — Impression.

Enfin, comme complétant l'ouvrage, en dehors du domaine de la philosophie naturelle, nous rangerons dans les deux sections suivantes ce qui, dans le travail industriel, se rapporte au beau et à l'utile.

6. ART INDUSTRIEL. — L'art intervient dans toute production. — Les beaux-arts fournissent les règles du beau qui, comme celles des phénomènes naturels fournis par les sciences, dominent tout le travail industriel. — Succession des styles dans l'architecture, la sculpture et la peinture, et dans la céramique, les meubles, l'orfévrerie, etc., dans tous les produits industriels (V. p. 31).

7. ÉCONOMIE INDUSTRIELLE. — Principes de l'économie politique. — Production de la richesse par le travail. — Monopoles qui limitent la concurrence. — 1. Monopoles personnels : — Liberté de l'industrie. — Brevets d'invention. — Enseignement. — 2. Monopoles de propriété : — Du crédit et de l'association. — 3. Monopoles légaux. — Postes et chemins de fer. — Douanes et libre échange (Voir page 32).

CLASSIFICATION des produits de l'industrie suivie pour l'Exposition de 1867 (*Compl.*).

PREMIÈRE SECTION.

PHYSIQUE INDUSTRIELLE.

La physique industrielle a pour objet les applications au travail industriel des théories auxquelles conduit l'étude expérimentale des états généraux des corps, les lois des phénomènes que nous présentent les corps sous l'influence des causes de modification. Les résultats des recherches scientifiques fournissent directement les règles de la pratique.

La physique industrielle comprend :

1° La connaissance de la constitution des corps qui explique leurs propriétés spéciales qu'on utilise dans l'industrie, constitution que la nouvelle théorie de la chaleur conduit à considérer sous un point de vue nouveau ;

2° Les règles pour la production et l'emploi dans les arts de la chaleur, c'est-à-dire de l'agent presque universel du travail industriel, par suite de sa nature de force vive moléculaire, tant pour aider à la transformation des corps par action chimique que pour créer la puissance mécanique à l'aide des machines à feu. C'est une partie fondamentale de la science industrielle ;

3° L'étude des applications modernes de l'électricité, tant de l'électro-chimie que de l'emploi des courants électriques pour la télégraphie et l'éclairage ;

4° L'utilisation des phénomènes du mouvement vibratoire des corps sonores, des principes de l'acoustique, sur lesquels repose la construction des instruments de musique ;

5° Les règles pour la construction des appareils d'éclairage, les actions physiques et chimiques de la lumière, les effets de contraste des couleurs. La question de l'éclairage comme celle du chauffage est à étudier pour la bonne organisation de tous les établissements industriels.

Constitution des corps.

GAZ. — Caractères généraux des gaz. — Leur élasticité. — Loi de Mariotte. — Mouvements vibratoires permanents des molécules gazeuses. — Leur vitesse. — Force vive pour l'unité de poids. — Démonstration de leur mode de constitution par les expériences d'endosmose de Graham. — Cherche-fuites (*Compl.*).

LIQUIDES. — Divisibilité. — Résistance à la compression. — Mouvements orbitaires et tourbillons. — Attraction des molécules des liquides, figures de cohésion. — Diffusion. — Capillarité. — Constitution des liquides. — Formule de leur état dynamique (*Compl.*).

SOLIDES. — Elasticité statique des liquides. — Des vibrations dans les solides. — Constitution des solides. — De la cristallisation et du mouvement vibratoire des molécules (*Compl.*).

DURETÉ. — Expériences de MM. Johnson et Calvaert. — De M. Hugueny (*Compl.*).

DUCTIBILITÉ. — MALLÉABILITÉ. — ÉLASTICITÉ des principaux corps.

PLASTIQUES (CORPS). — Définition de la plasticité. — Emploi du plomb. — Applications industrielles (*Compl.*).

ADHÉSION. — Des corps au contact. — Adhésion des liquides. — Machine de Véra.

GÉLIVITÉ DES PIERRES.

CAPILLARITÉ. — Expériences de M. Plateau (*Compl.*).

OSMOSE. — Procédé Dubrunfault pour le traitement des mélasses (*Compl.*).

FILTRATION (par M. Rouget de Lisle). — Historique. — Considérations générales, par M. Arago. — Filtration en grand. — Appareils de Toulouse. — Appareils de Londres.

Petits appareils. — Filtre Ducommun. — Filtre éal. — Filtre Fonvielle. — Manière de monter le filtre, — de le nettoyer. — Quantités d'eau filtrées. — Filtre Lanny. — Filtre Souchon.

Filtres industriels. — Leur emploi pour des substances autres que l'eau. — Filtre Dumont à noir animal. — Filtres Tard, à pâte de papier.

CRISTALLISATION.

COMPRESSIBILITÉ DES GAZ. — Loi de Mariotte. — Expériences de M. Regnault (*Compl.*).

VOLUMÉNOMÈTRE (*Compl.*).

LIQUÉFACTION DES GAZ. — Expériences de M. Pouillet. — Appareil Thilorier. — Méthode de Faraday. — Mesure de la quantité de travail qu'exige la liquéfaction de l'unité de volume des principaux gaz (*Compl.*).

MANOMÈTRES (par M. Debette). — Instruments propres à mesurer la pression des gaz. — Manomètre à air libre. — Manomètre Journeux de l'invention de M. Galy-Cazalat. — Manomètre métallique de M. Bourdon. — Son emploi pour l'épreuve des chaudières. — Manomètre Richard. — Manière d'introduire le mercure et l'eau dans les tubes.

Pesanteur.

Effets de la gravité sur les corps à l'état statique.

DENSITÉS des principaux corps.

POIDS ET MESURES adoptés par les diverses nations.

BALANCE (par M. Debette). — Conditions auxquelles doivent satisfaire de bonnes balances. — Romaine. — Peson. — Bascule.

ARÉOMÈTRE. — Emploi de cet instrument pour obtenir la densité d'un liquide. — Aréomètre à poids variable. — A volume variable. — Tableaux pour l'emploi de l'aréomètre de Beaumé, et pour celui de Cartier.

BAROMÈTRE. — Valeur de ses indications pour la prévision du temps. — Comparaison des valeurs si-

multanées de la pression atmosphérique en divers lieux, connues à l'aide du télégraphe électrique. — Emploi du baromètre pour la mesure des hauteurs. — Baromètres métalliques (*Compl.*).

ALCOOLOMÈTRE. — Tables pour son emploi.

FLOTTEUR.

INDICATEUR de niveau d'eau (*Compl.*).

OLÉOMÈTRE (par M. Girardin). — Oléomètre à chaud de M. Laurot. — Oléomètre à froid de M. Lefebvre. — Tableaux pour l'emploi de l'oléomètre. — Élaïomètre de M. Gobley.

CLINOMÈTRE. — Instrument qui permet d'apprécier l'inclinaison d'un navire.

SYPHON.

AÉROSTAT. — Montgolfière. — Ballon de Charles. — Direction des ballons. — Impossibilité par moyens mécaniques démontrée par Navier. — Ballons captifs. — Réunion d'un ballon et d'un cerf-volant, proposée par M. Transon.

CLOCHE A PLONGEUR. — Scaphandre. — Appareil Rouquairol. — Nautilus (*Compl.*).

Chaleur.

Moyens de se procurer du feu. — Mesure des quantités de chaleur.

BRIQUET. — A silex. — A gaz hydrogène. — Phosphorique.

ALLUMETTES. — Allumettes dites chimiques. — Allumettes sans explosion. — Allumettes sans soufre. — Allumettes-bougies.

AMADOU.

THERMOMÈTRE. — Manière de construire le thermomètre à mercure. — Thermomètres métalliques.

THERMOMÈTRES. — PYROSCOPES (*Compl.*).

DILATATION. — Coefficients pour les divers corps.

DILATATION DES LIQUIDES. — Recherches de M. I. Pierre. — De M. Thilorier. — De M. Drion. (*Compl.*).

CHALEURS SPÉCIFIQUES (par M. Ch. Laboulaye).

I. Chaleurs spécifiques des gaz simples. — Expériences de M. Regnault. — Loi de Dulong et Petit. — Valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur déduite de la valeur constante, à égalité de volume, des chaleurs spécifiques et des coefficients de dilatation des gaz simples.

II. Chaleurs spécifiques des corps solides. — Limites d'exactitude de la loi de Dulong. — Effets de la cohésion moléculaire.

III. Chaleurs spécifiques des liquides. — Variations des chaleurs spécifiques des liquides avec la température. — De l'application de la loi de Dulong aux liquides.

IV. Chaleurs spécifiques des gaz composés.

V. Chaleurs spécifiques des vapeurs.

VI. Des chaleurs spécifiques des gaz à pression constante et à volume constant. — Travail mécanique équivalent à la différence des deux capacités (*Compl.*).

CHALEUR LATENTE OU DE CHANGEMENT D'ÉTAT DES CORPS (par M. Ch. Laboulaye).

I. Chaleur de fusion des solides. — Sa relation avec les coefficients d'élasticité.

II. Chaleur de vaporisation des liquides. — Constance du travail de vaporisation par calorie, pour les divers liquides. — Travail résistant des forces moléculaires dans un liquide.

FORCES VIVES CALORIFIQUES TOTALES DES CORPS. — 1° A l'état de gaz. — 2° A l'état liquide. — 3° A l'état solide.

Emploi industriel des chaleurs de changement d'état. — 1° Températures constantes. — 2° Transport de chaleur. — 3° Production du froid : par vaporisation des liquides ; par liquéfaction des solides. — Mélanges réfrigérants (*Compl.*).

Production de la chaleur.

PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR LES COMBINAISONS CHIMIQUES (par M. Ch. Laboulaye). — Historique de la question. — Théorie du phlogistique de Stahl. — Théorie du calorique de Lavoisier. — Théorie électrique de Berzélius. — Le principe d'équivalence de la chaleur et du travail mécanique pouvait seul montrer, dans la quantité de chaleur, la mesure du travail mécanique de cohésion des atomes élémentaires d'un composé.

I. Phénomènes physiques. — Chaleurs spécifiques de changement d'état, etc.

II. Phénomènes chimiques. — Résultats des expériences de Dulong, de Favre et Silbermann.

Combinaisons de corps gazeux demeurant gazeux. — Combustion de l'oxyde de carbone dans l'oxygène. — De l'hydrogène.

Combustion du carbone. — Du soufre.

Cas général. — Réactions entre corps liquides.

Mode de combinaison indiqué par les quantités de chaleur dégagées. — Remarques sur les équivalents mécaniques.

Des corps qui dégagent de la chaleur en se décomposant. — Des composés azotés. — Des corps d'origine végétale (*Compl.*).

COMBUSTIBLES. — COMBUSTION (par Ébelmen). — De la chaleur produite par la combustion. — De la température de combustion.

DES DIVERS COMBUSTIBLES. — (Mesure de leur pouvoir calorifique). — Bois. — Charbon roux. — Charbon. — Tourbe. — Houilles de diverses formations. — Coke.

DE L'EMPLOI DES COMBUSTIBLES. — Foyers de chaudières à vapeur. — Fourneaux à réverbère. — Fours à porcelaine. — Appareils à vent forcé. — Hauts-fourneaux. — Cubilots.

DE LA COMBUSTION DES GAZ. — Application de la théorie aux hauts-fourneaux. — De la transformation des combustibles en gaz, — par distillation, — par l'action de la vapeur d'eau, — par l'action de l'air seul.

Dessin et description d'un appareil servant pour cette transformation. — Résultats d'expériences. — Importance de ce nouveau mode d'emploi des combustibles.

Chaudière Beaufumé. — Fours Siemens.

COMBUSTION. — Évaluation approchée de la valeur calorifique d'un combustible, d'après sa composition chimique (*Compl.*).

CHALUMEAU AÉRHYDRIQUE (par M. Delbrück). — Dessin et description de l'appareil. — Chalumeau à vapeurs combustibles.

CHALUMEAU pour obtenir des températures très élevées (Voy. PLATINÉ et CHAUFFAGE).

CHEMINÉE. — Théorie de l'ascension des produits de la combustion. — Construction des cheminées. — De la hauteur des cheminées des usines.

TIRAGE. — Tirage par la fumée en partie refroidie. — Tirage par l'air brûlé refroidi. — Tirage produit par un jet de vapeur. — Expériences et théorie de M. Zeuner. — Tirage par procédés mécaniques. — Comparaison du prix de revient du tirage dans ces divers systèmes.

FUMÉE (par M. Debette). — Moyens de prévenir la fumée. — Systèmes de condensation de Ward, Vivian, etc. — Courant d'air additionnel, expériences de M. Combes. — Emploi de la vapeur d'eau, appareil Thierry. — Distributeurs mécaniques. — Grilles de M. Juckes. — Appareil Duméry, produisant la distillation et la combustion des gaz avant celle du carbone fixe. — Grille à gradins.

ESCARBILLES.

Utilisation de la chaleur.

CHAUFFAGE (par M. Grouvelle). — Emploi de la chaleur dans les habitations.

I. CHAUFFAGE DIRECT PAR LA COMBUSTION.

II. CHEMINÉES. — De Rumford. — A foyer mobile. — De Millet. — Cheminées à coke. — Cheminées qui fournissent de l'air chaud.

III. POÊLES. — De M. Chevalier. — De M. Duvoir. — Pour anthracite. — Calorifère Joly.

IV. CHEMINÉES-POÊLES. — Cheminées à la prussienne.

V. CALORIFÈRES. — De M. R. Duvoir. — Anglais. — De M. Grouvelle.

VI. CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR. — Dimensions du générateur, des tuyaux en proportion de l'espace à chauffer. — Mode d'assemblage. — Poêles à vapeur. — Chauffage de l'Institut.

VII. CHAUFFAGE PAR CIRCULATION D'EAU CHAUDE. — Circulation à basse pression. — Poêles d'eau. — Chauffage des serres. — Chauffage de la Chambre des pairs, par M. Léon Duvoir.

Circulation d'eau à haute pression. — Appareils de Perkins.

VIII. CHAUFFAGE PAR VAPEUR ET CIRCULATION D'EAU CHAUDE. — Avantages qu'offre la réunion des systèmes. — Application faite par M. Grouvelle au chauffage de Mazas.

Considérations générales sur le chauffage des établissements publics, des serres, etc.

CHAUFFAGE (au coke, au gaz, au pétrole). — Hôpital Saint-Louis. — Poêles anglais. — Chalumeau de M. Selcesing (*Compl.*).

ÉBULLITION. — Point d'ébullition de l'eau en raison des hauteurs. — Point d'ébullition de divers liquides. — Digesteur de Papin. — Autoclave de d'Arcet. — Point d'ébullition des dissolutions salines. — Expériences de M. Legrand.

ÉBULLITION. — Expériences de M. Donny. — De M. Dufour (*Compl.*).

CHAUDIÈRES A VAPEUR (par M. Debette). — De la forme la plus convenable des chaudières. — Chaudière de Newcomen. — Chaudière de Watt. — Chaudière cylindrique à bouilleurs. — Chaudière cylindrique sans bouilleurs. — Chaudière Farcot.

Chaudières des bateaux. — Chaudières des locomotives.

Alimentation des chaudières.

Réservoirs et prise de vapeur.

Appareils de sûreté. — Soupapes de sûreté. — Manomètre à air libre. — Thermomanomètre. — Indicateurs de niveau et flotteurs d'alarme.

Dépôts qui se forment dans l'intérieur des chaudières. — Des explosions.

CHAUDIÈRES à foyers intérieurs. — à circulation : — Belleville, — Field, etc. (*Compl.*).

INCRUSTATIONS (Voy. 2e *Section*).

ALIMENTATION (Voy 4e *Section*, MACHINES A VAPEUR et INJECTEUR).

VAPEUR. — Propriétés de la vapeur. — Tableau des forces élastiques de la vapeur d'eau de zéro à 150°. — Résultat des expériences de M. Regnault.

Volume de la vapeur d'eau saturée. — Expériences de Fairbairn.

HYGROMÉTRIE. — Psychomètre. — Hygromètres divers.

SPHÉROIDAL (État). — Expériences de M. Boutigny. (*Compl.*).

FUMIGATION.

ÉVAPORATION. — Évaporation spontanée à l'air libre. — Évaporation par un courant d'air forcé. — Travaux de Montgolfier, Curandeau, Kneller, Brame-Chevalier.

Évaporation à vases ouverts par l'action directe d'un foyer. — Maximum théorique que peut évaporer 1 kil. de houille. — Disposition des foyers et des chaudières pour se rapprocher de ce maximum.

Évaporation par chauffage à la vapeur. — Avantages de cette méthode. — Cas où elle est applicable.

Évaporation dans le vide. — Appareils anglais. — Appareil de Howard. — Système Degrand.

ÉVAPORATION. — Appareil à simple effet (*Compl.*).

SÉCHOIR. — Séchage à l'air chaud. — Quantité d'air chauffé à diverses températures, nécessaire pour enlever un kil. d'eau. — Séchage à la vapeur.

SÉCHAGE des étoffes (*Compl.*).

DISTILLATION. — Invention d'Adam. — Calcul du combustible nécessaire pour une opération déterminée.

DISTILLATION SÈCHE.

DISTILLATION SANS FEU, application du principe de l'équivalence du travail et de la chaleur (*Compl.*).

ALAMBIC. — Appareil de Cellier-Brumenthal. — Alambics employés en Angleterre.

CARBONISATION (par M. Debette).

CARBONISATION DU BOIS. — Procédé de Schwartz. — Procédé de Foucault. — Carbonisation en tas rectangulaires. — Carbonisation en meules.

Théorie de la carbonisation, d'après les travaux d'Ebelmen.

CARBONISATION DE LA HOUILLE. — Méthode du Straffordshire. — Méthode du pays de Galles. — Méthode du bassin de la Loire. — Carbonisation dans des fours.

CARBONISATION DE LA TOURBE. — En meules. — En vases clos.

COKE (par M. Debette). — Utilité du lavage de la houille. — Procédés usités en Belgique. — Prix de revient.

Fours pour préparer le coke de chemins de fer. — Fours du chemin de Boulogne.

FUSIBILITÉ. — Des principaux corps.

CALCINATION.

SUBLIMATION.

GRILLAGE DES TISSUS à l'aide du gaz. — D'une plaque chauffée. — Système Tulpin.

RÉGULATEUR DE TEMPÉRATURE (par M. Grouvelle). — Thermostat. — Régulateur de Sorel. — Thermo-régulateur de M. Rolland.

CHALEUR PERDUE (par Grouvelle). — Des fourneaux. — Des machines à vapeur sans condenseur (*Compl.*).

FOURNEAUX DE CUISINE. — Travaux de Rumford. — Fourneaux de la Charité. — Emploi du bain-marie. — Fourneaux des Jeunes-Aveugles.

Appareil Harel.

Fourneaux construits par M. Grouvelle pour la Société hollandaise.

TREMPE (par M. Laboulaye). — Effets de la trempe de l'acier. — Expériences de Karsten. — Effets de la trempe du bronze. — Explication probable des phénomènes de durcissement et de ramollissement produits par la trempe. — Du chauffage à un point fixe. — Des bains métalliques. — Du recuit. — Trempe des principaux outils. — Trempe des scies et ressorts de montre. — Procédé Griset pour la trempe des laminoirs d'acier.

Trempe au paquet. — Trempe régulière à l'aide du chauffage au gaz produisant une température constante.

RÉFRIGÉRANT. — Opérant par rayonnement dans l'air. — Par contact de l'eau froide passant de la partie la moins chaude à la plus chaude. — Dessins et descriptions de plusieurs appareils dans lesquels cette condition est satisfaite.

Appareils dans lesquels le refroidissement est obtenu par l'évaporation.

CONGÉLATION, ou production de froid. — 1° Par dilatation des gaz ; — 2° par évaporation ; — 3°. par mélanges frigorifiques. — Tableau de l'abaissement de température obtenu par divers mélanges. — Dispositions d'un appareil pour la production de la glace.

PRODUCTION DU FROID. — Appareil de M. Carré pour la production de la glace par travail mécanique. — Par gaz liquéfié (*Compl.*).

GLACIÈRE.

Rapports de la chaleur et du travail.

CALORIE (par M. Laboulaye). — Comment se produit le travail dû à un changement de température. — La puissance motrice d'une même quantité de chaleur est constante, quel que soit le corps échauffé. — Vérification de cette loi, par le calcul, à l'aide de données fournies par les expériences de la physique. — Corps solides. — Liquides. — Gaz. — Vapeurs.

ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR (par M. Laboulaye). — Du genre d'expérience le plus convenable pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur.

I. Frottement. — Expériences de M. Hirn sur le frottement des solides, avec interposition d'huiles diverses. — Frottement des liquides. — Expériences de M. Joule.

II. Écrasement du plomb.

III. Compression de gaz. — Expériences de M. Joule.

IV. Détente d'un gaz comprimé dans un réservoir. — Expériences de MM. H. Tresca et Ch. Laboulaye. — Nombres de deux séries, comprenant trente expériences conduisant à la valeur 370 kil. mèt. pour l'équivalent mécanique d'une calorie (*Compl.*).

DE LA PERMANENCE DES PUISSANCES NATURELLES (INTRODUCTION DU COMPLÉMENT).

VENTILATION (par M. Grouvelle). — Moyens de mesure. — Anémomètre. — Hygromètre. — Conditions de salubrité. — Procédés divers de ventilation.

Emploi général de la chaleur. — Cheminées.

Emploi des forces mécaniques. — Ventilateurs. — Machines à cloche. — Vis pneumatique. — Vis Fabry.

Tableau des résultats obtenus, et prix du mètre cube d'air évacué pour chaque système.

Application des principes à la ventilation des hôpitaux, — des prisons, — des prisons cellulaires, — des fosses d'aisances, — du dépotoir de la Villette, — des théâtres, — du palais de Sydenham, — des amphithéâtres.

VENTILATION PAR INSUFFLATION (*Comp.*). V. AIR COMPRIMÉ. (4e *Section.*)

VENTS. — Théorie de Maury sur la circulation atmosphérique. — Vents alizés (*Compl.*).

Les divers articles consacrés ici à l'étude de la chaleur, constituent une théorie mécanique de la chaleur, fondée sur le théorème des forces vives. Les mémoires et ouvrages relatifs à la théorie mécanique de la chaleur, parus jusqu'ici, doivent être rangés dans la physique mathématique; c'est assez dire qu'on y arrive souvent à des conséquences exagérées, par l'interprétation de formules résultant de quelques expériences, qui ont permis d'établir la relation différentielle qui a conduit à ces formules et qui constituent une base insuffisante pour un édifice trop élevé. En partant, au contraire, du principe des forces vives pour calculer les effets de la chaleur dans les corps à l'état initial et à l'état final, comme Poncelet l'a fait pour la mécanique appliquée, j'arrive à établir d'une manière simple et parfaitement logique, tous les théorèmes vrais de ce grand progrès scientifique. C'est parce que la chaleur, dans les corps, est une somme de forces vives, que la conversion de celle-ci en travail mécanique aussi bien que l'effet inverse, s'analysent parfaitement. Les conséquences auxquelles on arrive confirment l'exactitude de l'explication de la plus importante découverte faite dans ces dernières années, pour l'analyse des phénomènes naturels.

Pour faire un ensemble des divers articles de cet ouvrage, relatifs à la chaleur, dont la réunion forme un traité de sa théorie mécanique, il faut passer en revue les principaux, dans l'ordre suivant : Constitution des corps. — Gaz, liquides, solides. — Chaleurs spécifiques, — Chaleurs latentes, — Production de la chaleur. — Travail mécanique, comprenant : Équivalent mécanique de la chaleur. — Calorie. — Théorie des machines à air chaud, des machines à vapeur (IVe Section).

Électricité.

ÉLECTRICITÉ. — Phénomènes électriques. — Pile de Volta. — Effets physiques de la pile. — Effets chimiques. — Pile à auges. — Pile de Wollaston.

PILE au sulfate de mercure (*Compl.*).

INDUCTION. — Bobine de Rumkorf (*Compl.*).

PARATONNERRE.

GALVANOPLASTIE. — Histoire de la découverte.

APPAREILS GALVANIQUES. — Appareils simples. — Pile de Daniell. — Pile de Grove. — Pile de Bunsen.

DES BAINS. — Bains de cuivre. — Bains de plomb. — Bains d'étain.

DES MOULES. — Moules métalliques. — Moules plastiques. — Cire à cacheter. — Cire vierge. — Stéarine. — Papier et plâtre. — Soufre. — Gutta-percha.

MÉTALLISATION DES MOULES. — Solutions métalliques. — Poudres métalliques. — Plombagine. — Métallisation des poteries et des verres.

Des soudures.

APPLICATIONS DE LA GALVANOPLASTIE. — Reproductions des monnaies et médailles. — Copie des cachets, empreintes. — Galvanisation des statuettes, bas-reliefs. — Reproduction des végétaux. — Applications à l'art du fondeur. — A la métallurgie. — Reproductions de planches gravées.

GALVANOPLASTIE. — Reproduction des gravures sur bois. — Creux en cuivre. — Galvanoplastie du fer (*Comp.*)

DORURE GALVANIQUE (par M. Barral). — Historique de l'invention de ce procédé. — Dispositions adoptées chez MM. Christofle et Compagnie. — En quoi consiste essentiellement la découverte d'Elkington. — Composition des bains. — Revivification des bains. — Argenture. — Platinage. — Cuivrage. — Zincage. — Plombage. — Cobaltissage.

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE (par M. Bréguet). — Principes de ce nouveau mode de télégraphie. — Premier télégraphe de l'administration française. — Télégraphe à cadran. — Historique. — Idées d'Ampère. — Télégraphe de Schilling. — De Wheastone. — Dessin et description du télégraphe à cadran. — Télégraphe de Morse. — A aiguilles de Wheastone. — Télégraphe de Hughes, — autographique de Casellir — Des horloges électriques. — Applications diverses de l'électricité.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE (par L. Foucault). — Résultats obtenus jusqu'à ce jour. — Appareils pour rendre la lumière stable, — de M. Foucault, — de Staite, — de Soleil, — de M. Serrin. — Difficultés et avenir de ce mode d'éclairage.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE. — Prix de la lumière (*Compl.*).

AIMANT. — Aimant vibrant de Froment (*Compl.*).

LIMAILLE. — Machine de M. Verrin pour séparer la limaille de fer de celle de cuivre.

BOUSSOLE.

INDICATEUR MAGNÉTIQUE du niveau d'eau des chaudières, sans ouverture extérieure, par M. Lethuillier-Pinel (*Compl.*).

ÉQUIVALENCE DE L'ÉLECTRICITÉ ET DE LA CHALEUR OU DU TRAVAIL. — Expériences de M. De la Rive et de M. Favre. — Des moteurs électro-magnétiques. — Production d'électricité par travail mécanique. — Machines de Clark, de Wilde, de Ladd, etc. (*Compl.*).

Acoustique.

ACOUSTIQUE. — Échelle musicale. — Gamme. — Dièses et bémols. — Tempérament. — Accords.

Mesure des nombres de vibrations. — Sirène.

Des différentes manières de produire les sons. — Cordes vibrantes. — Vibration des tiges. — Vibration de l'air dans les tuyaux d'orgue.

TIMBRE. — Théorie de M. Heilmotz.

MUSIQUE (FABRICATION DES INSTRUMENTS DE) par M. Silbermann. — Principes de l'acoustique industrielle. — Tableau de la série entière des sons musicaux avec l'étendue tonale du plus grand nombre des instruments usités. — Classification des instruments de musique au point de vue acoustique et au point de vue industriel.

INSTRUMENTS DE MUSIQUE.

INSTRUMENTS A VENT EN BOIS. — Flûtes. — Clarinettes. — Hautbois, etc.

INSTRUMENTS EN CUIVRE. — Trompettes. — Cors. — Saxophones.

PIANOS (par M. Blanchet).

I. De la charpente. — Du barrage. — De la table d'harmonie. — Des cordes et de leurs diamètres.

II. De la mécanique. — Description d'une mécanique perfectionnée.

III. De l'ajustement. — Soins nécessaires.

ORGUES (par M. Lissajous). — Exposition détaillée des principes de la construction des grandes orgues.

I. Organes sonores. — Tuyau à bouche. — Tuyau à anche.

II. Soufflerie. — Dispositions de M. Cavaillé-Coll.

III. Sommiers.

Dispositions générales du mécanisme.

HARMONIUM.

TÉLÉGRAPHIE PNEUMATIQUE.

Lumière.

KALÉIDOSCOPE. — Théorie de cet instrument. — Son emploi dans le dessin industriel. — Disposition commode pour dessiner l'image produite.

DIORAMA (d'après Daguerre). — Description des procédés de peinture et d'éclairage inventés par Daguerre.

PANORAMA.

MICROSCOPE (par M. Lerebours). — Historique. — Principes de construction. — Systèmes principaux. — Emplois du microscope dans l'industrie. — Illusions. — Microscope solaire.

POLARIMÈTRE (Voy. SUCRE). Mode d'opérer. — Description du polarimètre de Soleil. — Exemples d'applications.

INSTRUMENTS D'OPTIQUE (par M. Lejeune). — Taille des verres au bassin. — Méthodes de vérifications de Foucault. — Instruments catoptriques. — Instruments dioptriques. — Lunettes. — Théodolite. — Cercle méridien. — Électro-chronographes (*Compl.*).

TÉLÉMÈTRE de M. Gautier (*Compl.*).

NICOL (PRISME DE). (*Compl.*)

TÉLÉGRAPHIE AÉRIENNE (par M. V. Meunier). — Historique. — Découverte de Chappe. — Description du télégraphe français. — Systèmes divers.

PHOTOGRAPHIE-DAGUERRÉOTYPIE (par M. Lerebours). — Invention. — Manière d'opérer. — Chambre noire. — Choix et polissage des plaques. — Iodage des plaques. — Des substances accélératrices. — De l'exposition au mercure. — Lavage à l'hyposulfite de soude. — Fixage des épreuves au chlorure d'or. — Portraits. — Collodion. — Albumine.

Photographie sur papier. — Papier ciré de M. Legray. — Épreuves positives et négatives. — Multiplication des épreuves. — Copie des gravures.

Gravure photographique. — Papiers photogéniques, — de M. Talbot. — Gravure de M. Talbot, — de M. Niepce. — De la Photo-lithogaphie. — Procédé Poitevin.

STÉRÉOSCOPE (*Compl.*).

COULEURS.

NACRE DE PERLES (*Compl.*).

CONTRASTE DES COULEURS (par M. Rouget de Lisle). — Des gammes et des tons des couleurs. — Tableau des variations qu'éprouvent les principales couleurs quand elles sont juxtaposées, d'après M. Chevreul. — Application des principes et exemples pris dans l'industrie.

Production de la lumière.

FLAMME.

LAMPE DE SURETÉ. — Propriété des toiles métalliques. — Description de la lampe de Davy. — Perfectionnements apportés par Mueseler, —, par M. Combes.

ÉCLAIRAGE (par M. Gibon). — Résumé des propriétés physiques de la lumière. — Photométrie. — Photomètre de M. Foucault, — de Bunsen.

ÉCLAIRAGE PAR LES MATIÈRES SOLIDES. — Chandelles. — Bougies.

ÉCLAIRAGE PAR LES HUILES. — LAMPES. — Becs des lampes. — Bec d'Argand. — Bec de la lampe sinombre. — Bec à mèches multiples.

Réservoirs placés au niveau des becs. — Réservoirs supérieurs aux becs. — Lampe de bureau. — Réservoirs inférieurs aux becs. — Lampe à ressort. — A modérateur. — Lampe Girard. — Lampe hydrostatique. — Lampe Carcel. — Lampe solaire.

ÉCLAIRAGE AU GAZ. — Historique. — *Distillation de la houille.* — Formes des cornues. — Cornues en terre. — Description des fours. — Fours pour l'emploi du goudron pour le chauffage des cornues. — Réunion des fours.

De la condensation et de l'épuration. — Vue d'ensemble d'une usine à gaz. — Procédé Mallet pour l'épuration du gaz par voie humide. — Emploi du lait de chaux. — Disposition de l'appareil Mallet. — Voie sèche. — Sulfate de plomb. — Sulfate de chaux. — Oxyde de fer hydraté.

Distribution du gaz. — Compteurs. — Gazomètres. — Gazomètres télescopiques. — Gazomètre Pauwels. — Sortie du gaz du gazomètre. — Appareil pour mesurer la pression du gaz à sa sortie. — Gazo-compensateur de M. Pauwels. — Des diverses espèces de tuyaux. — — Tuyaux de fonte. — Tuyaux en grès. — Tuyaux Chameroy. — Tuyaux de plomb. — Tuyaux en zinc.

Éclairage. — Du pouvoir éclairant. — Influence de la densité des vapeurs des hydro-carbures sur l'éclat de la flamme (par M. Berthelot). — Composition du gaz d'éclairage, par Landolt. — Des becs. — Bec Macaud. — Bec Gillard. — De la combustion. — Influence du courant d'air. — Nombre de trous.

Gaz portatif non comprimé. — Gaz comprimé. — Gaz de l'huile. — Gaz de résine. — Gaz préparé avec les hydro-carbures. — Gaz au bois. — Gaz à l'eau. — Système Gillard.

ÉCLAIRAGE AU GAZ. — Prix de revient. — Gaz de tourbe. — Gaz oxy-hydrogène. — Emploi de l'air comprimé (*Compl.*).

RÉGULATEUR DE PRESSION.

ÉCLAIRAGE PAR LES CARBURES D'HYDROGÈNE (par M. Mallet). — Alcoolat. — Lampes Robert. — Inconvénients et avantages de l'éclairage au gazogène.

Huiles essentielles et huiles de schiste. — Insufflation d'air. — Lampe à pétrole. — Éclairage par de grands foyers lumineux. — Système de M. Gaudin. — Gaz sidéral.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE (Voy. ÉLECTRICITÉ).

PHARE (par M. Mangon). — Construction des phares. — Échafaudage. — Montage et apprêt des matériaux. — Éclairage des phares. — Lampes. — Lentilles à échelons de Fresnel. — Disposition des diverses lentilles. — Portée des phares. — Intensité de leur lumière.

DEUXIÈME SECTION.

CHIMIE INDUSTRIELLE.

La chimie industrielle comprend l'étude, l'analyse de tous les corps qui se trouvent dans la nature, les lois de la préparation de tous ceux qui peuvent être obtenus par la transformation, par l'action mutuelle de corps convenablement disposés ; en un mot, tous les résultats utiles de la mécanique moléculaire.

Presque tous les résultats de la science chimique forment les bases d'autant d'industries, puisqu'ils mènent le plus souvent à la préparation d'un corps déterminé, à son isolement d'une combinaison dans laquelle il est engagé, ou inversement. En parcourant la table suivante on apercevra facilement combien de produits nouveaux sont nés des progrès de la science; combien de procédés, grâce à celle-ci, ont été heureusement simplifiés.

La chimie industrielle se divise en plusieurs parties, savoir :

1° L'étude des métalloïdes et de leurs combinaisons entre eux, comprenant les principaux acides, agents essentiels des industries chimiques;

2° Celle des métaux terreux, comprenant les bases les plus énergiques et les sels qu'elles forment avec les acides;

3° Celle des métaux proprement dits, dont l'extraction forme une des principales divisions du travail industriel;

4° La chimie végétale, l'étude des principes élémentaires des végétaux, l'extraction des substances utiles qu'ils renferment, leurs transformations ;

5° Les substances colorantes, les substances en général d'origine végétale qui sont utilisées pour la teinture, les moyens d'application de celles-ci sur les divers corps;

6° La chimie animale, l'étude des substances qu'il est possible d'extraire des corps d'origine animale, et les moyens de conserver ceux-ci sans altération.

ÉQUIVALENTS CHIMIQUES (*Voy. Compl.*).

ÉQUIVALENTS MÉCANIQUES DES CORPS (V. PRODUCTION DE LA CHALEUR).

ANALYSE CHIMIQUE. — Moyens de séparation des corps (*Compl.*).

DÉPLACEMENT (Méthode de). — Conditions auxquelles elle satisfait : — D'obtenir des solutions concentrées au maximum. — D'épuiser complétement les matériaux renfermant la substance soluble, en employant le minimum de liquide.— Application de cette méthode au lessivage des plâtras salpêtrés.

DÉPLACEMENT. Appareil P. Havrez (*Compl.*).

VASES CLOS (par M. Berthelot). — Méthode des vases clos capitale pour effectuer des synthèses.

Métalloïdes.

La préparation des métalloïdes, et des composés qu'ils forment entre eux, constitue la partie principale de la fabrication des produits chimiques, comprend notamment la fabrication des principaux acides.

GAZ (*Voy.* Ire section. — PHYSIQUE).

GAZ. — MOYEN DE LES RECUEILLIR (*Compl.*).

OXYGÈNE. — Industrie de l'oxygène (*Compl.*).

HYDROGÈNE.

AZOTE.

AIR ATMOSPHÉRIQUE.

SOLUBILITÉ DES PRINCIPAUX GAZ d'après Bunsen (*Compl.*).

EFFLORESCENCE.

DÉLIQUESCENCE.

ACIDES.

ACIDE NITRIQUE OU AZOTIQUE (par M. Knab). — Propriétés. — Composition. — Point d'ébullition à diverses densités. — Préparation. — Dosages. — Disposition des appareils.

AMMONIAQUE. — Propriétés. — Extraction du sel ammoniacal : — des substances animales, — des eaux de condensation du gaz d'éclairage.

SOUFRE (par M. Debette). — Propriétés. — Soufrières de la Sicile. — Exploitation du soufre brut. — Purification du soufre. — Soufre en fleur. — Extraction du soufre des pyrites.

ACIDE SULFUREUX. — Propriétés.— Préparation — Soufroir. — Disposition de d'Arcet pour bains sulfureux.

ACIDE SULFURIQUE (par M. Mallet). — Propriétés de l'acide anhydre, — de l'acide ordinaire. — Sa composition. — De l'acide de Nordhausen.

Préparation de l'acide sulfurique ordinaire par grandes masses et à bas prix. — Théorie des chambres de plomb. — Dessin et description de ces chambres. — Appareil dénitrificur de Gay-Lussac.

Maladies des chambres.

Concentration de l'acide. — Cornues de platine. — Syphon Bréant. — Concentration dans le vide.

Prix de revient de l'acide sulfurique.

HYDROGÈNE SULFURÉ.

CHLORE. — Usage du chlore dans l'industrie. — Sa préparation.

CHLOROMÉTRIE. — Essai de la valeur des dissolutions de chlore.

ACIDE HYDROCHLORIQUE OU CHLORHYDRIQUE. — Propriétés. — Composition chimique. — Prépara-

tion. — Procédé des fours. — Disposition des cylindres. — Des bonbonnes dans lesquelles l'acide est condensé. — Appareil continu pour la condensation. — Disposition usitée en Angleterre.

EAU RÉGALE.

BROME.

ACIDE HYDROBROMIQUE.

IODE.

ACIDE HYDRIODIQUE.

FLUOR.

PHOSPHORE.

ALLUMETTES. — Fabrication. — Dangers auxquels elle expose les ouvriers. — Emploi du phosphore rouge. — Système salubre de M. Lundstrom (*Compl.*).

ACIDE PHOSPHORIQUE.

ARSENIC.

ACIDE ARSÉNIEUX.

BORE.

ACIDE BORIQUE. — Procédé employé en Toscane pour le recueillir. — Système Larderelle.

ACIDE BORIQUE (par M. Salvétat. — Emploi pour les produits céramiques du borate de chaux naturel (*Compl.*).

SULFURE DE CARBONE. — Son emploi pour l'extraction des corps gras (*Compl.*).

SILICIUM (*Compl.*).

SILICE.

QUARTZ.

CARBONE.

DIAMANT.

OXYDE DE CARBONE.

ACIDE CARBONIQUE.

HYDROGÈNE CARBONÉ.

HYDROCARBURES (par M. Mallet). — Préparation des hydrocarbures pour l'éclairage. — Extraction de la houille et du goudron du gaz. — Rectification. — Mode d'opérer de M. Barral. — Rectification dans le vide. — Rendement.

Appareil de M. Payen à vases successifs. — Distillation à l'aide de la vapeur d'eau.

Distillation des schistes bitumineux. — Procédé Selligue. — Substances diverses fournies par la distillation.

HUILE DE SCHISTE. — Procédés d'extraction des schistes d'Autun. — Emploi de la vapeur surchauffée. (*Compl.*).

DISTILLATION DE LA HOUILLE. — Épuration, etc. (Voy. Ire Section. Éclairage au gaz).

CYANOGÈNE.

ANTHRACITE.

HOUILLE. — (Voy. 5e *Section.*)

JAIS.

TOURBE.

GOUDRON MINÉRAL.

GOUDRON. — Produits de la distillation. — Leur emploi dans la teinture. — Houilles agglomérées à l'aide du goudron ou péras. — Charbon de Paris.

NAPHTE.

NOIR DE FUMÉE.

NOIR DE SCHISTE.

SUIE.

PARAFFINE.

BENZINE (*Compl.*).

Métaux terreux.

Corps qui constituent les alcalis les plus énergiques.

GÉOLOGIE (par M. Debette). — Notions de géographie physique. — De l'atmosphère. — Des eaux. — Ecorce minérale du globe.

DES ROCHES. — Roches granitoïdes. — Roches porphyroïdes. — Roches trachytiques. — Roches amphiboliques. — Roches pyroxéniques. — Roches micacées. — Quartz. — Roches calcaires. — Laves. — Roches arénacées. — Argiles et marnes.

DIVISION DES TERRAINS. — *Terrains sédimentaires.* — Tableau général des formations sédimentaires. — Alluvions — Terrains tertiaires. — Terrains secondaires. — Terrain de transition.

TERRAINS IGNÉS ou primitifs. — Des soulèvements.

Disposition générale des masses qui forment le sol de la France.

MINÉRALOGIE (par M. Debette). — Caractères extérieurs des minéraux. — Caractères cristallographiques. — Types cristallins. — Détermination de la forme primitive et des formes secondaires d'un minéral. — Goniomètres.

Caractères physiques des minéraux. — Caractères chimiques. — Action des acides. — Des alcalis. — Essais par la voie sèche.

EAUX (par M. Hervé-Mangon). — Étude chimique sur la nature et la qualité des eaux. — De la dureté des eaux. — Procédés hydrotimétriques.

EAUX MINÉRALES. — Eaux alcalines. — Eaux ferrugineuses. — Eaux salines. — Eaux sulfureuses.

EAUX GAZEUSES. — Historique. — Moyens employés pour obtenir l'acide carbonique. — Système de Genève. — Système continu de Bramah. — Système Vernaut et Barruel. — Système Savaresse. — Méthodes pour boucher les bouteilles. — Vase sypholde. — Limonades gazeuses. — Eaux médicinales.

SELS. — Sulfates. — Nitrates.

CHLORURES. — HYDROCHLORATE D'AMMONIAQUE. — Préparation de ce sel. — Décomposition du sulfate d'ammoniaque par le sel marin.

CHLORURE D'ÉTAIN.

CHLORURES DE MERCURE.

PIERRES PRÉCIEUSES ARTIFICIELLES, — leur fabrication, d'après Ebelmen.

PIERRES PRÉCIEUSES ARTIFICIELLES. — Recherches faites depuis les travaux d'Ebelmen (*Compl.*).

POTASSIUM.

POTASSE. — Proportions de potasse contenues dans les cendres des principaux végétaux. — Lavage des cendres. — Évaporation.

Cendres gravelées. — Sels de potasse extraits des eaux-mères des marais salants.

Préparation de la potasse caustique.

POTASSIMÈTRE. — Procédé de M. O. Henri, pour l'essai alcalimétrique des potasses du commerce.

NITRATE DE POTASSE. — Extraction du salpêtre des plâtras.

POUDRE. — Historique. — Propriétés de la poudre. — Sa combustion. — Vitesse d'inflammation. — Vitesse de combustion. — Produits de la combustion. — Tension des gaz. — Travail produit par l'explosion.

MATIÈRES PREMIÈRES. — Salpêtre. — Extraction du salpêtre. — Lessivage des plâtras. — Évaporation. — Cristallisation. — Essai du salpêtre brut. — Raffinage. — Lavage. — Collage. — Cristallisation. — Arrosage. Séchage. — Essai du salpêtre raffiné.

Charbon. — Bois convenables. — Carbonisation. — Soufre. — Distillation.

FABRICATION. — Dosage des poudres de plusieurs pays. — Description des pilons. — Trituration. — Mélange. — Humectation. — Compression. — Granulation. — Séchage. — Des meules. — Des presses. — Du guillaume et du tourteau.

Époussetage. — Lissage de la poudre.

Fabrications expéditives. — Poudres rondes. — Emploi des tonnes. — Poudres anglaises.

Embarrillage. — Emmagasinage.

Épreuves. — Éprouvette-Régnier. — Mortier-éprouvette. — Fusil-pendule. — Éprouvette de M. Melsens.

Analyse des gaz de l'explosion, par Bunsen. — Analyse de la poudre.

POUDRE (par M. Faucher). — Poudres compri-

mées. — Poudre au chlorate de potasse. — Au picrate de potasse. — Poudres inexplosibles.

ARTIFICE. — Composition des diverses pièces employées pour feux d'artifice. — Feux de couleur.

ARTIFICES DE GUERRE. — Fusées à la Congrève.

CHLORATE DE POTASSE. — Ses propriétés. — Sa préparation. — Ses usages.

SODIUM. — Sa préparation en grand.

SOUDE (par M. Mallet). — Sels de soude. — Extraction des plantes marines. — Extraction du sel marin. — Dessin et description du four employé à Marseille. — Théorie du procédé Leblanc. — Dosages. — Soude raffinée. — Lessivage par déplacement. — Cristaux de soude. — Préparation du bi-carbonate de soude. — Soude ou lessive caustique. — Procédé Becquerel pour la préparation de la soude par l'électricité.

Extraction de la soude des eaux-mères des marais salants. — Procédé Balard. — Extraction des sels de soude et de potasse des vinasses. — Appareils de M. Massy de Saint-Quentin.

SEL (par M. Debette). — Exploitation des puits et sources salées. — Bâtiments de graduation. — Évaporation dans les chaudières. — Conduite du travail. — Salinage.

Exploitation du sel gemme, — par puits et galeries, — par dissolution.

MARAIS SALANTS (par M. Mangon). — Usages du sel. — Sa composition chimique. — Salure de la mer.

Marais salants de l'Ouest. — Plan d'un marais salant. — Conduite du travail, et succession des opérations. — Raffinage des produits.

Salines du Midi. — Différences avec celles de l'Ouest. — Sel plus pur que celui obtenu dans l'Ouest.

Traitement des eaux-mères. — Sel d'été. — Sulfate de soude. — Sels de potasse. — Gisement de Strassfurt.

Sel igunfère. — Extraction du sel par la gelée.

ALCALIMÈTRE de Decroizilles. — De Gay-Lussac.

BORAX. — Composition des diverses espèces de borax. — Préparation. — Raffinage du borax.

BARYTE.

STRONTIANE.

ALBATRE.

MARBRE.

PIERRE. — Classification des espèces diverses de pierres. — Silicatisation des pierres tendres.

PLATRE (par M. Curtel). — Propriétés. — Cuisson du plâtre. — Emploi du plâtre. — Plâtre durci ou alumé. — Stuc à la chaux et stuc au plâtre. — Prix de revient du plâtre.

CRAIE.

CHAUX. — Grand four à foyers extérieurs (*Compl.*).

MORTIER (par M. Mangon). Chaux. — Cuisson de la chaux. — Description des diverses espèces de fours. — Avantages des fours continus. — MATIÈRES QUI ENTRENT DANS LA COMPOSITION DES MORTIERS. — Chaux grasses. — Chaux hydrauliques. — Procédés pour analyser les calcaires. — Fourneau pour les cuire. — Cuisson de la chaux. — Cuisson en tas. — Fours intermittents. — Fours à feu continu.

Fabrication de la chaux hydraulique artificielle. — Recherches de Vicat. — Prix de revient.

Ciment. — Ciment anglais. — Ciment de Pouilly. — Sable. — Pouzzolanes. — Pouzzolanes artificielles. — Leur préparation. — Arènes.

Matières diverses.

FABRICATION ET EMPLOI DES MORTIERS ET BÉTONS. — Extinction de la chaux. — Procédé ordinaire. — Extinction par immersion. — Extinction spontanée. — Dosage des mortiers. — Fabrication des mortiers. — A bras. — Manége à roues. — Prix de fabrication du mètre cube. — Tonneau à mortier de M. Roger. — Prix de fabrication du mètre cube. — Emploi et solidification des mortiers. — Fabrication du béton. — A bras. — Couloir à béton de M. Krantz.

Emploi et coulage du béton. — Coulage sous l'eau.

MORTIERS ET CIMENTS (par M. Mangon). — Composition des divers ciments à prise lente. — Choix des matériaux et fabrication du ciment Portland. — Expériences de résistance (*Compl.*).

INCRUSTATIONS (par M. Mallet). — Dépôts de certaines fontaines. — Utilisation de cette propriété pour obtenir des moulages. — Dépôts dans les conduites d'eau. — Moyen de les éviter.

INCRUSTATION DES CHAUDIÈRES A VAPEUR. — Dangers d'explosion qui résultent de la présence des dépôts calcaires. — Moyen de les éviter. — Emploi des pommes de terre. — Emploi de l'argile délayée. — Système Néron et Kurtz, emploi de décoctions de bois de teinture. — Système Kuhlmann. — Appareil Wagner. — Déjecteur Dumery.

INCRUSTATIONS. — Recherches de M. Cousté (*Compl*).

CHLORURES DÉCOLORANTS.

CHLORURE DE CHAUX. — Son emploi dans le blanchiment. — Sa préparation sur une grande échelle. — Chlorure de magnésie. — Chlorure de potasse. — Chlorure de soude.

VERRE (par M. Debette). — Historique. — Propriétés physiques du verre.

Choix et préparation des matières premières. — Matières siliceuses. — Potasse. — Soude. — Sulfate de soude. — Sel marin. — Chaux. — Alumine. — Baryte. — Oxyde de plomb. — Peroxyde de manganèse. — Arsenic.

Combustibles. — Fours. — Creusets.

Verre soluble de Fuchs.

VERRE A BOUTEILLES. — Composition. — Fours.

VERRE A VITRES. — Procédés de fabrication. — Verre à vitres cannelé. — Globes. — Cloches. — Tubes de verre. — Verre filé. — Verres de montres.

VERRE DE BOHÊME. — Composition. — Organisation de cette industrie en Bohême.

CRISTAL. — Composition. — Travail.

VERRES D'OPTIQUE. — Travaux de M. Guinand et de M. Bontemps. — Flint-glass. — Crown-glass.

VERRES COLORÉS. — Rouge. — Rubis. — Rouge ancien. — Bleu. — Jaune. — Vert, etc.

Verres opalins. — Hyalithe.

Verres filigranés. — Verres mosaïques.

Taille des verres. — Gravure par l'acide fluorhydrique.

Décoration des verres. — Dorure. — Argenture. — Platinure. — Incrustation.

Peinture sur verre.

VERRE A GLACES. — Glaces soufflées. — Glaces coulées. — Fabrication.

Étamage des glaces. — Argenture.

IMITATION DES PIERRES PRÉCIEUSES. — Préparation du strass. — Strass incolore. — Topaze. — Rubis. — Émeraude. — Saphir. — Améthiste. — Grenat, etc.

AVENTURINE. — AVENTURINE DE CHROME (*Compl.*).

SOUFFLAGE DU VERRE (par M. Mangon). — Lampe d'émailleur. — Couper les tubes. — Courber les tubes. — Fermer les tubes. — Souffler une boule. — Souder les tubes. — Fabrication d'un thermomètre. — D'un tube de Welter. — Filage du verre et des émaux. — Yeux artificiels. — Boules argentées.

ALUMINIUM. — Propriétés. — Préparation du sodium, — du chlorure d'aluminium. — Procédés de M. Deville (*Compl.*).

ALUMINE (Industrie de l'—).

SULFATE D'ALUMINE. — Au moyen de l'acide sulfurique et de l'argile. — Aluminate de soude.

ALUN. — Composition de l'alun. — Fabrication de l'alun au moyen de l'alunite. — Au moyen des schistes alumineux. — Préparation des schistes. — Lessivage. — Évaporation des eaux de lessivage. — Brevetage. — Cristallisation.

ARGILES. — Propriétés de l'argile. — Argiles kaolins. — Argiles plastiques. — Argiles smectiques ou terre à foulon. — Argiles figulines. — Argiles effervescentes ou marnes. — Argiles ocreuses. — Argiles légères.

ARGILE (par M. Salvetat). — Analyses. — Étude géologique des argiles et kaolins (*Compl.*).

MARNE.

OUTREMER (par M. Debette). — Outremer naturel. — Découverte de la fabrication de l'outremer artificiel. — Procédé de Pruckner.

OUTREMER. Rapport de M. Stass (*Compl.*).

BRIQUES (par M. Debette). — Préparation de l'argile. — Travail à la main. — Machine de M. Terrasson.

Four pour cuire les briques. — Cuisson en plein air.

Briques légères. — Fabrication des tuiles. — Tuyaux de drainage (*Voy.* AGRICULTURE).

BRIQUES CREUSES (*Compl.*).

CREUSET. — Creusets de plombagine. — Creusets argileux. — Creusets pyreux. — Creusets brasqués.

POTERIE (par M. Debette). — Composition générale des pâtes. — Préparation des pâtes. — Dessin et description des moulins de la manufacture de Sèvres. — Ressuage. — Pétrissage des pâtes.

Façonnage des pâtes. — Tour du potier. — Moules en plâtre. — Ébauchage. — Rachevage. — Calibrage. — Glaçures.

Cuisson des pâtes. — Fours à réverbère. — Fours à alandiers.

POTERIES A PATE TENDRE. — Terres cuites à surface mate. — Poteries lustrées, glaçure mince. — Poteries vernissées, glaçure plombifère. — Poteries émaillées, glaçure stannifère. — Manière de disposer des objets dans le four. — Cazettes.

POTERIES A PATE DURE OPAQUE. — Faïence fine à pâte incolore, glaçure vitro-plombique. — Plans d'une fabrique anglaise de faïence fine.

GRÈS CÉRAME. — Pâte colorée, sans glaçure ou avec glaçure silico-alcaline.

POTERIE A PATE DURE TRANSLUCIDE. — Porcelaine dure. — Pâte kaolinique, glaçure feldspathique. — Encastage des pièces. — Encastage Regnier. — Durée de la cuisson. — Cuisson à la houille.

Boutons en porcelaine (*Voy.* BOUTONS).

Porcelaine tendre. — Pâte marno-saline. — Composition des pâtes. — Glaçure vitro-plombique.

COLORATION ET DÉCORATION DES POTERIES. — Couleurs vitrifiables. — Préparation des diverses couleurs ou matières terreuses fixées pour un fondant vitreux.

Métaux à l'état métallique. — Lustres métalliques. — Posage des couleurs. — Posage par impression. — Cuisson des couleurs.

POTERIES (par M. Salvetat). — État présent de la fabrication. — Constitution des pâtes. — Leur préparation. — Façonnage. — Procédé de coulage. — Nouveaux procédés de cuisson à la houille. — Nouvelles fabrications : Parian, boutons, carreaux incrustés (*Compl.*).

DORURE SUR PORCELAINE. — Préparation du métal. — Application. — Procédé Rousseau. — Brunissage. — Lustres.

DÉCORATION CÉRAMIQUE (par M. Salvetat). — Oxydes métalliques. — Engobes. — Émaux. — Couleurs. — Métaux. — Lustres métalliques. — Préparation des divers fondants convenables pour chaque espèce de poterie (*Compl.*).

ARDOISE ÉMAILLÉE, de M. Magnus (*Compl.*).

FAIENCE INGERÇABLE AU FEU (par M. Barral). — Historique. — Composition des pâtes de faïence commune. — Causes des gerçures. — Méthode de M. Feilner de Berlin. — Fabrication de M. Pichenot de Paris. — Moyen d'obtenir des plaques d'épaisseur uniforme. — Composition de l'émail blanc ou coloré. — Procédé de M. Vogt pour obtenir des plaques portant des dessins de diverses couleurs.

ÉMERI.

Métaux proprement dits.

MINES. — *Coup d'œil statistique sur les principales mines du monde.*

1° Mines de formations antérieures au terrain houiller. — Mines des Cordillères, — des monts Alleghanys, — d'Espagne, — des Pyrénées, — du centre de la France, — de la Bretagne, — des Vosges, — du Hartz, — de l'Est de l'Allemagne, — de Hongrie, — de l'Oural, — de la Norwége, — de la Grande-Bretagne.

2° Mines des formations secondaires et tertiaires. — Bassins houillers de Glascow, New-Castle, Saint-Étienne, etc.

Mines de mercure, — de sel gemme.

3° Mines des terrains d'alluvion. — Minerais de fer. — Étain. — Pierres précieuses. — Or. — Platine.

MÉTALLURGIE (par M. Debette).

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS. — Laverie à gradins. — Tamis à secousses. — Patouillet. — Trommel. — Appareil de M. Carnall. — Cylindres broyeurs. — Bocards. — Meules. — Caisses allemandes. — Tables dormantes. — Tables à toiles. — Tables à secousses. — Criblage à la cuve.

CALCINATION, GRILLAGE. — Grillage en tas. — Grillage dans les fours.

FUSION ET AFFINAGE. — Hauts-fourneaux. — Demi-hauts-fourneaux. — Fourneaux à manche. — Fourneaux à réverbère. — Bas foyers à tuyère.

Liquation. — Coupellation. — Disposition des fourneaux de coupelle. — Sublimation. — Traitement par voie humide. — Amalgamation. — Traitement par les acides. — Traitement électro-chimique.

DOCIMASIE (par M. Debette). — Principes généraux.

OPÉRATIONS MÉCANIQUES. — Cassage. — Pulvérisation. — Tamisage. — Triage. — Lavage.

OPÉRATIONS CHIMIQUES. — Grillage. — Réduction. — Fusion. — Distillation.

FOURNEAUX D'ESSAI. — Fourneaux. — Fourneaux à réverbère. — Fourneaux à vent. — Forges.

RÉACTIFS POUR LA VOIE SÈCHE. — Réductifs. — Oxydants. — Désulfurants. — Sulfurants. — Fondants ou flux.

GANGUE.

MATTE.

MANGANÈSE (par M. Debette). — Propriétés du manganèse. — Composés qu'il forme avec l'oxygène. — Sels de manganèse.

Minerais. — Usages. — Essai des manganèses du commerce.

FER (par M. Debette). — Propriétés du fer. — Qualités et défauts des divers fers du commerce. — Minerais de fer. — Essais de ces minerais.

FABRICATION DE LA FONTE. — Hauts-fourneaux. — Machines soufflantes. — Dosage. — Produits. — Mise en feu. — Coulée. — Disposition pour moulage en première fusion. — Réparations des fourneaux. — Allures diverses.

Théorie de la fabrication de la fonte. — Conditions économiques de la production de la fonte en France. — Innovations et perfectionnements introduits depuis quelques années. — Emploi de l'air chaud, — du bois vert ou desséché, — de l'anthracite et de la houille crue, — de la tourbe.

TRANSFORMATION DE LA FONTE EN FER FORGÉ. — Affinage à l'allemande. — Foyers. — Marteaux. — Méthode comtoise. — Conduite de l'affinage. — Méthode champenoise. — Méthode bourguignonne. — Théorie de l'affinage dans les feux d'affinerie. — Perfectionne-

ments récents. — Emploi de l'air chaud. — Emploi du bois vert ou desséché. — Mazéage. — Méthode nivernaise.

MÉTHODE ANGLAISE. — Puddlage. — Par bouillonnement à l'eau. — Corroyage du fer puddlé au laminoir. — Prix de revient du fer.

EMPLOI DES FOURS A GAZ. — Construction de ces fours. — Leur emploi.

FABRICATIONS DES RAILS. — Formes des laminoirs. — Des scies pour mettre de longueur. — Fours pour réchauffage. — Emploi des fours à gaz. — Leur disposition à Audincourt.

FABRICATIONS DIVERSES. — Fers martinés. — Fers laminés. — Fer fendu. — Fer de riblons. — Fabrication du fil de fer.

Statistique de la production en France et en Europe.

FONDERIE DE FER. — (Voy. v^e^ SECTION).

FONTE MALLÉABLE. — Procédés. — Développement de cette industrie dans ces dernières années. — Résultats d'expériences de résistance des pièces en fonte malléable (*Compl.*).

FORGES CATALANES ET CORSES (par M. Debette). — Marteau. — Trompe. — Disposition du foyer. — Travail de la loupe. — Produits de l'usine. — Prix de revient du fer.

PYRITE.

GOLCOTAR.

ACIER (par M. Debette). — 1° Acier naturel. — 2° Acier de forge. — Méthode de l'Isère. — Méthode de Thuringe. — Méthode de Westphalie. — Méthode de Carinthie. — 3° Acier de cémentation ou acier poule. — 4° Acier fondu. — Wootz.

Acier puddlé. — Procédé Bessemer. — Fabrication de Krupp. — Travail de l'acier pour de très-grandes fabrications : roues et bandages pour chemins de fer, canons en acier fondu, etc.

DAMAS. — Analyse des travaux de l'ingénieur russe Anoçof. — Du fond. — Du reflet du damas. — Damas rayé. — Damas moiré. — Damas ondulé. — Damas réticulaire. — Damas chevronné.

Travail de la forge. — Façon des objets. — Trempe. — Affilage et polissage. — Décapage.

Prix de revient et usage du damas.

Alliages de MM. Bréant, Faraday, etc., analogues au damas.

ÉPONGES MÉTALLIQUES. — Procédé Chenot (*Compl.*).

CHROME.

CHROMATES.

COBALT (par M. Debette). — Combinaisons du cobalt. — Minerais de cobalt. — Extraction du cobalt. — Procédé allemand pour la préparation de l'oxyde de cobalt. — Statistique de la production du cobalt.

NICKEL (par M. Debette). — Propriétés. — Alliages du nickel. — Ses oxydes. — Sels de Nickel. — Minerais. — Traitement.

ZINC (par M. Debette). — Propriétés physiques. — Oxydes de zinc. — Sels. — Alliages.

Minerais de zinc. — Essai des minerais de zinc.

Traitement métallurgique. — Fabrication du zinc métallique avec la calamine. — Méthode anglaise. — Méthode belge, prix de revient de 1,000 kilog. de zinc brut. — Méthode silésienne, prix de revient.

Fabrication du zinc métallique avec la blende.

Statistique de la production du zinc en Europe.

BLANC DE ZINC (par M. Debette). — Historique. — Fabrication du blanc de zinc. — Emplois du blanc de zinc. — Sa supériorité sur la céruse.

Gris de zinc. — Jaunes de zinc. — Verts de zinc.

Siccatif non plombeux.

CADMIUM (par M. Debette). — Propriétés du cadmium. — Ses composés. — Sa préparation.

ÉTAIN (par M. Debette). Propriétés de ce métal. — Ses composés. — Ses minerais. — Essai des minerais d'étain.

MÉTHODE SAXONNE. — Grillage des minerais. — Fonte. — Prix de revient.

MÉTHODE DE BOHÊME.

MÉTHODE DE CORNOUAILLES. — Fonte au fourneau à manche. — Fonte au fourneau à réverbère. — Raffinage. — Prix de revient.

Statistique de la production de l'étain.

ÉTAMAGE (par M. Barral). — Utilité de l'étamage, de l'application d'un métal en couche mince sur la surface d'un autre métal plus facilement altérable. — Du décapage. — Emploi du chlorure double de zinc et d'ammoniaque.

ÉTAMAGE DU CUIVRE. — Alliage Biberel.

ÉTAMAGE DE LA TOLE — Décapage. — Disposition des bains successifs. — Raffinage des déchets d'étain.

Des divers genres de moiré.

ÉTAMAGE AU PLOMB. — Procédé de MM. Rogers et Morewood.

ÉTAMAGE AU ZINC. — Ancienneté du procédé. — Description publiée par Malouin en 1742. — Procédé de M. Sorel, dit Galvanisation du fer.

ÉTAMAGE AU ZINC ET AU PLOMB. — Procédé Rabatel.

ÉTAMAGE DE LA FONTE. — Étamage de M. Budi. — Supériorité de l'émaillage de la fonte sur son étamage. — Description de cette fabrication.

ÉTAMAGE DES GLACES. — Emploi d'un amalgame d'étain. — Mode d'opérer.

POTÉE D'ÉTAIN.

ÉMAIL. — Émail blanc. — Émaux de diverses couleurs. — Application de l'émail sur les métaux. — Lampe d'émailleur.

ÉMAILLAGE (par M. Salvetat). — Sur le fer et le cuivre. — Peinture sur pâte. — Couleurs diverses (*Compl.*).

PLOMB (par M. Debette). — Propriétés. — Alliages. — Oxydes de plomb. — Sels.

Minerais de plomb. — Essai des matières plombeuses. — Essai par voie humide des matières renfermant du cuivre et du plomb.

Traitement métallurgique. — Méthode de Bleiberg. — Méthode du pays de Galles. — Méthode du Derbyshire. — Méthode de Bretagne. — Méthode écossaise. — Méthode silésienne. — Revivification des litharges.

Statistique de la production du plomb en Europe.

CÉRUSE. — Procédé hollandais. — Fusion du plomb. — Disposition des fosses. — Procédés salubres de décapage et de broyage de la céruse. — Procédé de M. Lefebvre de Lille. — Incorporation de la céruse et de l'huile.

Procédé de Clichy. — Perfectionnements qu'il a reçus.

MINIUM. — Composition du minium. — Description du fourneau à réverbère convenable pour sa préparation. — Oxydation du plomb. — Broyage du massicot. — Tamisage. — Lavage. — Dernière calcination. — Essai du minium.

BISMUTH (par M. Debette). — Propriétés du bismuth. — Ses alliages. — Oxydes du bismuth. — Traitement métallurgique.

ANTIMOINE (par M. Debette). — Liquation du minerai. — Extraction du métal, — par le procédé d'Auvergne, — au four à réverbère.

Production de l'antimoine.

ÉMÉTIQUE.

TUNGSTÈNE.

CUIVRE (par M. Debette). — Combinaisons du cuivre. — Minerais de cuivre. — Méthodes pour en faire l'essai.

Dosage du cuivre par voie humide.

Traitement des minerais de première classe. — Méthode de Chessy.

Traitement des minerais de seconde classe. — Mé-

thode du Hartz, — de la Hesse, — de l'Angleterre. — Recherches de M. Leplay.

Raffinage du cuivre noir. — Méthode anglaise. — Méthode de Chessy. — Méthode hongroise. — Raffinage au petit foyer. — Raffinage des alliages de cuivre. — Laminage du cuivre. — Statistique de la production du cuivre en Europe.

VERT DE SCHEELE.

VERT DE SCHWEINFURT.

CENDRES BLEUES.

ÉMERAUDE. — Vert émeraude de M. Guignet (*Compl.*).

BRONZE. — Bronze antique. — Bronze Keller. — Bronze des tam-tams. — Bronze pour bouches à feu. — Bronze pour la dorure.

BRONZE. — Fonte du bronze d'art (*Compl.*).

LAITON. — Variétés de laiton employées par l'industrie. — Fonte du laiton. — Fourneaux. — Dosages. — Emploi de la calamine. — Recuit.

MERCURE (par M. Debetto). — Propriétés du mercure. — Ses composés. — Sels de mercure.

Minerais. — Essai des minerais de mercure.

Traitement métallurgique d'Almaden. — d'Idria. — Dans le duché de Deux-Ponts. — Statistique de la production.

CINABRE ou **VERMILLON.** — Composition. — Procédé hollandais pour obtenir une couleur vive. — Préparation par voie humide.

ARGENT (par M. Debette). — Propriétés de l'argent.

Minerais d'argent. — Argent natif. — Argent sulfuré. — Argent rouge.

Cuivre gris argentifère. — Galène argentifère.

TRAITEMENT DES MINERAIS D'ARGENT. — Minerais d'argent proprement dits. — Amalgamation américaine. Amalgamation saxonne.

Minerais plomb et argent. — Traitement par fusion et coupellation.

Affinage par cristallisation.

Traitement des minerais de cuivre et argent. — De plomb, cuivre et argent.

Traitement des minerais d'argent par le procédé électro-chimique.

Statistique de la production de l'argent.

ESSAI DES MATIÈRES ARGENTIFÈRES. — Fusion. — Scorification. — Coupellation. — Disposition des fourneaux de coupelle et conduite de l'opération.

ESSAI PAR VOIE HUMIDE. — Des alliages de cuivre et d'argent. — De la dissolution normale de sel marin. — Burette graduée. — Disposition des appareils.

ARGENTURE.

OR (par M. Debette). — Propriétés. — Alliages. — Oxydes. — Sels.

Minerais. — Or natif. — Alluvions.

Tellurures aurifères.

Traitement des minerais d'or. — Appareil des monts Ourals. — Méthode du Tyrol. — De la haute Hongrie. — Statistique de la production annuelle de l'or.

ESSAI DES MATIÈRES D'OR. — Touchaux. — Départ.

AFFINAGE.

DORURE (par M. Barral).

DORURE SUR MÉTAUX A L'AIDE DU MERCURE. — Préparation de l'amalgame d'or. — Préparation des bronzes. — Opération de la dorure. — Fourneau salubre de d'Arcet. — Mise en couleur.

DORURE PAR IMMERSION OU AU TREMPÉ. — Préparation du bain. — Préparation des bijoux. — Dorure. — Mise en couleur. — Comparaison avec la dorure au mercure.

DORURE A L'AIDE DE LA PILE (Voy. ÉLECTRICITÉ).

PLATINE (par M. Debette). — Propriétés. — Oxydes. — Sels. — Minerais de platine. — Traitement. — Alliages.

PLATINE (par M. Grandeau). — Procédés de MM. Deville et Debray (*Compl.*).

ALLIAGES (par M. Laboulaye).

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES ALLIAGES. — Densité. — Dureté. — Élasticité. — Fusibilité. — Chaleur spécifique. — Chaleur latente.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES ALLIAGES. — Oxydation. — Action des acides.

PRÉPARATION DES ALLIAGES. — Par fonte des métaux. — Par réduction simultanée des oxydes.

MOULAGE DES ALLIAGES. — De la liquation.

Importance de l'ordre de combinaison des métaux composant les alliages élémentaires qui constituent l'alliage composé. — Explication des résultats les plus curieux de la pratique qui échappent à l'analyse chimique du composé, répondent à des résultat semblables à ceux de la chimie organique.

ALLIAGES DIVERS. — ALLIAGES BINAIRES. — Des métaux cassants entre eux. — Des divers métaux avec les métaux cassants. — Alliages binaires des métaux ductiles entre eux et avec les métaux mous.

Expériences de Wertheim sur l'élasticité des alliages et celle des métaux qui les forment.

ALLIAGES MULTIPLES.

SOUDURES. — Application d'un métal sur un autre. Des recherches à faire sur les alliages.

SOUDER (par M. Delbrück). Fer à souder. — Chalumeau aérhydrique.

Soudure autogène du plomb. — Importance de ce procédé pour les chambres de plomb.

SOUDURES des divers métaux.

Chimie organique.

La chimie des corps organisés transforme, en les dédoublant ou les combinant, les composés végétaux formés sous l'influence d'appareils délicats et surtout de la chaleur solaire. De là des composés variés doués de propriétés spéciales.

ACÉTATES. — **ACIDE ACÉTIQUE.** — Acétate d'alumine. — Acétate de chaux. — Acétates de cuivre, verdet et vert-de-gris. — Acétates de fer. — Acétates de plomb. — Nouveau procédé de préparation des acétates.

ACIDE ACÉTIQUE. — De la fermentation acide. — 1° Vinaigre de vin. — Procédé Schutzenbach. — 2° Vinaigre de malt. — 3° Vinaigre de sucre.

Vinaigre radical.

Acide pyroligneux ou vinaigre de bois.

Acétimètre.

ACÉTONE.

ACIDE CITRIQUE, — FORMIQUE, — MALIQUE.

OXALIQUE (Acide). — Sa préparation avec la sciure de bois (*Compl.*).

BLANCHIMENT (par M. Salvetat). — Appareils à lessive à circulation. — Appareils à tremper. — Appareils à dégorger. — Appareils à essorer et à apprêter.

Décoloration des tissus. — Pratique du blanchiment.

Blanchiment des laines.

Blanchiment des soies.

BLANCHIMENT. — Procédé de M. P.-F. Didot (*Compl.*).

BLANCHISSAGE (par le même). — Lessivage et coulage. — Appareil à circulation de René Duvoir. — Appareil Bouillon et Muller. — Rinçage et essorage.

DÉGRAISSEUR (par M. Rouget de Lisle). — Action des principales substances sur les étoffes. — Réactifs propres à enlever les taches. — Méthodes pour rétablir les apprêts, les couleurs altérées.

PAPIER (par M. Hanriot). — Du chiffon. — Lessivage des chiffons. — Défilage. — Description de la pile. — Blanchiment du défilé. — Raffinage.

Colle animale. — Mode de l'appliquer sur la machine en Angleterre. — Colle végétale ou savon de résine.
Coloration des pâtes.
Dessin et description de la fabrication automatique du papier continu.
Cassés, rognures.
Salle d'apprêt.
Fabrication du papier à la main.
Historique.
Machines accessoires. — Coupeuses de chiffons. — Releveuses de pâte. — Régulateurs. — Épurateurs. — Sablières. — Rouleaux égoutteurs.
Calandres. — Machines à couper le papier en long et en travers. — Lisses.
Succédanés du chiffon.

AMIDON. — FÉCULE. — Procédé E. Martin pour séparer l'amidon et le gluten de la farine de céréales.

FÉCULE. — Lavage des tubercules. — Râpage. — Tamisage. — Layage de la fécule brute. — Égouttage. — Dessiccation. — Blutage de la fécule.
Arrow-root. — Salep. — Sagou. — Tapioka.

FARINE. — Analyse de diverses farines. — Altération des farines. — Méthode Boland pour la reconnaître.

COLLE DE PATE.

SUCRE (par M. Valerio). — Propriétés et composition du sucre.

EXTRACTION DU SUCRE DE CANNES. — De la canne à sucre. — Sa composition, d'après M. Péligot. — Du moulin à exprimer le jus de la canne. — Rendement. — Moulins de l'Inde. — Filtrage. — Clarification. — Cuite. — Cristallisation. — Sucre terré.

SUCRE DE BETTERAVES. — Variétés de betteraves. — Culture de la betterave. — Emmagasinage. — Silos. — Analyse de la betterave. — Nettoyage. — Lavage. — Râpage. — Expression à la presse hydraulique. — Lévigateur Pelletan. — Défécation. — Évaporation. — Filtre Dumont. — Filtre Peyron. — Clarification. — Cuite. — Essais de la clairce. — Cuite dans le vide. — Dessins et description de l'appareil Derosne et Cail.
Fabrication du sucre de betterave par le procédé Schutzenbach. — Procédé Rousseau.
Sucre d'érable.

RAFFINAGE DU SUCRE. — Principes de l'opération. — Clairçage par force centrifuge. — Sucre candi.
Principaux procédés saccharimétriques. — Polarimètre.

GLUCOSE (par M. Knab). — Composition chimique. — Saccharification de la fécule. — Saturation. — Filtration sur le noir animal. — Première évaporation. — Seconde filtration. — Cuite du sirop. — Repos et refroidissement. — Cristallisation et clairçage. — Égouttage et séchage. — Comptes de fabrication et prix de revient.

GOMMES.

MANNE.

FERMENTATION. — Théorie de la fermentation de M. Liebig, — de M. Pasteur. — Des diverses espèces de fermentation.

INJECTION DES BOIS (par M. Adhémar). — Procédé Bréant. — Procédé Boucherie. — Appareil Légé-Fleury. — Emploi des sels de baryte (*Compl.*).

TOURBE (par M. Debette). — Reconnaissance des bancs tourbeux. — Exploitation de la tourbe.

ALCOOL. — Synthèse de l'alcool (par M. Berthelot). — Des conditions économiques de la production industrielle.

ALCOOL MÉTHYLIQUE.

ALCOOLS (par M. Berthelot). — Famille des alcools en chimie organique.

ÉTHER. — Composition. — Propriétés de l'éther. — Préparation.

PYROXYLE (par M. L. Faucher). — Découverte. — Composition. — Décompositions spontanées. — Effets balistiques. — Pyroxyle Lenk. — Nitro-glycérine. — Dynamite (*Compl.*).

DIASTASE.

BIÈRE (par M. Knab). — Des matières premières.

PRÉPARATION DU MALT. — Mouillage. — Germination. — Dessiccation.
Concassage du malt.

DU BRASSAGE. — Cuisson de la bière. — Réfrigérants. — Des diverses espèces de bière.
Disposition d'une grande brasserie anglaise. — Figures et description des appareils.

BIÈRE DE MUNICH. — Théorie de sa fabrication, d'après Liebig.

VIN (Voy. la 3e SECTION).

CIDRE (Voy. la 3e SECTION).

PAIN (par M. Knab). — De la fermentation panaire. — Du levain. — Du pétrissage. — Cuisson
Pain de gruau. — Pain de dextrine. — Pain viennois. — Pain de munition. — Biscuit. — Pain de seigle. — Pain de pommes de terre. — Pain de riz.
Des perfectionnements à apporter dans la fabrication du pain. — Pétrissage mécanique. — Pétrin-Fontaine. — Dessins et description du four aérotherme.
Pétrin-Rolland. — Four à sole tournante.
De l'adultération du pain. — Moyens de la reconnaître.

TABAC (par M. Barral). — Travail des boucauts.
Fabrication des cigares.
Fabrication des rôles, — du tabac à fumer. — Fabrication du tabac en poudre. — Hachage. — Fermentation en masses. — Moulinage. — Tamisage. — Fermentation en cases. — Mise en paquets.

TÉRÉBENTHINE (par M. Mangon). — Térébenthine de Chio. — Térébenthine de Venise. — Térébenthine commune ou du pin. — Galipot.
Huile essentielle de térébenthine. — Colophane ou arcanson. — Poix résine ou brai sec. — Poix de Bourgogne. — Brai gras. — Poix noire. — Goudron. — Poix bâtarde.

CAMPHRE.

VERNIS (par M. Tripier-Devaux). — Définition des vernis. — Leur mode d'action. — Causes qui rendent les vernis plus ou moins siccatifs. — Causes qui concourent à rendre les vernis durables. — A quoi tient la coloration des vernis.
Vernis à l'éther sulfurique.

VERNIS A L'ALCOOL. — De la solution des matières résineuses dans l'alcool. — Manière d'opérer au bain-marie. — A feu nu. — Vernis divers. — Vernis de copal. — Vernis de gomme-laque et d'autres résines. — Vernis pour carreaux d'appartement.

VERNIS A L'ESSENCE. — Vernis pour tableaux de prix, de Tingry. — Préparation à froid. — Préparation à chaud — Vernis à tableaux du commerce. — Vernis au vert. — Vernis couleur d'or. — Vernis à retoucher. — Vernis de goudron.

VERNIS GRAS. — Observations générales. — Substances qui entrent dans la composition des vernis gras — L'huile se mélange, mais ne se combine pas avec le copal fondu.
Ustensiles d'une fabrique de vernis. — Matras. — Fourneaux. — Spatules. — Trépieds. — Entonnoirs.
Préparation de l'huile de lin. — Huile pour vernis. — Appareils pour l'oxydation des huiles. — Manière d'opérer.
Travail des vernis gras au copal demi-dur, au copal tendre.
Vernis gras au succin.
Formules de divers vernis spéciaux.

CIRAGE.

CAOUTCHOUC. — Extraction du caoutchouc. — Sa dissolution dans les huiles essentielles.

Tissus imperméables. — Tissus élastiques en caoutchouc. — Volcanisation du caoutchouc.

CAOUTCHOUC. — Déchiquetage ou pétrissage. — Volcanisation. — Caoutchouc durci de M. Godyear (*Compl.*).

GUTTA-PERCHA.

GOMMES-RÉSINES. — Assa-fœtida. — Euphorbe. — Gomme-gutte. — Scammonée.

AMBRE.

GOMME AMMONIAQUE.

COPAL (Voy. VERNIS).

CANNELLE.

CAFÉ. — Des diverses espèces de café. — Cafetière à circulation.

BAUMES.

BENJOIN.

CIRE.

CIRE A CACHETER.

HUILES (par M. Curtel).

HUILES GRASSES. — Propriétés. — Extraction de l'huile des graines oléagineuses. — Écrasage des graines. — Chauffage à feu nu ou à la vapeur. — Première pression. — Second écrasage. — Nouveau chauffage. — Seconde pression. — Dessin et description d'un appareil perfectionné.

Épuration des huiles. — Appareil Grouvelle. — Emploi des résidus. — Extraction de l'huile d'olive.

HUILES ESSENTIELLES. — Extraction par distillation. — Huile essentielle de térébenthine. — De citron. — Essence de rose, — de jasmin, etc.

GRAISSAGE (par M. Barral). — Graisses pour machines. — Recettes diverses. — Graisse pour wagons. — Graisse pour voitures. — Graisse noire. — Graisseurs divers. — Dispositions pour graissage continu.

GRAISSAGE. — Essai des huiles. — Éprouvette Mac-Naught. — Balance de M. Hirn (*Compl.*).

PARFUM. — Procédé d'extraction de M. Milon (*Compl.*).

PARFUMERIE. — Pommades. — Eaux de senteur. — Eau de Cologne. — Pastilles du sérail. — Pâte d'amandes. — Crèmes ou pâtes liquides.

ESSENCES ARTIFICIELLES. — D'ananas. — de pommes. — d'amandes amères, etc. (*Compl.*).

SAVONS. — Théorie de la fabrication, d'après M. Chevreul.

Savons durs. — Préparation des lessives. — Saponification de l'huile. — Savon blanc. — Savon marbré. — Savon jaune.

Savons noirs. — Savons de toilette, de Windsor, — à la rose. — Savons d'amandes. — Savons transparents. — Savon mou. — Compositions d'un grand nombre de savons.

SAVONS. — Observations de M. Balard sur la fabrication du savon de Marseille (*Compl.*).

ENCAUSTIQUE (par M. Tripier-Devaux). — Peinture encaustique — Encaustique pour meubles. — Encaustique à la potasse. — Encaustique liquide. — Encaustique dure à l'essence.

QUINQUINA. — Espèces diverses. — Préparation de la quinine et des alcalis organiques.

Matières colorantes.

Nombre de substances sont utilisées à cause de leurs couleurs, qu'elles communiquent aux étoffes par la teinture. Leur application, leur préparation et souvent même leur production sont du ressort de la chimie.

COULEURS MATÉRIELLES (par M. Rouget de Lisle). Couleurs solides. — Couleurs plus ou moins superflues. — Couleurs peu solides et cependant employées. — Couleurs nuisibles.

Préparation des diverses couleurs. — Blanc. — Jaune. — Rouge. — Bleu. — Terre de Sienne. — Vert, etc.

INDIGO.

ORSEILLE (par M. Mallet). — Emploi de l'orseille. — Historique. — Des lichens qui fournissent l'orseille. — Préparation de l'orseille. — Emploi de l'ammoniaque. — Prix de revient (V. art. TEINTURE).

GARANCE. — Garance de Hollande. — Garance d'Alsace. — Garance d'Avignon. — Préparation de la garancine. — De la colorine.

CARTHAME.

CARMIN.

BOIS DU BRÉSIL.

CAMPÊCHE.

GAUDE.

ROCOU.

COCHENILLE (Voy. TEINTURE).

FUCHSINE (Voy. TEINTURE).

EXTRAITS (par M. Rouget de Lisle). — Extraits des bois de teinture. — Division des bois. — Dessins et description des machines Valery. — Système Panay.

PRÉPARATION DES EXTRAITS. — Système Salleron. — Presse à vapeur de Rommerhausen. — Dispositions employées par M. Panay. — Appareil de M. Meissonnier. — Appareil de M. Besseyre. — Purification des extraits.

EXTRAITS PHARMACEUTIQUES. — Lavage et évaporation. — Filtre-presse. — Extraits alcooliques. — Extraits éthérés. — Extracteur à distillation continue de M. Payen.

ENCRE (par M. Rouget de Lisle).

ENCRE A ÉCRIRE. — Matières premières qui entrent dans la composition de l'encre. — Eau. — Corps renfermant du tannin. — Sels de fer. — Bois d'Inde. — Gomme et matières visqueuses. — Modes de préparation de l'encre. — Encres anglaises.

ENCRE DE CHINE. — Procédé chinois. — Préparation ordinaire.

ENCRES POUR MARQUER LE LINGE. — Encres anglaises. — Autres compositions.

ENCRES COLORÉES. — Rouges, — jaunes, — bleues, etc. — Encres sympathiques.

ENCRE LITHOGRAPHIQUE. — Procédé Crusel. — Procédé Lemercier.

ENCRE D'IMPRIMERIE. — Matières premières convenables. — Préparation du noir. — Cuisson du vernis. — Trituration. — Encre pour taille-douce.

Encre communicative pour copier les lettres. — Moyens d'écrire sur le verre et le zinc.

COLORATION ET CONSERVATION DES BOIS (par M. Paulin Désormeaux). — Abattage des bois. — Séchage.

COLORATION. — En rouge. — En bleu. — En jaune. — En vert. — En violet. — En noir.

Procédé Boucherie. — Expériences de l'auteur de l'article. — Dessin et description de son mode d'opérer. — Mode d'opérer de M. Boucherie pour un arbre sur pied.

TEINTURE (par M. Salvetat).

I. DES MATIÈRES TEXTILES dans leurs rapports avec les opérations de la teinture, au point de vue de l'importance de la production. — Coton. — Lin et chanvre. — Laine. — Soie.

II. Des mêmes matières au point de vue de leurs propriétés physiques et chimiques. — Fibres d'origine végétale. — Matières d'origine animale.

III. DES TISSUS destinés à la teinture.

IV. BLANCHIMENT (Voy. l'article spécial).

V. THÉORIE des phénomènes de teinture.

VI. DES PRÉPARATIONS GÉNÉRALES auxquelles on soumet les fibres en vue des opérations de la teinture.

VII. DES MATIÈRES COLORANTES considérées dans leur nature, leur origine, leur préparation, etc. — Action de l'air, — des réactifs. — Extraits.

VIII. DES SUBSTANCES TINCTORIALES et des principes colorables ou colorés qu'elles contiennent. — Classifi-

cation de M. Chevreul : 1, Cochenille. 2, Kermès. 3, Lake-lake. 4, Lake-dye. 5, Sumadra indica. 6, Graine de grémil. 7, Garance. 8, Bois de Brésil. 9, Bois de santal. 10, Bois d'amaranthe. 11, Rouge de sorgho. 12, Peganum harmale. 13, Safranum. 14, Murexide. 15, Créosote. 16, Rouge d'aniline. 17, Orcanette. 18, Violet d'aniline. 19, 20, 21, Orseilles. 22, Pourpre française. 23, Indigo. 24. Carmin d'indigo. 25, Bois de Campêche. 26, Fleurs de mauve noire. 27, Vert des feuilles. 28. Vert du chardon. 29, Vert de Chine. 30, Quercitron. 31, Bois jaune. 32, Gaude. 33, Fustet. 34, Sarrasin. 35, Gardenia grandiflora. 36, Graine de Perse. 37, Curcuma. 38, Rocou. 39, Acide picrique. 40, Sambucus ebulus.

IX. DE LA TEINTURE proprement dite, considérée dans ses résultats généraux. — Couleurs simples. — Couleurs binaires. — Couleurs ternaires.

X. DE LA TEINTURE considérée sous le rapport de la stabilité des couleurs.

XI. DE LA TEINTURE considérée dans ses méthodes générales.

XII. DISPOSITIONS GÉNÉRALES D'UNE TEINTURERIE. — Description de nouvelles machines convenables pour les diverses opérations de la teinture.

XIII. DES PROCÉDÉS PRATIQUES D'UNE TEINTURERIE. — 1° Teinture en rouge pour les diverses substances qu'on peut employer, et pour tous les genres de lettres. — 2° Teinture en violet. — 3° Teinture en bleu. — 4° Teinture en vert. — 5° Teinture en jaune.

Couleurs petit teint. — Noir. — Gris. — Bronze, etc.

XIV. RAPPORTS DE LA TEINTURE AVEC L'IMPRESSION SUR ÉTOFFES (Voy. 6e *Section*).

IMPRESSION SUR ÉTOFFES (Voy. 6e *Section*).

BOUSAGE. — Emploi de la bouse de vache dans l'impression des indiennes. — Composition des sels pour bousage, par lesquels on l'a remplacée.

Chimie animale.

La connaissance de la composition des éléments des corps des animaux, si importante pour les sciences médicales, forme le point de départ des industries à l'aide desquelles on les conserve, on les transforme, on les utilise.

SANG.

CRIN.

DÉPILATOIRE.

FIBRINE.

FIEL DE BŒUF. — Composition. — Purification. — Propriétés et usages.

OS.

IVOIRE.

NOIR ANIMAL. — Propriétés du noir animal. — Travaux de M. Bussy et de M. Payen. — Appareil à cylindres. — Appareils à marmites. — Revivification du noir.

BLEU DE PRUSSE ET PRUSSIATE DE POTASSE. — Prussiate jaune et prussiate orange. — Précipités qu'ils forment dans les dissolutions des sels métalliques et notamment des sels de fer.

Préparation du prussiate jaune. — Préparation du bleu de Prusse.

PRUSSIATES (par M. Mallet). — Fabrication avec des matières animales. — Expériences de M. Kuhlmann. — Expériences de M. Jacquemyns. — Procédé de M. Possoz.

BOUGIES STÉARIQUES. — Saponification par la chaux. — Pulvérisation des savons de chaux. — Décomposition de ces savons par l'acide sulfurique étendu. — Lavage des acides gras rendus libres. — Moulage et cristallisation des acides gras. — Découpage des masses cristallines. — Pressage à froid. — Pressage à chaud. — Épuration des acides. — Fonte et moulage des bougies. — Moules en fer. — Blanchiment, — polissage mécanique, — mise en paquet des bougies. — Fabrication par distillation.

SAVON (Voy. CHIMIE ORGANIQUE).

GLYCÉRINE. — Glycérocolle (*Compl.*).

GÉLATINE (par M. Ch. Knab). — Gélatine par les acides. — Conduite du travail. — Appareil Grenet. — Gélatine extraite des os par la vapeur. — Appareil d'Arcet. — Gélatine alimentaire. — Prix de revient. — Qualité nutritive de la gélatine.

COLLE FORTE. — Rendement en colle forte des principales substances animales. — Traitement de ces matières. — Dessiccation de la colle forte.

Extraction de la colle forte des os au moyen des acides.

FERMENTATION PUTRIDE.

ENGRAIS (Voy. 3e *Section*).

ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES (Voy. 4e *Section*).

TANNAGE. — But du tannage. — Tannage des peaux destinées à donner des cuirs mous. — Trempage. — Pélanage. — Épilage. — Travail sur le chevalet. — Tannage.

Tannage des peaux destinées à fournir des cuirs forts. — Modifications des procédés précédents.

Perfectionnements. — Emploi de la soude. — Procédé Vauquelin.

Corroyage des cuirs mous.

Cuirs de Russie. — Cuirs longroyés. — Mégisserie. — Chamoiserie. — Maroquin.

TANNAGE (*Compl.*).

CUIRS VERNIS (par M. Mabrun). — Emploi des cuirs vernis. — Apprêtage de la peau. — Composition des apprêts. — Mode de les appliquer.

Vernissage. — Composition des cuirs vernis les plus estimés.

ADIPOCIRE.

ASTICOTS.

BOYAUDERIE (d'après Labarraque).

DES BOYAUX INSUFFLÉS. — Dégraissage. — Retournage. — Fermentation putride. — Ratissage. — Lavage. — Insufflation — Dessiccation. — Désinsufflation. — Aunage. — Soufrage. — Ployage.

BAUDRUCHE, — pour batteurs d'or.

DES CORDES A BOYAUX. — Cordes pour rémouleurs. — Cordes à raquettes. — Cordes à fouet. — Cordes d'archet. — Cordes pour les horlogers.

CORDES D'INSTRUMENTS (par M. Savaresse). — Causes de la supériorité des chanterelles de Naples. — Mode de préparation et choix des boyaux pour obtenir d'excellents résultats. — Cordes colorées. — Cordes recouvertes de cantine.

CONSERVATION DES SUBSTANCES VÉGÉTALES ET ANIMALES. — Influence sur la fermentation, — de l'air, — de l'eau, — de la chaleur.

Dessiccation. — Salaison. — Immersion dans l'esprit de vin. — Emploi du sucre. — Emploi du froid. — Soustraction du contact de l'air ou procédé d'Appert. — Emploi de substances antiseptiques, — Fumée, Créosote. — Acide arsénieux. — Procédé Gannal.

TROISIÈME SECTION.

BIOLOGIE INDUSTRIELLE.

Les procédés chimiques ne permettent d'obtenir toutes les substances diverses, but ou moyen du travail industriel, qu'autant que certains corps renfermant ces substances, ou leurs éléments, sont le résultat d'un premier travail. Or, suivant que ces éléments appartiennent au règne inorganique ou organique, ce travail est simple ou extrêmement complexe. Pour les minéraux, il consiste en un travail d'exploitation, d'extraction, qui est d'ordre mécanique ; pour les végétaux et les animaux, il résulte d'un développement naturel, créant souvent seul l'objet utile, et qu'on ne peut aider qu'en employant toutes les ressources des sciences de la nature.

Ce qui distingue ce travail de tout autre, c'est que l'effort de l'homme intervient dans la production d'une manière toute particulière ; au lieu d'engendrer immédiatement le résultat cherché, il a pour seul effet de tout disposer pour que les *forces vitales*, la puissance qui fait que le corps vivant se développe dans un milieu convenable, ait son plein et entier effet, crée peu à peu et en quelque sorte d'elle-même, le corps à obtenir.

On voit donc que si les objets sur lesquels s'exerce le travail de l'homme, dans l'agriculture, l'élève des animaux, si les industries qui relèvent des sciences biologiques, sont en très-grand nombre, parfaitement suffisant pour justifier l'étendue d'ouvrages spéciaux, les procédés du travail humain qui intervient pour aider au développement de substances organisées, pour les placer dans un milieu convenable, peuvent cependant être assez limités pour qu'on puisse les résumer sans entrer dans de très-grands développements. Ils se réduisent à l'exposition de toutes les applications du travail à la production d'utilités de toute nature.

En nous plaçant, comme nous le faisons ici, au point de vue des effets de l'élément *travail* pour disposer les éléments qui concourent au développement utile des corps vivants, nous laissons de côté ce qui, dans les connaissances applicables à l'agriculture, se rapporte plus particulièrement au mode d'action de ces forces elles-mêmes. Autrement dit, nous négligeons en grande partie ce qui étant du ressort des sciences biologiques, n'a qu'un faible degré de certitude, dépend plus dans la pratique des soins attentifs, de l'expérience, que d'une science bien certaine, pour nous attacher aux applications des sciences mécaniques et physiques, aux opérations agricoles qui possèdent un degré absolu de certitude ; c'est la partie positive de la science agricole que nous comprenons dans notre cadre.

C'est ainsi que l'a compris M. Hervé-Mangon, dans le beau travail d'ensemble dont il a enrichi cet ouvrage ; exposé si complet de l'ensemble de la science agricole positive et où s'est trouvée décrite, pour la première fois en France, l'importante pratique du *drainage* des terres à l'aide de tuyaux.

Cette division, jointe à la précédente, comprend donc les moyens de production de toutes les substances qui, dans leur état naturel ou après avoir été soumises à des actions objet des autres sections, peuvent être utiles à l'homme, en même temps qu'elle représente l'intéressant tableau du circulus fécond qui vient faire sortir des détritus, des résidus laissés par les végétaux et par les animaux après leur mort, de leur décomposition, la substance des corps vivants.

AGRICULTURE (par M. Mangon).

I. STATISTIQUE AGRICOLE DE LA FRANCE. — 1° Production végétale. — 2° Animaux domestiques.

II. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE SCIENCE AGRICOLE. — Notions générales. — Terrains agricoles. — Composition chimique des terrains. — Procédés d'analyse. — Propriétés physiques des terres. — Hygroscopicité des terres. — Propriétés calorifiques. — Classification des terres arables.

Météorologie agricole. — Calorique. — Lumière. — Électricité. — Pression de l'air. — Des vents. — Hygrométrie. — Évaporation de l'eau. — Pluie dans divers pays.

III. AMÉNAGEMENT DES EAUX AU POINT DE VUE AGRICOLE. — Curage des cours d'eau. — Rigoles d'assainissement ouvertes.

Drainage ou assainissement au moyen de rigoles couvertes. — Immense utilité de cette pratique. — Historique. — Différents modes d'exécution des canaux de drainage. — Fabrication des tuyaux de drainage. — Des diverses machines d'Ainslie, de Brethon, de Sclosser. — Cuisson des tuyaux. — Pose des tuyaux au fond des tranchées. — Systèmes divers de drainage avec fascines, pierres, etc. — Profondeur et écartement des drains. — Pente des drains. — Exemples de drainage. — Drainage des sources. — Drainage vertical. — Volume d'eau entraînée par les drains. — Effets et théorie du drainage. — Résultats financiers des travaux de drainage.

Desséchement. — Études préparatoires de toute opération de desséchement. — Travaux de desséchement — Desséchement à l'aide de canaux d'écoulement. —

Desséchements des marais proprement dits. — Desséchements hollandais. — Des moères françaises. — Des polders. — Desséchement du lac de Harlem.

Puits forés et puisards absorbants.

Endiguement et défense des rives.

Irrigations. — Quantité d'eau par hectare employée aux irrigations au Nord et au Midi. — Moyen d'obtenir les eaux pour l'irrigation. — Construction des réservoirs. — Déversoirs et prises d'eau. — Canaux et rigoles d'irrigation. — Machines à élever l'eau.

Emploi des eaux d'irrigation. — Par submersion. — Par déversement sur les terrains inclinés. — Sur les terrains disposés en ados. — Exemples d'irrigations. — Formation des prairies. — Exécution des travaux d'irrigation. — Limonages. — Eaux animalisées. — Pratique des irrigations. — Jardinages.

Exemples de grands travaux d'irrigation. — Barrage du Nil. — Campine belge.

V. ALIMENTATION VÉGÉTALE, — ENGRAIS ET AMENDEMENTS (Voy. ENGRAIS).

VI. CULTURES. — ASSOLEMENTS.

Céréales. — Froment (variétés de). — Épeautre. — Seigle. — Orge. — Avoine. — Riz. — Sarrasin. — Maïs. — Maladies des céréales.

Légumineuses. — Haricots. — Fèves. — Pois. — Vesces.

Plantes fourragères. — Plantes des prairies permanentes. — Récolte des foins. — Prairies temporaires. — Luzerne. — Trèfle. — Sainfoin. — Spergule.

Plantes à racines alimentaires. — Pomme de terre. — Navet. — Carotte.

Cultures industrielles. — Plantes textiles. — Chanvre. — Lin. — Plantes oléifères. — Colza. — Cameline. — Pavot.

Plantes tinctoriales. — Garance. — Pastel.

Des assolements. — Des divers systèmes à adopter dans les diverses circonstances de la pratique.

VII. ANIMAUX DOMESTIQUES. — Race bovine. — Race chevaline. — Race asine. — Race ovine. — Race porcine.

VIII. CONSTRUCTIONS RURALES. — Dispositions générales des bâtiments d'exploitation. — Étables. — Bergeries. — Porcheries. — Granges. — Greniers. — Fosse à fumier. — Laiterie.

ASSOLEMENTS. — Plantes à longue racine. — Leur utilité (*Compl.*).

EAUX (AMÉNAGEMENT DES) — pour l'agriculture. — Enrichissement de la France par les irrigations. (*Compl.*).

BARRAGES. — Barrage du Furens (*Compl.*).

SILOS pour la conservation des grains.

FORÊTS.

FORÊTS de la France (*Compl.*).

COCOTIER.

RIZ.

MANIOC.

POMMES DE TERRE.

CHANVRE.

LIN.

Instruments d'agriculture.

INSTRUMENTS D'AGRICULTURE. — I. INSTRUMENTS DESTINÉS A LA PRÉPARATION DU SOL. — *Instruments mus à bras d'homme.* — *Instruments mus par les animaux.* — 1. Charrue. — Éléments de la charrue. — Charrue Howard. — Charrue Grangé. — Charrue Vallerand. — 2. Scarificateurs, extirpateurs, buttoirs. — 3. Herses. — 4. Rouleaux. — *Instruments mus par la vapeur.* — Labourage à la vapeur, système de Fowler. — Système de Howard.

II. SEMOIRS. — Semoirs à barillet. — Semoirs à cuillers. — Semoirs à brosses. — Semoirs à soupapes.

III. INSTRUMENTS POUR LA RÉCOLTE. — *Instruments mus à bras d'homme.* — *Instruments mus par les animaux.* — Faucheuse de Wood. — Moissonneuse de Mac-Cornick. — Moissonneuse de Burghess et Key. — Faneuses et rateaux.

IV. INSTRUMENTS POUR LA PRÉPARATION DES PRODUITS DANS LES FERMES. — Appareils pour l'application de la force motrice. — Manéges. — Locomobiles. — Battage des grains. — Machines à battre. — Batteur de Ransome. — Machine Duvoir. — 2. Machines à nettoyer les grains. — Tarare. — Trieur. — 3. Machines diverses : — Hache-paille. — Coupe-racines. — Concasseur.

BARATTE. — Baratte normande. — Baratte des environs de Paris. — Baratte de Rouen. — Baratte de Sussex. — Baratte américaine. — Grande baratte de Clyburn.

Engrais.

ENGRAIS (théorie de M. Liebig, — de M. Boussingault). — De l'azote que renferment les plantes. — Des engrais minéraux. — Tableaux d'analyses. — Engrais rendant à la terre ce que la plante enlève.

ENGRAIS AZOTÉS. — Fumier de ferme. — Fumier de cheval. — De vache. — De mouton. — Poudrette. — Procédé Salmon. — Débris d'animaux. — Broyeur d'os. — Coprolithes. — Chair musculaire. — Sang. — Os. — Substances minérales azotées. — Tangue. — Merl. — Suies. — Cendres. — Écobuage. — Substances végétales. — Engrais verts. — Végétaux divers.

Débris végétaux. — Terreau. — Tourbe. — Marc de raisin. — Pulpes. — Résidus des féculeries, — des fabriques de sucre de betterave. — Tableau général de la valeur comparative des engrais.

ENGRAIS MINÉRAUX OU AMENDEMENTS. — Chaux. — Marne. — Cendres. — Sels. — Plâtre.

Transport des engrais.

ÉGOUTS. — Valeur agricole des eaux d'égout. (Voy. 5e SECTION, article ÉGOUTS.)

DÉSINFECTION (par M. Mallet). — Moyens de désinfecter l'air. — Emploi du chlore.

Désinfection des fosses d'aisances. — Importance de la question au double point de vue de la salubrité et de la valeur des engrais.

Emploi du sulfate de fer. — Emploi du charbon, procédé Salmon. — Système Huguin.

VIDANGES. — Restitution au sol des éléments de sa fertilité. — Utilisation des eaux d'égoût à des irrigations. — Leur clarification à l'aide du sulfate d'alumine (*Compl.*).

Animaux et produits animaux.

ABEILLES.

CIRE.

LAIT. — Composition. — Altérations du lait. — Falsifications. — Du lactomètre.

SOIE. — Production de la soie.

ÉDUCATION DES VERS A SOIE. — Moment de l'éclosion. — De la levée du ver. — Soins à donner aux vers. — Leurs maladies. — De la montée du ver et du boisement. — Description de la magnanerie salubre de d'Arcet.

MIEL.

CROISEMENT DES RACES (par M. Magne). — Utilité, — avantage des croisements. — Règles du croisement des races. — Fixité des métis.

MOUTON (par M. Magne). — Importance des bonnes races. — Moutons français à laine grossière. — Moutons français à laine commune. — Moutons français à laine intermédiaire. — Moutons à laine fine. — Mérinos. — Moutons à laine soyeuse. — Moutons à laine extra-fine.

CHOIX DES MOUTONS. — Taille. — Tempérament. — Formes. — Qualités de la laine. — Avantages des bêtes ovines à laine fine.

AMÉLIORATION DES MOUTONS. — Soins divers. — Croisement.

PISCICULTURE. — Découverte de Jacobi. — De Remy, pêcheur des Vosges. — Appareil d'éclosion de M. Coste. — Établissement d'Huningue. — Importance de la question.

PÊCHE MARITIME. — De la production et de l'alimentation des poissons de mer. — Lignes. — Chalut. Grande pêche de Norvége (*Compt.*).

SANGSUES (élève des) (*Compt.*).

Industries agricoles.

Les premières transformations des produits agricoles ne ressortissent plus directement, en général, de la biologie, mais bien de la mécanique ou de la chimie, suivant que la modification se rapporte à la nature du corps ou à son état physique. Toutefois, plusieurs de ces opérations sont assez simples pour que le travail industriel se fasse toujours près de la ferme, ou bien l'état vital, s'il n'intervient pas seul, doit cependant guider pour la fabrication : telle est la maturité du raisin pour la fabrication du vin, par exemple. Aussi il est naturel de classer, comme on le fait habituellement, sous le nom d'industries agricoles, un certain nombre d'entre elles.

BEURRE.

FROMAGE.

VIN (par M. Curtel). — Vendange. — Égrappage. — Foulage. — Composition du moût.

Fermentation du moût. — De l'addition du glucose. — Des cuves ouvertes. — Des cuves fermées.

Décuvage. — Pressurage. — Mise en tonneau.

Fermentation lente dans les tonneaux. — Appareil Herpin. — Bondes hydrauliques.

Fabrication du vin blanc. — Vins de liqueur.

Conservation des vins. — Travaux de M. Pasteur.

CIDRE. — Fabrication du cidre. — Fabrication du poiré. — Maladies qui attaquent le cidre qui vieillit.

DISTILLATION. — Fabrication de l'alcool à l'aide des grains, des pommes de terre, etc.

DISTILLATION DES BETTERAVES (par M. H. Mangon). — Procédé Champonnois. — Résultats obtenus (*Compt.*).

BIÈRE (Voy. II^e^ SECTION. CHIMIE VÉGÉTALE).

SUCRE (Voy. II^e^ SECTION. CHIMIE VÉGÉTALE).

FÉCULE (FABRICATION DE LA) (par M. Grouvelle). — Description d'une féculerie perfectionnée annexée à une exploitation agricole. — Silos. — Succession des opérations. — Drague. — Laveurs. — Râpes. — Tamis cylindriques à tambour fixe. — Décantage. — Lavage. — Étuve.

GLUTEN. — Description de la fabrication de gluten granulé de M. Véron.

TABAC (par M. Barral). — Fabrication du Scaferlati. — Du tabac à priser. — Méthodes employées dans les manufactures françaises.

MOULIN A BLÉ (par M. H. Mangon). — Historique. — Mouture économique. — Mouture américaine ou à l'anglaise. — Mouture à gruaux.

Disposition générale d'un moulin. — Appareils de nettoyage. — Emotteur. — Nettoyeur. — Cylindre cribleur. — Mouillage. — Cylindres comprimeurs. — Meules. — Outils pour le rhabillage des meules. — Disposition des meules. — Beffroi. — Récipient à boulange. — Râteau refroidisseur. — Bluterie. — Appareils accessoires.

Moulins portatifs.

Prix d'établissement des moulins. — Force motrice par paire de meules.

Importance de l'industrie de la mouture du blé dans un pays tel que la France.

INCUBATION ARTIFICIELLE (par M. Grouvelle). — Méthode pratiquée en Égypte. — Recherches de Réaumur. — Travaux de Bonnemain. — Dessin et description de ses appareils.

Conduite de l'incubation.

Incubation à l'aide de la chaleur des eaux minérales.

Couvoirs portatifs. — Couvoir de Lemare. — Couvoir de M. Sorel.

Hygiène de l'industrie.

Étude des moyens de parer aux dangers et d'éviter les inconvénients afférents à diverses fabrications. — D'utiliser les divers déchets au profit de l'agriculture, quand il y a lieu.

INSALUBRES (ARTS ET ÉTABLISSEMENTS) (par M. P. Grouvelle). — Législation française. — Classement des établissements en plusieurs classes. — Des principaux moyens d'assainissement.

1. Des distances qui doivent être observées entre les fabriques insalubres et les habitations. — Influence des vents régnants. — Polygone de d'Arcet.

PREMIÈRE CLASSE.

2. *Abattoirs et fondoirs de suif.* — Mégisseries. — Fourneaux pour la fonte du suif. — 3. *Savon.* — Appareil pour empêcher les savonniers de tomber dans les chaudières de cuite. — 4. *Acides sulfurique et chlorhydrique, et produits chimiques.* — Procédé Holker. — Nouveau système de M. Kuhlmann. — Emploi de la baryte. — Disposition en cascade. — 5. *Affinage d'or et d'argent.* — Dispositions d'ateliers. — Emploi du lait de chaux dans des tambours tournants successifs, et de longs tuyaux de plomb pour absorber les gaz acides. — 6. *Engrais.* — Emploi de substances désinfectantes.

DEUXIÈME CLASSE.

7. *Appareil salubre pour éteindre le coke dans les usines à gaz.* — Description d'un appareil qui a très-bien réussi. — 8. *Colle animale et gélatine.* — 9. *Buanderies et lavoirs.* — 10. *Fonderies de plomb.* — 11. *Travail du caoutchouc.* — Nécessité de précautions multiples. — 12. *Fulminate de mercure.* — 13. *Cuirs vernis.* — 14. *Galvanisation du fer.* — 15. *Fabrication du tabac.* — Innocuité des odeurs de tabac. — Fourneau de d'Arcet pour brûler les côtes de tabac.

TROISIÈME CLASSE.

16. *Amphithéâtres de dissection.* — Nécessité d'une ventilation énergique. — Tables de dissection ventilées, en fonte. — 17. *Exhumations.* — Emploi abondant des chlorures. — 18. *Brochage de livres.* — 19. *Dorure.* — Moyens de salubrité trouvés par d'Arcet pour la dorure au mercure. — Forge salubre. — Ramonage des cheminées de doreur. — Dorure galvanique. — 20. *Féculeries.* — 21. *Fabriques de fer-blanc.* — Disposition des creusets servant au travail sous des cheminées, appliquée par d'Arcet. — 22. *Laiterie.* — Conservation du lait. — Son alcalisation. — 23. *Vernis noir pour les ferrures.* — 24. *Clarification des eaux de rivière.* — Filtration. — Emploi de l'alun. — 25. *Assainissement des maisons.* — Observations d'asphyxies lentes causées par l'insalubrité des logements. — Séchage des bâtiments et des murs. — 26. *Extinction des feux de cheminée.* — 27. *Accidents causés par des vases culinaires en maillechort.* — Comparaison de cet alliage avec l'argent au second titre. — 28. *Accidents causés par des cornichons.* — Moyen facile de rencontrer la présence de sels de cuivre. — 29. *Emploi des balances de cuivre.* — 30. *Curage des égouts* (*Compl.*).

ÉQUARRISSAGE (par M. Valério). — Insalubrité de cette industrie. — Valeur qu'elle retire d'un cheval mort. — Description des opérations à l'abattoir salubre d'Aubervilliers.

QUATRIÈME SECTION.

MÉCANIQUE INDUSTRIELLE.

La mécanique industrielle fondée sur les lois du travail mécanique en général, qui, appliquées notamment au travail de l'homme, conduisent à obtenir gratuitement les effets de celui-ci par le seul jeu des forces de la nature, se définit habituellement la science du mouvement et des causes de mouvement qui peuvent agir sur les corps. D'après cette définition, on voit qu'elle comprend deux parties distinctes, celle qui se rapporte à la mécanique géométrique, à ce qu'Ampère a désigné sous le nom de Cinématique, où le mouvement est considéré, quant à sa direction, à la figure géométrique du chemin parcouru, indépendamment de la grandeur des forces qui sont en jeu ; et la mécanique physique, que l'on appelle généralement mécanique appliquée, dans laquelle les théorèmes établis dans la mécanique rationnelle viennent s'appliquer aux corps doués des propriétés que la physique a fait connaître.

Les divisions de la mécanique industrielle, c'est-à-dire des connaissances qui guident pour l'application utile des forces aux corps, se déduisent de ces considérations. Elles comprennent :

1° La Cinématique, c'est-à-dire la théorie des mouvements des organes des machines, l'étude des systèmes où les mouvements importent plus que les forces. Les appareils d'horlogerie nous fournissent le type de systèmes de cette nature ;

2° La Mécanique appliquée comprenant l'analyse :

I. Des meilleures dispositions des récepteurs pour rendre utilisables les forces naturelles ;

II. Des machines et outils convenables pour surmonter les résistances de cohésion qu'opposent les corps aux forces qui tendent à leur donner une forme déterminée ; des effets produits en raison de la nature des corps ;

III. Des fabrications mécaniques obtenues de succession d'opérations effectuées à l'aide des outils ;

IV. Des systèmes destinés à produire le mouvement, à surmonter les résistances qui s'y opposent.

Cinématique.

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE (par M. Laboulaye). — Nécessité de l'étude de la théorie des mécanismes. — Ce n'est qu'en étudiant les premiers organes des machines qu'on peut en saisir la composition. — Résultats de cette décomposition. — Guides du mouvement. — Division des machines en : — 1° Récepteurs. — 2° Organes de transformation de mouvement. — 3° Organes de modification de mouvement. — 4° Opérateurs.

ORGANES DE TRANSFORMATION DE MOUVEMENT. — Classification des mouvements élémentaires. — Pourquoi elle est simple et le nombre des premiers organes limité.

I. *Mouvement circulaire continu en circulaire continu.* — Rouleaux. — Courroies. — Chaînes. — Engrenages. — Roues elliptiques. — Roues d'angle. — Vis sans fin. — Fusée. — Joint universel, etc.

II. *Mouvement circulaire continu en rectiligne continu.* — Crémaillère. — Treuil. — Vis et écrou.

III. *Mouvement rectiligne continu en rectiligne continu.* — Plan incliné. — Poulies.

IV et V. *Mouvement circulaire continu en circulaire ou rectiligne alternatif.* — Bielle et manivelle. — Excentriques circulaires. — Excentriques en général. — Courbes en cœur. — Cames.

VI et VII. *Mouvement rectiligne continu en circulaire ou rectiligne alternatif.* — Encliquetages. — Rainures.

VIII. *Mouvement circulaire alternatif en circulaire alternatif.* — Leviers droits et coudés. — Roues dentées. — Cordes. — Mouvement de sonnette.

IX. *Mouvement circulaire alternatif en rectiligne alternatif.* — Rainures. — Cordes. — Archet. — Articulations.

X. *Mouvement rectiligne alternatif en rectiligne alternatif.* — Cordes. — Articulations. — Losange.

XI. *Mouvement quelconque en mouvement d'après une courbe.* — Combinaisons de mouvements rectilignes. — De mouvement circulaire et rectiligne. — Pantographe.

GRAPHIQUES (REPRÉSENTATIONS) d'un phénomène mécanique. — Représentation graphique d'une fonction. — Tracés produits par les corps en mouvement. — Méthodes appliquées par M. Marey pour l'étude des corps vivants (*Compl.*).

COURROIES. — Dispositions diverses (*Compl.*).

COURROIES MÉTALLIQUES de grande longueur, système Hirn (*Compl.*).

COUSSINETS (par M. Dubied). — Des substances propres aux coussinets. — Forme des coussinets. — Coussinets à galets. — Leurs avantages et leurs défauts.

PIVOT.

TOURILLON.

GLISSIÈRE.

BIELLE. — Transformation du mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif ou inversement par bielle et manivelle. — Représentation du travail de la bielle.

Mouvement circulaire continu en circulaire alternatif par le même système. — Disposition de M. Girard. — Évaluation du frottement de la bielle. — Excentrique circulaire. — Frottement.

Mouvement circulaire continu en circulaire continu par bielles et manivelles.

BIELLE. — Systèmes propres à régulariser le mouvement produit par la bielle (*Compl.*).

PLAN INCLINÉ. — Du frottement sur le plan incliné.

ENGRENAGES. — Systèmes divers d'engrenages. — Engrenages à coin de M. Minotto. — Engrenages à dents. — Tracé épicycloïdal. — Tracé de M. Willis. — Odontographe et table pour série de roues uniformes (*Compl.*).

ROUES DENTÉES (SYSTÈME DE). — Mode de construction de roues montées sur canon en usage dans l'horlogerie. — Rapport de vitesse dans un système composé de roues et de pignons. — Détermination du nombre de roues et du nombre des dents de ces roues pour obtenir un rapport voulu de vitesse entre deux axes. — Cas où les deux termes du rapport sont des nombres premiers. — Méthode de Huyghens à l'aide des fractions continues. — Méthode de M. Brocot.

DIFFÉRENTIEL (MOUVEMENT) (par M. Laboulaye). — Définition des organes animés de ce mouvement dans les divers cas de transformation de mouvement.

RECTILIGNE EN RECTILIGNE. — Plans inclinés.

CIRCULAIRE EN RECTILIGNE. — Guides à mouvement rectiligne. — Du mouvement rectiligne. — Du mouvement circulaire. — Guides à mouvement circulaire.

CIRCULAIRE EN CIRCULAIRE. — Des divers systèmes épicycloïdaux. — Détermination des rapports de vitesse. — Premier système : — Mouche ou roue planétaire. — Second système : son application aux horloges. — Troisième système : son application aux bancs à broches et aux compteurs. — Quatrième système : son application aux horloges à équation.

MOUVEMENTS ALTERNATIFS EN MOUVEMENTS ALTERNATIFS. — Zigzag. — Parallélogramme de Watt. — Parallélogramme d'Olivier Evans.

COURBES ÉPICYCLOIDALES. — Famille indéfinie de courbes qui peuvent être tracées par des systèmes n'ayant que les guides du mouvement circulaire (*Compl.*).

JOINT DE CARDAN. — Rapport des vitesses de rotation des deux axes. — Moyen d'obtenir un rapport constant.

GLISSIÈRE.

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE. — ORGANES DE MODIFICATION DE MOUVEMENT. — *Organes de mise en mouvement.* — Poulie folle. — Embrayage. — Roues à détente.

Organes servant à la régularisation du mouvement. — Volants. — Frein. — Pendule conique. — Ressort dynamométrique de Poncelet. — Pendule.

Organes à réaction, — Ressort spiral. — Ressort en lames.

Organes d'arrêt. — Roue à rochet. — Échappement à ancre, — à chevilles, — à recul, — à repos. — Échappement libre.

HORLOGERIE (par M. Bréguet). — Du temps et de sa mesure. — Temps vrai et temps moyen. — Équation du temps. — Détermination du midi vrai. — Dipléiscope.

Histoire de l'horlogerie.

I. PUISSANCE MOTRICE. — Poids moteur des horloges. — Poids mouflés. — Ressort moteur. — Fusée. — Des remontoirs d'égalité.

II. RÉGULATEUR. — Pendule. — Durée des oscillations. — De l'isochronisme. — Pendule cycloïdal. — Du centre d'oscillation. — Suspension à ressort. — Théorie de M. Laugier sur la force du ressort. Compensation du pendule. — Pendule à grille. — Système de Julien Leroy. — Pendule à mercure.

Régulateur à ressort spiral. — Formes de spiraux. — Théorie de M. Philips. — Longueur des spiraux. — Raquette. — Du balancier. — Suspension du balancier (*Extrait des manuscrits de A. Bréguet*).

De la compensation. — Lames compensatrices pour chronomètres. — Thermomètre métallique de Bréguet. Exécution des balanciers compensateurs à lames bi-métalliques. — Autres systèmes proposés.

III. ÉCHAPPEMENT. — 1° Échappement à recul, son tracé. — 2° Échappement à repos. — Tracé de Graham. — Échappement à ancre pour pendules; id. pour montres. — Échappement à chevilles. — Échappement à cylindre, — son tracé. — Courbe des dents. — Échappement Dupleix. — 3° Échappements libres. — Principes de leur construction. — Observations sur ces échappements, par A. Bréguet. — Échappements à remontoirs et remontoirs d'égalité pour horloges. — Remontoir à ressort, pour pendules.

IV. ROUAGES. — Du mouvement circulaire. — Du rapport de vitesse constant. — Des engrenages. — Du nombre minimum d'ailes des pignons. — Nombre des dents des roues. — Exemples de calcul. — Rouage d'une horloge de huit jours, — d'une horloge d'un mois. — Épaisseur des dents. — Frottement.

V. DES APPAREILS D'HORLOGERIE AU POINT DE VUE MÉCANIQUE. — Frottements. — Chocs. — Pivots. — De l'huile. — Du régulateur et de l'isochronisme. — Des modèles à suivre. — Comparaison de pièces semblables.

VI. APPAREILS CHRONOMÉTRIQUES. — Des calibres. — Du compas de proportion.

1. *Régulateur astronomique* de Bréguet. — Disposition des rouages. — Description des diverses pièces.

Des sonneries. — Sonnerie à chaperon. — Sonnerie à râteau.

2. *Grosses horloges.* — Progrès modernes dans la construction et la disposition des pièces. — Sonnerie. — Éclairage du cadran.

3. *Montres.* — Montres à échappement à cylindre. — Calibres. — Montres sans clef. — Dispositions adoptées par la maison Bréguet. — Montres à répétition.

4. *Horloges électriques.* — Emploi de l'électricité comme moteur. — Transmission à distance. — Remise à l'heure.

CHRONOSCOPES. — Mesure de très-petites durées.

CHRONOMÈTRE (par Bréguet). — Utilité des chronomètres pour la navigation. — Du régulateur. — De l'échappement libre. — Du moteur. — Du rouage. — Du balancier compensateur. — Mode de construction et d'assemblage des pièces.

CHRONOMÈTRE. — Méthode d'observation de M. Lieussou (*Compl.*).

CLEPSYDRES ou horloges d'eau (*Compl.*).

AUTOMATE. — De divers automates célèbres. — Description des mécanismes de plusieurs automates.

COMPTEURS.

MACHINES A CALCULER (par M. Laboulaye). — Machines du docteur Roth. — Arithmaurel. — Arithmomètre de M. Thomas.

MACHINES GRAPHIQUES. — Planimètre d'Oppikofer. — Arithmoplanimètre de M. Lalanne.

MACHINES A CALCULER. — Description de la machine de Ch. Babbage. — De celle de MM. Scheutz, de Stockholm (*Compl.*).

MACHINES A ÉQUATIONS. — Théorie de M. Stamm. — Des limites de la puissance de ces machines. — Du tracé des courbes, seconde face de la question. — Des courbes que l'on peut tracer avec la règle et le compas (*Compl.*).

PLANIMÈTRE. — Du problème de la mesure des surfaces par procédés mécaniques. — Des défauts du planimètre d'Oppikofer (décrit à MACHINE A CALCULER) dans l'application.

PLANIMÈTRE BEUVIÈRE. — Subdivision de la figure en bandes. — Transformation des triangles terminaux en rectangles équivalents. — Manière d'opérer.

PLANIMÈTRE POLAIRE D'AMSLER. — Description et mode d'opérer. — Théorie.

Filature et tissage.

L'industrie si importante qui a pour but principal la fabrication des étoffes, a un caractère dominant qui doit la faire ranger dans la cinématique, ou immédiatement après celle-ci, malgré la grande quantité du travail mécanique qu'elle consomme dans tous les pays industrieux. Il s'agit en réalité de la solution du problème de disposer les éléments sur lesquels on opère, dans un ordre déterminé. On parallélise les fibres de forme allongée, on les égalise par étirage et doublage, enfin on les réunit par torsion pour obtenir les fils. L'entrelacement de ces fils donne naissance aux tissus de tout genre. C'est sur ces éléments obtenus avec les diverses matières textiles, modifiés dans les différents cas en raison de la nature des fibres et de la nature de l'étoffe à produire, que reposent les *grandes industries de la filature et du tissage, industries qui* ont reçu un immense développement dans tous les pays civilisés, puisqu'elles comprennent la fabrication de tous les tissus consommés en si grande quantité pour la confection des vêtements et les usages de l'économie domestique.

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE. — ORGANES DE DISPOSITION. — *En ligne droite.* — Cardes. — Poignes. — Étirage. — Cylindres cannelés.

En hélice. — Broche.

Entrelacement. — Marches. — Lisses. — Navettes.

Organes classificateurs. — Cartons et cylindre de la Jacquart. — Tambour.

PEIGNEUSE HEILMANN. — Importance de cette machine. — Description détaillée (*Compl.*).

ROUET A FILER (*Compl.*).

CABLES ET CORDES. — Filature du chanvre. — Fil de caret.

COMMETTAGE DES FILS. — Travail à la main. — Machines à commettre.

CABLES EN FIL DE FER.

CABLES ET CORDES (*Compl.*).

ÉPISSURE.

NŒUDS.

COTON. — Des diverses espèces de cotons. — Sawgin. — Nettoyage du coton. — Batteur éplucheur et étaleur. — Cardes. — Débourreuse. — Étirage. — Tordage. — Banc à broches à mouvement différentiel. — Métier en fin. — Mull-Jenny. — Principes du self-acting.

LIN. — Culture du lin. — Rouissage. — Rouissage par procédé chimique. — Macquage ou broyage. — Coupage du chanvre. — Peignage. — Peigneuse Girard. — Peigneuse Heilmann.

Cardage des étoupes. — Étalage. — Filage en gros. — Filage à sec. — Filage à l'eau chaude. — Système Decoster. — Filature des étoupes.

BROCHE différentielle de M. F. Durand (*Compl.*).

JUTE (par M. Frichot). — Filaments du *corchorus* de l'Inde. — Sa préparation. — Peignage. — Cardage. — Comparaison de sa filature avec celle du chanvre. — Importance de l'industrie du jute.

RETORDAGE.

LAINES. — Emploi industriel des laines, selon leur nature.

LAINES PEIGNÉES. — Désuintage. — Battage. — Peignage à la main. — Peigneuse Collier. — Peigneuse anglaise. — Défeutrage. — Laminage, doublage et tortillonnage. — Filage en gros. — Du hérisson. — Filage en fin au Mull-Jenny. — Dévidage.

LAINES CARDÉES. — Désuintage. — Battage. — Graissage. — Cardage. — Filage. — Description des anciens métiers. — Mull-Jenny.

FABRICATION DES DRAPS. — Foulage. — Foulon ordinaire. — Foulon anglais. — Machines Valery et Lacroix. — Apprêt. — Lainage ou garnissage. — Tondage. — Tondeuse Collier. — Tondeuse Poupart.

APPRÊTS. — Apprêt à la chaleur et à la vapeur.

DRAPS-FEUTRES. — Dessin et description des machines inventées pour cette fabrication. — Défauts du produit. — Tapis. — Fils feutrés.

FIL DE LAINE FLOCHE (par M. Rouget de Lisle). — Qualités que doit posséder le fil de laine pour la broderie en tapisserie. — Choix de la laine. — Manière d'apprêter la laine peiguée.

CHAPEAUX.

CHAPEAUX DE FEUTRE. — Secrétage des poils. — Arçonnage. — Foulage. — Mise en forme. — Apprêt. — Machines américaines pour fabrication mécanique.

Chapeaux de soie. — Chapeaux mécaniques. — Chapeaux de paille.

SOIE. — Production de la soie. — Longueur et disposition du fil d'un cocon. — Composition d'un cocon. — Consommation de la soie en France.

TIRAGE DE LA SOIE DU COCON. — Tour Bourcier. — Tour Robinet. — Tour Locatelli.

MOULINAGE DE LA SOIE. — Moulin rond. — Moulin ovale. — Moulin à dévider. — Dévidoir de Guilléni. — Condition des soies.

CORDONNET. — Description du métier à cordonnet. — Mouvements combinés des bobines qui portent les fils.

BONNETERIE. — Des divers objets qui se fabriquent en tricot. — Description des diverses pièces qui entrent dans le métier à tricoter. — Tricot à côtes. — Métier circulaire. — Métier rectiligne automatique à divisions multiples.

TISSAGE. — Notions générales de tissage. — Classification des tissus.

Ourdissage. — Pliage et montage. — Encollage et parage. — Mouillage des trames.

Armures. — Armures fond de toile ou taffetas — Armure Batavia ou croisée. — Armure sergée. — Armure satin.

Velours. — Gazes.

Tissus façonnés. — Mise en carte.

Métier du tisserand. — Métier à cylindres. — Métier à tisser. — Métier mécanique. — Métier à la tire.

Métier à la Jacquart. — Montage de la Jacquart. — Empoutages. — Moquettes. — Tissus brochés.

Dispositions générales des principaux tissus. — Étoffes pour meubles. — Étoffes pour gilets, etc.

Tissage à hautes lisses. — Montage de la chaîne. — Exécution du travail.

Travail des tapis veloutés.

TISSAGE. — Note de M. Piobert sur l'histoire des métiers à tisser les étoffes façonnées. — Nouveau métier (*Compl.*).

DENTELLE (*Compl.*).

CORSETS TISSÉS (*Compl.*).

MACHINES A COUDRE, d'après M. Willis de Cambridge. — 1° Machines à coudre dont l'aiguille passe entièrement à travers l'étoffe. — 2° Machines à coudre avec un fil produisant le point de chaînette. — 3° Machines à coudre avec deux fils produisant le point de navette. — 4° Machines à coudre avec deux fils produisant un double point de chaînette. — Description détaillée de la machine à navette.

FILETS. — Machine Pecqueur pour fabriquer mécaniquement les filets de pêche.

BATTANT-BROCHEUR.

CACHEMIRE. — Introduction du cachemire en France. — Mode de fabrication du châle de l'Inde. — Du cachemire français.

BRODERIE (par M. Rouget de Lisle). — Des diverses sortes de broderies. — Point de broderie. — Broderie en tapisserie. — Broderie en velours. — Métiers à broder. — Machine à broder de Heilmann.

TULLE. — Description du tulle. — Mode de fabrication. — Bobine plate. — Barre du métier à tulle. — Mouvement des bobines (*Compl.*).

PLIAGE DES ÉTOFFES. — Machine à métrer de M. Mannier de Vesserling. — Avantages qu'offre cette machine.

1. Génération du travail mécanique. — Sa mesure. — Récepteurs.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX MACHINES. — Définition des machines. — Travail des forces. — Expression et mesure du travail. — Principe de la transmission du travail. — Équation des forces vives.

De l'établissement des machines industrielles. — Conditions générales du problème. — Détermination exacte du but que l'on doit chercher à atteindre en construisant des machines.

DYNAMOMÈTRE. — Facteurs du travail, effort et chemin parcouru. — Ressorts. — Chemin parcouru par un style. — Relèvement des courbes. — Manivelle dynamométrique. — Dynamomètre à compteur. — Dynamomètre de rotation, — à stile, — à compteur. — Dynamomètre américain. — Nouveau compteur par engrenages.

Indicateur de Watt perfectionné.

DYNAMOMÈTRE chromatique de Wertheim.

FREIN DE PRONY.

TRAVAIL UTILE. — Résultats d'expériences sur le travail produit par les moteurs animés. — Sur le travail consommé par les principales fabrications mécaniques.

TRANSMISSION du travail (*Compl.*).

TRAVAIL MÉCANIQUE (SOURCES DE). — De l'épuisement des mines de houille (*Compl.*).

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE. (FORMES DES RÉCEPTEURS.)

MOTEURS ANIMÉS. — Force de l'homme. — Action produite par la force des bras. — Par le poids du corps. — Force des animaux. — Manége.

PESANTEUR. — *Des solides.* — *Des liquides.* — Balance d'eau. — Balancier hydraulique. — Roues à augets. — Roues de côté. — Turbines Burdin. — Roues Poncelet. — Machine à colonne d'eau.

INERTIE. — *Des liquides.* — Roues à palettes plates. — Turbine Fourneyron. — *De l'air.* — Moulin à vent.

MOTEURS SECONDAIRES. — Pression atmosphérique. — Ressorts.

CHALEUR. (Voy. *Introduction* et article CALORIE). — Élévation d'un liquide par l'action directe de la vapeur. — Machines rotatives. — Machines à vapeur à corps de pompe et piston.

MOULIN A VENT. — Description. — Système A. Durand. — Système Bernard pour utiliser les vents les plus faibles.

HYDRAULIQUE (par M. Debette). — Lois de l'écoulement de l'eau contenue dans un réservoir. — Des eaux courantes. — Des canaux. — Des rivières. — Lois du mouvement de l'eau dans des tuyaux de conduite. — Jaugeage des distributions d'eau. — Cuvette de jauge et de distribution de la machine de Marly.

DE L'EAU EMPLOYÉE COMME MOTEUR. — Balance d'eau. — Machine à colonne d'eau. — Roues à augets. — Roues à aubes planes. — Roues de côté. — Roues à aubes courbes. — Turbines. — Turbine Fourneyron. — Turbine Jonval. — Hydropneumatisation. — Turbine Thomas, prenant l'eau par-dessous. — Roues à couloirs. — Roues à réaction.

BÉLIER HYDRAULIQUE. — Construction de Montgolfier. — Perfectionnements de M. Bollée.

JAUGEAGE. — Compteur hydraulique de MM. Loup et Kock (*Compt.*).

ACCUMULATEUR (Voy. PRESSE HYDRAULIQUE et AIR COMPRIMÉ).

COURS D'EAU. — Utilisation au profit de l'industrie de la pente des cours d'eau. — Projets pour la Seine à Paris. — Projet d'Arago. — Barrage de Suresnes.

RÉGULATEUR. — A air de Molinié, de Larivière. — Modérateur à boules, de Watt. — Parabolique. — A bras croisés, — à contre-poids, de Foucault.

Production du travail par la chaleur.

MACHINE A VAPEUR (historique et notions générales). — Héron d'Alexandrie. — Vitruve. — Branca. — Salomon de Caus. — Papin. — Machine de Savery. — Machine de Newcomen. — Machine de Watt, à simple effet, — à double effet. — Brevets de Watt. — Emploi de la détente. — Machines de Wolf. — Machines sans balancier. — Machines oscillantes. — Machines rotatives.

ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR (Voy. 1re SECTION, PHYSIQUE).

AIR CHAUD (MACHINES A —). — Comment l'échauffement des gaz engendre du travail. — Action directe. — Détente — Travail produit par la détente d'un gaz dont la température reste constante. — Cycle de S. Carnot. — Formule de Poisson. — Travail produit par la détente d'un gaz sans réchauffement extérieur, par consommation de chaleur interne.

Des divers systèmes de machines à air chaud. — Machine de R. Stirling. — Machine d'Ericson. — Domestic-engine d'Ericson. — Machine Vilcox. — Machine Belou. — Machine Niepce. — Machine Lenoir. — Machine Otto. — Machine à gaz ammoniac. — Machine à pouvre à canon. — Artillerie (*Compl.*).

MACHINE A VAPEUR (THÉORIE) (par M. Laboulaye). — Lois physiques qui servent de base à la théorie, admise jusqu'à ce jour, de la machine à vapeur.

CALCUL DU TRAVAIL. — Travail de la vapeur à pression pleine. — Travail dû à la détente. — Quantité de travail par unité de chaleur.

Nécessité de corriger les résultats obtenus en tenant compte des éléments négligés. — Chaleur absorbée par la détente.

Autres éléments négligés dans les formules. — Frottements. — Espace nuisible.

Nécessité d'un coefficient déterminé par expérience pour chaque genre de machines.

Emploi de l'indicateur de Watt. — Ses avantages pour étudier la distribution.

MACHINES A VAPEUR COMBINÉES. — Description.

Avantages illusoires de cette invention.

MACHINE A VAPEUR (THÉORIE). — Méthode fournie par la théorie mécanique de la chaleur pour l'évaluation du travail par la mesure de la chaleur consommée pour l'engendrer.

État initial. — Formation de la vapeur. — Tensions de la vapeur d'eau saturée, aux diverses températures. — Volume de cette vapeur. — Chaleur dépensée.

État final. — Chaleur restant dans la vapeur.

Machine à vapeur. — 1. Action directe. — 2. Condensation de la vapeur. — 3. Détente de la vapeur saturée. — Calcul du travail total.

Applications de la nouvelle théorie. — Entraînement d'eau. — Des enveloppes de vapeur. — Réchauffement direct de la vapeur. — Vapeur surchauffée (*Compl.*).

MACHINES A VAPEUR ROTATIVES. — Machine de Thompson, — de Behrens, — de Pecqueur. — Disc-engine. — Turbines à grande vitesse et à cascade. — Système de M. Girard. — Défaut théorique de ces systèmes (*Compl.*).

DÉTENTE (par M. Debette). — Du recouvrement

du tiroir.—Système Farcot pour la détente variable.— Système Meyer pour locomotives. — Détente Trésel.

AVANCE DU TIROIR dans les locomotives. — Mémoire de M. Lamé sur un travail de M. Clapeyron.

ARTILLERIE.

GAZ LIQUÉFIÉS (MACHINE A) (par M. Ch. Laboulaye). — Machine à gaz carbonique par Brunel. — A gaz ammoniaque. — Fausseté du principe sur lequel ces machines sont fondées ; avec peu de chaleur, on ne peut engendrer que peu de travail mécanique.

EXPLOSION (MACHINES A). — Machine Brown. — Système Selligue proposé pour la propulsion directe des bateaux. — Dessin et description de l'inventeur.

2. Outils et machines-outils.

OUTILS. — Forme des tranchants.

OUTILS COUPANTS d'après Poncelet (*Compl.*).

DIAMANT. — Ses propriétés en raison des formes des arêtes (*Compl.*).

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE (OPÉRATEURS).

PRESSION. — Presses à vis. — A excentrique. — Hydraulique. — Banc à tirer. — Découpoir. — Marteaux. — Laminoir. — Meules.

DIVISION. — Limes. — Meules de grès. — Ciseau. — Machines à planer. — Scies. — Ci-ailles.

Tour. — Alésoir. — Filière. — Taraud.

RÉSISTANCE DES SOLIDES (par M. Laboulaye). — Structure des corps. — De la ténacité et de l'élasticité. — Résistance des prismes aux allongements, aux compressions. — Coefficient d'élasticité. — Résultats d'expériences pour les divers corps.

Rupture par extension.

Des fers durs et des fers doux. — Résistance des métaux à l'écrasement. — Influence de la durée de l'action sur la résistance.

Résistance des pierres, des briques. — Résistance des bois. — Résistance à des actions transversales. — Résistance des cordes et courroies.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX. — Analyse des formes des solides produits lors de l'écrasement des corps durs. — Écoulement des solides. — Expériences de M. Tresca (*Compl.*).

Emploi de la pression.

PRESSES. — Presse à levier. — Presse à vis. — Presse à cylindres. — Presse à excentriques. — Presse à coin. — Presse hydraulique. — Accumulateur de Sir W. Armstrong.

PRESSE ANTI-FRICTION de M. Dick, de Philadelphie (*Compl.*).

TUYAUX DE PLOMB. — Fabrication par la presse hydraulique (*Compl.*).

BANC-A-TIRER. — Pinces. — Filière simple. — Filière composée. — Précautions à prendre pour un bon travail. — Exécution de profils variés. — Banc à emboutir. — Tubes-Cordes.

FILIÈRES EN PIERRES FINES (par M. Garapon). — Perçage de la pierre. — Forme du trou. — Tréfilerie des métaux précieux.

LAMINOIR.

FORGE. — Machine à forger de Ryder.

CALANDRE.

GAUFRAGE.

APPRÊT DES ÉTOFFES. — Emploi de la pression hydraulique et du caoutchouc. — Appareil de M. Mathias (*Compl.*).

Appareils agissant avec choc.

CHOC. — Emploi des effets produits par les chocs dans diverses opérations industrielles. — Sonnettes pour enfoncer les pilotis.

DÉCOUPOIR (par M. Dubied). — Couteau ou emporte-pièce. — Piston et lunette. — Emploi du marteau ou du balancier pour découper. — Fabrication des écrous au découpoir.

BALANCIER mû mécaniquement. — Disposition de M. Cheret.

MARTEAU A VAPEUR. — Marteau-pilon mû par action directe de la vapeur. — Disposition de l'appareil.

PILOTIS, PIEUX A VIS. — Sonnette mue par machine à vapeur de M. Bower, — de M. Janvier. — Pilon à vapeur de Nasmyth. — Prix de revient comparatif. — Pieux à vis (*Compl.*).

PERFORATEURS. De leur emploi dans les mines (*Compl.*).

SONDAGE, SONDE (par M. Debette).

SONDAGE AVEC SONDE ORDINAIRE A TIGE RIGIDE. — Composition d'une sonde. — Tête. — Tiges. — Outils. — Clef de retenue, — de relevée. — Tourne-à gauche. — Caracole. — Tire-bourre. — Cloche à écrou. — Accrocheur à pinces de Kind.

Manœuvre de la sonde. — Engins. — Exemples de vitesse de sondage.

Glaisage et tubage des trous.

Division de la tige en deux parties. — Tiges en bois. — Délic de Kind.

SONDAGE A LA CORDE. — Sondage chinois. — Système Jobard. — Système de M. Goulet-Collet.

SONDAGE AVEC TIGE RIGIDE CREUSE. — Procédé Fauvelle.

Emploi des outils tranchants.

MACHINES-OUTILS pour le travail des métaux. — Considérations générales sur les machines-outils.

I. TOUR. — Tour proprement dit. — Support à chariot. — Tour à double-outil. — Grand tour pour roues de locomotives.

II. Tour à fileter les vis.

III. Machines à percer. — Machine radiale de Fairbairn.

IV. Machines à mortaiser à outils rotatifs. — Emploi des engrenages elliptiques.

V. Machine à tailler les roues dentées. — Système de MM. Bréguet et Boquillon.

VI. Machine à tarauder. — Filière de Whithwort. — Machine à tarauder de Sellers.

VII. Machines à raboter, à planer. — Petite machine à vis. — Machines de Whithwort à retour accéléré. — Grandes machines françaises à chariot porte-outil mobile.

VIII. Machines à raboter verticalement, ou à mortaiser.

IX. Étaux limeurs universels.

MACHINES-OUTILS pour le travail du bois. (Voy. *Menuiserie.*

PERCER. — *Outils pour percer les tôles.* — Découpoir. — *Outils pour percer le bois.* — Vrille. — Vilbrequin. — Mèches. — Mèches anglaises. — *Outils pour les métaux.* — Forets. — Machine à percer. — Grande machine de Whithwort.

RABOT. — Construction du rabot. — Machine à raboter les métaux.

LIME. — Des divers genres de limes. — Choix de l'acier. — Forgeage des limes. — Dressage. — Taille. — Machine pour tailler les limes mécaniquement. — Trempe des limes. — Céments divers.

DIVISION DES ROUES D'ENGRENAGE (par M. Mathieu). — Division à la main. — Machine à diviser. — Plate-forme. — Porte-outil. — Fraise.

Division des plates-formes. — Emploi de la vis sans fin. — Diviseur universel de M. Decoster. — Fraise de M. Decoster pour tailler les dents.

CISAILLES. — Cisailles à la main. — Construction des grosses cisailles. — Cisailles circulaires.

HACHE.

FRAISE.

TOUR (par M. Dubied). — Tour à pointes. — Manière de monter une pièce sur le tour.

Tour en l'air.

Tour à pointes à engrenages. — Tour à plateau. — Tour parallèle et à chariot.

Forme des outils. — Vitesse du tour suivant la nature des substances travaillées.

TOURS COMPOSÉS, d'après Poncelet. — Tour ovale. — Tour à guillocher. — Tour à portrait (*Compl.*).

ALÉSOIR (par M. Dubied). — Alésoir à la main. — Alésoir automatique vertical. — Défauts des alésoirs horizontaux.

TARAUD (par M. Dubied). — Tarauds cylindriques. — Tarauds coniques. — Tarauds triangulaires. — Tarauds polygonaux. — Tarauds à saillies rapportées.

Construction des tarauds à métaux.

Tarauds à bois.

FILIÈRE (par M. Dubied).

FILIÈRES SIMPLES. — Leur mode d'action. — Leur fabrication.

FILIÈRES DOUBLES. — Forme du fût. — Forme des coussinets. — Filières à trois coussinets.

Machine à fileter et à tarauder.

Filières à bois.

Travail du bois.

SCIERIE MÉCANIQUE (par M. Mangon). — Scieries à mouvement alternatif. — Scieries qui s'établissent dans les forêts. — Dessins et description de la scierie perfectionnée de M. E. Philippe.

Scieries à placage. — Scieries pour les jantes des roues.

Scie à ruban de M. Perrin. — Scies circulaires. — Dessins et description de ces scies.

Renseignements généraux. — Lame de la scie. — Voie. — Quantité de travail mécanique que les scieries consomment par unité de surface de sciage.

POULIES. — Emploi des poulies. — Système de fabrication mécanique de M. Brunel.

Machine à percer les poulies. — Machine pour donner les formes. — Machines à mortaiser et à entailler les gorges des poulies.

POULIES. — Grandes machines de Brunel (*Compl.*).

MENUISERIE (par M. E. Baude). — Machines-outils pour le travail du bois. — Machine de M. Garand pour trancher les placages. — Machines à planer, — à rainures et languettes, — à faire les tenons et les mortaises. — Lambris. — Portes. — Chassis (*Compl.*).

CHARRONNAGE. — Emploi des bois, — du fer et de l'acier. — Machines employées (*Compl.*).

PLACAGE (Voy. 5e *Section*).

Construction de machines.

CONSTRUCTION DE MACHINES (par M. Faure). — De l'organisation générale d'un grand atelier de construction.

FONDERIE. — Fours à réverbère. — Cubilots. — Ateliers de moulage, — de menuiserie de modèles.

ATELIERS DE FORGEAGE. — Ateliers de forgeage à la main. — Atelier pour le forgeage mécanique.

ATELIERS POUR LE TRAVAIL DES MÉTAUX A FROID. — Cisailles. — Travail de la lime, — Machine à percer. — Tours. — Alésoirs. — Machines à raboter. — Machines à mortaiser, — à diviser, — à tarauder. — Ajustage et montage.

CLEF (par M. Paulin-Désormeaux). — Clef carrée. — Clef fendue. — Clef à goujons. — Clef à pincettes. — Clef anglaise perfectionnée.

MACHINE A VAPEUR (par M. Julien). — *Construction.* — Assemblage de deux pièces fixes, — d'une pièce fixe, et d'une pièce mobile, — de deux pièces mobiles.

PIÈCES GÉNÉRALES DES MACHINES. — Boulons et écrous. — Charnières. — Douilles. — Tés. — Tourillons. — Chapes. — Clavettes. — Supports — Leviers. — Stuffing-box. — Poulies. — Décomposition des pièces en séries.

CHAUDIÈRES A VAPEUR. — Vaporisation. — Fourneaux. — Générateurs. — Appareils de sûreté. — Tuyaux distributeurs. — Tiroirs et soupapes.

MACHINE. — Cylindres ou corps de pompe. — Pistons et garnitures. — Tiges. — Guides. — Balanciers. — Bielles. — Manivelles. — Volants.

Condensation. — Détermination des dimensions de la pompe à eau et à air. — Alimentation. — Bâti.

Tableau des dimensions proportionnelles des parties des machines à vapeur depuis 1 jusqu'à 500 chevaux.

DES DIVERS GENRES DE MACHINES A VAPEUR. — Machines d'épuisement. — Machines de Cornouailles. — Machines pour soufflerie. — Machines à balancier, — à bielles, — horizontales, — oscillantes. — Machines à cylindre tournant. — Inclinées, — à tige-bielle, — à bielle en retour.

VOLANT. — Poids pour les divers cas de la pratique (*Compl.*).

TIROIRS équilibrés pour machines à vapeur (par M. Jobin (*Compl.*).

3. Fabrications mécaniques.

AIGUILLES. — Coupage du fil d'acier. — Redressage. — Aiguisage. — Perçage. — Polissage. — Triage.

ÉPINGLE. — Redressement du fil. — Empointage. — Découpage. — Tortillement des têtes. — Couper les têtes. — Recuire les têtes. — Frapper les têtes. — Décaper les épingles. — Les blanchir. — Polissage. — Vannage. — Piquage des papiers.

HAMEÇONS. — Fabrication anglaise.

CARDES. — Machine à bouter les cardes.

CLOUS. — Clous forgés. — Travail du cloutier. — Fabrication semblable par procédé mécanique. — Pointes de Paris. — Machine à pointes.

AGRAFES (*Compl.*).

FAUX. — Fabrication de la Styrie. — Faucille. — Faux flamande. — Faux à râteau,

ANCRE. — Fabrication et dimensions.

CABLES EN FER. — Choix du fer. — Forme des mailles. — Fabrication par le procédé Brunton. — Placement des étançons.

ACIER (Voy. 2e *Section*).

ARMES A FEU. — Forgeage des canons, nouveaux procédés. — Forage. — Carabinage. — Dispositions des appareils à percussion. — Batterie. — Système Fontenau. — Carabines Delvigne. — Balles cylindro-ogivales.

Armes se chargeant par la culasse. — Fusil Lefaucheux. — Fusil Robert. — Cartouches Chaudun. — Fusil prussien.

ARMES A FEU. — Fusil Chassepot (*Compl.*).

BOUCHES A FEU (par M. Laboulaye). — Longueur d'âme en proportion des vitesses à imprimer aux projectiles. — Des métaux convenables pour la fabrication des bouches à feu. — Canons en bronze. — Canons en fonte. — Canons en fer. — Canons en fer et en fonte. — Description de la fonte des canons. — Du forage et du travail mécanique.

REVOLVER de Colt, — d'Adam, — de M. Devisme, — de M. Lefaucheux (*Compl.*).

CLINQUANT. — Fabrication du clinquant. — Clinquant blanc. — Clinquant rouge. — Clinquant bleu.

BATTEUR D'OR. — Description des opérations successives. — Battage mécanique.

BOUTONS. — Boutons à un trou, — à plusieurs trous. — Boutons moulés. — Boutons fondus. — Boutons découpés. — Boutons métalliques. — Boutons en pâte céramique.

CLOUS DE TAPISSIER. — Leur fabrication par machines (*Compl.*).

CHAUSSURES A VIS (*Compl.*). — Importance de

l'industrie de la chaussure. — Forme des vis les plus convenables. — Des diverses machines employées.— Description de nouvelles machines.— Résultats constatés (*Compl.*).

POUDREUSE (*Compl.*).

PLUMES MÉTALLIQUES.

ESTAMPAGE. — Base de plusieurs fabrications.

CUIVRES ESTAMPÉS. — Des moules. — De la percussion par une masse de plomb. — Emploi de l'eau pour faire venir les parties les plus fines.

CAPSULES FULMINANTES. — Procédés mécaniques inventés par M. Tardy.—Découpage.—Sassage. — Chargement.

MOULURES. — Machine de M. Roberts (de Manchester), pour faire des moulures en feuilles métalliques.

PAPIER MACHÉ (Objets en) (*Compl.*).

CHAUDRONNERIE. — PETITE CHAUDRONNERIE. — Retreinte au marteau. — GROSSE CHAUDRONNERIE (par M. Barrault). — Machines mues par l'action directe de la vapeur, de M. Lemaître. — Machine à découper. — Machine à percer. — Machine à cintrer. — Des rivets. — Machine à river de Fairbairn.

FER BATTU. — Ustensiles en fer embouti et étamé. — Importance et avenir de cette fabrication. — Méthodes de travail.

MONNAIE.— Historique.—De la fonte des métaux. — Machine à couler les lingots de Bolton. — Laminage. — Étirage. — Recuit. — Découpage des flancs. — Décapage. — Monnayage au balancier. — Dessin et description de la presse de Munich. — Pèse-monnaie.

BIJOUTIER-JOAILLIER (art du). — Métaux employés. — Moulage. — Laminage. — Estampage. — Gravure. — Des soudures.

Montage des pierres par sertissure.

Mise en couleur.

ORFÉVRERIE (par M. Barral).

JOAILLERIE. — Dessin d'un bijou. — Découpage. — Dé à emboutir. — Bouterolle. — Mise en cément des pierres.—Sertissure.—Soudures.—Monture des roses.

BIJOUTERIE. — De l'or employé en bijouterie. — Catégories diverses de bijouterie.

Bijouterie d'art. — Modelage. — Moulage. — Soudure. — Dérochage. — Polissage. — Mise en couleur. — Assemblage.

Bijouterie de haute fantaisie. — Description de la fabrication d'un bracelet.

Bijouterie de consommation à bon modèle. — Bijouterie en plein.— Bijouterie en creux. — Filigrane.— Exécution du filigrane. — Description des procédés suivis dans l'atelier de MM. Christofle et C^e^.

Bijouterie de corail. — Mise en œuvre des matières à faire les camées. — Bijouterie en mosaïque. — Emploi des perles. — Perles de roses de Turquie. — Bijouterie de deuil. — Bijou doublé et bijou doré.

ORFÉVRERIE proprement dite. — Du véritable but de l'orfévrerie.— Des divers styles d'orfévrerie.—Des nielles. — Procédé de MM. Mention et Wagner. — De l'emploi des émaux. — Quantités d'argent employées dans l'orfévrerie. — Soudures de l'orfévrerie d'art. — De la vaisselle plate et montée. — De la fabrication des couverts.

Dessins et description de la fabrication des couverts, par procédé mécanique, de M. Denière.

PLAQUÉ. — Historique. — Fabrication des feuilles de plaqué. — Travail par la retreinte, — par l'estampage. — Bordures en argent.

Plaqué sur fer.—Orfévrerie de cuivre.—Maillechort.

SERRURERIE (par M. Curtel).— Forge. — Soufflet. — Étaux. — Machines à percer.

Serrurier en bâtiments. — Des ouvrages en fonte. — Des gros fers. — Des objets de quincaillerie.

Serrures simples. — Dessins et description des principales serrures à combinaisons.—Serrure de Bramah.

Serrurier en voitures. — Fabrication des ressorts. — Des essieux.

SERRURERIE. — Serrures à secret. — Garnitures mobiles, par M. E. Baude (*Compl.*).

COUTELLERIE. — Nature spéciale de cette fabrication. — Succession des opérations.

TUYAU. — Tuyaux en bois. — Tuyaux en terre cuite, — en grès. — Tuyaux en verre.

Tuyaux en plomb, par pression, à la presse hydraulique (*Compl.*).

En fer. — Soudés et étirés à chaud.

Tuyaux en zinc. — Tuyaux en cuivre. — Tuyaux en fonte. — Tuyaux en tôle.

Tuyaux en tôle et bitume. — Description complète de la fabrication des tuyaux Chameroy. — Avantages qu'offrent ces tuyaux.

CRAYONS. — Fabrication de Conté. — De la plombagine. — Insertion de la mine dans le bois. — Fabrication par machines. — Crayons à dessin. — Pour le pastel. — Composition de la pâte. — Moulin pour sa préparation. — Four pour la cuisson.

BROYER (art de) (par M. Rouget de Lisle). — Classification des substances qu'on réduit en poussière. — Influence des procédés employés sur la forme des particules des corps, et leur manière de se comporter dans divers emplois. — Pilons. — Cylindres. — Meules.— Des grilles. — Des blutoirs. — Pulvérisation des bois de teinture.

CHOCOLAT. — Des diverses espèces de cacaos. — Moulin pour le broyage du cacao et la préparation du chocolat.

BRIQUES CREUSES de M. Borie (*Compl.*).

MOULIN (Voy. III^e^ SECTION).

ROTATION. — Emploi de la rotation pour pulvériser les substances fusibles (*Compl.*).

LIÉGE (par M. Jobard). — Du chêne-liége. — Fabrication des bouchons à la main. — Dessin et description de la fabrication mécanique de M. Moreau.

LAPIDAIRE (art du). — Tour du lapidaire. — Outils. — Tailles diverses des pierres. — Manière de les fixer.

POLISSAGE mécanique des glaces (*Compl.*).

4. Production de mouvement et résistances.

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE. — *Résistance due à la pesanteur.* — Élévation des solides. — Treuil. — Grue. — Élévation des liquides. — Chapelet. — Tympan. — Vis d'Archimède. — Roues à palettes plates. — Pompes.

Résistances d'inertie et résistances passives.—Traction. — Roues. — Rouleaux. — Roues à palettes. — Hélices. — Ventilateur. — Machine soufflante.

RÉSISTANCES PASSIVES. — Frottement. — Proportionnel à la pression. — Indépendant de l'étendue de surfaces en contact et de la vitesse du mouvement.

Tableau des coefficients de frottement pour les divers corps.

ROULEAUX pour diminuer le frottement des axes (*Compl.*).

MARCHE. — Mécanisme de la marche (*Compl.*).

POMPE (par M. Debette). — Pompes domestiques. — Pompes rotatives. — Pompe des prêtres.— Pompes d'épuisement. — Pompes Letestu. — Pompes à plongeur. — Soupapes de Cornouailles. — Pompes centrifuges d'Appold, de Neut et Dumont. — Pompes à incendie. — Pompes à incendie à vapeur.

ESSORER (par M. Rouget de Lisle). — Moyens de sécher les étoffes mouillées.— Égouttage et tordage.— Compression entre deux cylindres. — Hydro-extracteur à force centrifuge. — Dessin et description de

l'appareil. — Prix de revient du séchage effectué mécaniquement.

CHÈVRE. — Son emploi dans les constructions. — Treuil et sapine.

GRUE. — Grues à simple volée, à arbre tournant, — à arbre fixe. — Grues à double volée. — Grues du quai d'Orsay. — Grues à transmission. — Grue Arnoux. — Grue-balance, système George. — Grues à vapeur.

GRUE HYDRAULIQUE. — Dispositions adoptées pour les principaux chemins de fer (Voy. CHEMINS DE FER).

CABESTAN pour câbles en chanvre, — à couronnes pour chaînes-câbles. — Cabestans à gorge. — Guindeaux.

TREUIL HYDRAULIQUE (par M. Maugon). — Treuils et grues, système Armstrong, employés dans les docks de l'Angleterre. — Grue à volée mobile.

VOITURES. — Théorie des roues. — Écuanteur des roues. — Des essieux et des boîtes. — Boîtes Patent. — Ressorts. — Train. — Voitures à six roues de Sidney Smith. — Attelage. — Omnibus parisien.

VÉLOCIPÈDE (*Compl.*).

BALAYEUSE A CHEVAL (*Compl.*).

LOCOMOTIVE (par M. Debette). — Historique. — État actuel. — Appareil de vaporisation. — Nouvelles dispositions. — Appareil moteur. — Coulisse Stephenson. — Bâti ou châssis. — Tender.

De la stabilité des machines locomotives.

Divers systèmes de machines. — Machines à voyageurs. — Machines mixtes. — Machines-Crampton. — Machines à marchandises. — Machines-tender. — Machines américaines. — Machines pour les fortes rampes. — Machines Engerth. — Grosses locomotives du Nord à 12 roues et 4 cylindres.

FREIN — à frottement. — Emploi de la contre-vapeur pour arrêter les trains. — Envoi de l'eau seule dans les cylindres. (*Compl.*).

TRACTION-ENGINE ou **LOCOMOTIVES ROUTIÈRES** pour le transport de lourdes charges. — Système d'Aveling, — de Bray.

RÉSISTANCE DES FLUIDES (par M. Laboulaye).

LIQUIDES. — Cohésion. — Frottement. — Résistance directe. — Tourbillons. — Effet des proues. — Effet des poupes.

AIR. — Formule de M. Thibaut. — Application aux voiles des navires.

LOCH. — Loch sondeur (*Compl.*).

VOILURE. — Action des voiles. — Détermination du centre de voilure.

BATEAU A VAPEUR (par M. Laboulaye).

FORME DU BATEAU. — Avant du bateau. — Moyen de diminuer la résistance qu'il rencontre. — Flancs et arrière du bateau.

MACHINE A VAPEUR. — Machines oscillantes. — Machines à balancier. — Machines à action directe. — Machines à fourreau. — De la pression. — De la détente et de l'avance du tiroir. — Des diverses formes des chaudières. — Des réservoirs de la vapeur. — Condenseur à tubes. — Surchauffeur. — Des conduites de vapeur. — Des dépôts salins.

APPAREILS DE PROPULSION. — Roues à aubes. — Système Cavé. — Système Morgan.

Travail utile des roues à aubes.

Rapport de la dépense de travail aux accroissements de vitesse du bateau.

Hélices. — Système Smith. — Système Rennie. — Système Ericson.

BATEAU A VAPEUR. — Bateaux à roues. — Navires à hélice. — Navires mixtes dans lesquels la vapeur est l'auxiliaire de la voile. — Nouveau système de navire à vapeur sans autre appareil de propulsion que la voile. — Bateau à roues et à hélice, projet de transatlantique à grande vitesse (*Compl.*).

HÉLICE. — Son grand intérêt pour la marine. — Difficultés de la détermination de ses éléments. — 1° Nombre de bras. — Hélices Sollier. — Hélice Mangin. — 2° Diamètre de l'hélice. — 3° Aire de l'hélice. — 4° Pas et recul.

Calcul des effets de l'hélice.

Discussion des effets de l'hélice, quand on fait varier les divers termes qui entrent dans leur expression (*Compl.*).

GOUVERNAIL. — Installation et charpente. — Barres et drosses (*Compl.*)

INJECTEUR Giffard pour l'alimentation des chaudières à vapeur. — Sa théorie (*Compl.*).

ASPIRATEUR AUTOMOTEUR de M. Legat (*Compl.*).

NAVIGATION (par M. V. Dumoulin). — Disposition de la voilure d'un vaisseau pour le faire avancer dans une direction oblique sur celle du vent. — De la dérive. — Du loch. — Du patent-log des Anglais. — Loch de M. Clément. — Manière de se diriger en mer. — De la loxodromie. — Louvoyages. — Principales routes de navigation.

BOULETS TOURNANTS ou **CANONS RAYÉS.** — L'accroissement de portée des carabines nécessitait un progrès semblable pour les canons. — Difficultés spéciales résultant de la dureté des projectiles. — Système Cavalli. — Système Gras. — Système du capitaine Tamisier, première solution théorique complète. — Effets des tenons en zinc. — Inconvénients pratiques de la disposition proposée par l'inventeur. — Rapport de la commission de La Fère. — Propositions du secrétaire de la commission (de Chanal) pour rendre les tenons fixes. — Cette modification rend pratique le système Tamisier.

Résultats comparatifs du tir des canons rayés et des projectiles de forme allongée avec celui des pièces ordinaires employant des boulets sphériques.

Boulets percutants.

BOULETS Armstrong à enveloppe de plomb. — Système adopté par la marine (*Compl.*).

PROJECTILES. — Forme des projectiles. — Projectiles formés par la réunion des projectiles d'un petit calibre.

Pénétration des projectiles, — dans le roc, — les maçonneries, — les terres, — dans les métaux. — Déformation et rupture des projectiles.

Fabrication des projectiles.

ARMES A FEU (Voy. plus haut, 3, FABRICATIONS MÉCANIQUES).

PORTE-AMARRES à fusées, de M. Tremblay (*Compl.*).

MACHINES SOUFFLANTES (par M. Debette). — Trompe. — Machine à piston. — A grande vitesse. — A petite vitesse. — Cagniardelle. — Tympan formant machine soufflante. — Ventilateur.

MACHINES SOUFFLANTES à grande vitesse de piston (*Compl.*).

AIR COMPRIMÉ. — Étude historique. — Des phénomènes mécaniques. — Des phénomènes calorifiques. — Applications diverses — A l'état statique comme ressort. — Régulateur automateur de pression. — Appareil Triger pour le travail sous l'eau. — Fondations tubulaires, — A l'état dynamique pour transmettre le travail : Fusil à vent. — Machines à piston. — Compresseurs du Mont-Cenis. — Vente de force à domicile. — Pour ventilation : ventilation de l'Exposition de 1867 (*Compl.*).

CINQUIÈME SECTION.

GÉOMÉTRIE INDUSTRIELLE.

De même que la mécanique rationnelle fournit la base par son application aux corps, tels que la nature nous les offre, d'une science industrielle prédominante, même quand on ne fait pas rentrer dans son domaine la physique et la chimie; la géométrie, l'autre partie de la science mathématique qui s'applique aux corps (car la science du calcul est une extension de la logique, un pur travail de l'esprit), forme la théorie d'une dernière série de sciences appliquées.

La géométrie industrielle renferme deux parties bien distinctes : l'une comprend les arts de construction, dont les beaux travaux de Monge forment la théorie; la charpente, la coupe des pierres, la construction en général rentrent dans cette partie. La seconde forme la partie technique des beaux-arts; elle comprend les ombres, la perspective, le dessin en général, la gravure, la sculpture, etc. Ces dernières divisions se résument en une catégorie, arts d'imitation, car la création première est toujours de l'art pur : ce qui devient un produit de fabrication, est une imitation; l'industrie ne peut qu'imiter, reproduire.

On voit que ces arts forment la transition de l'industrie aux beaux-arts et complètent parfaitement le cadre, formé de toutes les divisions précédentes, qui renferme la totalité du travail industriel, étudié dans les procédés techniques qu'il emploie.

Géométrie appliquée.

ABAQUE. — Chinois, — de M. Picard, — de M. Lalanne. — Géométrie anamorphique. — Utilité des échelles logarithmiques. — Nouvelle disposition d'échelle logarithmique (*Compl.*).

ÉPICYCLOIDALES (Courbes), (Voir Section IV).

CONCHOIDE (*Compl.*).

LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES. — Leurs longueurs pour les divers degrés (*Compl.*).

CADRANS SOLAIRES. — Principes de leur tracé (*Compl.*).

MÉTÉOROGRAPHES (par M. Lejeune). — Baromètrographes. — Thermomètrographes. — Anémomètrographes. — Pluviomètrographes. — Pluvioscope de M. Mangon.

REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES (Voir Sect. IV).

LONGITUDES ET LATITUDES (par M. V. Dumoulin). — Détermination de la latitude d'un lieu par l'observation du passage du soleil au méridien. — Par deux hauteurs.

Détermination de la latitude, — par les chronomètres, — par deux observations.

Assemblages.

C'est sur les moyens d'assembler des pièces convenablement taillées, que repose presque toute l'utilisation dans l'économie domestique, pour vêtements notamment, d'un grand nombre de produits créés par l'industrie manufacturière.

ASSEMBLAGES.

ENDUITS-COLLES.

CIMENT-MASTIC. — Ciment pour recoller le verre. — Dissolution de la gomme-laque dans l'alcool. — Mastic de fer. — Résine-mastic. — Principaux luts.

ENVELOPPES. — Machine de M. Rémond (de Birmingham). — Emploi de l'air pour plier la feuille de papier. — Succession des opérations. — Figure et légende.

SAC. — Machines de M. Bréval.

CARTES A JOUER. — ÉVENTAIL.

RELIURE. — Machine à plier. — Battage du livre. — Grecquer. — Coudre. — Rogner. — Machine à endosser. — Couvrir. — Dorer. — Machines de M. Pfeiffer.

PLACAGE (par M. Paulin Desormeaux.) — Au marteau, — à la cale. — à la sangle, etc.

SCELLEMENT. — Au plâtre, — au mastic, — au plomb. — Manière d'opérer.

COUDRE (Machines à). (Voir Section IV.)

CHAUSSURES A VIS. (Voir Section IV.)

Arts de construction.

BOIS. — Pesanteurs spécifiques. — Classification par familles naturelles, des diverses espèces de bois qu'emploie l'industrie.

CHARPENTE (par M. E. Baude). — Résistance des bois. — Équarrissage. — Courbure. — Assemblages. — Fermes. — Pans de bois. — Planches. — Combles, etc. (*Compl.*).

ESCALIERS (par M. E. Baude). — Escaliers en pierre. — Limons. — Escaliers en bois. — Sans limons (*Compl.*).

ÉCHAFAUDAGES (par M. E. Baude). — Échelles. — Cintres. — Échafaudages fixes et volants. — Étayements. — Appareils de levage. — Moteurs. — Grues, etc.

COUESRON OU COIRON (par M. Paulin Désormeaux). — Substance curieuse qui se trouve en Bretagne, et est propre au travail de la tabletterie.

AFFUT DES CANONS.

Affût de campagne. — Manœuvre et transport.

Affût de montagne. — Affût de siége. — Affût de mortier. — Affût de place et de côte. — Affût marin.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION (par M. E. Baude). — Matériaux artificiels (*Compl.*)

PIERRES. — Tableau des caractères et usages des diverses pierres. — Silicatisation des pierres tendres.

PISÉ (par M. Curtel). — Préparation de la terre. — Battage de la terre. — Enduits.

MAÇONNERIE (par M. E. Chevalier). — Matériaux divers. — Choix et mise en œuvre des matériaux. — Fondations. — Construction par lits successifs. — Fiche. — Hachette. — Truelle.

Bossage à joints droits. — Bossage à onglets. — Bossage à double épaisseur.

Du fruit des murs. — Perrés. — Maçonnerie de briques. — Prix de la maçonnerie.

BITUME. — Différentes espèces de bitumes. — Calcaire bitumineux. — Préparation pour enduits et dallages. — Manière de l'employer.

SERRURERIE. (Voir Section IV.)

GROSSE SERRURERIE (par M. Mangon).

CONSTRUCTIONS EN FER. — Fers de formes diverses qui se trouvent aujourd'hui dans le commerce. — Planches en fer. — Fermes de combles pour grandes charpentes. — Exemples. — Gares des principaux chemins de fer.

MENUISERIE. (Voir Section IV.)

CONSTRUCTION DES NAVIRES. — Description de la charpente du navire. — Tracé des plans. — Détermination des dimensions principales de la carène. —

Nécessité des liaisons obliques. — Valgrage et lattes en fer. — De la voilure.

NAVIRES EN FER. — Historique. — Avantages et inconvénients des bâtiments en fer. — Membrure, quille et carlingues. — Des baux. — Liaison des baux avec la muraille. — Du bordé, différentes espèces de joints. — Du rivetage.

CONSTRUCTION DES MACHINES (Voy. IVe SECT.)

PAVAGE. — Extraction des grès. — Forme en sable. — Outils du paveur. — Disposition des joints. — Repiquage. — Pavés bitumés.

Pavage en bois. — Système Delille.

Carrelage et dallage. — Emploi des laitiers des hauts-fourneaux pour fabriquer des pavés.

COUVERTURE (par M. E. Baude). — En tuiles, Nouvelles formes. — En ardoises. — En zinc (*Compl.*).

VOUTES (par M. Claudel). — Dimension des voûtes. — Joints de rupture. — Théorie. — Épaisseur des voûtes à la clef. — Épaisseur des pieds droits. — Méthode graphique de M. Méry. — Tracé de la courbe de pression. — Tableaux de M. Petit pour déterminer les dimensions des voûtes. — Usage des tables.

Théorie de M. Villarceau, conduisant à la construction de nouvelles voûtes.

Travaux publics.

TERRASSEMENTS (par M. Tourneux). — Importance du prix des travaux de terrassement. — Transport à la brouette. — Brouette anglaise. — Transport au tombereau. — Transport par wagons sur chemins de fer. — Du déchargement. — Échafaud mobile dit baleine. — Machines diverses employées aux terrassements. — Excavateur américain.

PONTS (par M. V. Bois). — Du système de pont à adopter dans chaque circonstance. — Emplacement. — Largeur. — Débouché.

Fondations. — Sondages. — Fondation par batardeau. — Fondation par caisse étanche, — par caisse non étanche. — Fondation sur gravier, — argile. — Pilotis. — Sonnettes à tiraudes. — Sonnettes à déclic. — Récépages.

Fondation par caisson. — Fondation sur un terrain vaseux, radier général. — Fondation sur grillages. — Fondations avec l'aide de l'air comprimé. — Pont de Bordeaux.

Forme des arches. — Tracé des profils.

PONTS EN PIERRE. — Ponceaux. — Ponts à grande portée. — Pose des voussoirs. — Décintrement. — Voûtes de décharge. — Chappe. — Ponts-canaux. — Ponts-aqueducs. — Ponts-viaducs.

PONTS EN CHARPENTE.

PONTS EN MÉTAL. — Ponts en fonte. — Système de Polonceau.

Ponts biais. — Ponts mobiles. — Ponts de bateaux. — Ponts-levis. — Ponts tournants.

PONTS SUSPENDUS. — Câbles en fil de fer. — Chaînes. — Courbes de suspension. — Tiges. — Tablier. — Culées. — Piles.

FONDATIONS TUBULAIRES. — Pratique de l'Inde. — Grandes constructions modernes.

PONTS AMÉRICAINS (par M. Mangon). — Fermes. — Tablier. — Moises. — Contreventement. — Levage. — Prix d'établissement. — Calcul de la résistance des fermes.

SERRURERIE (GROSSE) (par M. Mangon).

PONTS TUBULAIRES. — Pont Britannia. — Pont sur le canal de l'Escaut. — Pont d'Asnières.

AQUEDUC.

TUNNEL (par M. Leroy). — Circonstances qui nécessitent le percement d'un tunnel. — Formes et dimensions. — Travaux préparatoires — Fonçement des puits. — Machines d'extraction. — Percement des galeries. — Aménagement des travaux. — Percement dans un terrain sans consistance. — Percement dans un terrain ébouleux et aquifère. — Description du percement des tunnels de Bleckingley et Saltwood.

ROUTES (par M. Gibon). — Détermination de la direction générale d'une route. — Principe de M. Brisson.

Du tracé. — Profil en long. — Profil en travers. — Déblais et remblais. — Prix de revient.

Construction des chaussées. — Chaussées pavées, — en empierrement. — Chaussées à la Mac-Adam.

ROULEAU COMPRESSEUR. — Des chaussées en empierrement. — Chaussées à la Mac-Adam. — Inconvénients qu'elles présentent après le chargement. — Rouleau Polonceau. — Rouleau Schattenmann.

CHEMINS DE FER (par M. E. Baude).

I. HISTORIQUE. — Stephenson. — Séguin. — Concours de Manchester. — Construction des chemins de fer en France. — Tableau des chemins de fer construits dans les divers pays.

II. MATÉRIEL FIXE. — 1° *Rails* : Fabrication des rails, coussinets, chevillettes, coins, traverses, ballast, sabotage, éclisses, système Pouillet, système Barberot, rail à patin, rails Brunel, voie entièrement métallique.

2° *Accessoires de la voie* : Changements de voie, croisement de voie.

Traversées de voie, plaques tournantes, chariots roulants.

III. TERRASSEMENTS ET TRAVAUX D'ART. — Dimensions de la voie. — Passages des chemins. — Passages à niveau. — Passage des cours d'eau. — Ouvrages exceptionnels.

IV. GARES ET STATIONS. — Voies. — Bâtiments. — Alimentation d'eau des locomotives.

V. MATÉRIEL ROULANT. — Roues. — Bandages. — Essieux. — Boîtes à graisse. — Ressorts. — Plaques de garde. — Châssis. — Attelages. — Freins divers. — Frein Guérin. — Caisses. — Matériel à voyageurs. — Matériel à marchandises. — Mouvement de lacet.

VI. ÉTUDES ET TRACÉS. — 1° *Considérations générales.* — 2° *Considérations militaires.* — 3° *Considérations commerciales et industrielles.* — Du produit net, des tarifs. — Établissement des frais de transport. — Tarifs différentiels. — 4° *Considérations techniques.* — Résistances en ligne droite et de niveau. — Influence des rampes. — Influence des courbes. — Comparaison des tracés. — De la répartition des rampes sur un tracé. — Des systèmes de traction sur les principaux chemins de fer. — 5° *Considérations financières.* — Frais de premier établissement : — Frais généraux. — Acquisition des terrains. — Terrassements. — Ouvrages d'art courants. — Ouvrages exceptionnels. — Bâtiments. — Stations. — Ateliers, etc.

VII. EXÉCUTION, ORGANISATION, EXPLOITATION, SÉCURITÉ. — 1° Systèmes d'exécution des chemins de fer. — 2° Organisation administrative et exploitation. — 3° Sécurité : Télégraphie. — Signaux de la voie. — 4° Dépenses d'exploitation.

VIII. DIVERS SYSTÈMES DE CHEMINS DE FER. — Système Arnoux. — Essieux brisés. — Système funiculaire. — Système Séguier. — Système Girard. — Chemins de fer atmosphériques. — Chemins de fer économiques. — Chemins d'usines et de mines.

BASSIN DE RADOUB. — Disposition adoptée par M. E. Clark à Blackwall. — Emploi de la presse hydraulique.

CANAL (par M. Déglin). — Utilité des canaux.

TRACÉ DES CANAUX. — Emplacement du point de partage. — Consommation d'eau par évaporation, — par filtration. — Perte par les portes. — Remplissage des écluses. — Réservoirs.

OUVRAGES D'ART. — Écluses. — Portes d'écluse. —

Introduction d'eau dans les sas. — Prise d'eau. — Déversoirs. — Aqueducs. — Syphons. — Ponts-canaux. — Traversée des lits des rivières.

Digues en terre. — En maçonnerie. — Souterrains.

ÉCLUSE. — Dépense d'eau par éclusée. — Moyens divers tentés pour la réduire.

ÉCLUSE GIRARD. — Disposition du flotteur. — Des syphons. — Des soupapes. — Manœuvres du système.

PLANS INCLINÉS DES CHEMINS DE FER ET CANAUX (par M. E. Chevalier). — Utilité des plans inclinés dans certains cas de la construction des chemins de fer et des canaux. — Plans inclinés américains. — Plan incliné du canal Morris près New-York.

EAUX (DISTRIBUTION D'). (par M. H. Mangon).

I. NATURE ET QUALITÉ DES EAUX. — Analyse des eaux. — (Voy. CHIMIE.)

II. QUANTITÉS D'EAU A DISTRIBUER. — Distributions d'eaux à Rome, New-York, Bordeaux, Dijon, etc.

III. MOYENS D'OBTENIR L'EAU POUR L'ALIMENTATION DES VILLES. — Sources naturelles et artificielles. — Exemples et applications de la théorie à l'étude du projet de M. Belgrand pour Paris. — Étangs. — Puits artésiens. — Citernes.

Filtrage des eaux. — Galeries filtrantes.

IV. CONDUITE ET ÉLÉVATION DES EAUX. — Aqueducs. — Construction. — Pont du Gard. — Aqueduc de Roquefavour.

Machines élévatoires. — Pompes élévatoires mues par des roues hydrauliques. — Machines à vapeur.

V. DISTRIBUTION DANS L'INTÉRIEUR DES VILLES. — Réservoirs. — Tracé et diamètre des conduites. — Nature des tuyaux. — Dimensions et poids des divers tuyaux employés à Paris. — Robinets divers. — Ventouse. — Appareils d'écoulement. — Modes de vente.

ÉGOUTS (par M. Mangon). — Étude complémentaire de la précédente sur les moyens d'assainir les villes. — Formes et dimensions des égouts de Paris et de Londres. — Valeur agricole des eaux d'égout. — Leur analyse. — Synthèse pour Paris. — Procédé de Leicester (*Compl.*).

Exploitation des Mines.

MINES (EXPLOITATION DES) (par M. Debette). — Couches. — Filons. — Systèmes de filons. — Amas. — Mines en sac.

Recherche des mines. — Abattage des roches. — Exploitation à ciel ouvert. — Excavations souterraines. — Galeries. — Boisage des galeries. — Galeries en maçonnerie. — Puits. — Cuvelage. — Muraillement des puits. — Serrements.

MÉTHODES DIVERSES D'EXPLOITATION. — Grandes tailles dans le plan du gîte, remblayées au fur et à mesure. — Gradins renversés. — Méthode par gradins droits. — Larges tailles horizontales.

AÉRAGE DES MINES. — Ventilation par foyer d'appel, — par machines.

Transport. — Extraction des minerais.

ÉPUISEMENT DES EAUX DES MINES. — Pompes élévatoires. — Pompes à piston plein.

Levé des plans des mines.

PUITS DE MINE forés à la sonde (*Compl.*).

HOUILLE (par M. Debette). — Disposition des formations houillères. — Des failles et dykes.

Exploration du terrain houiller. — Puits et galeries à travers bancs. — Épuisement des eaux.

Exploitation proprement dite, — par piliers et galeries, — par grandes tailles.

Traction de la houille dans l'intérieur de la mine. — Extraction par les puits. — Aérage.

ARDOISE. — Exploitation à ciel ouvert. — Exploitation par galeries souterraines. — Qualité des ardoises. — Ardoises artificielles.

CARRIÈRES.

Arts d'imitation.

1. Sculpture.

SCULPTURE PAR PROCÉDÉ MÉCANIQUE (par M. Rouget de Lisle). — Méthode de M. Amédée Durand pour mise au point. — Procédé de M. Collas. — Procédé de M. Sauvage. — Procédé de M. Dutel. — Procédé de M. Grimpé. — Procédé Girard. — Procédé de M. A. Durand. — Procédé de M. Graemacker. — Procédé de M. Moreau. — Procédé de M. Ardisson.

CISELEUR (par M. Paulin-Désormeaux). — Le ciseleur est souvent un artiste. — Importance de son œuvre pour la perfection d'un objet d'art. — Travail du ciseleur.

2. Moulage et fonderie.

Les procédés de moulage des métaux varient avec leur fusibilité, les plus fusibles pouvant être fondus dans des moules formés avec ceux qui le sont moins, pour lesquels on ne peut employer le plus souvent que des moules en sable, en terre réfractaire et par suite donnant peu de perfection. Au point de vue des procédés qui tendent à empiéter les uns sur les autres, on doit donc distinguer deux classes de métaux :

Les métaux facilement fusibles. — *Étain, plomb, zinc* et les alliages de ces métaux.

Les métaux fusibles à haute température. — *Fonte de fer, acier, cuivre* et ses alliages, *bronze, laiton.*

PATES MOULÉES (*Compl.*).

FONDERIE DE FER (par E. Barrault). — Qualité de la fonte. — Matériel des fonderies. — Établissement des fourneaux. — Des grues. — Des étuves. — Machine à broyer. — Moulin à noir. — Des poches. — Des châssis.

Ustensiles des mouleurs. — Moulage en sable vert. — Moulage en sable vert séché. — Moulage en sable d'étuve. — Moulage en terre.

Exemples du moulage de diverses pièces. — Moulage en coquilles. — Moulage mécanique. — De la coulée.

CALEBASSE (FONTE A LA).

FONDERIE DE CUIVRE ET DE BRONZE.

Fonte des cloches. — Tableau des épaisseurs. — Tracé des formes. — Moulage.

FONDERIE DE ZINC (par M. Barral). — Développements de cette industrie à Berlin. — Ses avantages. — Manière d'opérer.

FONDERIE EN CARACTÈRES (par M. Laboulaye).

Conditions auxquelles doivent satisfaire les caractères d'imprimerie. — Métal convenable pour leur fabrication. — Du fourneau. — Du moule. — Emploi du moule. — De la ligne. — De l'approche.

Romperie. — Frotterie. — Coupoir. — Apprêt.

Des caractères d'écriture. — De l'impression de la musique par caractères mobiles.

Interlignes. — Filets. — Garnitures.

FONDERIE MÉCANIQUE. — Fonderie polyamatype. — Procédé Herhan. — Machine américaine. — Caractères apyrotypes.

FONDERIE EN CARACTÈRES. — Machine allemande. — Machine française (*Compl.*).

POLYTYPIE. — Fabrication de la matrice. — Fonte du relief. — Montage du cliché.

STÉRÉOTYPIE. — Procédé Didot. — Procédé Herhan. — Stéréotypie au moyen du plâtre. — Au moyen du papier. — Pyrostéréotypie appliquée à la musique.

3. Dessin.

Le dessin est l'œuvre originale qui, au point de vue technique (en laissant ici de côté l'œuvre d'art industriel), est la représentation d'une réalité existante, comme la figure du sol représentée par une carte, ou le projet d'une réalité à créer. C'est dans ce dernier cas que rentrent les plans de l'architecte, de l'ingénieur, qui veut construire un édifice, une machine, un chemin de fer. C'est une première réalisation anticipée de l'œuvre, qui permet de faire tous les calculs relatifs aux dimensions, d'établir toutes les formes, de les mesurer ; il n'y a plus qu'à les traduire avec la précision qu'assure l'habileté des ouvriers, la perfection des machines-outils, pour obtenir l'œuvre projetée par la science de l'ingénieur.

NIVELLEMENT ET LEVÉ DES PLANS (par M. H. Mangon).

LEVÉ DES PLANS. — Mesure des distances, — par chaînage, — avec des lunettes. — Mesure des angles. — Graphomètre. — Théodolithe. — Pantomètre. — Planchette.

NIVELLEMENT. — Principes. — Niveau d'Égault. — Moyens de vérifier la précision. — Niveau de Lenoir. — Niveau d'eau. — Mires. — Rapport du nivellement. Clisimètres. — Niveau de Chézy. — Eclymètre.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES OPÉRATIONS. — Courbes et hachures. — Cartes. — Représentation pour l'exécution des travaux.

CUBATURES.

HYDROGRAPHIE (par V. Dumoulin). — Construction des cartes. — Cartes plates. — Cartes réduites. — Levé des cartes marines. — Emploi des cartes marines. — Emploi des cartes à la mer. — Renseignements portés sur les cartes.

DESSIN INDUSTRIEL (par M. Ronget de Lisle). — CALQUE DES DESSINS. — A l'aide d'une vitre. — A l'aide d'un papier frotté de sanguine. — A l'aide d'un papier piqué. — Machine à piquer les dessins par M. Barthélemy.

MÉTHODES POUR OBTENIR DES COPIES PROPORTIONNELLES. — Chambre noire. — Pantographe. — Équerre de Cigoli ou Diagraphe. — Chambre claire de Wollaston. — Procédé Rouillet pour amplifier les dessins.

MISE EN CARTE DES DESSINS DE CHALE.

PANTOGRAPHE. — Son emploi pour les réductions. — Machine Collas pour réduction des statues.

PERSPECTIVE ISOMÉTRIQUE. — Avantages de ce mode de représentation, surtout pour les machines. — Définitions. — Perspectives d'un cube. — D'un cylindre. — D'une roue d'engrenage.

STÉRÉOTOMIE (par M. Lejeune). — Tracés pour la coupe des pierres. — Pont biais. — Vis sans fin, etc. — Pour l'établissement des bois. — Escaliers. — Empanon déversé (*Compl.*).

4. Gravure.

Pour obtenir la reproduction industrielle d'un dessin, par des procédés du domaine de la mécanique et non pas de l'art, il faut que ce dessin devienne plus susceptible d'être soumis à ces procédés que ne l'est le dessin original. C'est par des gravures, dues, soit à la main d'un artiste, soit à des procédés physiques ou chimiques, en partant du dessin même, qu'on y parvient.

GRAVURE. — Genres divers de gravures.

GRAVURE EN CREUX. — Gravure à l'eau forte. — Des vernis. — Application du vernis sur la planche. — Transport du dessin. — Des pointes. — Morsure à l'eau-forte. — Gravure de l'acier.

Gravure au burin. — Gravure en manière noire. — Gravure à l'aqua-tinta.

Gravure de la musique.

Gravure des rouleaux pour l'impression des étoffes.

Machines à graver : — Tour à guillocher. — Tour à graver. — Pantographe de Lockett.

Machine de M. Collas.

GRAVURE EN TYPOGRAPHIE (par M. Laboulaye). — Des poinçons et contre-poinçons. — Pierre à l'huile et équerre. — Burins et limes. — Outils divers. — Calibres.

Travail du graveur. — Observations sur les formes des diverses lettres.

Frappe des matrices. — Justification des matrices. — Machine à justifier. — Justification de l'italique.

GRAVURE SUR BOIS (par M. Pégard). — Succession des opérations. — Genre classique. — Genre fac-simile.

GRAVURE EN RELIEF sur métaux, — par les acides, — par machine.

Procédé Dulos par capillarité, et emploi des ressources fournies par la galvanoplastie.

Gravure sur pierre lithographique. — Gravure sur pierres fines. — Gravure de médailles.

5. Application des couleurs. — Impression.

IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE (par M. Brun). — Modèle de la casse française. — Mode d'opérer du compositeur. — Composteur. — Galée. — Mise en pages. — Imposition. — Formulaire pour la correction des épreuves.

Dessin et description de la presse Stanhope. — Rouleau et table-encrier. — Travail du pressier.

IMPRESSION MÉCANIQUE. — Essais de Nicholson. — Invention de Kœnig. — Machine de Donkin. — Presse double de Cowper et Applegath. — Presse en blanc. — Description de la presse rotative de Hoe pour tirage des journaux.

COMPOSITION MÉCANIQUE.

Machine de MM. Young et Delcambre. — Vitesse du travail. — Prix de revient. — Machine à distribuer de M. Gaubert. — Machine Sorensen. — Machine américaine à cordons.

IMPRIMERIE. — Compositeur de Flamin, — de Sweet. — Machines rotatives. — Numéroteurs (*Compl.*).

IMPRIMERIE EN TAILLE-DOUCE.

Encrage de la planche. — A la main. — Au chiffon. — Du tirage. — De la presse.

IMPRESSION CONTINUE à l'aide de cylindres gravés en creux (*Compl.*).

ÉCRITURES (*Moyen de les multiplier*). — Procédé de Brunel. — De Watt. — Prompt-copiste. — Instruments pour écrire à l'usage des aveugles.

LITHOGRAPHIE (par M. Rouget de Lisle). — Historique. — Pierres lithographiques. — Encres et crayons lithographiques. — Recettes de Lemercier et Engelmann. — Moulage des crayons. — Taille-crayon mécanique. — Dissolutions qu'on passe sur les pierres après le dessin. — Liquides pour effacer.

DE LA ZINCOGRAPHIE. — Ses avantages. — Manière de préparer la planche de zinc.

GRAVURE SUR PIERRE. — A la pointe sèche. — A l'aide de la machine à graver. — A l'acide.

IMPRESSION. — Dessin et description de la presse lithographique. — Presse à cylindre. — Presse Quinet. — Presses lithographiques mécaniques. — Presse Perrot. — Presse de M. Voirin.

CHROMO-LITHOGRAPHIE. — Châssis à repérer.

IMPRESSION SUR ÉTOFFES (par M. Scutzenberger). — Théorie des opérations d'impression. — Étude détaillée du garançage. — Des couleurs d'application. — Des couleurs minérales fixées à l'albumine.

DES DIFFÉRENTS GENRES D'IMPRESSION.

IMPRESSION. — Des moyens mécaniques d'exécution. — Machine à enrouler. — Table à imprimer. — Manière d'imprimer un bloc. — Impression au rouleau. — Machine à rouleaux pour plusieurs couleurs. — Dessins et description de la Perrotine. — Métier à surface.

FIXAGE DES COULEURS. — A la guérite. — A la botte. Enroulement des étoffes. — Fixage à la chambre. — A la cuve. — Fixage à la vapeur.

IMPRESSIONS DIVERSES. — Couversion. — Teinture ombrée. — Impression des foulards. — Rongeants.

PAPIER PEINT. — Posage du fond. — Lissage. — Impression à la planche plate. — Nouvelles machines pour imprimer à l'aide de rouleaux. — Couleurs. — Papiers satinés. — Veloutés. — Dorés ou argentés.

SIXIÈME SECTION.

ART INDUSTRIEL.

Le travail industriel modifiant les formes et les couleurs des corps, produit des résultats analogues à ceux qui sont dus aux beaux-arts, avec cette différence toutefois, que ceux-ci ont pour but principal le beau, tandis que c'est l'utile qui domine dans l'industrie. Tandis que l'utilité est le seul but atteint par les objets les plus communs de chaque genre, l'élégance, la beauté est surtout recherchée pour ceux qu'on peut considérer comme placés en tête de la série, devenant de véritables objets d'art.

La recherche de la beauté par l'emploi de toutes les ressources du travail industriel s'exerce pleinement dans la construction, dans l'Architecture, que l'on peut classer tantôt dans les beaux-arts, tantôt dans l'industrie, selon que l'utilité ou l'art prédomine, qu'il s'agit d'une construction de pure utilité ou d'un monument.

Les autres arts, la sculpture et la peinture se mêlent souvent à l'industrie sans rien perdre de leur nature artistique; les œuvres d'art peuvent servir à décorer des objets ayant plus ou moins un caractère d'utilité, mais sans perdre leur nature propre. Plus souvent, par l'intervention des arts d'imitation, l'œuvre de l'artiste est un type que le travail industriel reproduit à l'infini, et c'est cette vulgarisation qui forme le cachet principal des œuvres que l'on range dans l'art industriel. Des œuvres d'art exécutées pour décorer un produit de l'industrie appartiennent toujours aux beaux-arts; leur multiplication par procédés mécaniques pour embellir un objet utile donne un produit véritablement industriel.

Les connaissances qui peuvent être de quelque utilité au point de vue de l'art industriel, des applications des beaux-arts à l'industrie, ne peuvent découler que de l'étude des beaux-arts, comme l'étude des sciences fournit les règles des procédés techniques. Aussi l'examen des faits conduit-il à cette conclusion, que la double culture des sciences et des beaux-arts est, pour une nation, la condition capitale du développement et de la prééminence de son industrie.

ART INDUSTRIEL (2e *partie du Complém.*).—Grande importance de l'art industriel.—Sa classification.—Éléments de l'art industriel.—De la méthode propre à son étude.—Elle est nécessairement autre que celle qui convient pour les sciences. — Du beau. —De l'esthétique.

De la méthode historique. — Des grandes époques de l'humanité. — Des idées qui l'ont alors passionnée, et des styles qui y correspondent.

I. ARCHITECTURE.—Étude de ces styles dans l'architecture où ils ont leur plus complète manifestation. — Caractère de l'architecture des diverses civilisations:

Architecture Égyptienne : — Temples. — Pyramides.
— Grecque : — Colonnes. — Parthénon.
— Romaine : — Arc de triomphe. — Colisée.
— Byzantine : — Sainte-Sophie. — Saint-Trophime.
— Gothique : — Notre-Dame.
— Renaissance : — Saint-Pierre de Rome. — Château d'Amboise.
— Louis XIV : — Louvre. — Porte Saint-Denis.
— Mauresque : — Alhambra.
— Indoue. — Chinoise.
— Époque actuelle : — Constructions en fer. — Gare de Strasbourg. — Palais de cristal de 1851. — Opéra de Paris.

Succession des styles dans les industries qui relèvent de l'architecture. — MEUBLES. — CÉRAMIQUE. — VERRERIE, formant le résumé de l'histoire de l'Ébénisterie, de la Céramique, etc.

Meubles Egyptiens, Grecs, Romains, du Moyen Age, de la Renaissance, de Louis XIV (de Boule), de Louis XV. — Époque actuelle : Meubles de Fourdinois, de Grohé, de Tahan, etc. — Meubles anglais.

Céramique.—Vases Grecs et Etrusques.—Faïences de la Renaissance— de Bernard de Palissy. — Porcelaine chinoise.—Porcelaine tendre.—Produits de Sèvres, etc.

Verrerie. — Vase de Portland, Verres de Venise, Verre de Bohême, Candélabre de Baccarat.

II. SCULPTURE.—Succession des styles dans la sculpture et les industries qui en relèvent : les Vêtements,— les Bronzes, — l'Orfèvrerie, — la Bijouterie.

Arts Vestiaires. — Antiquité. — Epoque de Charlemagne. — Renaissance. — Epoque moderne.

Bronzes. — Bronzes antiques. — Bronzes de la Renaissance. — Louis XIV. — Louis XV. — Époque actuelle. — Influence de Pradier, etc.

Orfèvrerie. — Éclat de l'Orfèvrerie au moyen âge. — Grands orfèvres du règne de Louis XIV. — Époque actuelle d'après le duc de Luynes. — Toilette de Froment-Meurice.— Boucliers de M. Wetche. — Thé de M. Lecointe, etc.

Bijouterie. — Bijoux égyptiens. — Bijoux étrusques. — Émaillerie au moyen-âge. — Benvenuto Cellini. — Époque moderne. — Montage des pierres. — Parures de Lemonnier, etc.

III. PEINTURE.—Industries qui relèvent de la peinture.

DESSIN. —Vignettes caractéristiques des principaux styles qui se rencontrent dans les monuments et les œuvres de chaque époque et de chaque pays.

Gravure. — Genres divers de gravure.

Typographie. — Monuments de l'invention de l'imprimerie. — Écriture des manuscrits et caractères de la première Bible. — Garamond. — Caractères anglais. — Calligraphie.

Lithographie. — Reproduction du dessin de l'artiste. — Développements de la chromo-lithographie.

Photographie. — Accroissement considérable des moyens techniques de l'art.

APPLICATION DES COULEURS. — Des gammes des couleurs.— Du contraste simultané des couleurs. — Colorations appliquées : à l'*Architecture*, — à la *Céramique*, —à l'*Orfèvrerie*.— *Papier Peint*.— *Impression sur étoffes*.

JUXTA-POSITION D'ÉLÉMENTS COLORÉS.—Des combinaisons d'éléments. — *Mosaïques*.

Vitraux. — Historique de la peinture sur verre.

Tissus. — Effets optiques des étoffes. — *Tapis*. — *Tissus brochés*. — *Cachemires*. — *Dentelles*. — *Broderies*.

Conclusion. — Développement et vulgarisation des Beaux-Arts, véritable base de la splendeur de l'art industriel chez une nation.

MUSÉES D'ART INDUSTRIEL. — Utilité d'une fondation de cette nature pour l'avenir de l'industrie. — Plan à suivre (*Compl.*).

SEPTIÈME SECTION.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

L'étude des relations du travail avec les intérêts du producteur, de son droit à la propriété du résultat de ses efforts, au fruit de ses peines, doit nécessairement compléter une étude sérieuse des moyens de production de l'industrie. Toutefois, ce n'est que dans les ouvrages spéciaux d'économie politique, dans des ouvrages traitant des sciences morales, que l'on peut développer suffisamment les considérations diverses qui se rapportent à l'homme ; dans une œuvre consacrée surtout aux questions techniques, c'est l'économie des efforts, l'organisation de la fabrique pour atteindre un but déterminé, c'est l'économie industrielle, l'économie des manufactures qui doit surtout être considérée. C'est de chaque article, spécialement consacré à une fabrication déterminée, que doit se dégager l'indication de la méthode de production la plus convenable dans chaque cas, pour obtenir des bénéfices, pour que les efforts du producteur lui soient profitables. Nous avons à ranger dans cette classe particulière, avec l'analyse du résumé de la science de l'économie industrielle qui termine le *Dictionnaire*, des articles entièrement consacrés à des questions d'ordre économique.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE (par M. Laboulaye). — Conclusion de cet ouvrage. — Ce n'est pas seulement pour appliquer ses connaissances sur la nature que l'homme se livre au travail. — Études des relations du travail de l'homme avec ses intérêts, — des éléments moraux qui excitent au travail.

Méthode à suivre dans cette étude. — De la richesse. — Division de la science.

PRODUCTION DE LA RICHESSE. — Du travail. — Division du travail. — Liberté du travail. — Du capital. — Des machines. — Des premiers éléments de la production. — De l'échange. — De la valeur. — De son évaluation en travail. — De la monnaie. — Variation des prix.

DISTRIBUTION DE LA RICHESSE. — Propriété des fruits du travail. — Sécurité de la propriété. — Rémunération du capital. — De la rente de la terre. — De la rente et des profits dans l'industrie. — Des monopoles, qui, limitant la concurrence, forment l'objet de l'étude concrète de l'économie politique. — De la circulation des capitaux. — Du Crédit.

CONSOMMATION DE LA RICHESSE. — De l'épargne. — Du luxe. — De l'impôt. — De la population.

ÉCONOMIE DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE. — De l'agriculture en France. — De l'industrie française. — Comparaisons de l'agriculture et de l'industrie en France, en Angleterre et en Allemagne. — Relations intimes entre l'état politique et l'état économique d'un pays. — Des monopoles qui limitent la concurrence.

MONOPOLES PERSONNELS. — Libre exercice d'une industrie. — Brevets d'invention. — Extension de l'enseignement.

MONOPOLES DE PROPRIÉTÉ. — Institutions de crédit. — Banques. — Unions de crédit. — Crédit sur nantissement. — Sociétés par actions. — Encouragements aux petites fabrications.

MONOPOLES LÉGAUX. — Services publics. — Chemins de fer. — Des douanes et du libre échange.

CHEMINS DE FER (Voy. v° SECTION).

Influence du bas prix des transports.

CANAUX (Id.).

EXPOSITIONS UNIVERSELLES des produits de l'industrie : 1851, 1855, 1862 et 1867 (*Compl.*).

STATISTIQUE de l'agriculture française (Voy. AGRICULTURE).

STATISTIQUE de l'industrie française. — Statistique de la production par départements. — Par nature de produits.

STATISTIQUE de l'industrie de la ville de Paris.

ÉCONOMIE DES MANUFACTURES (d'après Babbage). — Du lieu d'établissement d'une usine. — Division du travail. — Emploi des machines. — Continuité du travail. — Emploi des résidus. — Comptabilité. — Commerce. — Achat des matières premières. — Vente des produits.

ÉCONOMIE AGRICOLE. — Moyens d'accroître la fertilité. — D'obtenir les produits les plus avantageux. — De diminuer les dépenses. — De la petite culture (*Compl.*).

TENUE DES LIVRES. — Principes fondamentaux de la tenue des livres en partie double.

INVENTION. — De l'importance de l'invention dans l'industrie. — Moyens de développer l'esprit d'invention. — Jury d'examen. — Expérimentation.

AUTOMATIQUE. — En quoi consiste la fabrication dite automatique.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS (par M. Paulin Désormeaux). — Historique de sa création. — Organisation d'ateliers modèles.

CONSERVATOIRE. Son état actuel, son développement nécessaire (*Compl.*).

BREVET D'INVENTION. — Texte de la loi actuellement en vigueur (Voir à ÉCONOMIE INDUSTRIELLE : MONOPOLES PERSONNELS).

GARANTIE.

CHAUDIÈRE A VAPEUR (administration).

Ordonnance relative aux machines et chaudières à vapeur.

ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES. — Des établissements dangereux ou insalubres. — Formalités qui doivent précéder leur création.

ABATTOIR.

MINES. — Loi du 21 avril 1810 sur les mines.

ALGÉRIE (Avenir industriel de l').

TABAC (par M. Barral). — Industrie exploitée sous le régime du monopole.

Historique. — Impôt sur le tabac en France. — Pays de régime libre. — Pays placés sous le régime de l'impôt. — Régime de la mise en ferme. — Régime du monopole.

De la culture du tabac en France. — Achat des tabacs étrangers. — Magasins. — Transport des feuilles des magasins aux manufactures.

Frais totaux de la fabrication. — Transport des manufactures aux entrepôts. — Des entrepôts. — Valeur réelle du tabac. — Répression de la fraude. — Vente des tabacs aux débitants et aux consommateurs. — Bénéfice réel de la régie. — Consommation par tête.

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES.

A

ABATTOIR. Établissement dans lequel on force les bouchers à venir tuer et préparer les animaux destinés à la vente. Avant la création des abattoirs à Paris, chaque boucher avait sa tuerie particulière, ce qui était une cause permanente d'accidents, par suite du fréquent passage des animaux, et d'infection pour les alentours, par la rapide putréfaction des débris. Créé surtout dans des vues de police municipale, ce genre d'établissements, qui s'est répandu dans la plupart des grandes villes de France, a encore présenté de très grands avantages au point de vue industriel, surtout en permettant de tirer un parti très avantageux de résidus autrefois perdus. Ainsi le sang qu'on laissait autrefois couler dans les ruisseaux est aujourd'hui recueilli avec soin pour la clarification des sucres, dans les raffineries. Les fondoirs de suifs ont pu être munis des appareils les plus économiques. Aussi, tandis que l'administration pouvait s'applaudir d'avoir débarrassé la ville de Paris de foyers d'infection, et de les avoir remplacés par de grands et vastes ateliers bien aérés, où une distribution abondante d'eau entretient une grande propreté; de pouvoir surveiller, dans l'intérêt de l'hygiène publique, la qualité des viandes livrées au commerce, et faire rejeter celles provenant d'animaux malades; l'industrie s'est félicitée de cette grande association réalisée sous l'influence du gouvernement. Elle y a trouvé tous les avantages résultant de la mise en valeur des résidus, et en même temps tous ceux provenant d'une bonne division du travail. Au lieu d'être forcé de faire par lui-même toute la préparation de ses viandes, chaque boucher a pu, pour un droit modique, faire exécuter telle partie de son travail à son choix, par des hommes expérimentés, ne faisant habituellement qu'une même opération.

Les abattoirs de Paris offrent d'excellents modèles aux ingénieurs qui peuvent être chargés de la création d'établissements de ce genre. On y a disposé avec soin les diverses parties dont se compose l'abattoir, étables, échaudoirs, fonderies, etc., dans l'ordre le plus convenable au travail. Ce qu'on peut faire de mieux est d'en imiter les dispositions, en y faisant quelques légères améliorations dont l'expérience a démontré la nécessité.

M. Bruyère, ingénieur des ponts et chaussées, auquel revient pour la majeure partie l'honneur de ces constructions, en a publié des plans très détaillés dans ses *Études relatives à l'art des constructions*, Paris, 1823, ouvrage à consulter par les personnes chargées de constructions d'un intérêt général, comme halles, marchés, etc., etc.

ABATTOIR DE CHEVAUX. Si les établissements dont nous venons de parler présentent de grands avantages pour l'abattage des animaux destinés à l'alimentation des villes, ils sont peut-être encore plus nécessaires quand il s'agit des chevaux morts ou impropres au service, dont les dépouilles ont bien moins de valeur. Aussi on doit considérer comme une innovation très importante la construction d'un abattoir de chevaux établi depuis très peu d'années près de Paris.

L'écarrissage des chevaux s'est fait pendant plusieurs siècles dans l'intérieur de la capitale; plus tard les émanations putrides, bien autrement incommodes que celles des boucheries, que développaient ces établissements, les firent rejeter hors de la ville. Jusqu'à ces dernières années, l'écarrisseur ne tirait que très peu de chose des chevaux abattus; la peau destinée au tannage, la graisse, les crins, quelques boyaux, et une partie de la chair servant à la nourriture des chiens et même secrètement à celle des habitués de quelques gargotes des barrières, étaient les seules parties utilisées; tous les autres débris des animaux morts, entassés pêle-mêle, soumis à une putréfaction incessante, devenaient des foyers d'infection pour les environs et même pour les quartiers les plus riches de la capitale. On peut se faire une idée de tous les abus et de tous les inconvénients qui résultaient d'un semblable état de choses, lorsqu'on saura qu'année commune, Paris et les environs envoient à l'abattoir 12 à 13,000 chevaux.

Au point de vue de la police municipale et de la salubrité publique, l'établissement d'un abattoir de chevaux a donc réalisé une amélioration d'une haute importance; mais au point de vue industriel les avantages obtenus sont bien autrement considérables; la réunion des écarrissages a permis de tirer un grand parti de tous les débris des chevaux, et une fabrique s'est élevée à côté de l'abattoir pour transformer ces détritus en produits d'une assez grande valeur. Le sang recueilli avec soin dans des rigoles cimentées est transformé en un engrais énergique; la chair musculaire, desséchée et réduite en poudre, trouve son application dans les fabriques de produits chimiques; sous cette forme elle constitue également un puissant engrais facile à transporter au loin; une porcherie adjointe à l'établissement trouve une nourriture abondante dans la chair cuite. Les os que l'on brûlait autrefois sont recherchés aujourd'hui par les fabricants de colle-forte et de noir animal; la peau, la graisse, les crins, etc., etc., recueillis et préparés avec plus de soin, ont augmenté de valeur; enfin les intestins et quelques autres débris peuvent être transformés en peu de temps et sans incommodité pour le voisinage en un engrais excellent. En résumé, l'écarrissage, qui était autrefois un sujet continuel de réclamations et d'inconvénients, est devenu une source de richesse pour l'industrie et surtout pour l'agriculture.

Nous ne parlerons pas ici des opérations qui se succèdent dans l'abattage des chevaux, ces détails trouveront

leur place à l'article ÉCARRISSAGE ; nous insisterons plus particulièrement sur la distribution de l'abattoir construit près de Paris, dans la plaine des Vertus; ces renseignements peu connus, sont par cela même intéressants.

Cet abattoir se compose : 1° d'un grand bâtiment central de 10 mètres de largeur, et divisé dans sa longueur en 8 compartiments destinés aux différents écarrisseurs; c'est dans ce bâtiment principal que s'exécutent les opérations de l'écarrissage; entre autres appareils, chaque compartiment renferme une cuve chauffée à la vapeur qui sert à faire bouillir plusieurs chevaux à la fois. Au-dessus de l'atelier du rez-de-chaussée, à 4 mètres du sol, se trouve un plancher à claire-voie, qui facilite le travail dans les cuves, et qui peut servir d'étendoir. Le toit qui recouvre le bâtiment est muni de tabatières destinées à activer le renouvellement de l'air dans toutes ses parties; du reste le sol de l'atelier est dallé en pierres dures à joints mastiqués, et suffisamment incliné pour rendre les lavages faciles;

2° De deux hangars, ouverts à tous les vents et placés parallèlement de chaque côté du bâtiment central, à 3 mètres de distance de ce dernier. C'est sous le toit de ces hangars que l'on abat et que l'on saigne les chevaux; un dallage en pierres cimentées, et des rigoles profondes creusées dans la pierre de taille permettent de recueillir tout le sang. Ces rigoles aboutissent à des cuvettes hydrauliques qui déversent dans un égout d'écoulement le sang non recueilli et les eaux de lavage;

3° De hangars couverts, qui règnent le long des murs de clôture, parallèlement au bâtiment central, et qui servent de remises, soit pour les voitures, soit pour les marchandises;

4° De 2 fondoirs, munis des chaudières, des presses, et en général de tous les appareils nécessaires à la fonte des suifs;

5° D'emplacements dallés et disposés convenablement pour recevoir momentanément les détritus qui doivent être enlevés chaque jour;

6° D'une machine à vapeur, pompes, grand réservoir, etc., destinés à fournir l'eau nécessaire à l'établissement; des tubes nombreux partent de ce réservoir et conduisent l'eau dans toutes les parties de l'abattoir;

7° De générateurs destinés à fournir la vapeur à la machine et aux cuves que renferme le bâtiment principal;

8° De deux bâtiments placés de chaque côté de l'entrée de l'abattoir; l'un sert d'habitation à l'inspecteur et renferme les bureaux de l'administration; dans l'autre demeure le concierge de l'établissement.

Les murs d'enceinte de l'abattoir sont environnés d'une plantation d'arbres, destinés à rejeter, autant que possible, dans les parties supérieures de l'atmosphère, les principes fétides dont les vents se seraient chargés; ce rideau n'existe pas sur la face qui reçoit l'action des vents les plus constants.

Un bâtiment entièrement distinct, mais adossé à l'abattoir, est destiné à transformer les débris des chevaux en produits faciles à transporter, tels que la chair desséchée et le sang coagulé. Une porcherie attenante renferme un très grand nombre de porcs que l'on engraisse avec la chair bouillie des chevaux. (Pour complément de cet article, voyez le mot ÉCARRISSAGE.)

ABEILLE. Une ruche d'abeilles constitue, comme chacun sait, un immense atelier, dans lequel une multitude d'ouvrières industrieuses produisent la cire et le miel que l'homme n'a plus qu'à récolter.

Il n'entre pas dans le cadre que nous nous sommes tracé de nous étendre ici longuement sur la physiologie de ces insectes et les mœurs de cette république; cette étude est plus spécialement du ressort de l'histoire naturelle et de l'agriculture, et nous ne pouvons que

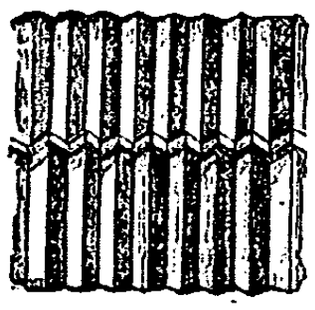
dire ici quelques mots de la création des deux produits utiles que l'abeille fournit à l'industrie, la *cire* et le *miel*.

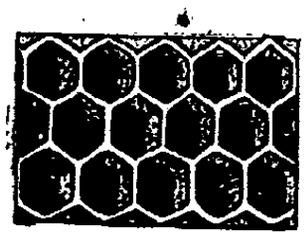
1

L'abeille est munie d'une trompe, au moyen de laquelle elle puise dans le calice des fleurs les sucs qui y sont déposés, et qui sont, soit employés de suite à sa nourriture propre, soit mis en réserve sous forme de miel. La cire est la seule excrétion des abeilles; elle se forme en rubans autour des anneaux de leur ventre.

Réaumur admettait que l'abeille ne faisait que récolter la cire brute, et la purifier par l'élaboration de ses organes digestifs. Conduits aussi à penser que l'origine des graisses animales devait se trouver dans le règne végétal, et qu'elles étaient fournies par les parties grasses des végétaux, MM. Dumas et Milne-Edwards se sont livrés vers 1846 à une série d'expériences qui ont démontré que cette théorie ne devait pas être prise d'une manière trop absolue. Des abeilles nourries avec du sucre ont constamment produit de la cire. La production de cette substance, très voisine au point de vue chimique des substances grasses, a prouvé que les organes des animaux pouvaient produire les corps gras, et ne se bornaient pas à les accumuler.

L'insecte réunit et travaille la cire avec ses pattes. Il en construit les gâteaux qui lui servent à emmagasiner le miel pour la saison d'hiver, et à fournir un asile aux œufs pondus par la reine, qui y accomplissent toutes leurs métamorphoses avant d'en sortir abeilles.





2

La construction des gâteaux est un des plus admirables produits de l'instinct des animaux, car cette construction est organisée de manière à employer le moins de matériaux possible, tout en laissant le plus grand vide disponible; et pour cela les formes géométriques les plus convenables sont observées avec une admirable précision. Ces gâteaux forment des murailles parallèles suspendues au haut de la ruche, dont les axes sont espacés de 3 à 4 centimètres, distance suffisante pour qu'il reste un passage entre ces gâteaux. Ils sont formés d'alvéoles hexagonales disposées horizontalement et opposées par la base.

Il faut remarquer que la quantité de miel produite par les abeilles est bien supérieure à celle qui est strictement nécessaire à leur entretien pendant la mauvaise saison. Une partie de leur récolte en miel doit cependant leur être conservée. Quant à la cire, il est inutile d'en laisser, et le travail des ouvrières a bientôt regarni la ruche. La cire a du reste plus de valeur que le miel.

La cire brute est jaune sale; elle sert en cet état au frottage des appartements, à fabriquer l'encaustique. On la blanchit pour en faire des bougies, des figures, etc., en l'exposant à l'air après l'avoir mise sous forme de longs rubans. Voir BOUGIES.

ACÉTATES (*angl.* acetates, *all.* essigsaure salze).

On désigne sous ce nom tout sel formé par l'acide acétique. Les acétates sont généralement solubles ; ceux qui le sont très peu (acétates d'argent et de mercure) n'ont aucun emploi dans l'industrie. Ces sels, traités par l'acide sulfurique, donnent lieu à un dégagement d'acide acétique qui les fait aisément reconnaître. La chaleur décompose tous les acétates ; mais les produits de cette décomposition sont très variables, suivant la stabilité du sel. Les acétates les plus stables, tels que ceux de potasse et de chaux, donnent à la distillation un liquide extrêmement volatil, ayant une odeur éthérée qui porte le nom d'*esprit pyro-acétique* ou d'*acétone* (voir ce dernier mot). Les acétates peu stables, celui de cuivre par exemple, donnent lieu à un dégagement d'acide acétique très concentré ; enfin les acétates moyennement stables, comme ceux de plomb et d'argent produisent un mélange d'acide acétique et d'acétone. Les acétates employés dans les arts sont les suivants :

ACÉTATE D'ALUMINE (*angl.* acetate of alumina, *all.* essigsaure alaunerde). Ce sel est le *mordant* le plus habituellement employé pour fixer les couleurs sur les tissus. Sa solubilité permet de l'appliquer à l'état de dissolution très fortement chargée. Étant déliquescent, il reste, en se desséchant, sous forme de pâte, et il ne peut offrir l'inconvénient de détruire, en cristallisant, les dessins des étoffes. Enfin, la facilité avec laquelle il perd son acide le rend propre à céder au tissu dont il est imprégné, de l'alumine ou un sous-sel d'alumine capable de fixer les matières colorantes.

L'acétate d'alumine se prépare dans les ateliers en décomposant, à froid, l'alun par l'acétate de plomb ; il se précipite du sulfate de plomb, tandis qu'il reste dans la liqueur filtrée ou décantée de l'acétate d'alumine et de l'acétate ou du sulfate de potasse, suivant que l'on a employé plus ou moins d'acétate de plomb. L'acétate d'alumine que l'on obtient ainsi n'est donc pas pur, mais le sel avec lequel il est mêlé ne produit aucun effet nuisible sur les couleurs qu'il s'agit de fixer. 62 parties en poids d'alun octaédrique ordinaire sont complétement décomposées par 400 parties d'acétate de plomb.

L'acétate d'alumine se prépare aussi depuis quelque temps en traitant l'alumine pure par de l'acide acétique.

ACÉTATE DE CHAUX (*angl.* acetate of lime, *all.* essigsaures kalk). Voyez acide ACÉTIQUE.

ACÉTATES DE CUIVRE (*angl.* acetate of copper, *all.* essigsaures kupferoxid, grünspan). On en distingue jusqu'à cinq variétés, dont deux seulement, l'acétate neutre ou *verdet*, et le sous-acétate dit *vert-de-gris*, sont livrés au commerce. La fabrication de ces produits est surtout concentrée aux environs de Montpellier.

On prépare le *vert-de-gris* au moyen du marc de raisin ; pour cela, on place le marc dans des tonneaux défoncés ou dans de grands vases en terre, en le divisant le plus possible ; on couvre les vases et on abandonne le tout à lui-même, pour que la fermentation acide s'y développe. La masse s'échauffe, une odeur de vinaigre se fait sentir, et si on laissait l'action se continuer d'elle-même, la température s'élèverait au point de perdre une grande partie de l'acide : au bout de trois à quatre jours, dans les circonstances les plus ordinaires, on procède à la suite de l'opération ; mais si la formation de l'acide acétique n'a pas lieu assez promptement, on échauffe artificiellement le local où se trouvent les vases, au moyen de réchauds ; on prend soin de les couvrir avec des couvertures, pour prévenir la déperdition de la chaleur développée par l'acte de la fermentation, et de temps à autre on remue la masse pour que l'air y pénètre mieux. Quelquefois, au contraire, l'acétification fait des progrès si rapides, qu'une grande quantité d'acide se répand au dehors. Dans une bonne opération, la température du marc se maintient entre 35 et 40° centigrades. Les feuilles de cuivre que l'on emploie proviennent ordinairement du doublage des vaisseaux ; on commence par les diviser en plaquettes de 8 centimètres de large sur 12 à 16 centimètres de long, et pesant 250 grammes environ chaque. Ces plaquettes ne seraient que difficilement attaquées, si on n'avait eu préalablement soin de les frotter avec un linge imprégné d'une dissolution de vert-de-gris, et de les faire sécher ensuite à l'air en les plaçant de champ ; il suffit encore de les laisser quelque temps sur du marc, la surface s'oxyde, et la formation du vert-de-gris peut marcher avec facilité.

Pour savoir si le marc est à l'état convenable, on y laisse pendant vingt-quatre heures une lame de cuivre ; au bout de ce temps, elle doit être recouverte d'une couche mince de vert-de-gris. Si, au contraire, il s'y dépose des gouttelettes de liquide, la température est trop élevée. Cela fait, on forme dans des vases de terre nommés *ouïes* des couches alternatives de marc et de feuilles de cuivre, qui ont été élevées à une température telle qu'on ne puisse les toucher avec la main, en les tenant sur une grille placée dans un tonneau défoncé par les deux bouts, et au-dessous de laquelle on fait du feu. On reconnaît la fin de l'opération à ce que le marc blanchit ; on enlève alors les plaques de cuivre qui sont recouvertes de petits cristaux soyeux, on les pose de champ sur des bâtons, et à diverses reprises on les plonge dans l'eau et on les remet dans la même position. Après trois ou quatre immersions, qui ont lieu tous les cinq ou six jours, on gratte la surface avec un couteau pour détacher la couche de vert-de-gris, que l'on comprime dans des sacs de peau, de manière à lui donner la forme de pains cubiques, sous laquelle on le rencontre dans le commerce.

On place dans chaque vase 15 à 20 kilogrammes de cuivre, et on obtient environ 3 kilogrammes de vert-de-gris.

Dans cette opération, l'acide acétique, produit par la fermentation de l'alcool contenu dans le marc de raisin, détermine l'oxydation du cuivre, qui devient alors susceptible de se combiner avec l'acide ; mais il ne peut se former qu'un sous-sel, parce que l'acide est en faible quantité, relativement à celle du métal.

L'acétate neutre ou *verdet* est très vénéneux, soluble dans cinq fois son poids d'eau bouillante ; il s'obtient en faisant chauffer ensemble une partie en poids de vert-de-gris récemment préparé et deux parties de bon vinaigre distillé. On agite de temps en temps avec une spatule de bois, et quand la couleur du liquide n'augmente plus d'intensité, on le laisse déposer, puis on le décante. On verse de nouveau vinaigre sur le dépôt, et s'il se colore moins que le premier, on y ajoute un peu de vert-de-gris. Les résidus épuisés ne consistent qu'en cuivre peu oxydé. On les distribue en couches de 5 centimètres d'épaisseur, au plus, sur des planches étagées autour de l'atelier. On les humecte de temps en temps avec du vinaigre, et on renouvelle les surfaces. Celles-ci se recouvrent d'efflorescences que l'on traite comme le premier vert-de-gris. Quant à la dissolution, on la fait évaporer jusqu'à pellicule, et on la fait cristalliser dans des vases où l'on place des tiges de bois fendues en quatre à l'un des bouts, autour desquelles les cristaux viennent se grouper en grosses grappes.

En distillant au bain de sable l'acétate neutre de cuivre, il reste dans la cornue un résidu de cuivre métallique mêlé d'un peu de charbon, et on obtient dans le récipient un liquide formé d'un mélange d'acide acétique, d'eau, d'acétone, et d'acétate de deutoxyde de cuivre, troublé par quelque peu de cuivre très divisé. Ce produit liquide, rectifié par une nouvelle distillation, donne un acide composé d'acide acétique, d'un peu d'acétone et d'eau, qui est livré au commerce sous le nom de *vinaigre radical*.

ACETATES.

ACÉTATE DE FER (*angl.* acetate of iron, *all.* essigsaures eisenoxid). Ce sel se prépare aisément en traitant des rognures de fer ou de tôle par l'acide acétique étendu. Il est très soluble dans l'eau, de laquelle une douce évaporation le sépare en une gelée d'un rouge brun très foncé, déliquescente. On le prépare en grand dans les fabriques d'acide *pyroligneux*, pour les besoins de la teinture ; on emploie pour cet objet l'acide distillé. On avait d'abord essayé de se servir de l'acide qui n'avait subi aucune purification ; mais on obtenait alors un sel tellement impur qu'il ne contenait jamais moins de 2 p. 100 de goudron, lequel nuisait à la couleur que l'on fixait sur le tissu, et offrait plusieurs graves inconvénients. Comme le goudron qui s'attachait à la ferraille sur laquelle on versait l'acide pyroligneux, ne tardait pas à la recouvrir d'une couche épaisse qui la soustrayait à l'action dissolvante de l'acide, il fallait pour l'en débarrasser, la disposer de temps en temps en tas, et y mettre le feu ; le goudron brûlait, et la chaleur produite par la combustion produisait l'oxydation du fer.

On préfère aujourd'hui prendre l'acide distillé marquant 3° à l'aréomètre de Baumé, ce qui correspond à une richesse de 6 1/2 d'acide acétique anhydre pour 100 de liquide. On le verse sur de la tournure ou des copeaux de fer, disposés dans un tonneau à deux fonds, muni d'un robinet placé à la partie inférieure. Après quelque temps de contact, il se dégage des bulles d'hydrogène en assez grande quantité : ce qui s'écoule par le robinet est reversé de temps à autre dans le tonneau ; et au bout de trois ou quatre jours la dissolution est ordinairement achevée ; elle marque 10° à l'aréomètre ; on la concentre jusqu'à ce qu'elle arrive à 14 ou 15°. Arrivée à ce point, elle est livrée au commerce, et elle y est connue sous le nom de *bouillon noir*. Avec 10 parties de ferraille, on obtient 100 parties de bouillon noir.

ACÉTATE DE PLOMB (sel de Saturne ; *angl.* acetate of lead, sugar of lead ; *all.* essigsaures bleioxid, bleizucker). On prépare ce sel en dissolvant à chaud de la litharge dans de fort vinaigre de malt, de bois ou de vin, jusqu'à ce que l'acide soit complétement saturé. Pour faire cette opération sur une grande échelle, l'appareil le plus convenable que l'on puisse employer est une chaudière de cuivre doublée en plomb à l'intérieur. 325 parties d'oxyde de plomb bien pulvérisé, neutralisent 575 parties d'acide acétique marquant 7° à l'aréomètre de Baumé et donnent 960 parties d'acétate de plomb cristallisé. On verse peu à peu l'oxyde dans le vinaigre, et l'on agite constamment le mélange, afin d'empêcher les parties solides de s'attacher au fond, la dissolution se fait immédiatement avec une grande chaleur. On entretient l'élévation de température en faisant un peu de feu sous la chaudière dans laquelle on opère. On ajoute de l'eau provenant des lavages des opérations antérieures, et après avoir fait bouillir le tout, on laisse refroidir lentement et reposer. Il faut alors retirer avec un siphon la dissolution limpide, et la concentrer jusqu'à 32° B., en ayant soin d'y maintenir toujours un petit excès d'acide, pour empêcher la formation de sous-sels qui pourraient gêner la cristallisation ultérieure. Lorsque la liqueur concentrée est colorée, on la décolore en la filtrant sur une couche de noir en grains.

Les vases en faïence vernis au feu sont ceux qui conviennent le mieux pour cristallisoirs. On empêche l'acétate de s'attacher à leurs bords en les graissant avec du suif. Les cristaux obtenus doivent être égouttés et séchés dans une étuve, à une douce chaleur. Il est à remarquer que le linge, la paille, le bois, le papier imbibés d'acétate de plomb et séchés, prennent facilement feu et se consument comme des mèches. Quand les eaux mères ne déposent plus de cristaux, on les décompose par le carbonate de soude, ou par une petite quantité de chaux, et l'on obtient un carbonate ou un oxyde de plomb que l'on peut traiter avec de nouveau vinaigre. L'acétate de soude qui surnage peut fournir de l'acide acétique pur, en le traitant par l'acide sulfurique.

Il est essentiel de se servir d'un acide concentré pour préparer l'acétate de plomb ; autrement on perdrait beaucoup de temps à rapprocher les dissolutions. Le sel, extrait d'un liquide moyennement concentré, donne des cristaux à 4 et à 6 pans, qui sont incolores et transparents ; obtenu dans une dissolution plus concentrée, il cristallise en petites aiguilles qui jaunissent en se fondant, pour peu que l'acide dont on s'est servi soit impur. L'acétate de plomb est inodore, il a un goût métallique doux et astringent, une pesanteur spécifique de 2,345 ; il se conserve à l'air à la température ordinaire, mais lorsqu'on le chauffe à 57° 1/2, il éprouve la fusion aqueuse, perd son eau de cristallisation, et forme une poudre qui, à l'air, se transforme peu à peu en carbonate de plomb. Le sel cristallisé est efflorescent, et très soluble dans l'eau et l'alcool ; il rougit faiblement le papier de tournesol. Mais sa réaction sur les teintures de curcuma et de violette est alcaline. Il est formé de :

oxyde de plomb. . . .	58,74
acide acétique.	27,08
eau.	14,21
	100,00

On emploie souvent l'acétate de plomb dans l'impression sur calicot. Ce sel est un poison dont l'emploi exige une grande circonspection.

Il y a deux sous-acétates de plomb : le premier, qui est un tri-sous-acétate, a trois atomes de base pour un d'acide ; il est connu depuis longtemps sous le nom d'*extrait de Goulard*. On l'obtient en faisant digérer à chaud une dissolution d'acétate neutre avec de la litharge ou du massicot. Il se forme alors des écailles blanches, cristallines, qui ont une saveur moins douce que celle de l'acétate neutre de plomb, ne se dissolvent que dans 30 fois leur poids d'eau, sont insolubles dans l'alcool, et font éprouver une réaction alcaline très marquée au papier de tournesol. L'acide carbonique en précipite le plomb à l'état de carbonate, ainsi que l'a indiqué *Thénard*, en parlant de la fabrication du blanc de plomb. Le sous-acétate est formé de 88,66 d'oxyde et de 13,34 d'acide. On s'en sert pour préparer le sous-chromate orangé de plomb, et il est quelquefois employé en chirurgie.

On peut encore obtenir un autre *sous-acétate* à 6 atomes de base, en ajoutant un excès d'ammoniaque à la dissolution du sel précédent, et en lavant le précipité avec de l'eau ammoniacale. On obtient alors une poudre blanche, soluble dans l'eau bouillante, et qui, par le refroidissement, se dépose sous la forme de paillettes blanches soyeuses. Ce sel se compose de 92,86 d'oxyde et de 7,14 d'acide.

ACÉTATE DE SOUDE (*angl.* acetate of soda, *all.* essigsaures natron.) Voy. acide ACÉTIQUE.

ACÉTATES (*nouveau procédé de préparation des*). Quelques-uns des acétates que nous venons d'indiquer peuvent se préparer par un procédé qui a pris naissance dans les fabriques d'acide pyroligneux, et qui est appliqué depuis l'année 1844 dans la fabrique de Choisy-le-Roi. La matière première est l'acétate de soude torréfié, que l'on obtient, comme il est dit à l'article acide ACÉTIQUE, par la réaction simultanée de l'acide acétique, du sulfate de soude et de la craie. En traitant une dissolution de cet acétate de soude, par un sulfate soluble, également en dissolution, comme les sulfates de cuivre ou de fer, il y a double décomposition ; il se forme un acétate avec la base du sulfate employé, et du sulfate de soude dans les deux cas. On

arrive facilement à séparer l'acétate de cuivre ou de fer, du sulfate de soude, par l'évaporation et par la différence de solubilité de ces sels; les opérations sont en un mot tout à fait les mêmes que lorsqu'il s'agit de séparer deux sels solubles, et cristallisables à des degrés de concentration différents.

L'acétate de fer et l'acétate de cuivre s'obtiennent très bien par ce procédé; mais il est évident que l'acétate de plomb ne se trouve pas dans les mêmes conditions, puisque le sulfate est insoluble.

Le sulfate de soude qui résulte de cette méthode très ingénieuse, de préparer les acétates de fer et de cuivre, sert à décomposer l'acétate de chaux pour obtenir de nouveau de l'acétate de soude. Il n'y a donc de perdu dans cette opération que le déchet inévitable que l'on éprouve toujours en fabrication. Les acétates que l'on obtient sont très purs quoiqu'ils n'aient pas été préparés avec de l'acide acétique rectifié, ce que l'on est obligé de faire dans la préparation directe; on évite donc une distillation toujours assez coûteuse.

ACÉTIFICATION. Voyez acide ACÉTIQUE.

ACÉTIMÈTRE. Appareil pour déterminer la force ou le degré d'acidité du vinaigre. Voyez à la fin de l'article acide ACÉTIQUE.

ACIDE ACÉTIQUE (*angl.* acetic acid, *all.* essigsäure.) C'est le nom du principe acide qui constitue le vinaigre; on le trouve tout formé dans plusieurs produits du règne végétal; et il résulte de la fermentation spontanée de plusieurs sucs végétaux et animaux. Le *sambucus nigra* ou *sureau noir*, le *phœnix dactilifera* et le *rhus typhinus* sont des plantes dont on peut extraire une grande quantité de vinaigre. On trouve aussi cet acide dans la sueur, l'urine, le lait et l'estomac des animaux. Toute infusion de matière animale ou végétale dans l'eau, exposée à l'air pendant quelque temps à une température modérée, éprouve la fermentation acide. Beaucoup de végétaux, lorsqu'ils sont soumis à la décomposition par le feu, donnent aussi des vapeurs d'acide acétique que l'on peut condenser. Tous les liquides contenant de l'alcool, de l'eau et du gluten sont susceptibles de se transformer en vinaigre; mais la préexistence de l'alcool n'est point nécessaire à ce changement, ainsi que nous le voyons par l'acétification des soupes végétales et celle des infusions de choux, d'amidon, de colle, etc.

On peut distinguer quatre variétés de vinaigres suivant leur mode de préparation, quoiqu'ils puissent tous être convertis par des moyens chimiques en un acide acétique identique. Ce sont : 1° le vinaigre de vin; 2° le vinaigre de grain; 3° le vinaigre de sucre; 4° le vinaigre de bois, autrement dit, acide pyroligneux. C'est par la fermentation que l'acide se forme dans les trois premières variétés. Il se produit d'abord de l'alcool, et celui-ci est ensuite transformé en vinaigre sous l'influence de l'air, à une température convenable; changement dont nous nous occuperons avec plus de détails au mot FERMENTATION. Mais la conversion de l'esprit-de-vin en acide acétique peut se démontrer par une expérience directe. Lorsque la vapeur d'alcool est mise en contact, dans l'air atmosphérique, avec la poudre noire qui résulte de la précipitation du chlorure double de platine et de potassium par l'alcool, il se forme rapidement du vinaigre aux dépens de l'alcool employé. En Allemagne, où l'alcool commun est à bas prix, on a monté des fabriques de vinaigre sur ce principe. Comme ce procédé jette quelques lumières sur les phénomènes qui se passent dans l'acétification, nous allons le décrire en peu de mots.

On met sous une large cloche plusieurs soucoupes en terre cuite ou en bois, qu'on range sur des tablettes superposées les unes aux autres à une distance de quelques pouces. On suspend ensuite au-dessus de chaque soucoupe, préalablement remplie d'esprit-de-vin, une certaine quantité de noir de platine humecté. On a soin de placer ce simple appareil dans un endroit éclairé (exposé au besoin aux rayons du soleil) maintenu à une température de 20° à 30° centigrades, et on favorise l'évaporation de l'alcool en suspendant sous la cloche plusieurs feuilles de papier buvard, de manière que leurs bords inférieurs plongent dans le liquide. Quelques minutes après, on voit se produire un phénomène des plus intéressants. L'action mutuelle du noir de platine et de l'alcool se manifeste par une augmentation de température, et donne lieu à la formation de vapeurs acides qui viennent se condenser sur les parois de la cloche d'où elles tombent en ruisselant vers le fond. Cette transformation remarquable continue jusqu'à ce que tout l'oxygène de l'air renfermé sous la cloche soit absorbé. Si l'on veut alors que l'opération ne s'arrête pas, il suffit de renouveler l'air, ce qui est l'affaire d'un instant. Avec une caisse ayant une capacité de 700 litres et 200 à 240 grammes de poudre de platine, on peut, dans le cours d'une journée, convertir un kilogr. d'alcool en acide acétique pur, pouvant servir à toute espèce d'usages, soit culinaires, soit chimiques. Avec 20 ou 30 kilogr. de cette même poudre (qui ne s'use pas) on peut transformer journellement près de 300 kilogr. de mauvais esprit-de-vin en vinaigre de première qualité.

Voici quels sont les nombres qui représentent la conversion de l'alcool en acide acétique :

574,88 part. en poids d'alcool $= H^{12} C^4 O^2$ renfermant
74,88 » » d'hydrog. $= H^{12}$
300,00 » » carbone $= C^4$
200,00 » » oxygène $= O^2$

étant combinées au moyen du procédé ci-dessus avec 400 parties d'oxygène $= O^4$. On aura :

Eau $= 337,44 = H^6 O^3$
Acide acétique $= 637,44 = H^6 C^4 O^3$

Ainsi, dans la formation du vinaigre, 100 parties en poids d'alcool s'emparent de 69,6 parties d'oxygène; et il se produit 58,4 parties d'eau, et 111,2 d'acide acétique.

Ces belles expériences prouvent que dans un simple mélange d'alcool et d'eau, il se forme du vinaigre, après un temps considérable, et que, sous la double influence de l'air atmosphérique et de la chaleur, il s'en forme également, d'une manière toute semblable mais beaucoup plus efficace, en présence d'un ferment qui exerce alors une action à peu près analogue à celle du noir du platine dans le cas actuel. Plusieurs substances azotées peuvent servir à provoquer et accélérer la fermentation acide, telles sont le vinaigre déjà fait, son résidu ou sa lie, l'orge germé, le levain, la levure de bière et toute matière végétale semblable qui contient du gluten. Toutefois, le meilleur des ferments est le vinaigre lui-même. Nous devons y joindre, comme une condition essentielle de l'acétification, l'accès libre de l'air atmosphérique.

C'est un fait bien connu que les liqueurs spiritueuses telles que l'eau de-vie faible, le vin, la bière, etc., peuvent être conservées pendant des années en vases clos, sans éprouver la fermentation acide, même lorsque le liquide repose sur un dépôt de lie; personne n'ignore non plus que si ces mêmes liquides sont renfermés dans des vases ouverts, ils s'aigrissent promptement, surtout lorsqu'ils sont exposés à une température tant soit peu élevée. Si l'on remplit un flacon d'eau-de-vie commune, et qu'on le laisse débouché sous l'influence de l'air et de la chaleur, la liqueur peut ne manifester aucun signe sensible d'acidité, même après plusieurs semaines : si on ajoute à l'eau-de-vie un ferment, et qu'on tienne le flacon privé d'air et hermétiquement bouché, il ne se manifestera encore aucun changement; mais si on a laissé dans le flacon une certaine quantité d'air, ou bien si on

l'a tenu débouché, l'eau-de-vie ne tardera pas à s'aigrir.

En s'assurant de la nature du gaz qui vient à la surface du liquide pendant l'acte de l'acétification, on trouvera que ce n'est plus qu'un mélange d'acide carbonique et d'azote, tout l'oxygène ayant été transformé en acide acétique et en eau.

Puisque cette absorption de l'oxygène de l'air ne peut avoir lieu qu'à la surface des liquides en fermentation, nous voyons par là la nécessité et l'importance pratique qu'il y a d'amplifier cette surface pour accélérer l'acétification et la rendre plus complète en multipliant les points de contact entre l'alcool et l'oxygène de l'air. La nouvelle méthode allemande de M. *Schutzenbach* pour obtenir une acétification rapide repose tout à fait sur ce principe.

La température exerce aussi une influence remarquable dans la formation du vinaigre; la fermentation acide marche lentement sous une basse température, et s'accélère rapidement à mesure que celle-ci s'élève. Il paraîtrait même que les vapeurs spiritueuses qui viennent d'elles-mêmes se mettre en contact avec l'air atmosphérique, peuvent, sans l'intervention d'aucun ferment, être converties en acide acétique, car on a vu l'acidité se manifester dans la simple opération de la rectification de l'eau-de-vie, dans un alambic muni d'un grand chapiteau auquel était adapté un tube qui permettait à l'air de s'introduire dans l'intérieur. Ainsi la chaleur ne semble pas se borner seulement à provoquer la combinaison de l'alcool avec l'oxygène sous le point de vue purement chimique, elle agit encore, si l'on peut parler ainsi, physiquement. A la surface du liquide chauffé, on voit flotter une couche de vapeurs spiritueuses, laquelle venant pour ainsi dire lutter là avec l'oxygène atmosphérique, donne probablement lieu à la formation d'une certaine quantité d'acide acétique qui accélère ensuite l'opération beaucoup plus que ne fait le simple contact de l'oxygène avec la surface liquide.

Lorsqu'on expose à l'action de l'air des liquides spiritueux, tels que le vin, la bière, etc., avec la quantité de ferment nécessaire, et à une température de 17 à 20 degrés centigrades, le liquide, de clair qu'il était auparavant, devient trouble en peu de temps; on commence par apercevoir de petits filaments visqueux, nageant au milieu et sur les côtés du vase, qui viennent ensuite former une écume au-dessus de la liqueur. Lorsque cette écume a acquis une certaine épaisseur et une certaine consistance, elle tombe au fond sous la forme d'un sédiment, auquel on a donné le nom de *mère de vinaigre*, ou simplement *mère*, parce qu'il sert à déterminer l'acétification de nouvelles liqueurs. En même temps la température du liquide s'est élevée au-dessus de la température ambiante, et les progrès de la transformation en vinaigre, se trahissent par un arome particulier qui se répand dans le laboratoire. Lorsque tout l'alcool employé a été converti en acide acétique, la température descend au même point que celle de l'atmosphère, le liquide s'éclaircit, et devient un article commercial bien connu par son goût et son odeur, sous le nom de vinaigre.

Le vinaigre de vin diffère des vinaigres de cidre, de sucre, de bière, etc., en ce qu'il contient du tartre; c'est cette particularité qui le fait distinguer des autres, à moins que pour déguiser ceux-ci, on n'y ait ajouté artificiellement une certaine dose de tartre du commerce. Le vinaigre de drêche contient une certaine quantité d'acide phosphorique, à l'état de phosphate de chaux ou de magnésie provenant du grain.

Ces considérations générales sur l'acétification étant posées, nous allons maintenant décrire les procédés suivis dans la fabrication des vinaigres livrés au commerce.

1° *Vinaigre de vin.* — Le premier objet dont doit s'occuper un fabricant de vinaigre, c'est d'avoir un bon atelier de fermentation où les vins puissent être soumis à une température constante, et toujours en présence d'une quantité suffisante d'air atmosphérique. Comme cet air est rapidement privé de son oxygène, il doit être pourvu d'avance au moyen de le renouveler, par une ventilation modérée. Les soupiraux ménagés dans ce but, doivent être disposés de manière à pouvoir être fermés aussitôt que la température commence à s'abaisser par trop, ou bien lorsqu'il fait du vent. Le meilleur moyen de procurer une chaleur convenable à un atelier de ce genre, c'est d'employer des tuyaux de poêles, ou des tubes, dans lesquels circule de l'eau chaude, placés les uns ou les autres le long du parquet, sur les côtés, et aux extrémités de l'atelier, ainsi qu'on le pratique pour les étuves; on place le foyer en dehors, afin qu'aucune poussière ne pénètre dans l'atelier. Un tuyau de briques ayant une section de 25 à 30 centim. en travers sur 38 centim. de profondeur vaudrait encore mieux. La suie qui se dépose, même lorsqu'on brûle du charbon, trouverait assez d'espace dans un tuyau de cette dimension pour ne pas nécessiter de ramonage, et par conséquent d'interruption pendant un long espace de temps. L'atelier sera toujours mieux placé au rez-de-chaussée, que dans toute autre partie de la maison; il convient que les murs soient épais, construits avec des matériaux peu conducteurs de la chaleur, tels que des briques, qu'on recouvrirait avec des lattes et du plâtre gâché; si toutefois le local avait un plafond élevé, les cuves de fermentation pourraient être rangées sur un échafaudage, et placées à une hauteur convenable pour mieux profiter de la chaleur des couches d'air supérieures.

La ville d'Orléans est très célèbre pour ses fabriques de vinaigre. Les ateliers destinés à cette fabrication y portent le nom de *vinaigreries;* ils sont indifféremment placés sur le sol, ou sur un plancher qu'on y a superposé; mais on a toujours soin de les exposer au midi, afin de profiter de l'influence des rayons solaires. Les vaisseaux employés pour l'acétification sont des tonneaux nommés *mères.* Aujourd'hui ce sont des futailles en chêne de 230 litres au plus, très solides, et cerclées en fer. Il est maintenant bien constaté que le vin s'aigrit d'autant plus promptement que la masse sur laquelle on opère est plus petite, que la surface de contact avec l'air atmosphérique est plus grande, et que la température est plus convenable. Ces tonneaux étaient autrefois disposés sur trois rangs par le moyen d'un échafaudage massif; on les place aujourd'hui sur quatre rangs, et ils reposent sur des solives plus petites, qui permettent de les rapprocher les uns des autres. Les barriques qui sont placées horizontalement, sont percées à la partie supérieure du fond antérieur, de deux trous, l'un de ces trous s'appelle *l'œil*, il a deux pouces de diamètre; il sert à introduire le liquide dans le tonneau, et à en soutirer le vinaigre, lorsqu'il est fait; l'autre trou beaucoup plus petit, et placé tout à côté du premier, sert à donner issue à l'air intérieur, lorsqu'on remplit le tonneau, vu qu'alors l'entonnoir bouche complétement *l'œil.*

Lorsque les tonneaux sont neufs, on commence par se procurer du meilleur vinaigre; on le fait bouillir, et on en remplit au tiers tous les tonneaux; c'est sur cette première portion, qui devient la vraie *mère,* de tout le vinaigre, que l'on ajoute successivement tout le vin à acidifier. Dans cette manipulation, on commence ordinairement par ajouter à la *mère* qui occupe le tiers du tonneau un broc de dix litres de vin rouge ou blanc; huit jours après, on en ajoute un second, puis un troisième, puis un quatrième, en observant toujours le même intervalle de temps. Après cette dernière charge, on soutire environ 40 litres de vinaigre, et l'on recommence les additions successives.

ACIDE ACÉTIQUE.

Il est nécessaire que le tonneau reste toujours à moitié vide, si l'on veut que l'acétification s'opère régulièrement. Mais comme il se forme du tartre et de la lie, qui en s'accumulant au fond du tonneau finissent par contrarier et ralentir la fermentation, il arrive un moment où il faut interrompre l'opération, pour enlever ce résidu, et nettoyer tous les tonneaux. Le matériel doit être renouvelé tous les dix ans; mais si les tonneaux ont été bien faits et sont bien réparés, ils peuvent durer 25 ans.

Nous venons d'établir une période déterminée après laquelle on soutire le vinaigre fait; mais c'est dans la supposition que l'opération a eu tout le succès qu'on peut désirer : il y a des circonstances, difficiles à apprécier, qui en modifient la marche, et que nous allons maintenant exposer. On doit donc, avant de soutirer, déguster le liquide, et s'assurer que la fermentation a été complète. On procède comme il suit : on plonge dans la liqueur un bâton blanc recourbé par un de ses bouts, et on le retire en le levant dans la situation horizontale; s'il est recouvert d'une écume blanche et épaisse, à laquelle on donne le nom de *travail*, on en conclut que l'opération est terminée; mais si le *travail*, au lieu d'être blanc et perlé, est rouge, les fabricants regardent la fermentation comme non achevée, et ils cherchent alors à l'accélérer, soit en ajoutant de nouveau vin, soit en élevant la température de l'atelier.

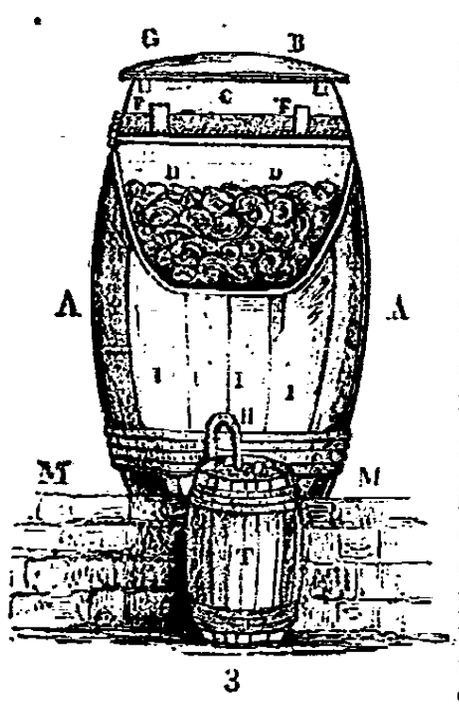
Il n'est pas facile d'expliquer pourquoi, dans certains cas, la fermentation marche plus lentement que dans d'autres. Il se présente même quelquefois des phénomènes singuliers dont on ne peut se rendre compte. Ainsi il arrive parfois que quoique tous les tonneaux aient été également alimentés avec le même vin, la fermentation ne se fait cependant pas de la même manière dans tous; elle marchera plus rapidement dans quelques-uns, et elle sera languissante ou inerte dans d'autres. C'est là une anomalie embarrassante; on l'a attribuée à l'électricité, et à d'autres causes obscures, faute de pouvoir l'expliquer par le défaut de chaleur, puisqu'il arrive souvent, contrairement à l'une des lois générales que nous avons énoncées plus haut, que les tonneaux qui sont placés dans les parties les plus chaudes de l'atelier sont le plus en retard, on ne peut non plus attribuer cette singularité à la nature du bois dont sont faits les tonneaux. L'opération est quelquefois paralysée d'une manière si complète, que les fabricants les plus experts n'ont pas d'autre moyen, lorsque cet accident arrive, que de vider entièrement ces tonneaux, qu'ils appellent paresseux, puis de les remplir de leur meilleur vinaigre. La fermentation s'y établit alors de nouveau, et y marche aussi bien que dans les autres. (Voyez au mot FERMENTATION.)

Nous devons faire ici une remarque importante relativement à la température que l'on doit préférer dans un local propre à la fermentation. On trouve dans beaucoup d'ouvrages de chimie que cette température ne doit pas dépasser 22° à 23° centigrades, de crainte d'obtenir de mauvais produits. Cependant les vinaigriers maintiennent toujours leurs ateliers à une température de 30° centigrades environ, c'est celle qui fait marcher rapidement l'acétification, tout en donnant du vinaigre aussi fort que les températures plus basses. La meilleure preuve que cette température n'est pas trop élevée, c'est que, sous son influence, les tonneaux qui sont placés à la partie supérieure de l'atelier travaillent mieux et plus vite que les autres. A Orléans on se procure cette chaleur avec des poêles de fonte qu'on chauffe avec du bois.

Avant de verser le vin dans les *mères*, on le clarifie de la manière suivante : On a de grandes futailles, qui peuvent contenir de 12 à 15 pièces de vin, et qui portent au centre du fond supérieur une ouverture de 10 à 12 centim. de diamètre, qu'on peut boucher ensuite avec un tampon en bois; cette ouverture ou bonde est destinée à recevoir le goulot d'un gros entonnoir. L'intérieur de la futaille est rempli de copeaux de bois de hêtre bien tassés. On verse le vin sur ces copeaux, et on l'y laisse séjourner pendant quelque temps, puis on le soutire doucement par un robinet placé au bas du tonneau. La lie se dépose sur les copeaux, et le vin sort tout à fait clair. Cependant il arrive quelquefois que malgré cette précaution, le vinaigre, lorsqu'il est fait, exige une nouvelle clarification, surtout lorsqu'on a employé du vin faible. Cette clarification s'exécute comme nous venons de l'indiquer pour le vin, et a l'avantage de mélanger les produits des divers tonneaux, de manière à donner un vinaigre d'une qualité uniforme.

Cette méthode, telle qu'elle est pratiquée à Orléans, exige plusieurs semaines avant que l'acétification soit complète. Récemment, en Allemagne, M. Schutzenbach a trouvé le moyen de hâter considérablement la fermentation acide par une disposition particulière des appareils. On a donné à ce système le nom de *Vinaigrerie rapide*, parce qu'en effet, l'opération de l'acétification est complète en deux ou trois jours, et même souvent dans un temps plus court encore. Il est fondé principalement sur une construction particulière des vaisseaux de fermentation, qui permet de multiplier considérablement les points du contact des liqueurs alcooliques avec l'air atmosphérique.

Voici la description de ces appareils, extraite du journal polytechnique de *Dingler*.



3

Un *poinçon* ou *tonneau* AA (fig. 3), de 2 mètres de hauteur, 1 mètre de diamètre, et pouvant contenir 14 à 15 hectolitres, est surmonté d'un couvercle B, qui ferme exactement, mais qu'on peut enlever à volonté. Ce tonneau est en chêne et fortement cerclé en fer. A un demi-pied du haut, il est muni intérieurement d'un cercle très fort en chêne ou en hêtre, qui porte un fond mobile C. L'espace au-dessous de ce fond est destiné à l'acétification du liquide, et pour que celui-ci soit le plus possible en contact avec l'air atmosphérique, on a disposé l'appareil de la manière suivante. Le fond mobile C est percé comme un crible de trous de 3 à 4 millimètres de diamètre, et distants les uns des autres de 35 à 40 millimètres. Dans chacun de ces trous est passée une ficelle DD, de 16 à 17 centimètres de longueur, qui pend dans l'intérieur du tonneau, et est retenue par le haut à la surface supérieure du fond au moyen d'un nœud. Ce nœud doit être d'une grosseur telle, qu'il permette seulement à un liquide versé sur le fond de s'écouler goutte à goutte, et pour empêcher l'infiltration sur les bords du cercle intérieur, on garnit et on bourre les jours ou fentes avec du coton, de l'étoupe ou du vieux linge. L'espace inférieur du tonneau est presque entièrement rempli de copeaux minces de hêtre rouge, bien sains, tassés et non foulés. Le liquide qui filtre le long des ficelles tombe goutte à goutte sur ces copeaux, coule sur eux avec lenteur, et arrive au fond du tonneau où il se rassemble. Ces copeaux avant d'être

placés dans le tonneau ont été échaudés à l'eau bouillante, séchés, puis arrosés à plusieurs reprises avec de bon vinaigre chaud. Pour le renouvellement continuel de l'air, ce vase est percé à environ 30 à 35 centim. de son fond inférieur de 8 trous I, I..., également espacés, de 16 à 18 millimètres de diamètre, percés dans une direction plongeant vers l'intérieur et par lesquels l'air pénètre, sans que le liquide qui s'écoule le long des parois intérieures puisse s'échapper au dehors. Pour que l'air dépouillé de son oxygène, par suite de la formation de l'acide acétique, puisse être porté au dehors de l'appareil, on a ménagé dans le fond C, 4 grandes ouvertures équidistantes, dont la surface totale est un peu moindre que celle des 8 trous I, I..., pratiqués près du fond du tonneau. Sur ces ouvertures sont établis des tubes en verre F, F..., qui s'élèvent de quelques centimètres au-dessus du fond, afin que les premières ne laissent pas écouler le liquide qu'on verse sur celui-ci. C'est par ces ouvertures tubulées que l'air chargé d'acide carbonique s'échappe, et afin d'en favoriser l'expulsion au dehors, on perce dans le couvercle B, une autre ouverture G, de 60 à 65 millimètres de diamètre, qui sert en même temps, au moyen d'un entonnoir, à ajouter du nouveau liquide, après que celui versé précédemment, a filtré de la première capacité du tonneau dans la seconde, et s'est rassemblé dans la partie inférieure.

Pour être à même de connaître la température à l'intérieur de l'appareil, on a percé dans les parois, vers le milieu, un trou incliné, de dehors en dedans, et fermé par un bouchon dans lequel glisse un thermomètre.

Enfin pour faire écouler le liquide qui se rassemble au fond du tonneau, avant qu'il ait atteint les trous I, I..., qui renouvellent l'air, on perce un peu au-dessus de ce fond une ouverture qui reçoit un bouchon au travers duquel passe un tube de verre en forme de siphon H, disposé de telle sorte que sa courbure n'atteigne pas tout à fait les trous I, I..., et que l'ouverture de sa branche la plus courte se trouve à environ 8 centimètres au-dessous du plan des trous: Le liquide qui s'écoule lentement par le siphon est reçu dans un tonnelet T, et le tonneau lui-même est établi sur un bâtis en bois, ou un petit massif en maçonnerie M, de 30 à 40 centimètres de hauteur.

Une cuve construite ainsi que nous venons de le décrire, s'appelle un *tonneau de graduation*. Voici maintenant comment on opère : l'atelier doit être d'abord chauffé à une température de 40 à 45° centigrades ; jusqu'à ce que le thermomètre centigrade du tonneau de graduation marque au moins 25°, on laisse alors tomber le feu, puis on verse par l'ouverture G du couvercle supérieur de la cuve, un mélange de 8 parties d'eau-de-vie, de 25 parties d'eau de pluie ou de rivière, de 15 parties de bon vinaigre, et d'une égale quantité de vin pur ou de bière, le tout chauffé à 62° centigrades. On commence par faire chauffer l'eau, puis on y ajoute le vinaigre, l'eau-de-vie et le vin ou la bière froids. On ne verse de ce mélange sur le second couvercle qu'autant qu'il en faut pour le recouvrir sur une hauteur de 6 à 8 centimètres. On ajoute ensuite peu à peu le reste, à mesure que le liquide déjà versé s'écoule dans la partie inférieure du tonneau.

Le liquide qui n'a traversé qu'une seule fois le tonneau de graduation, n'est pas encore suffisamment acidifié ; aussi le vinaigre faible qui en résulte et que l'on recueille dans le tonnelet T est introduit une seconde, et même, s'il le faut, une troisième fois dans la cuve, afin de convertir tout l'alcool en acide acétique. Il faut remarquer, qu'en général, plus la liqueur vineuse est forte, plus elle est difficile et lente à se convertir en vinaigre, mais celui-ci n'en est que plus fort. Afin de diminuer jusqu'à un certain point cette difficulté, il serait convenable de ne pas mettre toute l'eau-de-vie à la première fois dans le mélange, mais de l'ajouter à mesure qu'on repasse une deuxième ou une troisième fois le liquide dans le tonneau de graduation, surtout lorsqu'on désire obtenir du vinaigre très fort,

Quand l'appareil est en activité depuis quelques jours, il ne devient plus nécessaire d'ajouter du vinaigre et de la bière au mélange d'eau-de-vie ou de vin et d'eau, car alors les parois de la cuve, les copeaux et les mèches sont imprégnés du ferment. Le mélange que l'on introduit dans le tonneau doit toutefois toujours être préalablement porté à la température de 40 à 45° centigrades.

Au lieu du mélange ci-dessus d'eau-de-vie, d'eau et de vin, généralement usité en Allemagne, on peut employer, d'après *Dingler*, du moult de drèche fermenté, clarifié et mêlé avec une petite quantité d'alcool. Le vinaigre que l'on recueille dans le tonnelet T, lorsque l'acétification est complétement terminée, peut être mis immédiatement dans les tonneaux destinés à la vente.

On a objecté contre ce dernier procédé, que par l'effet du mélange de matières sucrées et glutineuses qui sont contenues dans la bière ou dans le moult, en même temps qu'il y a la fermentation acéteuse, il se produit aussi, en partie, une fermentation vineuse qui donne lieu à un dégagement d'acide carbonique assez considérable pour arrêter l'acétification. Mais on peut remédier à cet obstacle en rendant la circulation de l'air plus libre, ou en mettant dans l'atelier de la chaux vive. On a fait à ce système une autre objection plus grave : c'est que, à la suite de l'addition répétée de la bière, etc., il se dépose beaucoup de lie dans la cuve de graduation, ce qui oblige de la nettoyer fréquemment, ainsi que les copeaux, et donne lieu à une perte inévitable de temps et de vinaigre. Le seul moyen d'obvier à cet inconvénient, c'est de n'employer le mélange liquide qu'après l'avoir bien clarifié.

Un autre inconvénient, inhérent à la rapidité de l'acétification, est une perte par évaporation des parties spiritueuses des liquides employés. Puisque dans la cuve de graduation il existe une température de 40 à 45° centigrades, il devient impossible d'éviter la perte d'une certaine quantité de vapeurs alcooliques, entraînées par la circulation de l'air. Il est vrai que l'air qui s'échappe par l'ouverture du couvercle supérieur pourrait être forcé de traverser à sa sortie un appareil réfrigérant, où les vapeurs alcooliques se condenseraient en grande partie; mais, après tout, cette crainte d'éprouver par là de grandes pertes, est, nous le pensons, sans fondement; car l'alcool est rapidement acidifié par l'oxygène de l'air, et perd alors sa volatilité.

La cuvette qui doit fournir au fur et à mesure le mélange liquide et chaud, à la cuve de graduation, doit être placée près du plafond de l'atelier où la température est plus élevée, et elle doit être remplie de nouveau avec le liquide faiblement acétifié qui s'écoule dans le récipient T, qui est placé sous le siphon. Il est convenable, pour atteindre ce but, de placer deux cuvettes à la partie supérieure, et de tenir toujours le liquide de l'une d'elles assez chaud pour que l'opération marche sans interruption.

Procédé de M. Pasteur. — M. Pasteur, en poursuivant ses travaux sur les fermentation, a dû analyser les conditions de la production du vinaigre à l'aide de boissons alcooliques.

Il a été ainsi conduit à un mode d'opérer qui résume l'ensemble de ses recherches et que je reproduirai ici. Il consiste à favoriser directement le développement du *mycoderma aceti*, plante qui est l'agent direct de la fermentation acétique dans la pratique de l'industrie, ce qui paraît heureusement résumer les conditions auxquelles la fabrication industrielle doit satisfaire.

« Les meilleurs vases à employer, dit M. Pasteur, sont des cuves de bois rondes ou carrées, peu profondes, analogues à celles qui servent dans les bras-

ACIDE ACÉTIQUE.

series à refroidir la bière, et munies de couvercles. Aux extrémités sont deux ouvertures de petites dimensions pour l'arrivée de l'air. Deux tubes de gutta-percha fixés sur le fond de la cuve et percés latéralement de petits trous servent à l'addition des liquides alcooliques sans qu'il soit nécessaire de soulever les planches du couvercle ou de déranger le voile de la surface.

« Les plus grandes cuves que la place dont je disposais m'ait permis d'utiliser avaient 1 mètre carré de surface et 20 centimètres de profondeur. J'ajoute que les avantages du procédé ont été d'autant plus sensibles que j'ai employé des vases de plus grandes dimensions et que j'ai opéré à une plus basse température.

« Je sème du mycoderme à la surface du liquide qui doit tenir des phosphates en dissolution. Ils sont indispensables. Ce sont les aliments minéraux de la plante. Bien plus, si au nombre de ces phosphates se trouve celui d'ammoniaque, la plante emprunte à la base de ce sel tout l'azote dont elle a besoin; de telle sorte que l'on peut provoquer l'acétification complète d'un liquide alcoolique renfermant environ un dix-millième de chacun des sels suivants: phosphates d'ammoniaque, de potasse, de magnésie, ces derniers étant dissous à la faveur d'une petite quantité d'acide acétique, lequel fournit en même temps que l'alcool tout le carbone nécessaire à la plante.

« Quels sont les avantages de ce nouveau procédé d'acétification? Avant de les indiquer, je rappelerai qu'il existe aujourd'hui deux procédés industriels de fabrication du vinaigre. L'un, connu sous le nom de procédé d'Orléans, est surtout en usage dans le Loiret et dans la Meurthe. On ne peut l'appliquer qu'au vin. Dans des tonneaux de 200 litres environ de capacité, disposés par rangées horizontales, on place du vinaigre de bonne qualité, environ 100 litres par tonneau, et un dixième de volume en vin ordinaire de qualité inférieure. Après six semaines ou deux mois d'attente, plus ou moins, on retire tous les huit ou dix jours 10 litres de vinaigre et on ajoute 10 litres de vin. Une fois en travail, chaque tonneau fournit donc environ 10 litres de vinaigre tous les huit jours. On ne touche d'ailleurs aux tonneaux que lorsqu'ils ont besoin de réparations.

« Un autre procédé est connu sous le nom de procédé des copeaux de hêtre, ou procédé allemand. Le liquide que l'on veut acétifier tombe goutte à goutte par les extrémités de tuyaux de paille ou de ficelles sur des copeaux de bois de hêtre entassés dans de grands tonneaux. Ce procédé est très-expéditif, mais ne peut guères s'appliquer au vin, mais seulement à l'alcool; il est reconnu que ses produits sont de qualité inférieure.

« Je ferai remarquer que la supériorité des vinaigres d'Orléans ne tient pas uniquement, comme on serait porté à le croire, à ce qu'ils sont fabriqués avec du vin, mais surtout à leur mode même de fabrication, qui conserve au vinaigre ses principes volatils indéterminés, d'odeur agréable, principes qu'enlèvent à peu près entièrement le courant d'air et l'élévation de la température dans la fabrication des vinaigres d'alcool. Grâce à ces principes, le vinaigre d'Orléans paraît plus fort à l'odorat et au goût que les vinaigres d'alcool, lors même que la proportion d'acide n'y est pas supérieure et quelquefois moindre.

« Mais il est utile d'entrer dans quelques détails sur un inconvénient très-singulier du procédé d'Orléans, qui a été tout à fait inaperçu jusqu'à présent. Cet inconvénient est dû, comme je vais l'expliquer, à la présence bien connue, dans les tonneaux de fabrication, des anguillules du vinaigre.

« Tous les tonneaux, sans exception, dans le système de fabrication d'Orléans en sont remplis, et comme on ne les enlève jamais que partiellement, puisque de 100 litres de vinaigre on ne retire que 10 litres tous les huit jours, en rajoutant 10 litres de vin, leur nombre est quelquefois prodigieux. Or ces animaux ont besoin d'air pour vivre: d'autre part, mes expériences établissent que l'acétification ne se produit qu'à la surface du liquide, dans un voile mince de *Mycoderma aceti* qui se renouvelle sans cesse. Supposons ce voile bien formé en travail d'acétification active, tout l'oxygène qui arrive à la surface du liquide est mis en œuvre par la plante, qui n'en laisse pas du tout aux anguillules. Ceux-ci alors se sentent privés de la possibilité de respirer, et, guidés par un de ces instincts merveilleux dont tous les animaux nous offrent à des degrés divers de si curieux exemples, se réfugient sur les parois du tonneau, où ils viennent former une couche humide, blanche, épaisse de plus d'un millimètre, haute de plusieurs centimètres, tout animée et grouillante. Là seulement ces petits êtres peuvent respirer. Mais on comprend bien que ces anguillules ne cèdent pas facilement la place au mycoderme. J'ai maintes fois assisté à la lutte qui s'établit entre eux et la plante. A mesure que celle-ci, suivant les lois de son développement, s'étale peu à peu à la surface, les anguillules réunis au-dessous d'elle, et souvent par paquets, s'efforcent de la faire tomber dans le liquide sous la forme de lambeaux chiffonnés. Dans cet état, elle ne peut plus leur nuire, car j'ai montré qu'une fois que la plante est submergée, son action est nulle ou insensible. Je ne doute pas que presque toutes les maladies des tonneaux, dans le procédé d'Orléans, soient causées par les anguillules, et que ce soient eux qui ralentissent et souvent arrêtent l'acétification.

« Tout ceci posé, les avantages du procédé que j'ai l'honneur de communiquer à l'Académie peuvent être pressentis. J'opère dans des cuves munies de couvercles, à une basse température. Ce sont les conditions générales du procédé d'Orléans, mais je dirige à mon gré la fabrication. Il n'y a qu'une chose qui acétifie dans le procédé d'Orléans, c'est le voile de la surface. Or je le fais développer dans des conditions que je détermine et dont je suis maître. Je n'ai pas d'anguillules, parce que, s'ils prenaient naissance, ils n'auraient pas le temps de se multiplier, puisque chaque cuve est renouvelée après que la plante a agi autant qu'elle peut le faire. Aussi l'acétification est-elle au moins trois à quatre fois plus rapide qu'à Orléans, toutes chose égales d'ailleurs.

« Relativement au procédé des copeaux, les avantages sont d'une part dans la conservation des principes qui donnent *du montant* au vinaigre, parce que l'acétification a lieu à une température basse, et d'autre part dans une grande diminution de la perte en alcool, parce que l'évaporation est très-faible pour un liquide placé dans une cuve couverte. Enfin le nouveau procédé peut être appliqué à tous les liquides alcooliques. »

2° *Vinaigre de malt*. La plus grande partie du vinaigre fabriqué en Angleterre est fait avec du malt, par le procédé que voici : on brasse un *boll* (218 litres) de bon malt d'orge, grossièrement moulu, avec de l'eau à la température de 71° centigrades; la première eau doit avoir cette température, la seconde doit être plus chaude, et la troisième eau, pour l'extraction de toute la matière soluble, doit être bouillante. En tout on ne doit pas extraire plus de 100 gallons (454 litres) de moût. Lorsque le liquide s'est refroidi, et que sa température est descendue à 24° centigrades environ, on y verse 3 ou 4 gallons (de 13 à 18 litres) de levûre de bière, et on mêle avec soin, à l'aide d'un agitateur convenable. Après trente-six ou quarante heures, selon la

ACIDE ACETIQUE.

température de l'air et la qualité du mélange en fermentation, on le soutire dans des barils qui sont placés à plat dans l'atelier de fermentation de la vinaigrerie, lequel doit être maintenu à la température de 21° centigrades au moins. Pendant l'été la chaleur solaire suffit en partie pour produire cette température, mais en général on se la procure par le moyen de poêles, comme nous l'avons décrit plus haut. Les bondes doivent rester ouvertes, et les barils ne doivent pas être entièrement remplis, afin que l'air puisse agir sur une plus grande surface de liquide. Il serait convenable de faciliter la circulation de l'air en perçant un trou à chaque extrémité du baril, près du rebord supérieur. Comme le liquide, par l'effet de l'évaporation, aurait ordinairement une température inférieure de quelques degrés à celle de l'air de l'atelier, la circulation s'établirait du dehors au dedans par la bonde, et du dedans au dehors par les trous pratiqués dans les extrémités. En opérant par les méthodes ordinaires, il faut trois mois pour obtenir une acétification complète et un vinaigre susceptible d'être livré au commerce, ou employé à la fabrication de l'acétate de plomb. Lorsqu'il s'agit de la fabrication du vinaigre destiné aux usages domestiques, les barils sont ordinairement posés sur leur fond, et ils ont quelquefois un faux fond percé de trous, placé à 33 centimètres environ au-dessus du premier; sur ce double fond on met du marc de raisin ou d'autres fruits provenant des fabriques de vin anglais. On ajoute au liquide obtenu une quantité convenable de levure. Après vingt-quatre heures environ, la température s'est élevée notablement, et on le soutire alors dans un autre baril semblable au premier; on continue ce transvasement pendant quelque temps, puis on laisse la fermentation acéteuse s'achever tranquillement. On doit toujours maintenir le baril à une température convenable, en le plaçant dans un endroit chaud. Une petite quantité de tartre ajoutée au liquide en fermentation, lui donne plus d'analogie avec le vinaigre de vin. On emploie quelquefois de la colle de poisson pour clarifier le vinaigre, et on y ajoute souvent une certaine quantité d'acide sulfurique, afin de lui donner plus de force.

Voici le tableau des dépenses d'une fabrique de vinaigre de malt, en Angleterre, produisant annuellement 100,000 gallons (4,543 1/2 hectolitres) de vinaigre par le procédé que nous venons de décrire.

Matières premières et combustibles. .	91689f,75c
Salaires de 8 ouvriers, à 31f,55c chaque, par semaine.	13124f,80c
Entretien de 3 chevaux pour le manége qui dessert la fabrique.	2263f,50c
Frais de direction, réparations et frais divers.	31749f,00c
Capital et fonds de roulement pour six mois, 110,000 fr., dont l'intérêt à 5 p. 100 est.	5500f,00c
Droit à payer à la régie 0f,21c par gallon (4 1/2 livres environ) de vinaigre fabriqué.	2850f,50c
Total des *frais*.	147177f,55c
Produit, 100,000 gallons, valant 1f,90c le gallon (0f,42c le litre). . . .	190000f,00c
Bénéfice net.	42822f,45c

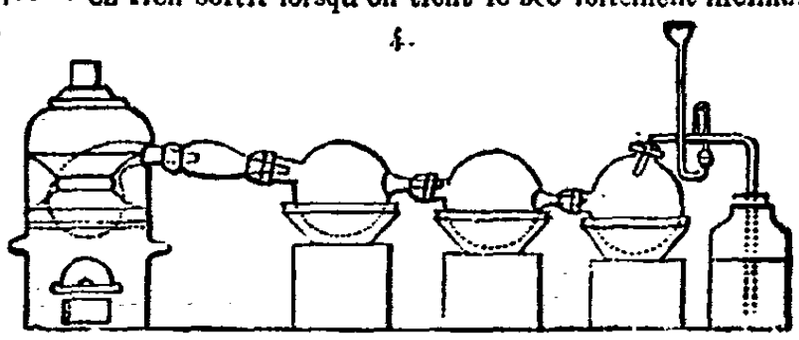
3° *Vinaigre de sucre*. On peut faire un excellent vinaigre de sucre en se conformant au procédé qui suit : Dans 180 litres à peu près d'eau bouillante, faites dissoudre 5 kilogr. de sucre et 3 kilogr. de tartre; mettez la dissolution dans un tonneau pour la faire fermenter; lorsqu'elle s'est refroidie à la température de 24° à 26° centigrades, ajoutez 4 litres et demi de levure de bière. Brassez bien le mélange, puis couvrez légèrement le tonneau, et tenez-le pendant 6 à 8 jours à une température de 21 à 24° centigrades, pour provoquer la fermentation vineuse. Quand la liqueur vineuse s'est éclaircie, soutirez-la, et faites-la acidifier soit dans une cuve de graduation comme celle que nous avons décrite ci-dessus, soit par le procédé ordinaire des vinaigriers. Avant que l'acétification ne soit terminée, ajoutez 13 litres et demi de forte eau de-vie, et 17 litres de bon vinaigre, afin de compléter la fermentation acide. Cette addition de vinaigre n'est pas nécessaire si l'on fait usage d'une cuve de graduation.

La recette suivante pour faire le vinaigre de sucre est plus simple et mérite attention. Pour chaque hectolitre d'eau chaude mettez 12 kilogr. et demi de sucre, et lorsque le sirop s'est refroidi à la température de 24° centigrades, ajoutez en volume 4 p. 100 de levure de bière. Lorsque la fermentation vineuse est assez avancée, c'est-à-dire après 2 ou 3 jours, tirez au clair le liquide, mettez le dans un tonneau convenable et ajoutez-y, pour chaque hectolitre d'eau employée, 70 grammes de tartre, et autant de raisins écrasés. Exposez ensuite le tout d'une manière et pendant un temps convenables, à la fermentation acide, d'après l'un ou l'autre des procédés décrits; puis, soutirez le vinaigre et clarifiez-le sur des copeaux de hêtre; on le mettra ensuite dans des bouteilles qu'on aura soin de bien boucher.

Le vinaigre obtenu par les méthodes qui précèdent a toujours une couleur jaunâtre ou brunâtre; on le décolore par distillation; on pratique cette distillation dans une cornue de verre, dans les laboratoires de chimie; mais quand il s'agit d'opérer sur une plus large échelle, on se sert d'un alambic de cuivre, très propre, muni d'un chapiteau et d'un serpentin en argent ou en étain. L'acide se volatilise à la température de l'eau bouillante et si l'opération est conduite avec rapidité, il ne corrode pas sensiblement le cuivre. Mais, par ce moyen, on ne peut jamais obtenir un produit concentré parce qu'il arrive un certain degré de concentration qu'on ne peut dépasser en élevant la température de crainte de donner à l'acide une odeur empyreumatique, parce qu'alors le gluten, la matière colorante, etc., commencent à adhérer au fond de l'alambic; on est donc forcé de suspendre l'opération au moment même où le vinaigre acquiert de la force. On a aussi proposé de concentrer le vinaigre par la congélation; mais il en reste beaucoup au milieu de la glace, et le vinaigre commun, après avoir été concentré par distillation, est encore si faible qu'il se congèle tout d'une masse.

Vinaigre radical. Avant que le moyen d'extraire l'acide pyroligneux, ou le vinaigre de bois, fût connu, il n'y avait qu'une seule méthode pratiquée par les chimistes pour obtenir du vinaigre fort; ils la suivent même encore pour préparer ce qu'on appelle le vinaigre radical ou aromatique. Cette méthode consiste à décomposer par la chaleur le bi-acétate de cuivre cristallisé. On se sert à cet effet d'une cornue de grès (fig. 4) d'une grandeur proportionnée à la quantité de matière sur laquelle on veut opérer; on la revêt d'un mélange d'argile et de crottin de cheval, pour lui faire mieux supporter la chaleur; lorsque cette couverte est sèche, on introduit dans la cornue l'acétate cristallisé, légèrement concassé, et très sec; on remplit celle-ci de manière qu'il ne puisse en rien sortir lorsqu'on tient le bec fortement incliné.

4.



ACIDE ACÉTIQUE.

on la pose alors sur un fourneau convenable; on adapte une allonge au goulot, et l'on dispose à la suite deux ou trois matras à deux tubulures; le dernier matras a une de ses tubulures verticales; l'appareil se termine par un tube de Welter à double branche; la plus courte sort du dernier matras, et l'autre plonge dans un flacon rempli de vinaigre distillé; chaque chose étant ainsi arrangée, on lutte les joints avec un mastic fait avec de la terre à pipe et de l'huile de lin, et on les recouvre avec du papier et de la colle forte. Chaque matras est placé dans une bassine à part remplie d'eau froide, ou bien le tout peut être mis dans un baquet oblong dans lequel on fait passer un courant constant d'eau froide. On doit laisser sécher le lut pendant tout un jour; le lendemain on procède à la distillation en ayant le plus grand soin de modérer la chaleur au commencement, et de l'augmenter graduellement et très lentement, jusqu'à ce qu'on voie les gouttes se succéder assez rapidement en sortant du goulot de la cornue, ou par l'extrémité de l'allonge. Comme les vapeurs qui s'échappent sont très chaudes, il s'ensuit qu'il faut une série de matras pour les condenser; on doit renouveler de temps en temps l'eau des bassines, et tenir des linges humides sur les matras; mais cela demande le plus grand soin, principalement si le feu marche un peu trop vite, car alors les vases deviennent si chauds qu'ils se briseraient infailliblement, s'ils étaient mis subitement en contact avec de l'eau froide. Il est toujours facile de régler l'opération d'après la sortie du gaz par l'extrémité de l'appareil. Lorsque les bulles d'air se succèdent avec une grande rapidité on doit ralentir le feu.

Le produit que l'on obtient pendant la première demi-heure a peu de force; cela vient, jusqu'à un certain point, d'une petite quantité d'eau restée dans les cristaux, lesquels, néanmoins, lorsqu'ils ont été bien préparés, doivent être anhydres. Il arrive un moment, vers le milieu de l'opération, où l'on voit l'extrémité du bec de la cornue, et celle de l'allonge, couvertes de cristaux lamellaires ou sous forme d'aiguilles, et d'une teinte vert pâle. Ces cristaux sont entraînés peu à peu par les vapeurs acides dans le liquide condensé qu'ils colorent; ce sont des cristaux d'acétate de protoxyde de cuivre. A mesure que l'opération approche de la fin il faut augmenter l'intensité du feu pour que les vapeurs acides puissent continuer à se dégager; finalement, on juge que la distillation est achevée, quand les matras deviennent froids, quoique le fourneau soit à son plus haut degré de chaleur, et quand il ne sort plus de vapeurs; on doit alors retirer le feu et laisser refroidir la cornue.

Comme l'acide qu'on a obtenu par ce moyen est légèrement coloré par le cuivre, on doit le rectifier avant de le mettre en vente. On se sert pour cela du même appareil, seulement on remplace la cornue de grès par une cornue de verre qu'on chauffe au bain de sable. Tous les matras doivent être parfaitement propres et secs. On conduit la distillation comme ci-dessus. Si l'on divise les produits en trois parts, la première donnera l'acide le plus faible, et la troisième le plus fort. On ne doit point pousser l'opération jusqu'à refus, parce qu'il reste toujours dans la cornue des impuretés qui altéreraient l'arome et la bonne saveur de l'acide.

La totalité de l'acide qu'on obtient par ce moyen forme à peu près la moitié, en poids, de l'acétate employé, et le résidu en est les trois dixièmes. De sorte que deux dixièmes de l'acide ont été décomposés par la chaleur, et sont perdus. Comme l'oxyde de cuivre est promptement réduit à l'état métallique, son oxygène s'unit aux éléments d'une partie de l'acide, et forme de l'eau, laquelle se mêle aux produits gazeux, acide carbonique, hydrogène carboné et oxyde de carbone, qui se dégagent; il ne reste donc plus dans la cornue que du charbon mêlé avec du cuivre métallique. Ces deux matières sont dans un tel état de division, que le résidu est pyrophorique; aussi prend-il souvent feu au moment où on le retire de la cornue après le refroidissement. La grande perte que l'on éprouve dans cette opération a porté plusieurs chimistes à essayer différentes méthodes pour obtenir tout l'acide contenu dans l'acétate. On a conseillé, par exemple, d'ajouter une certaine quantité d'acide sulfurique; mais outre que le vinaigre radical qu'on obtient par ce procédé contient toujours de l'acide sulfureux, dont il est difficile de le débarrasser, il perd par cela même cet esprit qu'on appelle *pyro-acétique* ou *acétone*, qui tempère le piquant de son odeur, et lui donne un arome agréable. Il est donc à présumer que le procédé que nous venons de décrire, continuera à être préféré quand on voudra obtenir du vinaigre aromatique ou *vinaigre radical*. On modifie souvent après coup l'odeur de celui-ci, par l'addition d'huiles essentielles diverses, telles que celles de romarin, de lavande, etc.

On peut encore préparer l'acide acétique des chimistes par les procédés suivants : 1° On distille lentement, dans une cornue de verre, deux parties d'acétate de potasse fondu, et une partie d'acide sulfurique concentré, et le produit de la distillation, recueilli dans un réfrigérant, est de l'acide acétique concentré; comme celui-ci est souillé par une petite quantité d'acide sulfureux, on l'en débarrasse en le distillant de nouveau avec un peu d'acétate de plomb. 2° Quatre parties d'acétate neutre de plomb traitées par une partie d'acide sulfurique, donnent un acide acétique un peu plus faible que ci-dessus. 3° En mélangeant du sulfate de fer ou *vitriol vert* légèrement torréfié avec de l'acétate neutre de plomb, dans la proportion de 1 partie du premier sel et de 2 1/2 parties du second, ou bien avec de l'acétate de cuivre, et distillant le mélange avec précaution dans une cornue de porcelaine qui communique à un réfrigérant, on obtient dans ce dernier de l'acide acétique très concentré. Dans ce procédé, le sulfate de protoxyde de fer se transforme par une évaporation et une légère torréfaction au contact de l'air, en sous-sulfate de peroxyde, qui agit alors par l'acide sulfurique qu'il retient avec très peu de force et qu'il laisse dégager par l'action de la chaleur. Toutefois, de tous ces divers modes de préparation, celui par le bi-acétate de cuivre que nous avons décrit, est encore préférable.

4° *Acide pyroligneux, ou vinaigre de bois.* Le procédé suivi pour obtenir cet acide est fondé sur cette propriété générale, que possède la chaleur de séparer les éléments des substances végétales, et de les combiner de nouveau dans un autre ordre, en donnant lieu à des composés qui n'existaient pas dans les corps soumis à son action. Les proportions respectives des produits obtenus varient non seulement avec les différentes substances, mais aussi pour le même corps, selon que l'intensité de la chaleur à laquelle ils ont été soumis, a été plus ou moins forte, ou que le feu a été conduit avec plus ou moins d'habileté. Lorsqu'on distille une substance végétale en vase clos, on obtient d'abord l'eau qu'elle renferme, ou l'eau de végétation; il se forme ensuite une autre portion d'eau aux dépens de l'oxygène et de l'hydrogène que le corps renferme; une quantité proportionnelle de charbon devient libre, et par l'augmentation successive de la chaleur, une petite portion de celui-ci se combine avec de l'oxygène et de l'hydrogène pour former de l'acide acétique. Ce dernier produit fut considéré, pendant quelque temps, comme un acide particulier, et on lui donna le nom d'*acide pyroligneux*. A mesure que la proportion de carbone devient prépondérante, celui-ci se combine avec d'autres principes, et alors il se volatilise une huile empyreumatique qui a d'abord peu de couleur, mais qui s'épaissit et se colore de plus en plus, à mesure qu'elle se charge davantage de carbone.

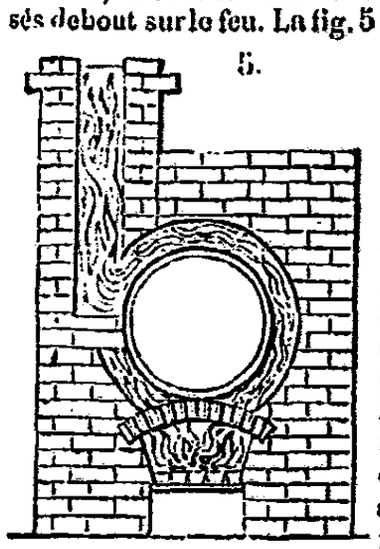
Plusieurs fluides élastiques accompagnent ces divers

ACIDE ACÉTIQUE.

produits; il se dégage de l'acide carbonique, mais en petite quantité, beaucoup d'hydrogène carboné, et vers la fin une proportion considérable d'oxyde de carbone. L'excédant de charbon qui n'est point entraîné dans ces diverses combinaisons, se retrouve dans la cornue, y conservant ordinairement la forme du végétal qui l'a fourni. Depuis qu'on a commencé à se rendre raison des différentes opérations pratiquées dans les arts, et qu'on en a fait le but de recherches scientifiques, on a introduit dans plusieurs branches de l'industrie une multitude d'améliorations, dont elles ne paraissaient pas susceptibles. C'est ainsi, par exemple, que les procédés de carbonisation du bois se sont singulièrement améliorés, et que par suite des observations qui précèdent, on a tiré profit de plusieurs produits, qui auparavant n'étaient pas même recueillis.

L'appareil employé pour obtenir le vinaigre de bois brut, par l'action de la chaleur, se compose de plusieurs grands cylindres de fer. En Angleterre, ces cylindres sont en fonte, et posés horizontalement sur le foyer. En France, ils sont en feuilles de tôle rivées ensemble, et posés debout sur le feu. La fig. 5 donne une idée exacte de la

5.



disposition adoptée en Angleterre, elle est presque la même que celle adoptée pour la décomposition de la houille dans les usines à gaz; seulement les cylindres des fabriques d'acide pyroligneux sont généralement plus grands; ils ont fréquemment 1m,33 de diamètre, sur 2m à 2m,66 de longueur, et ils reposent horizontalement sur la brique, de manière qu'il y en ait deux dans chaque fourneau. Il y aurait probablement de l'avantage à leur donner des dimensions approchant de celles des cornues à gaz pour l'éclairage, et à assimiler tout le système des opérations, à celui de cette dernière industrie.

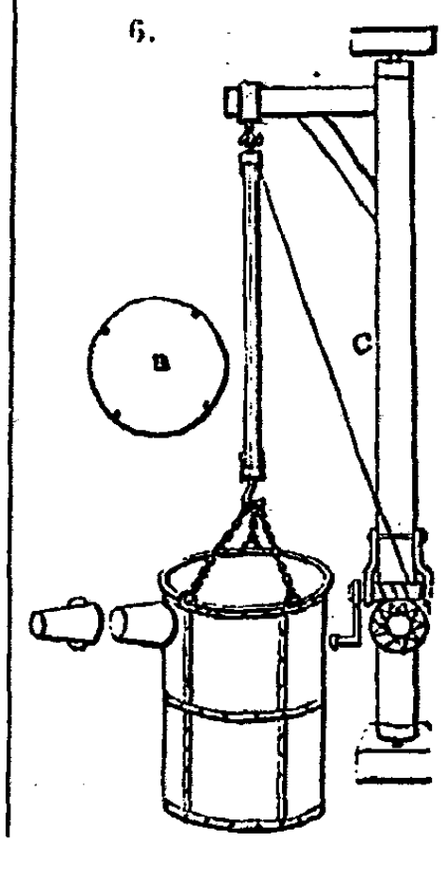
On a adopté la disposition suivante, dans un des premiers établissements de Glasgow : les cylindres aussi grands que ceux dont nous avons parlé d'abord, y ont 2 mètres de long, et les deux extrémités dépassent tant soit peu la maçonnerie en briques. L'une de ces extrémités est garnie d'un disque de fonte, bien ajusté et fortement boulonné; il part du centre de ce disque un tube de fer, d'environ 30 centim. de diamètre, qui entre à angle droit dans le tube principal du réfrigérant. Le diamètre de ce dernier peut avoir de 24 à 36 centimètres, suivant le nombre de cylindres. L'autre extrémité de chaque cylindre s'appelle la bouche de la cornue; elle est également fermée par un disque en fonte recouvert, tout autour de ses bords, avec un lut d'argile grasse, et maintenu dans sa position, à l'aide de coins de sapin. La charge de bois pour un cylindre de cette dimension est d'environ 406 kilog. Les bois durs, tels que le chêne, le frêne, le bouleau et le hêtre, sont seuls employés; le sapin ne convient pas. On entretient le feu pendant le jour, et on laisse refroidir le fourneau pendant la nuit; le lendemain matin, on ouvre les cylindres, on en retire le charbon, et on y introduit une nouvelle charge de bois. Le rendement en vinaigre brut, appelé *acide pyroligneux*, est de 163 litres par charge. Il est très souillé de goudron, et d'une couleur brun foncé; sa pesanteur spécifique est de 1,025, le poids total du produit est donc d'environ 136 kilogr.; mais comme le résidu en charbon ne pèse plus guère que le cinquième du bois employé, il s'ensuit que près de la moitié de la matière pondérable du bois, s'est transformée en gaz non condensés. Le comte de Rumford a avancé que le charbon obtenu forme en poids plus de quatre dixièmes du bois employé. Cette erreur grossière tient à la faible température du four, dans lequel il avait placé le cylindre de verre qui renfermait le bois sur lequel il expérimentait. Les résultats que nous donnons ici ressortent de l'expérience d'un éminent chimiste manufacturier.

On rectifie l'acide pyroligneux brut, par une seconde distillation dans un alambic en cuivre, dans l'intérieur duquel il reste environ 20 p. 100 d'une espèce de goudron visqueux. Le vinaigre présente alors une couleur brune mais transparente, et une odeur fortement empyreumatique. Sa pesanteur spécifique n'est plus que de 1,013. Son acidité est supérieur à celle des meilleurs vinaigres de ménage, dans la proportion de trois à deux En le redistillant de nouveau, saturant par la chaux vive, faisant évaporer l'acétate liquide jusqu'à siccité, et convertissant en acétate de soude par le sulfate de soude, on le dépouille si complétement de la matière empyreumatique à laquelle il était mélangé, qu'en décomposant l'acétate de soude pur par l'acide sulfurique, on obtient à la distillation un vinaigre tout à fait sans couleur et très agréable au goût, dont la force est proportionnelle au degré de concentration de l'acide décomposant.

Dans un des principaux établissements de Manchester, on se sert de cornues en fonte de 2 mètres de long sur 1m,20 de diamètre. Il y a deux cornues par fourneau, disposées de telle sorte que la flamme les enveloppe de toutes parts. Leur fond seul est protégé par des briques réfractaires contre l'action directe du feu. Un quintal métrique de houille suffit pour effectuer la distillation d'une seule charge de bois, qui produit 168 litres d'acide pyroligneux brut, d'une pesanteur spécifique de 1,025. Après vingt-quatre heures, qui est la durée d'une opération, on retire le charbon de bois resté dans la cornue, et après l'avoir jeté dans un étouffoir que l'on ferme aussitôt, on procède à un nouveau chargement.

On purifie l'acide pyroligneux en le faisant bouillir dans une grande chaudière, sur le bord de laquelle est pratiqué un bec ou échancrure inclinée, par laquelle s'écoule la plus grande partie du goudron, à mesure qu'il monte sous forme d'écume à la surface du bain, par l'action de la chaleur. En saturant l'acide ainsi purifié, par de la chaux éteinte, on obtient du pyrolignite de chaux, que l'on peut purifier par plusieurs cristallisations successives, ou mieux, en le torréfiant à 250 ou

6.



300° centigrades au plus, avec beaucoup de précaution, entre deux plaques de tôle ou de fonte; puis, reprenant par l'eau et faisant cristalliser. En décomposant le pyrolignite ou l'acétate de chaux, par une dissolution d'alun, il se précipite du sulfate de chaux, et la dissolution qui surnage est de l'acétate d'alumine impur ou *liqueur rouge*, employée dans l'impression des calicots.

En général, on conduit en France la fabrication de l'acide pyroligneux de la manière suivante :

On introduit le bois à carboniser dans de grands cylindres en tôle (fig. 6), au haut et

conduit *q*, dans le premier réservoir *r*, tandis que les gaz inflammables se rendent par le conduit *s*, muni d'une valve régulatrice, sous le cylindre *a*; de sorte qu'il n'est besoin de charger du combustible sur la

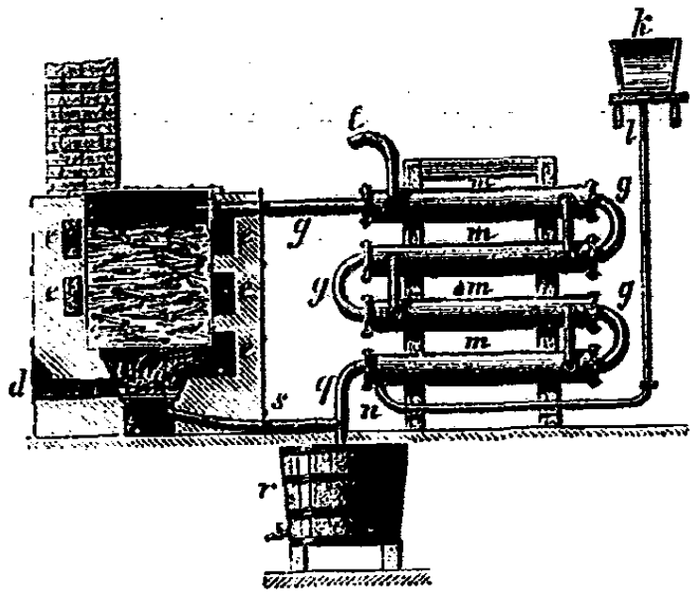


Fig. 8.

grille qu'au commencement de l'opération, la chaleur produite par la combustion des gaz non condensés étant ensuite suffisante pour achever la distillation. On laisse refroidir le charbon de bois pendant cinq à six heures, et on le retire ensuite par une porte pratiquée au bas du cylindre *a*, et correspondant à une ouverture du fourneau. Chaque stère de bois de sapin, soumis à la distillation, donne 5 hectolitres d'acide pyroligneux brut. Cet acide est très-fortement coloré en brun, très-chargé de goudron, et marque 5° à l'aréomètre de Baumé. Il reste dans la cornue environ 220 kilogrammes de charbon de bois, et on consomme, sur la grille, 1 stère de fagots et menus branchages. Les 5 hectolitres d'acide brut, purifiés par plusieurs distillations successives, donnent 40 kilogr. de goudron et 375 litres d'acide pyroligneux propre à être livré au commerce et contenant 7 p. 100 d'acide acétique anhydre.

Les différentes qualités de bois employés dans cette opération donnent à peu près les mêmes produits en acide; mais il n'en est pas de même relativement au charbon; celui-ci est d'autant meilleur que le bois employé est plus dur; et l'on a remarqué que le bois qui a été longtemps exposé à l'air donne un charbon de moins bonne qualité que celui qui a été carbonisé peu de temps après qu'il a été coupé.

L'acide brut obtenu a une couleur brune rougeâtre. Il tient en dissolution une certaine quantité d'huile empyreumatique et de goudron, qui se sont formés pendant la distillation; une autre portion de ces produits y existe aussi à l'état de simple mélange. Celle-ci peut en être séparée en laissant reposer et décantant. Nous avons dit plus haut que l'appareil de distillation se terminait par un réservoir souterrain où tous les produits vont se rendre et se mêler.

L'acide pyroligneux est séparé par décantation du goudron non dissous, et transporté dans de grandes chaudières en tôle, où on le sature, soit avec de la chaux vive, soit avec de la craie. Pendant la saturation, il se sépare une nouvelle quantité de goudron, sous la forme d'écumes, qui viennent nager à la surface du bain, et que l'on retire avec des écumoires. On laisse ensuite reposer; puis on décante la liqueur qui surnage. On fait ensuite évaporer la dissolution saline, ainsi clarifiée, jusqu'à ce qu'elle ait atteint une densité de 1,114 (15° de l'aéromètre de Baumé); on y ajoute alors une dissolution saturée de sulfate de soude. Il se précipite du sulfate de chaux, et il reste en dissolution de l'acétate de soude. Dans quelques manufactures, au lieu de suivre ce procédé, on dissout le sulfate de soude dans l'acide pyroligneux chaud, qu'on sature ensuite avec de la craie ou avec de la chaux. Par ce moyen, on n'a pas besoin d'employer de l'eau pour dissoudre le sulfate, et, par conséquent, on obtient une dissolution suffisamment concentrée, sans avoir besoin de l'évaporer. Dans les deux modes d'opérer, on laisse déposer le sulfate de chaux; puis on décante la dissolution d'acétate de soude qui surnage. Le résidu est lavé à part; les premières eaux de lavage sont repassées avec la dissolution d'acétate de chaux, et les dernières servent à laver une première fois de nouveaux résidus. On évapore ensuite la dissolution d'acétate de soude, ainsi obtenue, jusqu'à ce qu'elle ait atteint une densité de 1,225 ou de 1,23, selon la saison. On la verse ensuite dans de grands cristallisoirs, d'où l'on décante les eaux-mères, après trois ou quatre jours, selon leur capacité, et l'on obtient de premiers cristaux, fortement colorés et très-volumineux, se présentant sous la forme de prismes rhomboïdaux. Les facettes de ces cristaux sont très-polies et leurs arêtes très-vives. Les eaux-mères sont soumises à des évaporations et à des cristallisations successives, jusqu'à ce qu'elles ne donnent plus de cristaux; puis, on les évaporant à sec et calcinant, on obtient du carbonate de soude.

Pour éviter d'établir d'une manière conjecturale les proportions des matières à employer, ce qui est toujours préjudiciable, tant par suite de la perte de temps qui en résulte qu'à cause des mauvais résultats que les tâtonnements ne peuvent manquer de produire, on doit déterminer d'avance, expérimentalement, les quantités absolument nécessaires pour la décomposition réciproque, spécialement quand on change l'acide acétique ou le sulfate de soude précédemment employés. Mais il faut remarquer que, quelles que soient les précautions que l'on prenne, il se perd toujours une quantité notable de sulfate de soude et d'acide acétique; cela tient à ce qu'il reste toujours une certaine quantité d'acétate de soude ou de chaux avec le sulfate de chaux qui se précipite. Celui-ci, de son côté, n'est pas entièrement insoluble, de sorte qu'il y en a toujours une certaine quantité qui se concentre dans les dernières eaux-mères, et qui, par l'évaporation et la calcination, donne naissance à une quantité correspondante de sulfate de soude, qui se trouve mélangé avec le carbonate de soude provenant de la décomposition, par la chaleur, de l'acétate de soude; et, lorsqu'on reprend ce carbonate impur par l'eau, il reste un résidu de carbonate de chaux.

La découverte de l'esprit de bois, de l'*alcool méthylique*, qui, servant comme l'alcool de vin à la préparation des vernis, a une assez grande valeur, a fait naître, pour les fabricants d'acide pyroligneux, une source de quelques profits. Pour recueillir cet alcool, il faut faire passer par un réfrigérant les premiers produits de l'évaporation des eaux acides qui le renferment. Il constitue, comme nous le disions en traitant de cet alcool, environ 1 pour 100 des eaux acides produites par la distillation du bois.

On pourrait supposer qu'en torréfiant convenablement l'acétate de chaux, on détruirait complétement l'huile empyreumatique avec laquelle il se trouve mélangé; mais cela n'est pas. Quelques manufacturiers préfèrent fabriquer l'acétate de soude par une saturation directe de l'acide par l'alcali, et ils pensent que le prix plus élevé de cette dernière substance est plus que compensé par l'économie de temps et de combustible que ce procédé procure.

On purifie aisément l'acétate de soude par des cristallisations répétées ou par la torréfaction; ce dernier procédé, lorsqu'il est bien conduit, le débarrasse complétement des moindres particules de goudron. Cette torréfaction, à laquelle on peut donner le nom de fusion, exige beaucoup de soin et de dextérité. On la fait ordinairement dans des chaudières en fonte, peu pro-

ACIDE ACÉTIQUE

sur le côté desquels se trouve ajusté une espèce de grosse tuyère également en tôle : un couvercle de tôle s'adapte à la partie supérieure du grand cylindre, et y est fixé par des boulons. Le cylindre ainsi fermé représente, comme on voit, une vaste cornue. Lorsqu'il a été chargé, ainsi que nous venons de le dire, on le soulève au moyen d'une grue et on le place dans un fourneau (fig. 7),

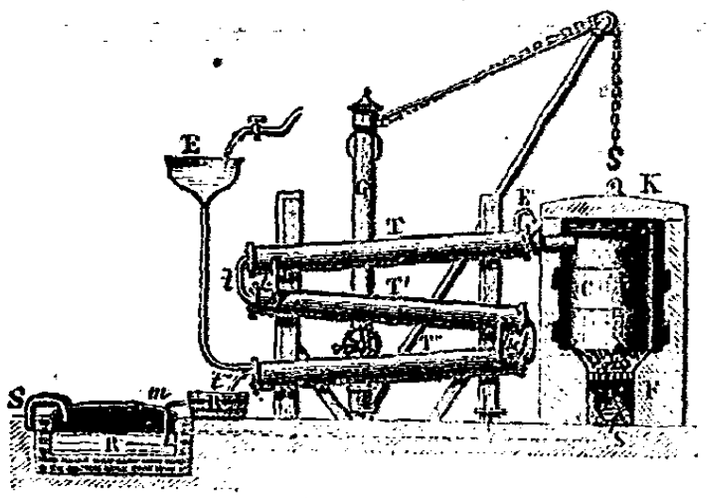


Fig. 7.

dont la forme correspond à celle du cylindre, et dont l'ouverture est recouverte du dôme K en maçonnerie ou en briques. Tout étant ainsi disposé, on allume le feu au bas du fourneau. L'eau hygrométrique du bois commence d'abord par se dégager, mais le liquide cesse par degré d'être incolore et devient fuligineux ; c'est alors qu'on ajuste un tube au petit cylindre latéral ; ce tube entre dans un autre ayant la même inclinaison, et qui est le commencement de l'appareil de condensation. Le mode de condensation varie selon les localités. Dans certaines fabriques, on refroidit avec l'air, en faisant passer les vapeurs à travers de longues séries de cylindres, et quelquefois même à travers une série de barriques communiquant ensemble. Mais, le plus ordinairement, on condense avec l'eau froide, lorsqu'on peut s'en procurer facilement et en abondance. L'appareil de condensation le plus efficace que l'on peut employer consiste en deux cylindres T, t, (fig. 7), l'un enveloppant l'autre, et laissant entre eux un espace suffisant pour qu'une quantité d'eau considérable puisse y circuler pour le refroidir.

On ajuste ce double cylindre au vaisseau distillatoire, en lui donnant une certaine inclinaison. On en ajuste à la suite un second, quelquefois même un troisième, tout à fait semblables, et qu'on fait revenir sur eux-mêmes en zigzag, afin de ménager la place. On fait ensuite circuler l'eau par un moyen ingénieux adopté aujourd'hui dans un grand nombre de fabriques. De l'extrémité inférieure du système condensateur s'élève perpendiculairement un tube dont la hauteur dépasse à peine le point le plus élevé dudit système. L'eau froide, fournie par un réservoir E, entre, au moyen du tube perpendiculaire, par l'extrémité inférieure du condensateur, et remplit tout l'espace qui se trouve entre chaque double tube. Quand l'appareil est en activité, les vapeurs, en se condensant, élèvent la température de l'eau ; celle-ci, pressée par la colonne verticale, s'élève vers la partie supérieure des tubes, et arrive enfin dans le tube supérieur auquel est adapté un bout de tube, recourbé vers le sol, qui sert de dégorgeoir.

L'appareil de condensation se termine par un conduit menant les liquides et les gaz à deux réservoirs, un petit à la tête et un grand à la suite. Le liquide condensé dans les cylindres tombe par le tube recourbé t'' dans le premier réservoir ; lorsque celui-ci est plein, il se vide de lui-même par un tuyau de dégorgement dans un autre grand réservoir R. Le tube t'' plonge dans le liquide, de sorte que toute communication est interceptée entre les gaz qui se rassemblent à la partie supérieure du réservoir et l'intérieur de l'appareil. Ces gaz non condensés, qui se dégagent, sont conduits au moyen de tuyaux placés sur l'un des côtés du réfrigérant, dans la partie inférieure du cendrier. Ces tuyaux sont munis de robinets placés à quelque distance en avant du fourneau, qui permettent de régulariser le jet de gaz, et d'interrompre à volonté toute communication avec l'intérieur de l'appareil. L'extrémité des tubes, qui entre sous le fourneau, s'y élève perpendiculairement de quelques pouces au-dessus du sol, et s'épanouit comme la pomme d'un arrosoir. Par cette disposition, les gaz peuvent se distribuer uniformément d'eux-mêmes dans le foyer, sans que le tuyau qui les amène vienne jamais à s'obstruer par du fraisil ou des cendres.

La température nécessaire pour opérer la carbonisation n'est pas considérable ; cependant, vers la fin de l'opération, elle doit s'élever assez, pour que le cylindre qui renferme le bois devienne rouge. La durée de l'opération est nécessairement proportionnelle à la quantité de bois à carboniser. Avec un cylindre qui contient 5 mètres cubes de bois, il suffit de huit heures de feu. On reconnaît que la carbonisation est complète à la couleur de la flamme des gaz. Celle-ci est d'abord d'un rouge jaunâtre ; elle devient ensuite bleuâtre dès qu'il se dégage une plus grande quantité d'oxyde de carbone que d'hydrogène carboné ; et, vers la fin, elle est tout à fait blanche. Cette circonstance est probablement due à ce que la température du fourneau est alors beaucoup plus élevée, et que la combustion est plus complète. Il y a encore un autre moyen de reconnaître la marche de l'opération, auquel on a très-souvent recours. Il consiste dans le refroidissement des premiers tubes de dégagement, qui ne sont pas rafraîchis par un courant d'eau ; si, lorsqu'on fait couler sur leur surface quelques gouttes d'eau, elles s'évaporent avec lenteur, on en conclut que la carbonisation a été poussée suffisamment loin. Alors on délute le tube de communication et on le fait glisser dans le tuyau qui suit, puis on bouche immédiatement les orifices des cornues avec des plaques de tôle, qu'on lute avec du plâtre. On enlève ensuite le couvercle K du fourneau au moyen de la grue tournante ; on en fait autant à l'égard du cylindre, et on remplace immédiatement celui-ci par un autre qu'on a chargé d'avance. Lorsque le cylindre qu'on a retiré du fourneau est tout à fait refroidi, on défait son couvercle, et on retire le bois carbonisé. Dix stères de bois fournissent environ 4 stères 1/2 de charbon.

M. Kestner, à *Thann* (Alsace), emploie un appareil dont l'usage s'est très-répandu en France, et qui est représenté fig. 8. Le bois est chargé dans un cylindre en fonte *a*, dont la capacité est de 3 mètres cubes environ ; on l'y introduit par une ouverture pratiquée dans le couvercle du cylindre, après l'avoir préalablement débité en bûchettes de dimensions convenables. Le cylindre est placé dans un fourneau à grille. La flamme du combustible s'élève en circulant tout autour du cylindre *a*, dans les carneaux *e*, *e*..., et se rend enfin dans la cheminée d'appel *f*, comme il est indiqué fig. 8.

Les produits de la distillation se rendent par le tuyau en tôle *g*, dans l'appareil de condensation, qui se compose de quatre tuyaux horizontaux, placés les uns au-dessus des autres, réunis par des coudes, et enveloppés de manchons en tôle *m*, *m*..., dans lesquels on fait continuellement circuler un courant d'eau. Cet appareil est soutenu par une charpente en bois *n*. L'eau froide arrive d'un réservoir *k*, et se rend par le tube *t* en *m* dans le manchon inférieur, puis passe successivement dans les autres manchons par les tubes verticaux *o*, *o*, *o*, et s'échappe enfin bouillante par le tube recourbé *t*. Les produits condensés de la distillation tombent par le

ACIDE ACÉTIQUE.

fondes et de forme hémisphérique. Pendant tout le temps que la chaleur se maintient à peu près à 250 à 300° centigrades, la masse en fusion doit être soigneusement remuée avec des râbles, opération qui dure environ vingt-quatre heures pour 500 kilogrammes de matières. On doit éviter avec le plus grand soin d'élever la température au point de décomposer l'acétate, et s'assurer que la chaleur est également distribuée; car si un seul point de la masse entre en décomposition, celle-ci se propage avec une si grande rapidité, qu'il devient excessivement difficile d'en arrêter les progrès et d'empêcher la destruction de la totalité de la charge. La chaleur ne doit jamais devenir assez forte pour qu'il se dégage la moindre fumée, même lorsque tout l'acétate est liquéfié. Lorsqu'il ne se forme plus d'écume à la surface et que la masse coule comme de l'huile, l'opération est terminée; on laisse alors refroidir en bloc, ou bien on coule dans des moules, ce qui est préférable.

On dissout ensuite l'acétate torréfié dans l'eau et on en sépare la matière charbonneuse, provenant de la décomposition du goudron, par filtration, ou en faisant bouillir la dissolution jusqu'à ce qu'elle ait été ramenée à la densité de 1,114; alors la matière charbonneuse tombe au fond; et en évaporant le liquide clarifié, on obtient un acétate parfaitement pur, qui donne de magnifiques cristaux incolores par le refroidissement. Dans cet état de pureté, on le décompose par l'acide sulfurique pour en séparer l'acide acétique.

Cette dernière opération, quoique simple en apparence, n'en exige pas moins beaucoup de soins et d'adresse. L'acétate de soude cristallisé et broyé est mis dans une chaudière de cuivre, et on verse par-dessus de l'acide sulfurique à la densité de 1,842, en quantité suffisante (environ 35 p. 100 du sel employé) pour décomposer, sinon tout, du moins presque tout l'acétate. On laisse réagir entre elles les matières en présence. L'acide acétique se sépare par degrés de sa combinaison et vient à la surface. La plus grande partie du sulfate de soude, qui résulte de la réaction, tombe au fond sous forme pulvérulente ou en petits cristaux granulés; une autre portion reste dissoute dans le liquide, qui a alors une densité spécifique de 1,08. Par la distillation, on sépare ce sulfate, et on obtient finalement dans le récipient un acide acétique ayant une pesanteur spécifique de 1,05, d'un goût et d'une odeur agréables, quoique vers la fin il passe un peu empyreumatique et coloré; c'est pourquoi on doit recueillir à part les derniers produits de la distillation.

L'acide destiné aux usages culinaires doit être distillé dans un alambic dont le chapiteau et le serpentin sont d'argent; et pour l'avoir parfaitement pur, on doit le clarifier avec un peu de noir animal bien lavé. On l'obtient ordinairement ainsi assez concentré, mais si l'on désire l'avoir dans un plus grand état de concentration, il suffit de le distiller sur du chlorure de calcium. On peut ensuite faire congeler l'acide ainsi concentré, et la portion qui cristallisera sera celle qui aura le plus de force. On décantera, et les cristaux obtenus se fondront si on les expose à une température de 15 à 24° centigrades. On répète l'opération jusqu'à ce que l'acide se congèle sans résidu à la température de 12 à 13° degrés centigrades; il a alors atteint son maximum de concentration et sa densité est de 1,063.

Nous ajouterons une observation sur le mode indiqué plus haut pour décomposer l'acétate de soude par l'acide sulfurique, et qui est assez délicat. Si on verse l'acide sulfurique par petites quantités à la fois, il se dégage des vapeurs acides tellement irritantes que les ouvriers sont obligés de quitter l'atelier. On prévient cet inconvénient en versant tout l'acide sulfurique à la fois, il gagne alors le fond de la chaudière, et ne décompose que la portion d'acétate qui est en contact avec lui. La chaleur qui se dégage par suite de la réaction se distribue dans toute la masse, et ne produit plus aucun effet sensible.

On n'a pu jusqu'ici obtenir l'acide acétique anhydre, et l'acide le plus concentré que l'on puisse préparer renferme encore un équivalent d'eau, ou 14,86 pour 100 en poids. Les procédés que l'on suit pour préparer l'acide acétique concentré tendent quelquefois à le priver de cette eau, sans laquelle il ne peut pas exister; il arrive alors qu'une partie de l'acide se décompose et fournit l'eau de constitution nécessaire à ce qui reste. Les principes constituants de la portion décomposée forment alors un liquide particulier, d'une saveur âcre et brûlante, très inflammable, qu'on appelle esprit pyroacétique, ou *acétone* (voyez ce mot).

L'acide le plus concentré a une densité de 1,063. Celle-ci augmente jusqu'à un certain point en ajoutant de l'eau, puis diminue ensuite. Selon Berzélius, l'équivalent primitif de cet acide est de 643,189; l'oxygène était représenté par 100. En conséquence l'acide le plus concentré dont il s'agit se trouve formé d'un équivalent d'acide 643,189, et d'un équivalent d'eau 112,479. Lorsqu'il contient trois atomes d'eau, c'est-à-dire 337,437 parties pour 643,189 d'acide, ou 34,44 centièmes d'eau pour 65,59 d'acide anhydre, en tout 100,00 d'acide hydraté, il atteint son maximum de densité qui est de 1,079; mais si on ajoute encore de l'eau sa pesanteur spécifique diminue, ainsi que l'indique la table suivante dressée par Mollerat. L'acide primitif dont il est question ici a une densité de 1,063, et contient 14,86 d'eau.

ACIDE au maximum DE CONCENTRATION.	EAU AJOUTÉE.	PESANTEUR spécifique DU MÉLANGE.
110 parties.	0,0 part.	1,0630
—	10,0 —	1,0742
—	22,5 —	1,0770
—	32,5 —	1,0791
—	43,0 —	1,0763
—	55,0 —	1,0742
—	66,5 —	1,0728
—	97,5 —	1,0658
—	108,5 —	1,0637
—	118,2 —	1,0630

L'acide acétique prend rapidement feu lorsqu'il est chauffé dans des vases ouverts, à la température de l'ébullition; il brûle alors avec une légère flamme bleue, presque semblable à celle de l'alcool. On doit le conserver en vases clos, autrement il perd sa force en attirant à lui l'humidité de l'air. A l'état de concentration, il n'est guère employé que comme excitant, sur les organes de l'odorat, dans les indispositions et les défaillances. Ses propriétés anti-épidémiques sont apocryphes. Ce qu'on trouve chez les marchands, sous le nom de sels de vinaigre, n'est autre chose que du sulfate de potasse, renfermé dans de petits flacons et imprégné d'acide acétique, qu'on aromatise quelquefois avec de l'essence de romarin ou de lavande.

Lorsqu'on fait passer de l'acide acétique, réduit en vapeur, à travers un tube de fer chauffé au rouge, il se convertit en eau, en acide carbonique, en hydrogène carboné, et principalement en acétone.

L'acide acétique dissout un grand nombre de produits organiques, tels que le camphre, le gluten, les gommes résines, les résines, la fibrine du sang, le blanc d'œuf, etc.

C'est un problème important que de pouvoir s'assurer de la force et de la pureté du vinaigre. On le rend souvent acide en le frelatant avec des acides à bas prix, tels que l'acide sulfurique et l'acide nitrique. On découvre aisément l'acide sulfurique en y ajoutant un sel soluble de baryte ou de plomb, qui donne lieu à un précipité blanc lorsque le vinaigre a été falsifié par ce moyen. Lorsqu'il l'a été par l'acide nitrique, qui est plus difficile à reconnaître, on le fait chauffer dans un verre de montre avec un peu d'acide muriatique pur et un morceau de feuille d'or ; celle-ci se dissout avec dégagement de vapeurs nitreuses, s'il y a de l'acide nitrique. On peut employer de la tournure de cuivre, ce qui réussit tout aussi bien, et se borner à constater la formation de vapeurs nitreuses, ou bien ajouter à la dissolution un peu de sulfate de protoxyde de fer, qui prendra une couleur violette très intense passant au noir. Si le vinaigre contenait de l'acide hydrochlorique, on le reconnaîtrait à ce qu'il donnerait lieu par le nitrate d'argent à un précipité blanc caillebotté, qui devient en très peu d'instants d'un bleu violet sale, par l'action de la lumière solaire.

La pesanteur spécifique, si on a le soin de la déterminer avec un pèse-acide bien confectionné, est un bon moyen d'essai pour reconnaître la force du vinaigre pur. On peut considérer la table suivante, donnée par MM. Taylor, comme à peu près correcte, ou du moins comme suffisante pour les transactions commerciales.

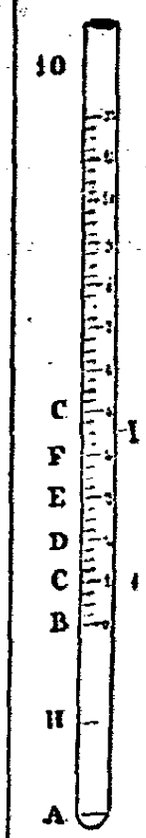
PESANTEUR spécifique.	TENEUR CORRESPONDANTE en acide anhydre pour 100.
1,0085	5
1,0179	10
1,0257	15
1,0320	20
1,0470	30
1,0580	40

En Angleterre, on ne détermine pas directement la force du vinaigre par sa pesanteur spécifique, mais bien par la densité qu'il prend, quand il est saturé de chaux vive. La fraction décimale de la pesanteur spécifique de l'acétate de chaux, est à très peu près le double de celle du vinaigre pur qui lui correspond ; c'est à-dire que cette densité étant de 1,009 pour le vinaigre, elle devient 1,018 pour l'acétate de chaux. Le vinaigre de grain ou de malt contient tellement de mucilage ou de gluten, qu'un vinaigre de malt de même force que le précédent, a une densité de 0,014, qui devient de 1 023, quand ce vinaigre est converti en acétate de chaux ; il s'ensuit que 0,005 de sa densité sont dus à la présence de matière mucilagineuse, qu'il renferme. Ce fait démontre l'erreur que l'on peut commettre en déterminant par l'aréomètre la force des vinaigres qui sont plus ou moins mélangés de gluten. Le seul procédé d'essai exact, pour cet acide, comme du reste pour tous les autres, consiste à déterminer la quantité d'alcali, qu'un poids ou un volume donné peuvent saturer.

On peut employer le bicarbonate de potasse, qu'il est facile de se procurer très pur, en se basant sur ce fait, que ce sel sature à très peu près exactement la moitié de son poids d'acide acétique anhydre.

On peut également pour mesurer la concentration des vinaigres, se servir d'ammoniaque caustique d'une densité et d'un titre connus, et c'est sur ce procédé qu'est basé l'acétimètre de M. *F.-J. Otto*, dont voici la description

ACIDE ACETIQUE.



Un tube (fig. 10) fermé par un bout, de 32 centimètres de longueur, et 13 à 14 millimètres de diamètre, porte près de sa partie inférieure, un trait de lime A, niveau auquel s'élève à la température de 15° C, un gramme d'eau distillée. L'espace entre A et B ou 0, contient 10 grammes de la même eau à cette température ; de B en C, de C en D et ainsi de suite, le tube est partagé en parties égales, subdivisées elles-mêmes en plus petites. Les premières peuvent contenir chacune, 2,080 grammes d'eau ou 2,070 grammes d'ammoniaque liquide, contenant 1,369 p. 100 d'ammoniaque.

Cette quantité de 2,070 grammes de liqueur ammoniacale, à ce titre, est suffisante pour saturer un décigramme d'acide acétique hydraté, contenant un équivalent ou 14,86 pour 100 d'eau. Comme les divisions à partir de C répondent à des centièmes, on peut les désigner aussi par les chiffres 1, 2, 3, etc.

Voici la manière de se servir de cet instrument :

On verse dans le tube jusqu'en A, une teinture bleue de tournesol faite pour cet objet, avec une partie de tournesol en pain et quatre parties d'eau ; puis, on ajoute jusqu'en B le vinaigre à essayer, dont il faut environ 10 grammes. Toute la liqueur du tube devient aussitôt rouge. Maintenant on prend la liqueur ammoniacale d'épreuve au titre annoncé ci-dessus, et on la verse par parties avec précaution, en secouant chaque fois et en fermant l'extrémité du tube avec le doigt. On continue ainsi lentement jusqu'à ce que la teinture bleue du tournesol soit rétablie. La hauteur du mélange dans le tube, donne en centièmes le degré acétimétrique du vinaigre. Par exemple, si la liqueur s'élevait jusqu'en I, le vinaigre essayé contiendrait 4 1/2 pour 100 d'acide acétique.

L'avantage de cette méthode est de pouvoir être exécutée par tout le monde, en peu d'instants et sans beaucoup de connaissances préalables. D'ailleurs, il est facile de se procurer toujours de la liqueur d'épreuve au même titre, puisque la quantité absolue d'ammoniaque qu'elle renferme, s'apprécie très exactement au moyen du poids spécifique. On n'obtient pas, il est vrai, ainsi une exactitude rigoureuse, mais le procédé est bien suffisant dans la pratique, et donne de meilleurs résultats que tous ceux proposés jusqu'à ce jour, surtout quand il s'agit de vinaigres d'eau-de-vie et de tous ceux qui sont dépouillés de matières mucilagineuses.

Pour que les praticiens puissent facilement eux-mêmes titrer leurs liqueurs d'épreuve, M. *Otto*, d'après des essais qui lui sont propres, a dressé la table suivante des quantités d'eau qu'il faut ajouter à une liqueur ammoniacale d'une densité quelconque, pour l'amener à contenir 1,369 p. 100 d'ammoniaque.

On fait usage de cette table de la manière suivante : on prend avec un aréomètre à la température de 13° Réaumur ou 16° C., la pesanteur spécifique de l'ammoniaque, dont on peut disposer. Supposons qu'on la trouve de 0,9650 ; en cherchant ce nombre dans la deuxième colonne de la table, on voit vis-à-vis dans la première colonne, le nombre 8, 5, qui indique la quantité absolue d'ammoniaque contenue dans 100 parties de ce liquide. Maintenant, pour en faire de la liqueur d'épreuve, la 3e et la 4e colonnes nous apprennent que sur 1000 parties en poids, ou si on veut 1000 grammes, il faut prendre 161 parties ou grammes (3e colonne) de cet ammoniaque liquide, et y ajouter 839 parties ou grammes (4e colonne) d'eau distillée. Cette liqueur d'épreuve est alors versée dans des flacons qu'on conserve bien pleins et bien bouchés pour s'en servir au besoin, en exposant le moins possible au contact de l'air cette dissolution

LIQUEUR AMMONIACALE		QUANTITÉS qu'il faut prendre pour former une liqueur d'épreuve contenant 1,569 p. 100 d'ammoniaque.	
Contenant en ammoniaque dans 100 part.	d'une pesanteur spécifique de	De la liqueur ammoniacale.	D'eau distillée.
12,009	0,9517	114,08	886,02
11,875	0,9521	115,3	884,7
11,750	0,9526	116,5	883,5
11,625	0,9531	117,8	882,2
11,500	0,9536	119,0	881,0
11,375	0,9549	120,0	880,0
11,250	0,9545	121,7	878,3
11,125	0,9550	123,0	877,0
11,000	0,9555	124,5	875,5
10,954	0,9556	125,0	875,0
10,875	0,9559	126,0	874,0
10,750	0,9564	127,3	872,7
10,625	0,9569	129,0	871,0
10,500	0,9574	130,4	869,6
10,375	0,9578	132,0	868,0
10,250	0,9583	133,5	866,5
10,125	0,9588	135,0	865,0
10,000	0,9593	137,0	863,0
9,875	0,9597	138,0	861,4
9,750	0,9602	140,4	859,6
9,625	0,9607	142,2	857,8
9,500	0,9612	144,0	856,0
9,375	0,9616	146,0	854,0
9,250	0,9621	148,0	852,0
9,125	0,9626	150,0	850,0
9,000	0,9631	152,0	848,0
8,875	0,9636	154,0	846,0
8,750	0,9641	156,4	843,6
8,625	0,9645	158,7	841,3
8,500	0,9650	161,0	839,0
8,375	0,9654	163,5	836,5
8,250	0,9659	166,0	834,0
8,125	0,9664	168,5	831,5
8,000	0,9669	171,0	829,0
7,875	0,9673	173,8	826,2
7,750	0,9678	176,6	823,4
7,625	0,9683	179,5	820,5
7,500	0,9688	182,5	817,5
7,375	0,9692	185,6	814,4
7,250	0,9697	188,8	811,2
7,125	0,9702	192,0	808,0
7,000	0,9707	195,6	804,4
6,875	0,9711	199,0	801,0
6,750	0,9716	202,8	797,2
6,625	0,9721	206,6	793,4
6,500	0,9726	210,6	789,4
6,375	0,9730	214,7	785,3
6,250	0,9735	219,0	781,0
6,125	0,9740	223,5	776,5
6,000	0,9745	228,0	772,0
5,875	0,9749	233,0	767,0
5,750	0,9754	238,0	762,0
5,625	0,9759	243,4	756,6
5,500	0,9764	249,0	751,0
5,375	0,9768	254,7	745,3
5,250	0,9773	260,8	739,2
5,125	0,9778	267,0	733,0
5,000	0,9783	273,8	726,2

ammoniacale. Pour les vinaigres très faibles, on réussit

mieux en étendant encore la liqueur d'épreuve avec son volume d'eau distillée. Alors, il faut prendre la moitié du résultat indiqué par l'instrument pour le degré acidimétrique du vinaigre essayé. Pour les vinaigres trod forts, au contraire, il faut les étendre d'une fois leur volume d'eau, ce qui est facile avec l'instrument, lequel porte en H une marque qui partage en deux parties égales l'espace entre A et B. Seulement, après l'épreuve, il faut avoir soin de doubler le nombre donné par l'instrument, pour avoir le véritable degré d'acidité du vinaigre essayé.

Le vinaigre après qu'il a été tiré au clair doit être conservé dans des vases propres, bien pleins et bouchés soigneusement, qu'on dépose dans un lieu tranquille, obscur et frais.

Lorsqu'il est en contact avec l'air, il s'y forme des animaux infusoires connus sous le nom d'*anguilles de vinaigre*, et appelés par les naturalistes *vibrion du vinaigre* (vibrio aceti); qui sont quelquefois assez gros pour être aperçus à la vue simple. Ces animaux pouvant faire corrompre le vinaigre, il faut les tuer en faisant passer ce liquide à travers un serpentin d'étain entouré d'eau élevée à la température de 90° à 100°. Ces animalcules périssent par l'action de la chaleur; après quoi, on filtre le vinaigre pour le rendre limpide, et ils ne s'y montrent plus. Lorsqu'on opère en petit, on chauffe le vinaigre dans des cruches ou dans des bouteilles qu'on place dans un vase plein d'eau, où on les laisse jusqu'à ce que cette eau entre en ébullition.

Conservé dans des vases ouverts, ou lorsqu'il est en vidange, le vinaigre perd de sa transparence, et peu à peu, il s'y rassemble une masse cohérente, gélatineuse et tranparente, qui paraît gluante et gonflée quand on la touche, et que les fabricants désignent improprement sous le nom de *mère de vinaigre*. Elle est produite aux dépens du vinaigre et celui-ci s'affaiblit d'autant plus qu'il se forme une quantité plus considérable de cette substance. Celle-ci est en quelque sorte, suivant M. Berzélius, le produit de la putréfaction du vinaigre; elle ne prend pas naissance dans le vinaigre très concentré. mais seulement dans le vinaigre étendu, et elle se forme d'autant plus facilement que celui-ci est plus faible. On prévient la décomposition, qui ne manque pas d'avoir lieu après ce dépôt, en filtrant le vinaigre à travers une chausse, ou mieux une couche un peu épaisse de poussière de charbon.

Enfin, le vinaigre bien préparé, contenant un peu d'éther acétique et un corps volatil particulier, qui lui donnent en partie l'odeur et la saveur qui le font rechercher, il importe de lui conserver ces principes en ne l'exposant pas à une température élevée, à l'action de la lumière et au contact prolongé de l'air.

On ajoute ordinairement au vinaigre de bois purifié un peu de sucre brûlé (caramel) et d'éther acétique, et même en France un peu de vin, pour lui donner autant que possible la couleur et le goût du vinaigre de vin. La propriété qu'il possède de blanchir les choux rouges qu'on y fait digérer, tient à ce qu'il renferme une petite quantité d'acide sulfureux dont on peut le débarrasser en le distillant, soit avec un peu de peroxyde de manganèse, soit mieux avec une très petite quantité de peroxyde de manganèse et d'acide sulfurique. On perd toujours dans cette opération un peu d'acide, parce qu'il se forme une petite quantité d'acétate de manganèse, et que d'ailleurs on ne peut pas distiller à sec dans le cas où on a ajouté de l'acide sulfurique.

Stolze a reconnu, à la suite d'un grand nombre d'expériences, que par la distillation, 100 kilogrammes de bois, donnent 36 à 48 kilogr. de produits liquides, desquels on retire 12 à 31 kilogr. d'acide pyroligneux, suivant la nature du bois employé. Les bois feuillus, durs et vieux, qui ont cru sur un sol sec, sont ceux qui donnent l'acide le plus concentré. Le bouleau blanc et

le hêtre rouge donnent par 100 kilogr. : 46 kilogr. d'acide pyroligneux distillé, 8 kilogr. d'huile empyreumatique et de goudron, et 25 kilogr. de charbon de bois; il faut 524 parties de l'acide obtenu pour saturer 100 parties en poids de carbonate de potasse. Le pin rouge donne par 100 kilogr. : 41 kilogr. d'acide pyroligneux, 16 kilogr. d'huile empyreumatique et de goudron, et 24 kilogr. de charbon de bois; mais il faut 1309 parties de cet acide pour saturer 100 parties en poids de carbonate de potasse, ce qui lui assigne une force qui est les 524/1309, ou exactement les deux cinquièmes de celle de l'acide obtenu par la distillation du bouleau. Il faut de 576 à 640 parties des acides préparés avec du houx, du hêtre blanc, du frêne ordinaire ou du châtaignier sauvage, ou bien 960 à 990 parties des acides provenant de la distillation de l'aulne ou du pin blanc, pour saturer 100 parties en poids de carbonate de potasse.

L'acide pyroligneux est exclusivement employé dans les arts, pour beaucoup d'opérations qui n'exigent pas de l'acide acétique parfaitement pur. On en fait un grand usage dans les ateliers d'impression sur indiennes, pour la préparation de l'acétate de fer dit *bouillon noir*, et pour celle de l'acétate d'alumine dit *liqueur rouge*. On s'en sert aussi pour fabriquer l'acétate de plomb; mais, dans ce cas, si l'acide renferme une quantité notable de matières goudronneuses, l'acétate de plomb ne cristallise qu'avec peine, sous la forme de concrétions imitant les choux-fleurs. On peut remédier à cet inconvénient en faisant bouillir la dissolution saline avec une très-petite quantité d'acide nitrique, qui détermine un précipité granulaire brunâtre et donne à la liqueur une teinte rougeâtre. On filtre ensuite sur du charbon pilé, et on obtient une dissolution incolore, qui fournit, par l'évaporation spontanée, des cristaux très-réguliers d'acétate de plomb.

L'acide pyroligneux possède au plus haut degré des propriétés anti-putrides. La viande qu'on y met tremper pendant quelques heures, peut ensuite être desséchée à l'air, sans crainte qu'elle se corrompe; mais elle devient dure en quelque sorte comme du cuir, de manière que ce mode de conservation n'est guère praticable pour les viandes de boucherie. On l'emploie quelquefois pour le poisson.

ACÉTONE ou *esprit pyro-acétique* (*angl.* pyro-acetic spirit, *all.* essiggeist). Ce liquide, découvert par Chenevix, s'obtient en soumettant à une distillation sèche les acétates alcalins ou terreux, tels que ceux de soude et de chaux. On le rectifie en le distillant de nouveau au bain-marie, sur du carbonate de potasse ou du chlorure de calcium. Quelquefois même, après plusieurs distillations successives, l'acétone conserve une odeur empyreumatique très-désagréable, analogue à celle de l'ail; on l'en débarrasse en la rectifiant sur du noir animal. L'acétone, ainsi préparée, est un liquide incolore très-limpide et très-volatil, d'une odeur éthérée et pénétrante, brûlant comme l'alcool, avec une flamme de peu d'apparence et légèrement bleuâtre. Il bout à 56°, sa densité est de 0,7921, à 15° et demi, et la densité de sa vapeur 2,019, sa composition est de :

Carbone.	62,5	$C^3 H^6 O$
Hydrogène.	10,2	
Oxygène	27,3	
	100,00	

Ce qui donne une proportion ou *atome* d'acide acétique, moins un atome d'acide carbonique. On l'emploie pour dissoudre les résines-gommes, qui servent à donner de la consistance aux chapeaux.

ACIDES (*angl.* acids, *all.* saüre). On donne le nom d'acides aux substances qui ont la propriété de neutraliser les bases salifiables, en produisant une classe particulière de corps qu'on désigne sous le nom de sels. Ils ont généralement une saveur aigre, piquante, et rougissent certaines couleurs bleues végétales, notamment celle du tournesol.

Les acides sont les agents les plus énergiques qu'emploie la chimie industrielle pour transformer la composition des corps et créer de nouveaux produits. Leur rôle est d'une importance égale à celui des machines dans la transformation de la forme des corps. Les acides sulfurique et nitrique, surtout, sont d'un emploi incessant dans une foule d'industries, et nous les rencontrerons presque à chaque page de ce livre. (Voir l'article spécial au nom de chaque acide).

ACIDIMÉTRIE. Pour déterminer la valeur des acides qui se trouvent toujours dans le commerce étendus d'eau, on se sert généralement d'aréomètres, qui indiquent leur densité, d'où l'on conclut leur force avec quelque approximation. Si l'on craint le mélange de substances étrangères, qui peuvent faire varier cette densité, tout en diminuant la force de l'acide, on peut déterminer celle-ci exactement, en saturant l'acide avec une dissolution titrée d'alcali. On ajoute avant l'essai, à l'acide, quelques gouttes de teinture de tournesol, qui le colorent en rouge; lorsque la quantité d'alcali, que l'on ajoute par petites portions, arrive à ramener la couleur bleue, le point de saturation est atteint, et de la qualité d'alcali employée, il est facile de déduire la valeur réelle de la dissolution en acide pur.

Précisons, en donnant la manière d'opérer pour effectuer des essais qui doivent être répétés à chaque instant dans les fabriques.

Préparons une liqueur titrée alcaline (voy. ALCALIMÉTRIE), en dissolvant une quantité exactement pesée de carbonate de soude sec et pur dans l'eau distillée. On pourra prendre 3ᵍ,310 de ce carbonate et le dissoudre dans 50 grammes d'eau. La liqueur renfermera, par centimètre cube, 1 dix-millième d'équivalent de carbonate de soude. Car celui-ci = 662,17, dont le demi-centième = 3,310, dissous dans 50 grammes d'eau, donne bien à la liqueur la teneur indiquée ci-dessus. Cette liqueur sera versée dans une burette graduée.

Quel que soit l'acide à essayer, on en pèsera 2ᵍ,5 par exemple; on les placera dans un verre à pied, en les étendant à peu près de leur volume d'eau; on ajoutera quelques gouttes de tournesol bleu, qui vireront immédiatement au rouge; puis versant goutte à goutte, au moyen de la burette, la solution alcaline, on s'arrêtera au moment précis où la liqueur acide sera revenue au bleu.

En lisant alors sur la burette le nombre de centimètres cubes employés à la saturation, et, le mulpliant par 40, on saura combien il faut de dix millièmes d'équivalent de carbonate de soude pour saturer 100 grammes de l'acide à essayer. Il sera, dès lors, facile d'en déduire la richesse en centièmes de cet acide.

S'agit-il, par exemple, d'acide sulfurique, dont l'équivalent, à l'état monohydraté, est 612,5, on dira : chaque centimètre cube de la liqueur alcaline contient un dix millième d'équivalent de carbonate de soude et sature, par conséquent, un dix millième d'équivalent d'acide sulfurique monohydraté, soit 0,06125. Donc 2,5 renferment autant de fois 0,06125 d'acide qu'on a employé de centimètres cubes, et 100 grammes en renferment 40 fois plus. Si, par exemple, il faut 35 cent. cubes de liqueur alcaline, on écrira :

$$35 \times 0{,}06125 = 2^{g},143, \text{ et } 2^{g},143 \times 40 = 85{,}720.$$

Donc l'acide renfermera 85,72 p. 100 d'acide monohydraté. On opérera de même, quel que soit l'acide soumis à l'essai, en employant naturellement, dans le calcul ci-dessus, l'équivalent qui appartient à chacun d'eux.

ACIER (*ang.* steel, *all.* stahl.). L'acier est un composé de fer et de carbone; la quantité de carbone qu'il renferme est très-faible et varie de 1 à 2 p. 100.

On y rencontre souvent des quantités moindres encore de silicium, de phosphore et d'azote. Ses propriétés physiques sont peu différentes de celles du fer (Voy., SERRURERIE, la comparaison de l'élasticité et de la ténacité des deux métaux), et il peut se travailler d'une manière analogue. Mais ce qui le caractérise essentiellement, c'est que, quand il a subi la trempe, c'est-à-dire quand après l'avoir porté à la chaleur rouge on le refroidit brusquement par l'immersion dans l'eau froide, il acquiert une grande dureté et devient alors propre à la confection des outils.

En considérant la trempe dure comme la qualité essentielle de l'acier et en tenant compte des conditions à satisfaire pour un bon travail, on définissait autrefois, ainsi qu'il suit, les caractères du bon acier :

1° Trempé à un faible degré de chaleur il acquiert une grande dureté.

2° Sa dureté est uniforme dans toute la masse.

3° Après la trempe, il résiste au choc sans se rompre, et ne perd sa dureté que par un recuit très-intense.

4° Il se soude avec facilité, ne se fendille pas, supporte une chaleur très-élevée et conserve presque toute sa dureté après un raffinage répété.

5° Il montre dans sa cassure, le grain le plus fin et le plus égal, jouit d'une grande pesanteur spécifique, et convient aux objets polis, parce qu'il est très-homogène et offre beaucoup d'éclat.

Une propriété curieuse de l'acier, c'est d'être très-sonore lorsqu'il a été forgé, refroidi lentement et limé. Il produit alors des sons agréables et harmonieux; aussi est-il propre à la confection des ressorts harmoniques, etc.... Il n'en est plus de même lorsqu'il a été trempé ; il ne rend plus alors que des sons ternes et voilés, semblables à ceux qu'on tire des instruments félés.

Il est inutile de démontrer quel admirable et précieux métal constitue l'acier par sa dureté, sa résistance, sa propriété de se tremper. Sans lui, on peut dire que l'industrie moderne n'existerait pas, et c'est une conséquence nécessaire en quelque sorte de sa grande utilité, que l'importance et les progrès de sa fabrication aient suivi les progrès de l'industrie. Ils ont été considérables de nos jours, et quant à l'économie de la production qui a permis d'en multiplier l'emploi, et quant à la variété des qualités propres à des applications spéciales. Aussi, tandis que la trempe était considérée autrefois comme la propriété caractéristique du bon acier, les progrès de la fabrication ont conduit à fabriquer des qualités d'acier fondu, malléables et tenaces à un très-haut degré, mais qui ne prennent pas la trempe, et qui par suite seraient, dans les idées anciennement admises, plutôt du fer fondu que de l'acier. Aussi a-t-on proposé de placer dans la fusion même le caractère distinctif des fers et des aciers, seul moyen de permettre une classification rationnelle, basée sur un fait d'une importance capitale sur lequel nous reviendrons plus loin.

On distingue plusieurs sortes d'acier d'après les procédés qui ont servi à les préparer; ils ont des caractères généraux semblables, mais diffèrent souvent beaucoup entre eux en raison de la nature du minerai et des matières qui sont entrées dans la fabrication, comme de la perfection du travail. Ce sont :

1° L'*acier naturel*, retiré directement des minerais, produit par leur réduction.

2° L'*acier de cémentation* produit par la carburation du fer.

3° L'*acier de forge*, produit par l'affinage incomplet de la fonte.

I. ACIER NATUREL. On obtient souvent, dans les forges catalanes, du *fer cédat*, ou *acier naturel*, en traitant certains minerais d'une grande richesse. Nous exposons cette fabrication et les moyens de produire à volonté du fer ou de l'acier naturel à l'article *Forges catalanes*.

Les progrès de la métallurgie n'ont pas laissé absolument de côté cette production directe de l'acier, qui semble la plus logique de toutes, car on n'a pas à passer par la fabrication intermédiaire de la fonte ou du fer. Nous donnons, à l'article ÉPONGES MÉTALLIQUES du *Complément*, l'indication des essais faits dans cette direction par M. Chenot. Mais ce sont surtout les perfectionnements du pudlage pour acier, à l'aide des gaz, à volonté réducteurs ou oxidants que nous décrivons plus loin, qui peuvent permettre de traiter directement des minerais riches, soit employés seuls, soit partiellement comme décarburants de la fonte, comme nous l'expliquerons. La question n'est donc pas différente de celle que nous étudions ci-après, quant aux procédés techniques conduisant à la solution du problème.

II. ACIER DE CÉMENTATION. La cémentation consiste essentiellement à carburer le fer forgé sous l'influence prolongée d'une haute température au contact du charbon de bois. Les matières mises en présence sont toujours chauffées en vase clos, c'est-à-dire préservées par des parois réfractaires et imperméables contre l'action des gaz émanant du foyer où se produit la chaleur nécessaire à la réaction. Chaque fourneau de cémentation reçoit de 10,000 à 25,000 kilogr. de fer à cémenter par opération. La figure 11 représente la coupe trans-

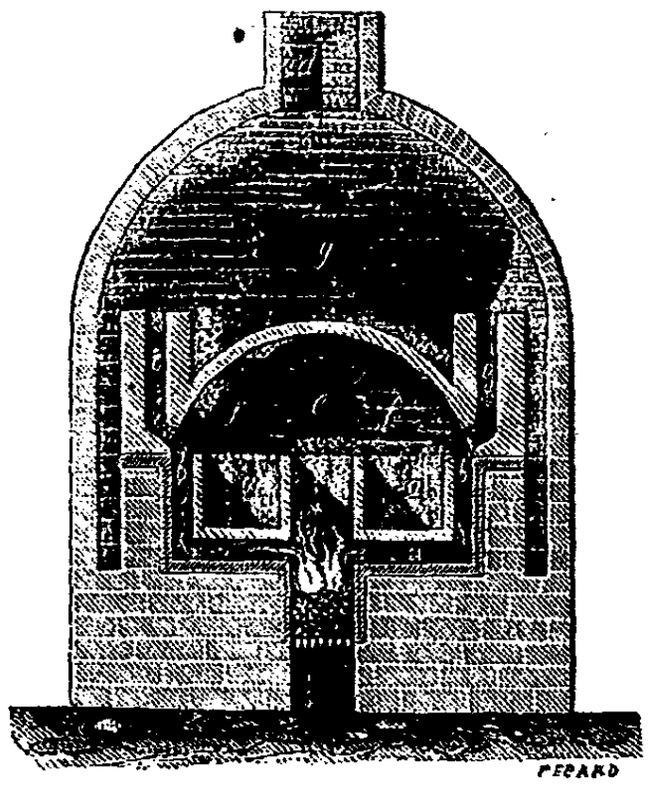


Fig. 11.

versale d'un fourneau de cémentation du comté d'York en Angleterre. Ce fourneau reçoit une charge de 17,600 kilogr. de fer. Les caisses de cémentation *a* sont construites soit en briques réfractaires, soit en grès quartzeux soigneusement taillé. Les parois verticales en grès ont ordinairement $0^m,15$ d'épaisseur ; celles en briques sont composées de deux assises de briques posées de champ, et n'ont que $0^m,11$ d'épaisseur. Le fond a moitié en sus de l'épaisseur des parois verticales. La longueur de chaque caisse intérieurement est de $3^m,11$, sa profondeur de $0^m,86$, et son volume $3^m,138$. Les deux caisses sont placées au même niveau, et d'une manière symétrique par rapport à la chauffe qui les sépare. Celle-ci a $0^m,46$ de large, est à $0^m,63$ en contrebas des caisses, et s'étend sur toute leur longueur. L'enceinte qui enveloppe les caisses et la chauffe, et

dans laquelle le combustible développe son effet calorifique, se compose de quatre parois verticales, recouvertes par deux voûtes surbaissées et raccordées en arc de cloître. Les parois verticales sont à 15 ou 16 centim. des faces extérieures des caisses, et la hauteur de la voûte est de 0m,90 à 1m,50. Cette hauteur est nécessaire pour que les ouvriers se tiennent aisément dans le fourneau lorsqu'ils chargent les caisses ou enlèvent l'acier. Les ouvertures *f, f*... servent à introduire les barres à cémenter et à les retirer après la cémentation. D'autres ouvertures permettent de retirer dans le cours même de l'opération, et à diverses époques successives, des éprouvettes ou barres d'essai disposées à cet effet lors du chargement des caisses, qui servent à apprécier les progrès de la cémentation, et à reconnaître le moment où l'opération est terminée. La flamme circule autour des caisses par les canaux *b, b*...., et les baigne sur toutes leurs faces, puis s'échappe par des rampants *c*..., de 0m,15 de côté, disposés deux par deux, qui la conduisent dans six petites cheminées verticales, carrées, de 0m,20 de côté, et s'élevant à peine de quelques centim. au-dessus du niveau de la voûte. Une grande cheminée conique, de 10 à 15 mèt. de hauteur, et construite en briques communes, donne issue aux gaz et à la fumée sortant des petites cheminées.

Les meilleurs fers de cémentation sont les fers suédois, norvégiens et russes, très-purs, fabriqués au charbon de bois. Parmi les fers suédois, les fers de *Danemora*, marqués L. OO, et JB, sont les plus recherchés, et parmi les fers russes ce sont ceux de *Nijni-Taguilsk*, marqués CCMD. Tous les fers du nord que recherchent les fabricants d'acier de cémentation se distinguent par une couleur gris bleuâtre éclatante, assez analogue à celle du zinc, et par une structure grenue, compacte, passant à une structure lamellaire plus ou moins prononcée, plus rarement à la structure fibreuse. Les barres à cémenter ont une section méplate, leur épaisseur varie de 0m,008 à 0m,20. et leur largeur de 0m,060 à 0m,140. On emploie comme *cément* du menu charbon de chêne, partie à l'état pulvérulent, partie concassé en fragments dont le volume ne dépasse pas 2 centimètres cubes. On a souvent essayé sans succès d'employer comme cément le charbon calciné d'une opération précédente ; ordinairement on diminue un peu la dépense sans altérer sensiblement la propriété carburante du cément, en passant avec le charbon neuf un quart de charbon calciné. La houille est le seul combustible employé en Angleterre, soit pour le chauffage nécessaire pour produire la cémentation, soit pour toutes les autres branches du travail de l'acier.

La conduite d'un fourneau de cémentation exige deux ouvriers; ceux-ci commencent par couper les barres à cémenter en tronçons qui ont toujours 0m,05 de moins que la plus grande dimension des caisses. On place d'abord au fond de chaque caisse une couche de cément épaisse de 0m,08, puis on stratifie de deux manières différentes le fer avec de nouvelles couches de cément. Tantôt on pose à plat et par lits horizontaux les barres à peu près juxtaposées, et on les sépare par des couches de charbon épaisses de 0m,008 à 0m,015 ; tantôt on les pose de champ. Lorsqu'on est arrivé au niveau des quatre ouvreaux *h, h*,.., on y dispose des fragments de barres, de telle sorte qu'on puisse aisément les retirer pour juger par leur aspect du progrès de la cémentation. Enfin on termine toujours le chargement par une couche de cément épaisse de 0,08, qui doit rester à quelques centimètres au-dessous du bord supérieur des caisses. Les caisses ainsi chargées sont hermétiquement fermées par un moyen aussi simple qu'efficace, qui consiste à recouvrir la dernière couche de charbon par une couche de 0m,10 d'une sorte de mortier formé des détritus pulvérulents qui se déposent au pied des meules d'aiguisage. Cette matière qui se compose essentiellement de quartz pulvérulent et de parcelles d'acier oxydées à leur surface, se coagule et se ramollit par l'action de la chaleur, sans jamais se liquéfier.

La mise en feu doit être conduite avec beaucoup de ménagement, quand le fourneau est neuf, ou quand une partie de la maçonnerie a été renouvelée; mais dans le cas ordinaire on pousse rapidement le feu, afin de porter aussi promptement que possible les caisses à la température rouge où la cémentation se produit. Pour le fourneau que nous avons décrit, cette mise en feu dure vingt-quatre heures. L'habileté de l'ouvrier consiste surtout à régler le feu, de manière à entretenir constamment la température rouge vif qui convient le mieux à la cémentation, sans la dépasser et sans laisser jamais la grille dégarnie. Il n'y a point de registre pour faire varier le tirage, en sorte que l'ouvrier ne peut diriger le feu qu'au moyen des soins qu'il donne à la chauffe. On maintient le feu pendant un nombre de jours proportionné à la section transversale des barres à cémenter, et au degré de carburation qu'on veut leur donner. Pour une charge de 17,000 kilogr., la durée du feu varie entre 5 et 9 jours; elle est ordinairement de 7 jours, mais il faut considérer que la cémentation se produit encore assez longtemps après qu'on a cessé de charger le combustible, pendant la période du refroidissement.

On termine l'opération en faisant refroidir le fourneau beaucoup plus lentement qu'on ne l'avait échauffé. A cet effet, on laisse accumuler le mâchefer sur la grille de manière à la boucher complétement. Le fourneau étant refroidi au-dessous du rouge sombre, on ouvre progressivement les divers orifices pour hâter le refroidissement au moyen de l'air frais. Ordinairement on peut procéder au défournement huit jours après que l'on a cessé de fournir du combustible au foyer.

En résumé, la cémentation de 17,600 kilogr. de fer exige moyennement le nombre de jours indiqué ci-après :

Chargement, fermeture des caisses, nettoyage des carneaux et du foyer, fermeture des portes et ouvreaux.	1 jour.
Chauffage.	7
Refroidissement.	8
Déchargement, menues réparations. . .	1
Total.	17 jours.

Un fourneau de cette capacité, maintenu en pleine activité, ne reçoit guère que 20 charges par an.

Les propriétés physiques du fer sont complétement modifiées par la cémentation. La malléabilité, qui est développée au plus haut degré dans les bonnes marques de fer à acier, est détruite dans l'acier brut, au point que les barres se brisent quand on les laisse tomber d'une faible hauteur sur l'arête d'une enclume ; on peut les réduire en très-petits fragments sous le choc d'un simple marteau à main. La surface des barres les mieux forgées devient très-inégale; elle est couverte d'ampoules, ce qui a fait donner à l'acier de cémentation le nom d'*acier poule*, et l'on y voit en outre distinctement l'empreinte de fragments de charbon avec lesquels cette surface était en contact. On remarque dans la cassure transversale des meilleures sortes d'acier brut de cémentation de nombreuses fissures, ordinairement parallèles aux grandes faces de la barre. Dans les aciers communs, ces fissures atteignent des dimensions assez considérables, et se prolongent jusqu'à la surface de la barre. La structure est toujours lamellaire; les lamelles sont incomparablement plus grandes que celles qu'on remarque dans certains fers ; elles dépassent souvent un centimètre. Leur surface, au lieu d'être plane et brillante, est grenue ou écailleuse et ré-

fléchit mal la lumière; aussi la cassure est-elle moins éclatante que celle des fers lamellaires. Enfin la couleur est elle-même profondément modifiée; la nuance bleuâtre a disparu, et est remplacée par un blanc grisâtre.

Voici le tableau du prix moyen de revient des 100 kilogrammes d'acier brut de cémentation en Angleterre.

Fer, 99k,1 à 45 fr. les 108 kilog. . . .	44f,60c
Charbon de bois, 5k,5 à 5f,40 les 100 kil.	0f,30c
Houille, 75k à 1f,06c les 100 kilogr. . .	0f,80c
Main-d'œuvre à 3f,62c par journée. . . .	0f,72c
Frais généraux.	1f,71c
Total.	48f,13c

Acier laminé. Pour la fabrication des ressorts de voitures, on se contente de réchauffer les barres d'acier brut dans un four à réverbère et de les passer ensuite au laminoir, afin de rapprocher et de souder les parties fissurées par la cémentation. Le déchet est de 2 à 3 p. 100, et on dépense 50 p. 100 de houille.

Acier étiré. Le réchauffage de l'acier se fait dans des foyers à tuyère, alimentés avec de la houille menue, très-collante, qui forme voûte au-dessus du foyer, et analogues aux forges de maréchaux. L'étirage se fait au martinet.

L'acier simplement étiré se prépare au moyen de deux opérations successives : dans la première qu'on nomme *ressuage*, on chauffe une à une chaque barre brute de cémentation, puis on la soude sous le martinet en lui donnant à peu près une forme carrée, mais sans en diminuer notablement la section transversale. Dans la seconde opération, on réchauffe la barre au blanc soudant, et on l'étire aux diverses dimensions que réclame le commerce. Cet acier est peu homogène, ordinairement pailleux et ne convient que pour les fabrications de qualité moyenne. On consomme 105 kil. d'acier brut et 60 kilogr. de houille, par 100 kilogr. d'acier étiré obtenu.

Acier corroyé. L'acier une fois corroyé se prépare de même au moyen de deux opérations successives : dans la première, nommée *soudage*, on chauffe une trousse ou paquet composé de plusieurs fragments de barres d'acier cémenté, jusqu'à ce qu'il ait atteint la température du blanc soudant, puis on le soumet avec précaution à l'action du martinet, de manière à souder ensemble tous les fragments. Pour rendre le soudage plus facile et plus prompt, on place quelquefois au-dessus et au-dessous de l'acier brut des barres auxquelles on a déjà fait subir un ressuage. Le massiau soudé est ensuite reporté au feu et étiré à la dimension voulue. On consomme 111 kilogr. et demi d'acier brut et 100 kilogr. de houille par 100 kilogr. d'acier une fois corroyé obtenu.

L'acier deux fois corroyé se prépare de la même manière que la sorte précédente, avec cette différence, qu'on emploie pour matière première des barres une fois corroyées, réunies ordinairement au nombre de douze à dix-huit en un seul paquet. Enfin, on prépare quelquefois, pour la fabrication de certains objets de qualité supérieure, des aciers trois fois corroyés. Les déchets sur le second et le troisième corroyage sont d'environ 5 p. 100, et chacun d'eux donne lieu à une consommation de 120 kilogr. de houille par 100 kil. d'acier corroyé obtenu.

Nous invitons les personnes qui désireraient avoir plus de détails relativement à la fabrication de l'acier de cémentation et de l'acier fondu, à consulter le beau travail de M. *Le Play*, sur les aciéries d'Angleterre, inséré dans *les Annales des mines* pour 1843.

Théorie de la cémentation. En 1850, M. Caron a présenté à l'Académie des sciences une série d'expériences qui tendent à prouver que le corps aciérant dans la

cémentation, dont on soupçonnait l'existence, devait être un cyanure alcalin, formé en présence du charbon par l'azote qui forme l'atmosphère des caisses de cémentation et par l'alcali que les charbons de bois contiennent toujours en quantité notable.

Pour le prouver, il suffisait de faire voir que le charbon sans alcali et sans azote ou sans l'un de ces deux corps ne donnait jamais de cémentation.

Un morceau de fer, entouré de charbon privé d'alcali par le lessivage et la calcination, fut chauffé au rouge dans un courant d'azote; il n'y eut pas de cémentation.

Un morceau de fer entouré de charbon ordinaire non lessivé et non calciné, fut chauffé au rouge dans un courant de gaz hydrogène bien privé d'azote; il n'y eut pas de cémentation.

D'un autre côté, du charbon privé d'alcali, et qui n'avait pu produire de cémentation sous l'influence de l'azote, devint un cément très-actif après qu'il eût été imbibé d'une dissolution alcaline.

Du charbon de bois non lessivé et non calciné, mais qui n'avait pu cémenter du fer (*sensiblement*) en l'absence (*difficile à obtenir absolu*) de l'azote, devient aussi un cément actif sous l'influence de ce gaz.

Il était donc démontré que la cémentation, telle qu'elle se pratique dans l'industrie, nécessitait non-seulement la présence du charbon et de l'azote, mais encore celle d'un alcali. Or, le charbon, l'azote et un alcali mis en présence au rouge, forment toujours un cyanure quand l'alcali se trouve être de la potasse, de la soude, de la lithine, de la baryte ou de la strontiane; on pouvait donc penser que la cémentation se faisait par les cyanures, corps volatils au rouge, et indécomposables à cette température par la chaleur seule. Comme confirmation de cette hypothèse, on reconnut que la chaux qui, dans les mêmes circonstances, ne donne pas de cyanure, ne produit non plus aucune cémentation.

Si l'on examine ce qui se passe dans les opérations industrielles, on aura encore, s'il est besoin, une confirmation de la justesse de l'hypothèse précédente. En effet, le charbon qui a servi une fois à la cémentation n'est plus actif, et doit être rejeté ou mélangé par économie avec une grande quantité de charbon neuf. Ce n'est cependant ni l'azote, ni le carbone qui manquent après la première opération : c'est l'alcali qui a été entraîné par les gaz; sans alcali, il n'y a plus de cyanure possible, et sans cyanure il n'y a plus de cémentation.

Pourquoi l'industrie a-t-elle reconnu l'utilité d'ajouter au charbon de bois des cendres, du sel, des matières animales, etc.? C'est parce que ces différents corps contiennent, sans exception, des alcalis qui activent la cémentation en permettant la production d'une plus grande quantité de cyanures.

Pourquoi enfin l'aciération avec les ciments potassiques, sodiques et surtout barytiques, est-elle plus lente et exige-t-elle une plus haute température qu'avec les céments ammoniacaux? C'est parce que les cyanures de potassium, de sodium et de baryum, exigent pour se former, pour se volatiliser et pour cémenter plus de temps et plus de chaleur que les cyanures ammoniacaux.

Wootz. C'est par cémentation et à l'aide d'un procédé peu connu, suivi dans l'Inde par les naturels du pays, qu'est fabriqué l'acier indien renommé dit *wootz*.

Le minerai de fer est composé de 58 p. 100 de fer oxydulé et de 42 p. 100 de gangue quartzeuse. Il est fondu dans un petit fourneau à poitrine fermée, en argile réfractaire, de 1m,20 à 1m,50 de hauteur, qui a intérieurement 0m,60 à 0m,70 de côté près de la sole et 0m,30 à 0m,35 au gueulard. La soufflerie se compose de sortes d'outres en peau de chèvre, d'où l'air est conduit

par des tuyaux de bambous creux dans la tuyère en argile du fourneau. Après avoir rempli celui-ci de charbon de bois, on introduit par la tuyère un tison enflammé et on donne le vent. Tout le charbon ne tarde pas à s'allumer et s'affaisse à mesure qu'il se consume. On charge alors par le gueulard une certaine quantité de minerai concassé en petits fragments et préalablement humecté d'eau, sans y ajouter aucun fondant, puis on achève de remplir le fourneau avec du charbon. Trois ou quatre heures après, l'opération est terminée; on arrête le vent, on démolit un petit mur en argile de 30 à 40 centim. de hauteur, qui fermait provisoirement la poitrine ou partie antérieure du fourneau, et l'on retire la loupe ou masse de fer avec des pinces. On la bat sur le sol de l'usine pour en séparer autant que possible les scories dont elle est imprégnée, et on la coupe en partie à la tranche, afin de pouvoir facilement examiner la qualité de la masse à l'intérieur. On vend en cet état le fer aux forgerons qui le réchauffent et l'étirent en barres. On ne retire environ que 15 de fer pour 100 de minerai employé; cela tient à ce que, n'ajoutant point de fondant pour le quartz, celui-ci ne passe dans les scories qu'en dissolvant une quantité très-considérable d'oxyde de fer qui forme à peu près les deux tiers de celle contenue dans le minerai; d'un autre côté il se peut que les silicates terreux que l'on pourrait former par l'addition de fondants, ne soient pas fusibles à la faible température qui est développée dans ces fourneaux, et qu'avec les appareils ci-dessus, il soit impossible de séparer la gangue autrement qu'à l'état de silicate métallique.

Les Indiens cémentent le fer ainsi obtenu dans des creusets façonnés avec une argile réfractaire, mélangée de paille de riz hachée en assez grande quantité. On charge environ 500 grammes de fer coupé en fragments dans chaque creuset et au-dessus 50 grammes de bois sec, coupé très-menu, puis le tout est recouvert avec deux ou trois feuilles vertes : on choisit de préférence pour cette opération du bois du *cassia auriculata* et des feuilles de l'*asclepias gigantea* ou du *convolvulus laurifolius*. Enfin on ferme les creusets avec une couche d'argile humectée, que l'on tasse aussi fortement que possible, afin de prévenir tout contact avec l'air.

On empile les creusets ainsi préparés, au nombre de 20 à 25 dans un petit fourneau à courant d'air forcé, alimenté au charbon de bois, où on les maintient à une température aussi élevée que possible, pendant deux heures et demie environ. Au bout de ce temps, on regarde l'opération comme terminée ; on retire les creusets du feu et après qu'ils sont refroidis, on les casse et on en retire l'acier sous la forme de culots. Lorsque ce culot présente des protubérances à sa surface, l'acier est de mauvaise qualité et l'opération est manquée; lorsqu'au contraire, la surface du culot est régulière et couverte de stries rayonnant du centre, l'acier est d'excellente qualité. On obtient ordinairement par opération 4 à 5 culots plus ou moins défectueux. Quand on choisit les culots bien réussis et qu'après les avoir refondus, on les forge avec soin, on obtient un produit d'excellente qualité, et qui, d'après *Stodart*, est supérieur pour la coutellerie fine aux meilleurs aciers fondus anglais.

Les culots d'acier obtenus comme nous l'avons dit, sont très-cassants; avant de les forger, les Indiens les adoucissent par un ressuage, qui consiste à les maintenir au rouge pendant plusieurs heures dans un petit fourneau à courant d'air forcé et au charbon de bois. Pendant cette opération l'acier perd une partie de son carbone, s'adoucit, et se laisse ensuite aisément étirer sous le marteau.

Acier fondu. L'acier brut de cémentation se prête difficilement au corroyage et à l'étirage. Il perd assez rapidement sa propriété aciéreuse dans les nombreuses

chaudes qu'on lui fait subir pour lui donner plus d'homogénéité, et le corroyage ne fait disparaître qu'imparfaitement les défauts de continuité ou *pailles* que la cémentation développe dans la plupart des fers à acier.

On remédie à tous ces inconvénients par la fabrication de l'acier fondu dont la découverte est due à Benjamin Huntsmann, qui fonda le premier établissement de ce genre à *Handsworth*, près *Sheffield*, en 1740, et a mérité de prendre place parmi les célébrités industrielles en produisant une matière admirable, qui a permis d'obtenir des instruments tranchants d'une qualité supérieure.

La partie principale du matériel de fabrication est un fourneau à courant d'air naturel, recevant deux creusets où l'acier est fondu à l'abri des gaz de la combustion.

Chaque fourneau (fig. 12) est un parallélipipède rec-

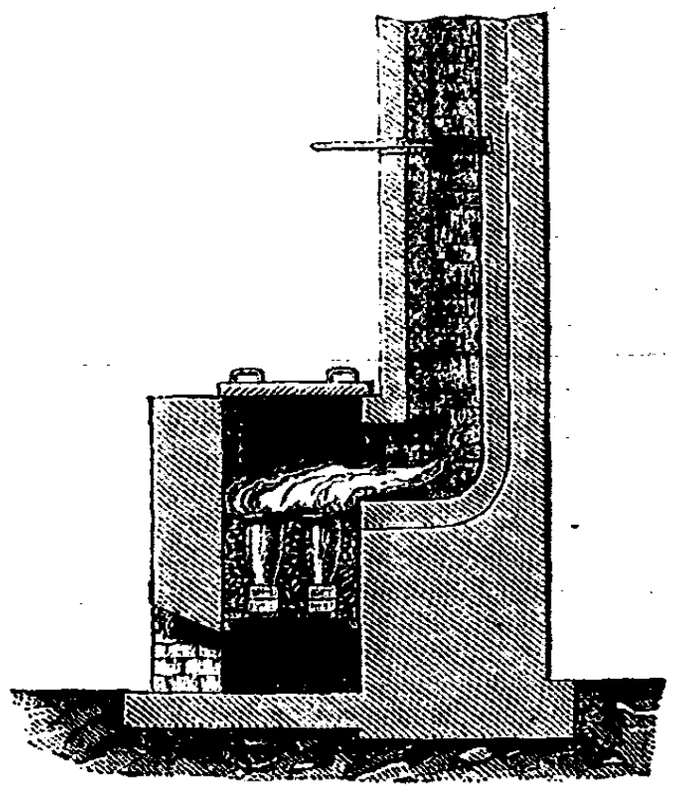


Fig. 12.

tangulaire de 0m,58 de long, 0m,34 de large et 0m,91 de profondeur ; à la partie supérieure, l'ouverture se rétrécit et n'a plus que 0m,23 sur 0m,30. La grille se compose de cinq barreaux de 0m,025 à 0m,035 de côté. Trois des côtés du prisme se prolongent juqu'au sol à 1m,71 au-dessous de la grille; le quatrième côté resté ouvert pour laisser un large accès à l'air atmosphérique nécessaire à la combustion. Un *rampant* ou canal horizontal rectangulaire de 0m,38 de large, 0m,14 de hauteur, et long de 0m,64, dont l'arête supérieure est à 0m,11 en contre-bas de l'orifice du fourneau, conduit les gaz de la combustion dans une cheminée à section le plus ordinairement carrée, de 0m,30 de côté, et qui a de 10 à 12 mètres d'élévation. Les parois du fourneau sont faites avec du grès quartzeux très-compacte et excessivement réfractaire. Ces fourneaux sont toujours

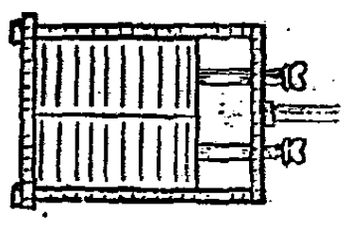


Fig. 13.

réunis sur une même file au nombre de 4 à 10. Pendant la fusion, on ferme leurs orifices supérieurs avec un couvercle (figure 13), formé de larges briques ré-

fractaires maintenues par des vis de pression dans un cadre en fer.

Le four Siemens a trouvé ici une heureuse application dans les grandes aciéries.

Pour la fabrication des creusets à fondre l'acier, on emploie de l'argile de *Stourbridge* que l'on mélange avec une certaine quantité d'argile de *Stannington*. Voici, d'après M. Le Play, la composition de ces deux sortes d'argiles.

	Stourbridge.	Stannington.
Silice.	46,1	42,0
Alumine.	38,8	40,9
Magnésie.	«	0,1
Chaux.	«	1,3
Oxyde de fer.	«	trace
Perte au feu (eau, matières combustibles volatiles). .	12,8	14,7
Carbone produit par la calcination en vase clos. .	1,5	«
	99,2	90,0

Le mélange qui sert à fabriquer chaque creuset est composé comme il suit :

Argile de Stourbridge sèche pulvérisée. .	5k,22
— de Stannington id. id. . . .	5k,22
Fragments de vieux creusets pulvérisés.	0k,43
Coke pulvérisé.	0k,05
	10k,42

Les creusets ont environ 1m,60 de hauteur. Ils sont faits à l'aide d'un moule cylindrique, en fonte NN, ouvert à ses deux bouts. Ce cylindre est inséré dans une semelle en fonte MM, solidement attachée sur une pièce de bois circulaire convenablement élevée. Dans le centre de la semelle, suivant l'axe du cylindre, est percé un trou qui reçoit l'extrémité d'une tige supportant le moule intérieur. Celui-ci est formé d'un morceau de bois dur, dont la surface correspond à la forme intérieure du creuset ; à travers le centre de cette pièce passe un axe en fer, dont l'extrémité supérieure arrondie s'élève au-dessus du couvercle circulaire en bois. On voit le tout en place dans la fig. 14, et le vide qu'on y observe répond à la forme et aux dimensions du creuset. La surface de N et celle du noyau ayant été

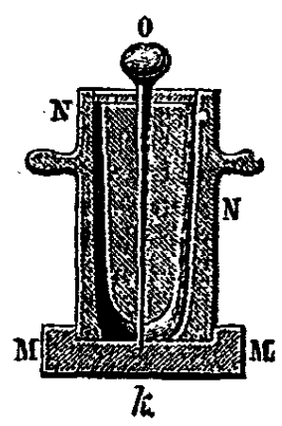


Fig. 14.

Fig. 15.

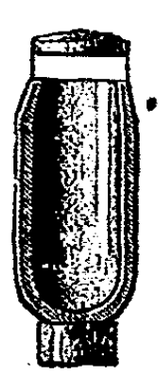


Fig. 16.

enduites d'huile, de l'argile est placée dans l'intérieur et le noyau sert à la comprimer à la main ; à la fin on frappe avec un marteau sur la tête arrondie de l'axe en fer O, jusqu'à ce que son extrémité entre dans le trou K pratiqué dans la semelle. Pour dégager l'argile moulée, la pièce centrale est enlevée et le trou du centre bouché ; le moule extérieur renfermant l'argile est alors élevé sur un bloc de bois supporté par une forte tige de fer, fig. 15, d'un diamètre un peu moindre que celui du fond du pot. On fait descendre doucement le moule sur ce bloc, sur lequel reste le creuset. La partie supérieure de celui-ci est alors achevée à la main et pressée intérieurement de manière à prendre la forme représentée fig. 16.

Le plus grand diamètre extérieur est 0m,19, la hauteur 0m,41 ; l'épaisseur varie progressivement de 0m,030 (fond) à 0m,44 (bord supérieur). Les fromages sur lesquels reposent les creusets, sont de petits cylindres ayant 0m,13 de diamètre sur 0m,08 de hauteur. Les couvercles, légèrement bombés au centre, ont pour épaisseur maximum 0m,04.

Chaque creuset, pesant environ 25 livres, est porté, aussitôt terminé, dans une étuve chauffée, où il sèche lentement, et quelques heures avant de les employer chauffés au rouge. Ils servent rarement plus de trois fois sans être fondus, de telle sorte que leur fabrication doit être continue ; on compte qu'il en faut 108 par semaine pour un fourneau de dix creusets.

Le coke employé dans les fonderies d'acier est dense, très-dur, et préalablement concassé en fragments dont le volume est compris entre 60 et 190 centimètres cubes. L'essai d'un coke réputé de très-bonne qualité pour la fusion de l'acier a donné :

Carbone fixe.	83,7
Substances combustibles volatiles. . .	3,9
Eau hygrométrique.	1,5
Cendres argileuses, très-réfractaires. .	10,9
	100,0

La durée des campagnes varie de trois à cinq jours, et encore, bien qu'ils restent allumés, les fourneaux ne travaillent que dix heures sur vingt-quatre.

On commence par chauffer le fourneau pendant douze heures environ, très-graduellement, jusqu'au rouge sombre, puis on y introduit les creusets vides, préalablement séchés à l'air, et portés ensuite au rouge dans un four à recuire particulier. On place le couvercle sur les creusets vides, on remplit les fourneaux de coke frais, on débouche les rampants, fermés jusqu'alors par une brique, et l'on ferme l'orifice supérieur. Il se produit immédiatement un très-fort tirage et dans l'intervalle d'une demi-heure le fourneau atteint une température fort élevée.

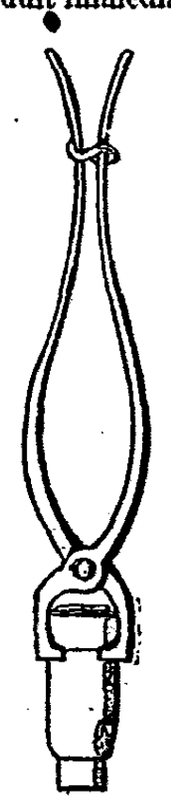


Fig. 17.

On procède alors au chargement en découvrant les creusets et en se servant d'un entonnoir en tôle, de manière à faire tenir dans chaque creuset la plus grande charge possible ; elle est ordinairement de 13 à 14 kil. par creuset. La charge faite, on replace le couvercle des creusets, on remplit le fourneau de coke frais, on ferme au moyen du couvercle l'orifice supérieur, et l'on commence la fusion. Ordinairement on charge d'heure en heure 20 à 25 kilogr. de coke à la fois dans chaque fourneau : cette charge se fait aussi rapidement que possible. La fusion de l'acier est complète quatre heures environ après le chargement : le fondeur s'assure de l'état de la charge en découvrant les creusets.

La coulée du métal en lingots se fait avec la plus grande célérité et exige le concours de tous les ouvriers. Les fondeurs saisissent avec la tenaille (fig. 17) le creuset auquel le fromage et le couvercle restent adhérents, et le placent à portée du chef d'atelier ; celui-ci le reprend aussitôt avec la tenaille (fig. 18), détache le couvercle par un léger coup de

Fig. 18.

marteau, et verse immédiatement tout le contenu dans une lingotière en fonte. On remet ensuite les creusets

vides dans le fourneau, et on procède de même dans la journée à une deuxième et troisième fonte qui ne durent chacune que trois heures, par suite de l'échauffement des fourneaux. Les creusets ne servent qu'à trois fontes. Les lingots d'acier pèsent 12 à 16 kil., et ont ordinairement la forme de prismes octogonaux de 25 à 30 centimètres carrés de section, et 60 centimètres de longueur.

Bien que l'acier fondu brut soit cassant, les lingots, en raison de leur section considérable, sont assez difficiles à briser. La cassure fraîche offre une couleur grise sans reflet bleuâtre. La masse entière est ordinairement criblée de petites cavités de forme arrondie à surface irisée, et presque toujours il existe au centre une cavité beaucoup plus grande dont la surface, également irisée, est tapissée d'une multitude de cristaux aciculaires. Considérée en petit, la cassure est grenue, âpre et comme chagrinée; mais lorsqu'on fait miroiter la lumière sur l'ensemble de la cassure, on y aperçoit distinctement une disposition lamellaire fibreuse très-régulière; ces fibres sont toutes perpendiculaires à la surface extérieure contiguë, en sorte que leur rencontre dessine très-régulièrement les deux diagonales du carré qui résulte de la section transversale du lingot.

Le prix de revient des 100 kilogr. d'acier fondu brut s'établit moyennement comme il suit en Angleterre.

Acier brut de cémentation, 102k,7 à 48f,13 les 100k	49f,43
Coke, 325k à 1f,65 les 100k	5f,36
Main-d'œuvre, 1j,23 à 3f,07	3f,78
Autres frais et bénéfice	11f,94
	70f,51

Les lingots d'acier fondu présentent toujours, comme nous l'avons dit, dans leur partie centrale, des cavités dues au retrait que prend le métal fondu en se solidifiant; ils sont en outre dépourvus de malléabilité. On ne peut donc les employer dans l'industrie manufacturière qu'après les avoir soumis à une suite de ressuages et d'étirages opérés avec de grandes précautions. Les barres d'acier fondu raffiné l'emportent en général sur les sortes provenant des mêmes fers, et obtenues par un double corroyage de l'acier de cémentation; elles sont moins pailleuses, plus homogènes et retiennent mieux dans les élaborations ultérieures la propriété aciéreuse.

Influence des corps que l'on rencontre dans l'acier. Avant de passer à l'étude de fabrications qui n'ont plus leur point de départ dans l'emploi de fers exceptionnellement purs, il faut bien connaître l'influence des corps étrangers, qui sont cause des qualités différentes obtenues dans chaque usine. M. Caron, dans ses excellentes recherches sur l'acier, a parfaitement défini l'influence des divers corps qu'on rencontre le plus souvent dans l'acier, ce qui permet d'expliquer bien des résultats et bien des déceptions rencontrées dans diverses tentatives de fabrication. Nous lui empruntons ce qui suit.

Les corps que l'on rencontre le plus souvent dans l'acier sont le silicium, le soufre, le phosphore et l'arsenic, l'étain, le zinc, le cuivre, etc., etc., le manganèse, le tungstène, le titane, etc., etc. Nous examinerons successivement l'influence de ces corps sur les qualités de l'acier, en comparant leurs alliages aux carbures de fer que nous connaissons.

Carbone. Quelle que soit la température et le temps de chauffe employés, le fer ne s'allie jamais à plus de cinq ou six pour cent de carbone, et souvent même, après le refroidissement du métal, une grande partie du carbone, qui s'était dissoute d'abord, se sépare ensuite et se retrouve à l'état de graphite disséminé dans la masse. Les carbures de fer durcissent toujours par la trempe, et le recuit peut, dans certains cas, leur faire acquérir de nouvelles propriétés.

ACIER.

Silicium. Le fer se comporte tout autrement avec le silicium; ce métalloïde donne des alliages plus fusibles et plus durs que le fer; ils sont souvent malléables, si la proportion n'en est pas trop considérable. Mais, quelle que soit la rapidité ou la lenteur du refroidissement de l'alliage porté au rouge, le silicium reste toujours combiné au fer. La trempe et le recuit n'ont aucune influence sur la dureté du métal. Ce corps a, en outre, une propriété particulière fort importante à connaître. Lorsqu'on ajoute à un carbure de fer en fusion du silicium, ou mieux un alliage riche en silicium, le charbon du carbure est déplacé en grande partie, et si le refroidissement du métal n'est pas trop brusque, le peu de charbon qui s'y trouve encore est presque entièrement à l'état de graphite.

Azote. L'azote ne modifie en rien les aciers, les fers ou les fontes, et c'est bien à tort qu'on a cru pouvoir comparer ses effets à ceux du soufre et du phosphore; une barre de fer ou d'acier, chauffée longtemps dans ce gaz, n'en absorbe pas la plus petite trace; mais le métal s'aigrit par la chaleur et devient extrêmement fragile; le même effet est produit par l'hydrogène ou la chaleur seule dans le vide. Dans tous les cas, un martelage convenable, fait à chaud, rend toujours au fer et à l'acier leurs qualités primitives.

Soufre, phosphore, arsenic. Ces trois corps se combinent en toutes proportions avec le fer; ils donnent des alliages durs et cassants, mais dont la dureté n'a pas d'analogie avec celle de l'acier. La trempe et le recuit n'ont aucune influence sur la dureté de ces alliages. De même que le silicium et le bore, le soufre et le phosphore chassent de la fonte une partie du carbone qu'elle contient, le soufre donne des fontes blanches où le peu de carbone qui reste semble combiné; le phosphore, au contraire, produit souvent des fontes grises.

Étain, zinc, aluminium. Les corps susceptibles de s'allier au fer, mais non au carbone, ont tous la propriété d'expulser de l'acier et des fontes une grande partie du carbone qui s'y trouve à l'état de combinaison. De plus, ces métaux modifient sensiblement les caractères des carbures en les rendant cassants, inforgeables, etc.; mais aucun d'eux ne peut donner au fer, en l'absence du carbone, les propriétés qui caractérisent les aciers.

Manganèse, tungstène. Nous arrivons maintenant à une classe de corps dont le manganèse fait partie et nous servira de type. Ces corps peuvent s'allier au fer en même temps qu'au carbone, et, par suite, leur introduction dans la fonte n'exclut pas celle de ce métalloïde. Le manganèse par lui-même ne possède aucune qualité aciérante; on rencontre, comme l'a remarqué Karsten, de très-bons fers qui contiennent beaucoup plus de manganèse que certains aciers de bonne qualité. Il est donc bien clair qu'un alliage uniquement composé de fer et de manganèse ne saurait jouir des propriétés de l'acier; mais ce métal ne pouvant guère être obtenu qu'à l'état de carbure, on peut, en alliant du fer à une proportion convenable de manganèse carburé, produire des aciers dont les qualités sont vraiment remarquables.

Le manganèse possède, en outre, d'autres propriétés. Si l'on ajoute à une fonte grise en fusion une certaine quantité de manganèse, on obtient toujours une fonte blanche; autrement dit, le manganèse, à cause de son affinité pour le carbone, empêche ce dernier de se séparer du fer pendant le refroidissement de l'alliage; de plus, si la fonte contient du soufre ou du silicium, et que l'atmosphère soit un peu oxydante, on est certain d'obtenir après l'opération une fonte non-seulement blanche, mais encore débarrassée de la plus grande partie de son sou-

fre et de son silicium, lorsque, bien entendu, la proportion du manganèse est suffisante. Ainsi donc, en mettant de côté les qualités que le manganèse peut faire acquérir à l'acier ou à la fonte, lorsqu'il s'y trouve allié, on voit qu'il a la propriété fort intéressante d'entraîner, en se scorifiant, la plus grande partie du soufre et du silicium qui souillent trop souvent ce carbure.

Il n'en est pas de même du phosphore; une fonte phosphoreuse ne peut être purifiée par l'addition du manganèse.

III. ACIER PRODUIT PAR LA DÉCARBURATION INCOMPLÈTE DE LA FONTE. Nous allons étudier maintenant les aciers produits par un mode de travail qui permet des fabrications rapides et économiques, en rapport avec les besoins de l'industrie moderne, qui exige, pour tant d'emplois différents, un métal dur et tenace.

Acier de forge, affinage au bas-foyer. Les seules fontes employées pour cette fabrication de l'acier sont les fontes grises ou blanches produites par une allure froide, avec des minerais spathiques manganésifères. Pendant l'affinage, le manganèse et le silicium se séparent et passent dans les scories.

Les principaux groupes industriels, où l'on fabrique l'acier de forge, sont : l'Isère, la Thuringe, la Westphalie, la Styrie et la Carinthie. Bien que le désir d'économiser le combustible, l'emploi des fours Siemens ait, dans beaucoup d'usines, fait modifier les anciennes méthodes de travail, de manière à se rapprocher beaucoup du puddlage pour acier, nous conserverons ici avec soin les détails intéressants et précis, donnés par M. Debette dans la première édition de cet ouvrage.

Méthode de l'Isère. La fonte employée dans les aciéries de l'Isère vient partie de la Savoie, partie du département même ; elle est presque toujours grise, quelquefois blanche sublamellaire et striée. On l'affine dans des foyers à parois en brasque, n'ayant qu'une le tuyère, presque horizontale, située à 36 centimètre au-dessus du fond. Le personnel se compose de quatre ouvriers qui se relayent deux par deux à tour de rôle. Après avoir réparé le foyer, s'il est nécessaire, on charge sur le contrevent 8 à 12 cents kilogrammes de fonte avec des scories riches de l'opération précédente, et le charbon de bois sur la tuyère, puis on conduit la fonte très-lentement, et elle n'est terminée qu'après environ huit heures.

L'affinage se fait seulement par la réaction des scories riches sur la fonte; ces scories, étant très-basiques, retiennent assez faiblement une certaine quantité d'oxyde de fer, qui réagit sur le carbone de la fonte et le volatilise en se transformant en fer métallique. Afin que la décarburation ne soit pas complète et qu'il y ait peu de déchet, il faut que la température soit moins élevée que dans les feux d'affinerie ordinaires, et cependant que les scories restent bien fluides. Celles-ci, par conséquent, ne peuvent pas s'appauvrir autant que lorsqu'on fabrique du fer. On a soin de maintenir la fonte à l'état fluide et de favoriser la décarburation en la travaillant avec un ringard. Cette partie de l'opération, qui est l'*affinage proprement dit*, dure environ six heures. Lorsque ces opérations ont été suffisamment prolongées, on réduit autant que possible l'action décarburante, en diminuant le vent et en appauvrissant les scories par l'addition d'une certaine quantité de sable quartzeux. L'acier prend alors nature à la surface du bain et s'y coagule à l'état spongieux. L'affineur casse cette croûte avec son ringard et la pousse vers le contrevent, où il forme une petite loupe de 15 à 20 kilogr., qu'il enlève ensuite pour la cingler sous un marteau pesant 280 kilogr. Il faut environ dix minutes pour former et cingler une loupe. On continue ainsi jusqu'à ce que tout l'acier ait été enlevé. Cette dernière opération dure environ 8 heures, ce qui fait 22 heures pour l'opération totale.

Pour obtenir 100 kilogr. de massiaux d'acier, on consomme 117 kilogr. de fonte brute et 130 kilog de charbon de bois. Les massiaux obtenus sont chauffés dans un foyer spécial alimenté à la houille et étirés. Pour 100 kilog. d'acier étiré et obtenu, on consomme 132 kilogr. de fonte brute, 170 kilogr. de charbon de bois et 90 kilogr. de houille.

Méthode de Thuringe. La fonte employée à la fabrication de l'acier est blanche, caverneuse, tachetée de gris; elle contient à la fois beaucoup de manganèse et de carbone; quelquefois elle est rayonnée, quelquefois lamelleuse à grandes lames. On emploie du charbon léger pendant l'affinage. Le foyer est construit en pierres réfractaires ou en briques; il est rectangulaire et a 70 centim. de côté. La pierre de fond est légèrement excavée et s'use rapidement. La tuyère est en cuivre; son inclinaison est de 8°, et elle est placée à 25 centim. environ de la *rustine*. Le marteau pèse 100 kilogr. Le personnel d'un foyer est de trois ouvriers et un aide. L'opération précédente étant terminée et la loupe enlevée, l'un des ouvriers jette à plusieurs reprises de l'eau dans le foyer et enlève toutes les scories. Il tasse ensuite de l'argile au fond, et place par-dessus d'abord une pierre plate en grès, circulaire, puis une autre pierre de forme triangulaire, qu'il consolide avec de l'argile humide. Il charge alors du charbon et 15 kilogr. environ de fonte qu'il recouvre avec du combustible, et il donne du vent. Ceci se fait pendant que l'on forge la loupe et qu'on la coupe en deux. L'une des moitiés est placée au-dessus de la tuyère, tandis qu'on divise l'autre sous le marteau en plusieurs lopins. Cette division faite, on partage de la même manière la seconde moitié de la loupe. Elle est ordinairement divisée en 4, 5 ou 6 parties que l'on coupe, que l'on rapproche et que l'on forge de nouveau afin de rendre le tout plus homogène. Une loupe fournit de 18 à 20 barres de 0m,02 de côté. On ajoute, pendant cette première partie, des scories riches à plusieurs reprises. Après 2 heures 1/2, on charge 30 kilogr. de fonte. A 3 heures, on commence à travailler avec le ringard dans le bain, une grande partie de la fonte est déjà fondue. A 3 heures 1/2, on ajoute 10 kilogr. de fonte. On travaille à plusieurs reprises dans la loupe; l'ouvrier enfonce son ringard et la perce en plusieurs endroits. A quatre heures trois quarts, nouvelle addition de scories, si le travail marche trop lentement. Après 5 heures, on enlève la loupe comme nous l'avons dit ci-dessus; pendant cette seconde partie de l'opération, on continue le corroyage de l'acier. On donne plus de vent que pour la fabrication du fer; aussi, par suite de la grande rapidité avec laquelle la fonte se décarbure, est-on obligé de ne l'ajouter que par parties et successivement. L'acier obtenu est d'excellente qualité, et livré sans autre préparation au commerce. Voici le tableau du prix de revient de l'acier corroyé pour une des usines des environs de Schmalkaleen.

Frais spéciaux.	Fonte, 136 kilogr.	27 fr.	09 c.
	Charbon de bois, 324 kil.	14 »	26 »
	Main-d'œuvre.	4 »	27 »
Frais génér.	Frais de direction et d'entretien. Intérêt du capital et des fonds de roulement.	2 »	13 »
Prix de revient du quintal métrique d'acier raffiné.		47 fr.	75 c.

Méthode de Westphalie. En Westphalie et dans le pays de Siegen, on traite des fontes blanches lamelleuses manganésées qui s'affinent très-rapidement. Le feu est monté d'une manière analogue aux feux d'affinerie; on y charge la fonte par petites portions de 36 kilogr. au plus, que l'on affine à mesure. L'étirage des

lopins se fait pendant la fusion suivante. On consomme 130 kilogr. de fonte lamelleuse et 200 kilogr. de charbon pour 100 kilogr. d'acier obtenu.

Méthode de Carinthie. Nous allons décrire le procédé suivi dans l'usine de *Niederwaltz*, appartenant au prince de Schwarzenberg. La fonte obtenue au haut fourneau de *Turrach*, avec un mélange de fer oxydé brun et de fer carbonaté spathique manganésifères, est grise ou truitée. On commence par lui faire subir un raffinage ou *mazéage* préliminaire dans un fourneau dont la fig. 19 donne la coupe.

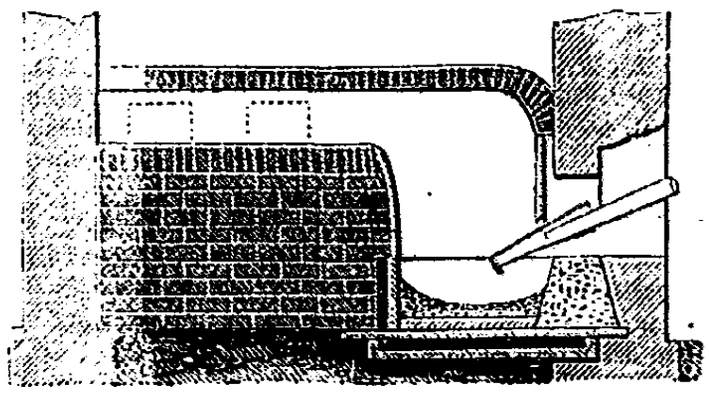


Fig. 19.

Le fond du creuset est formé de deux plaques en fonte entre lesquelles l'air peut circuler, et au-dessus de la plaque supérieure, il y a un pavé formé d'une assise de briques réfractaires. La *warme* et le *laiterol*, ou face de *chio*, sont deux blocs de grès réfractaire convenablement taillés. La *rustine* ou *haire* et le *contrevent* sont formés de plaques de fonte, qui laissent entre elles et la maçonnerie un espace vide où l'air peut circuler et les rafraîchir pendant l'opération.

Le feu a de la *warme* au *contrevent*, au niveau de la tuyère $1^m,00$, et à la sole $0^m,95$; sa largeur, de la *haire* au *chio*, est de $0^m,90$, et sa profondeur de $0^m,32$. Au-dessus de l'assise en briques réfractaires, on tasse $0^m,06$ de sable fin ou de quartz pilé, ce qui réduit la profondeur du feu à $0^m,26$. Il y a deux tuyères en cuivre plongeant sous un angle de 12 à 15°, qui avancent de $0^m,16$ dans le feu et dont les axes sont éloignés de $0^m,24$; elles sont demi-rondes et ont à leur extrémité $0^m,040$ de large sur $0^m,033$ de haut. Les buses qui amènent l'air de la soufflerie sont rondes, ont $0^m,033$ de diamètre à leur embouchure, et viennent s'arrêter à $0^m,18$ de l'extrémité des tuyères.

Le foyer est recouvert par une voûte située à $1^m,32$ au-dessus de la sole, qui conduit la flamme dans un four à réverbère ayant $1^m,98$ de long, $0^m,79$ de large à l'avant et $0^m,71$ à l'arrière, dont la voûte est à $0^m,29$ au-dessus de la sole. Enfin la flamme s'échappe par un rampant de $0^m,46$ sur $0^m,68$, qui débouche dans la cheminée. Le personnel se compose de 4 ouvriers, qui se relayent deux par deux après deux opérations successives ou à peu près de 6 en 6 heures. La coulée étant terminée, on répare la sole en quartz, et après avoir rempli le creuset de charbon, on donne le vent; puis on charge 170 kilogr. de fonte grise concassée en morceaux de 26 à 32 centim. de long, 18 à 21 centim. de large et 8 centim. d'épaisseur, et préalablement portée au rouge vif dans le four à réverbère, alimenté par les flammes perdues. On ajoute de temps en temps du charbon, et on soulève les fragments de fonte non fondus pour les reporter sur le charbon, près du contrevent, à l'aide du ringard en fer pointu A (fig. 22).

Lorsque la première charge de fonte est presque entièrement fondue, on fait tomber sur le charbon, à l'aide du ringard, la fonte qui était dans le four à réverbère, on la ramène sur le contrevent et on introduit une nouvelle charge dans le four à réverbère. On continue ainsi, jusqu'à ce que le creuset soit presque entièrement rempli de fonte, de sorte que le niveau de celle-ci ne soit plus qu'à 6 à 8 centim. au-dessous de la lèvre de la tuyère. On ajoute, pendant l'opération, une quantité plus ou moins grande de scories riches d'affinage, pour accélérer la décarburation, s'il est nécessaire, et diminuer le déchet. On ne fait pas de percée de scories. Dès que le creuset est plein de fonte, on débouche le trou de percée, et on coule fonte et scories en plaques minces, dans un moule en sable. On jette de l'eau dessus, les scories qui sont venues à la surface *s'étonnent* et se séparent alors aisément; la fonte est ensuite cassée en fragments dits *blettes*, qui ont 2 1/2 à 3 centim. d'épaisseur. Les scories contiennent quelques grenailles de fonte et sont passées au *bocard à crasses*. Chaque opération dure environ trois heures. On produit moyennement par feu et par vingt-quatre heures 45 à 50 quintaux métriques de fonte en *blettes*, avec un déchet de 3 1/2 p. 100, lorsqu'on ajoute des scories d'affinage, et de 7 à 8 p. 100, lorsqu'on n'en ajoute point. On consomme environ 40 kilogr. de charbon de bois léger par 100 kilogr. de blettes obtenues. Ces blettes ont une cassure blanche, caverneuse, quelque peu rayonnée.

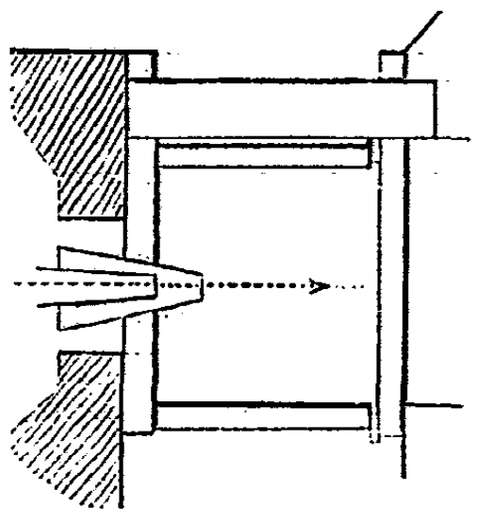


Fig. 20.

La figure 20 donne le plan et la figure 21 la coupe du feu d'affinerie pour la fabrication de l'acier.

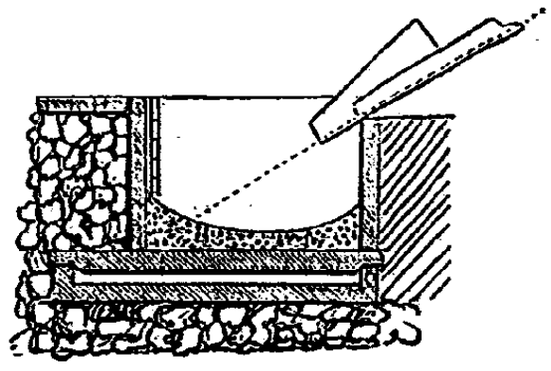


Fig. 21.

Toutes les parois du creuset sont formées de plaques de fonte verticales ; le fond est également formé par une plaque en fonte qui est baignée par un courant d'air qui la rafraîchit pendant l'opération. La hauteur des plaques de *haire*, de *contrevent* et de *chio* est de $0^m,40$; celle de la *warme* est de $0^m,32$. La distance de la haire au chio est de $0^m,62$; celle de la warme au contrevent est, près de la haire, $0^m,60$, et près du chio $0^m,62$. Il n'y a qu'une tuyère circulaire en cuivre, dont le diamètre est de $0^m,035$, qui plonge sous un angle de 12 à 16°, et avance dans le feu de $0^m,13$. La buse par laquelle l'air arrive sous une pression de $0^m,048$ de mercure a $0^m,039$ de diamètre.

Avant de mettre le foyer en activité, on le remplit de menu charbon venant de l'opération même, et sou-

vent mélangé de cendres et de scories; on l'enflamme, et lorsque la moitié à peu près en est consumée, on tasse le tout aussi fortement que possible. On répète cette opération jusqu'à ce que la sole en brasque s'élève à 0m,18 en contre-bas de la tuyère. Cette sole dure à *Niederocals* beaucoup plus longtemps que dans la plupart des autres feux carinthiens, où le mazéage préliminaire s'effectue dans le même foyer. — Aussitôt que la loupe a été retirée du feu, on vide tout le creuset, et on répare, s'il est nécessaire, la sole en brasque. On remplit ensuite le creuset de charbon, on charge 20 à 30 kilogr. de fonte brute près du contrevent pour former un massif sur lequel vient plus tard se poser la loupe, et on donne le vent; la fonte ne tarde pas à se fondre, et gagne le fond du creuset, où elle est protégée contre le vent et ne se décarbure que très-lentement. Pendant ce temps, on partage la *loupe* en deux *massiaux* que l'on reporte dans le feu, le premier près du contrevent, le second au-dessus de la tuyère, et que l'on recouvre d'une pelletée de charbon. Dès que le premier massiau est arrivé au rouge blanc, on le retourne et on le nettoie successivement, dans le feu même, sur toutes ses faces et la moitié de sa longueur, avec une sorte de petite pelle en fer B (fig. 22).

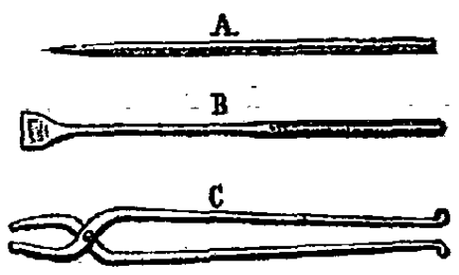


Fig. 22.

On enlève ainsi toute la croûte ferrugineuse et non aciérée qui recouvre l'une des extrémités du massiau que l'on étire ensuite en bout de barre de 8 centim. de côté, qui sert à le manœuvrer. On reporte pendant ce temps le second massiau près du contrevent et on le traite de même. Cela dure en tout une heure et demie. Le marteau est soulevé par la queue, pèse 190 kilogr., a une levée de 0m,48 et bat de 135 à 140 coups par minute. On manœuvre les massiaux à l'aide de grandes pinces C figurées ci-dessus fig. 22.

On vide alors le creuset, et on examine l'état de la fonte qui doit être à l'état pâteux et que l'on brise avec le ringard pointu pour l'amonceler au milieu de la sole. Si la décarburation n'est pas assez avancée et que la fonte soit encore trop liquide, on la brasse avec des battitures de fer que l'on y ajoute; si au contraire elle est trop avancée, on y ajoute des fragments de nouvelle fonte

Cela fait, on saisit le premier massiau avec les tenailles D et on le reporte dans le feu.

Puis, après avoir nettoyé la tête, on l'étire en bout de barre de 8 centim. de côté. On commence alors à former la loupe en chargeant les blettes sur le contrevent. On réchauffe le massiau dans le feu, en ayant soin de jeter dessus une pelletée de scories riches humectées d'eau, afin de le préserver contre l'action du vent, et on le partage en deux grosses barres qui sont successivement réchauffées, divisées en deux petites barres, et chacune d'elles subdivisée en trois bouts de barre, qui sont étirés dans un foyer spécial. On reporte ensuite le second massiau dans le feu, et on le traite de même.

Pour accélérer la décarburation, on ajoute des scories riches de l'opération même et des battitures tombées du marteau; pour la ralentir, on y ajoute de la fonte crue ou du quartz pilé; dans ce dernier cas, il faut avoir soin de donner immédiatement après écoulement aux scories, afin de diminuer le déchet sur la fonte qu'occasionne toujours l'addition du quartz, et charger de nouvelles scories. Les scories ne doivent recouvrir la loupe que de 6 à 7 centim., celle-ci doit s'élever régulièrement en restant à l'état pâteux. Lorsqu'il se forme à la surface des champignons provenant d'un affinage trop avancé, on y porte de petits fragments de fonte crue; lorsqu'il s'y forme des creux, cela tient à ce qu'en ces points la matière métallique y est trop liquide et la décarburation en retard; on l'accélère en y portant des scories riches ou des battitures. Dès que le niveau du bain métallique est arrivé à 4 centim. environ au-dessous de la tuyère, on arrête le vent, on fait écouler les scories et on enlève le charbon. A mesure que les scories viennent se solidifier sur la surface de la loupe en couches minces, on les enlève à la pelle, et après 15 à 20 minutes, on jette de l'eau sur la loupe pour solidifier les dernières scories que l'on enlève, comme il est dit ci-dessus. On soulève alors la loupe à l'aide du ringard en fer recourbé E pour la placer sur deux ringards droits disposés en travers du feu, et on la nettoie sur sa face inférieure avec l'outil B indiqué plus haut.

Cela fait, on saisit la loupe avec de grandes pinces F (fig. 23), et on la porte sous le marteau où on la partage en deux massiaux à l'aide d'un tranchant.

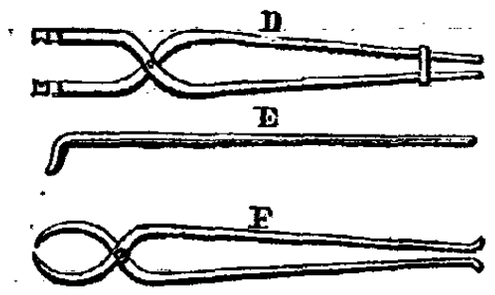


Fig. 23.

L'opération dure à peu près six heures et donne de 85 à 140 kilogr. d'acier. On produit par vingt-quatre heures 350 à 400 kilogr. de barres. Le déchet sur les blettes est de 22 p. 100, et par 100 kilogr. de barres obtenus, on consomme 317 kilogr. de charbon de bois léger; ou bien, y compris le mazéage, on produit par 100 kilogr. de fonte brut :

Acier en barres	44k,6
Fer aciéreux en barres. .	28k,7
Fer en barres.	1k7
Déchet	25 p. 100.

Et on consomme par 100 kilogr. de fer et acier en barres 369 kilogr. de charbon de bois léger.

Les barres d'acier pesant 3 à 4 kilogr., qui viennent du feu d'affinerie, sont cassées en morceaux, mises en trousses, réchauffées dans le four à réverbère alimenté par les flammes perdues du four de mazéage, ou, si celui-ci n'est pas en activité, dans un foyer particulier qui consomme 40 kilogr. de charbon de bois par 100 kilogr. d'acier corroyé, et sont étirées sous un marteau à queue pesant 116 kilogr., dont la levée est de 0m,32, et qui bat 180 coups par minute. La plus grande partie de l'acier est étirée en barres de 13 millimètres de côté, et quelquefois même seulement de 6 millim. Il est connu dans le commerce sous le nom d'acier à *la rose*, et est de qualité supérieure.

Acier puddlé. La fabrication de l'acier puddlé repose sur l'emploi du four à réverbère de grandes dimensions, si avantageux au point de vue de l'utilisation de la chaleur, de l'appareil dont l'emploi a eu des résultats si considérables dans la fabrication du fer à la houille.

Les fontes que l'on puddle pour acier varient avec les localités. Dans les aciéries françaises de la Loire, on traite surtout des fontes grises chaudes, plus ou moins manganésées, provenant des minerais méditer-

rnéens. Dans les usines westphaliennes, au contraire, on emploie des fontes blanches, chaudes, très-carburées et manganésifères, comme les spiegeleisen provenant des minerais de Siegen et de Nassau. En Styrie et en Carinthie on emploie des fontes miroitantes et des fontes blanches rayonnées. Ces diverses fontes doivent être puddlées de manières différentes.

On connaît l'importance du rôle de la scorie dans le puddlage ; c'est de la nature de cette scorie, de sa plus ou moins grande fluidité, de son action décarburante plus ou moins forte, que dépendra, en grande partie, la qualité de l'acier. On ne doit pas, du reste, compter beaucoup dans le puddlage sur une action épurante ; il faut que les fontes employées soient aussi pures que possible, c'est-à-dire renferment seulement de très-faibles traces de soufre et de phosphore. Il importe surtout d'avoir une scorie très-fluide et peu décarburante, tout en étant suffisamment basique.

Le puddlage pour acier diffère du puddlage ordinaire pour fer, soit par la construction même du four, soit par la conduite de l'opération.

Il faut une voûte plus surbaissée pour mieux concentrer la chaleur, le travail doit être conduit très-lentement, se faire à la plus haute température possible, sous un bain de scories, avec une flamme aussi peu oxydante que possible. Au Creuzot, on a trouvé grand avantage à appliquer un courant d'air forcé au four à puddler, dont le cendrier est clos hermétiquement. Cet emploi d'un courant d'air forcé a paru nécessaire pour obtenir facilement la haute température que réclame le puddlage pour acier, avec les charbons dont on disposait. Le système du four à gaz de Siemens (Voy. COMBUSTION) a amélioré et simplifié ce travail. Il paraît aussi, au moins dans plusieurs établissements, qu'on ajoute certaines proportions de manganèse, qui donne des silicates, des scories fusibles qui ne sont pas réductives, qui rendent la réduction pendant le puddlage plus lente que dans le cas ordinaire, lorsqu'on affine la fonte pour produire du fer. Les boules d'acier puddlé se confectionnent dans une atmosphère fumeuse et à registre fermé.

Essayons d'analyser ce qui se passe dans ce genre de travail.

Théorie du puddlage pour acier. Les recherches de Graham et les spéculations de Herschel, Brayley et autres savants, ont attiré l'attention sur les grandes variations d'état physique de corps dont la composition chimique ne change pas; ils ont été conduits par l'observation à la division des substances en cristalloïdes et en colloïdes.

Graham a remarqué que l'acide silicique peut exister tantôt comme cristalloïde et tantôt comme colloïde; de même la glace formée à 0° peut prendre l'état vitreux ou colloïde et est en réalité un verre de glace, tandis que celle formée à une température plus basse a, d'une manière très-marquée, toutes les apparences d'un cristalloïde. Ces recherches de Graham nous ont donné une vue plus précise sur les caractères de la matière passant de l'état liquide à l'état solide. Elles nous conduisent à une nomenclature et à une théorie qui peut nous servir à expliquer plusieurs opérations métallurgiques. N'est-il pas naturel de penser que le fer peut, dans le four à puddler, au lieu de l'état cristalloïdal, prendre celui colloïdal, par l'effet de la chaleur, ou devenir un mélange des deux, s'il est vrai qu'un pareil passage d'un état dans l'autre soit possible?

Dans le four à puddler, le fer d'abord se débarrasse du silicium combiné, par suite de la grande affinité de celui-ci pour les autres substances étrangères mises en présence, comme cela doit être dans une opération d'affinage, aidée sans aucun doute par la légèreté et la grande fusibilité des composés siliceux. L'enlèvement du carbone du fer fondu est dû à la plus grande affinité du carbone, pour les gaz en contact avec lui, que pour le fer. Cette action étant graduelle peut être arrêtée à volonté, de manière à obtenir soit du fer doux, soit du fer aciéreux. Environ 200 kilogrammes de fer sont généralement produits par chaque opération, et cette quantité est habituellement divisée en trois, quatre ou six loupes par l'ouvrier, dans le but d'exposer toutes les parties à la flamme qui oxyde le carbone, lequel réduit ce qu'il peut y avoir d'oxyde de fer formé. Suivant la quantité de carbone enlevé, on a de l'acier puddlé, du métal homogène (acier doux) ou du fer pur. L'acier n'est jamais obtenu, toutefois, qu'avec de la fonte provenant de minerais de nature convenable et avec un fourneau produisant une température fort élevée qui permet aux actions moléculaires de produire leur effet intégral.

L'enlèvement du charbon par le puddlage est l'opération inverse de celle produite dans le four à cémentation pour convertir le fer en acier. Le procédé de cémentation pour faire de l'acier doit être réglé avec le plus grand soin, de telle sorte que le carbone puisse parvenir à la distance voulue de la surface de la barre de fer, et que la proportion convenable de carbone soit répandue dans sa masse.

Dans le procédé employé pour convertir la fonte en fonte malléable, celle-ci est portée à une température élevée en présence de l'oxyde de fer, et le carbone est enlevé, mais seulement à une certaine distance de la surface, par l'effet de sa plus grande affinité pour le peroxyde de fer chauffé que pour le fer pur avec lequel il est combiné.

Sans donc entrer dans la question encore bien obscure de la nature de l'acier, on entrevoit, d'après ce qui précède, comment, pour des produits préparés à l'aide de minerais à propension aciéreuse, c'est-à-dire que la pratique fait reconnaître bien nettement comme convenables pour la fabrication de l'acier, quelle qu'en soit la cause, on peut obtenir des produits aciéreux dans le four à puddler. Par des actions à haute température qui paraissent nécessaires à la production de l'acier, on doit obtenir dans chaque petite loupe, du centre à la circonférence, des produits passant du fer à l'acier de cémentation et de celui-ci à l'acier fondu et à la fonte. Après la forge, et surtout la fonte au creuset, les produits prennent une homogénéité, une régularité assez grande pour qu'entre les mains d'habiles ouvriers on puisse obtenir à volonté des produits de qualité voulue. C'est en refondant au creuset l'acier puddlé produit aisément à l'aide des fontes miroitantes et manganésées des bords du fin Rhin, que Krupp a monté sa célèbre fabrication d'acier.

Procédé Bessemer. — La fabrication de l'acier par puddlage, en fournissant à l'industrie une matière première douée de qualités précieuses et à un prix modéré, ne paraît pas fournir cependant la solution complète du problème de permettre d'obtenir l'acier sur une très-grande échelle et en très-grosses pièces, ni surtout d'utiliser aisément des fontes provenant de certains minerais.

C'est principalement pour résoudre la seconde partie du problème, produire de l'acier par exemple à l'aide des fontes obtenues au moyen d'hématites rouges très-pures, qu'on a eu recours au procédé Bessemer.

La méthode métallurgique due à M. Bessemer a pour but d'obtenir directement de l'acier fondu en faisant passer un courant d'air dans la fonte liquide. La découverte capitale de M. Bessemer est d'avoir reconnu que ce courant d'air traversant une masse de fonte liquide, loin de la refroidir, comme on aurait pu le croire, l'échauffe au contraire par suite de la combustion des corps plus oxydables que le fer, qui se trouvent dans la fonte.

La disparition des corps étrangers se fait successive-

ment et dans un ordre qui dépend de leur oxydabilité et de leur affinité pour le fer.

L'affinage Bessemer s'éloigne, comme on le voit, du *massage*, dans lequel les tuyères ne pénètrent jamais dans la masse métallique, et qui donnent le *fine metal* bien différent de l'acier par tous ses caractères.

Lorsqu'une fonte contient les éléments de l'acier, et en outre des corps nuisibles, et surtout du silicium, que le courant d'air peut enlever sans détruire l'aciération, l'acier Bessemer est obtenu immédiatement, en arrêtant l'affinage au moment où les corps inutiles ont été oxydés.

Mais dans la plupart des cas, pour produire un acier pur et surtout d'une qualité déterminée, on a intérêt à éliminer complétement tous les métalloïdes qui existent dans la fonte, à produire du fer, et même du *fer brûlé*; on reconstitue ensuite l'acier en mélangeant celui-ci avec une petite quantité de fonte aciéreuse.

La fabrication de l'acier par la méthode Bessemer est alors d'une simplicité merveilleuse; elle revient à introduire dans du fer fondu, et complétement affiné, des quantités variables de matières aciéreuses qui se trouvent dans une fonte convenablement choisie.

L'appareil dans lequel se fait l'élaboration, et auquel M. Bessemer a donné le nom de convertisseur (*converter*), consiste en une sorte de cubilot, mobile autour d'un axe horizontal, formé de plaques de tôle boulonnées et garni intérieurement de terre réfractaire. Le fond de ce cubilot porte une plaque de fonte trouée, destinée à laisser passer les tuyères qui y sont

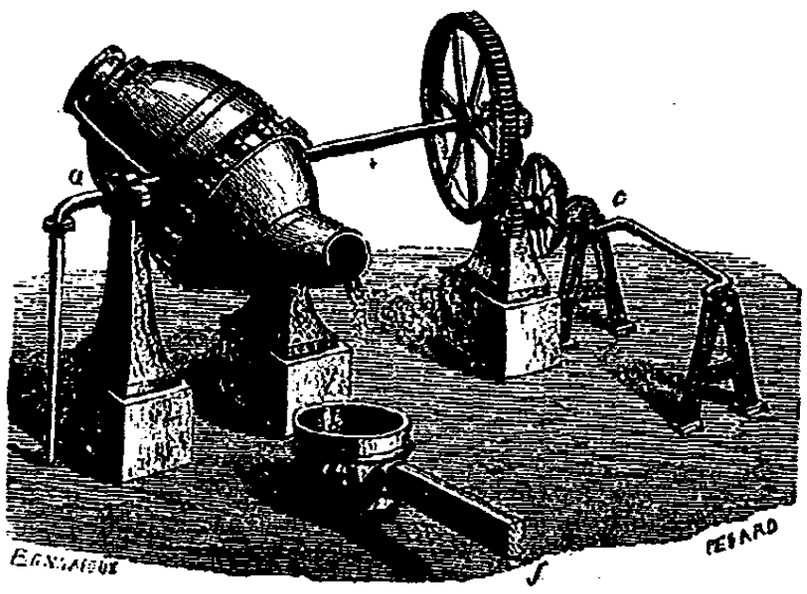


Fig. 24.

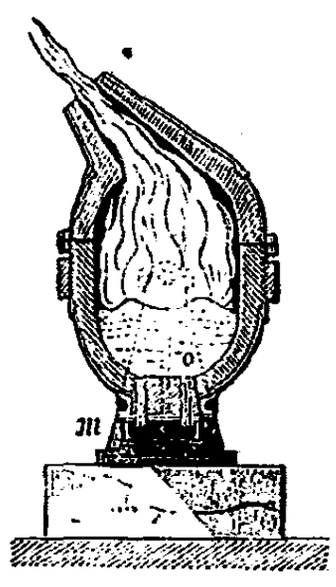


Fig. 25.

Fig. 26.

vissées par leur partie inférieure, et qui viennent déboucher au fond du vase, en restant entourées de lut réfractaire. Au-dessous des tuyères se trouve un cylindre métallique, fermé par une plaque de fonte clavetée, de même dimension que celle qui supporte les tuyères: ce cylindre sert de boîte à air commune à toutes les tuyères; l'air y est amené par un tuyau qui permet aux tuyères de conserver leur activité, quelle que soit la position de l'appareil. (Fig. 24.)

Les détails de formes de ces diverses parties sont réglés de manière à faciliter les réactions qui s'opèrent dans l'intérieur du convertisseur et les manœuvres dont il est l'objet. L'appareil, étranglé et recourbé à la partie supérieure, présente un renflement d'un côté, ce qui lui donne la forme d'une cornue de grosse dimension dont le col serait tronqué. Les tourillons autour desquels s'effectue sa rotation ne pénètrent pas dans l'intérieur de l'appareil; ils sont seulement boulonnés par des pattes sur les plaques de tôle, et placés à une hauteur telle, que quand l'appareil est vide, il est complétement équilibré; et quand il est chargé de fonte, son centre de gravité est abaissé de manière à assurer sa stabilité. L'étranglement a pour but d'éviter les projections lorsque la masse entre en ébullition; le renflement permet, en mettant horizontal le grand axe de l'appareil, d'y introduire la quantité de fonte nécessaire, sans amener le niveau du liquide à s'élever au-dessus des tuyères, qui pourraient être obstruées si elles ne fonctionnaient pas, et qui donneraient des barbottements considérables si elles fonctionnaient pendant l'introduction de la fonte liquide, le grand axe étant vertical. Par suite de la mobilité de l'appareil et de cette combinaison de formes, bien que les tuyères soient toujours au-dessous du bain pendant la marche, elles ne sont jamais exposées à être détruites, ou à devenir un objet d'embarras pendant les manœuvres de l'introduction ou de la coulée.

Ces tuyères sont des cylindres en terre réfractaire portant chacun cinq ou sept trous cylindriques de $0^m,01$ environ de diamètre; elles sont au nombre de sept, et réparties également sous le fond du vase. (Fig. 26). La manœuvre de l'appareil est faite au moyen d'engrenages mus à la main, ou à l'aide de machines, pour les grands appareils.

Le tuyau qui amène l'air dans la boîte à air, dont nous avons parlé, est également l'objet d'une disposition particulière qui permet de conserver le vent dans toutes les positions de l'appareil. Ce tuyau, en partant de la boîte à air, remonte extérieurement le long du ventre de la cornue, puis entre dans l'axe d'un des tourillons qui la supportent, sort de cet axe et continue jusqu'à une boîte à étoupe qui le met en communication avec la conduite amenant le vent de la machine soufflante.

Dès que l'acier est obtenu, on verse le produit dans une grande poche chargée de le distribuer dans les moules; cette poche doit avoir toute la mobilité désirable, afin d'aller recevoir l'acier à la sortie de l'appareil et de le distribuer aux moules. Pour obtenir ce résultat, on place la poche à l'extrémité d'un châssis ou d'un bras de levier mobile autour d'un axe vertical; on équilibre la seconde partie de ce châssis ou bras de levier, au delà de l'axe, par des poids convenables. On ne s'est pas contenté de cette mobilité autour de l'axe vertical, on a pris pour axe le piston d'une presse hydraulique; ce qui permet, tout en conservant la faculté de faire manœuvrer la poche sur l'arc de cercle, d'élever plus ou moins cette poche suivant les différences de hauteur soit des moules, soit de la gueule de l'appareil. La poche consiste en un vase en tôle de fer doublé de

terre réfractaire, percé, à sa partie inférieure, d'un trou, qui est ouvert ou formé au moyen d'une quenouille, comme dans les fonderies ordinaires.

Un atelier Bessemer se compose de deux vases convertisseurs, desservis tous deux par une même poche montée sur piston hydraulique; d'une série de moules ordinaires, dispersés sur le trajet de cette poche; de deux fours de fusion de la fonte, un pour chaque appareil. Ces fours sont situés à un niveau supérieur à celui de l'atelier; ils sont suivis chacun d'une conduite fixe, qui peut être continuée par une conduite mobile, pour faire arriver la fonte dans chacun des appareils. L'air est fourni par une machine soufflante, ordinairement à deux cylindres, pouvant servir pour chacun des appareils ou pour leur marche simultanée; la force de la machine à vapeur menant la soufflerie varie de 50 à 100 chevaux, suivant qu'on opère sur des appareils de 4,000 à 5,000 kilogrammes. Comme l'opération Bessemer est discontinue, on a toujours intérêt à multiplier les appareils pouvant être desservis par la même machine soufflante. La pression de l'air dans le réservoir est, pendant la marche, d'environ une atmosphère.

Dès que la fonte est fondue dans le four de fusion, l'intérieur du convertisseur ayant été chauffé, puis débarrassé ensuite du coke qu'il contenait, on renverse l'appareil dans la position où son axe est horizontal, on y fait arriver la fonte par une conduite; on donne au vent toute sa force, on relève l'appareil dans la position de l'axe vertical, et l'opération commence.

La première impression de l'air sur la fonte produit un grand nombre d'étincelles; au bout de quelques minutes, on voit apparaître une flamme assez courte, rougeâtre, qui va sans cesse en croissant et en s'éclaircissant pendant la durée de l'opération. Avec quelque habitude, on trouve dans cette flamme des indications précieuses pour la conduite de l'opération.

On peut diviser en quatre périodes la durée d'une opération complète qui n'est que de 22 minutes.

1re *période*. — Durée de 7 à 8 minutes; production des étincelles jusqu'à l'arrivée de la flamme.

2e *période*. — Durée de 8 minutes; augmentation de la flamme; formation du dard.

3e *période*. — Durée de 8 minutes; détonations, éruptions (en raison du manque de fluidité); projections.

4e *période*. — Durée de 3 à 4 minutes; accélération de la flamme, augmentation du pouvoir lumineux jusqu'à la chute de la flamme.

Dès qu'on est arrivé au point d'affinage que l'on désire, on peut couler directement le métal; mais il est difficile à atteindre; il vaut mieux le dépasser, puis ajouter la quantité de fonte aciéreuse jugée nécessaire pour obtenir un degré d'acier déterminé; on relève pour un moment l'appareil afin de mélanger le fer et la fonte, puis on le renverse en dépassant la position horizontale; on fait couler le produit dans la poche qu'on a placée à une hauteur convenable; la poche est ensuite manœuvrée de manière à aller successivement remplir chacun des moules.

Si on coule le métal Bessemer lorsque l'affinage de la fonte est terminé, et avant l'addition de la fonte aciéreuse, on obtient, le plus souvent, un corps qui présente tous les caractères du *fer brûlé;* il cristallise en larges facettes; il est tenace à froid, mais éminemment rouverain. Dans cet état, il ne peut recevoir aucune application.

M. Jordan, qui a fort bien analysé l'influence du silicium pour produire une température suffisamment élevée dans l'appareil Bessemer, résume ainsi les principes qui doivent guider pour reconnaître, d'après la composition des fontes, celles qui donneront de bons produits, quand elles seront soumises à ce mode de traitement.

Les fontes à Bessemer doivent satisfaire à deux conditions indispensables : 1° être assez *chaudes*, c'est-à-dire contenir assez d'éléments combustibles pour que la température du bain atteigne et dépasse celle de la fusion de l'acier; 2° être assez *pures* pour donner un acier de qualité suffisante. Elles doivent être d'autant plus chaudes que l'on veut avoir de l'acier plus doux, d'autant plus pures, que l'on veut de l'acier de qualité plus fine.

Les éléments qui donnent de la chaleur au bain sont le silicium surtout, puis le manganèse dans certaines conditions; le carbone a une action calorifique moindre; nous ne parlons pas du fer, que l'on doit ménager autant que possible, pour ne pas avoir un trop grand déchet. On voit que les fontes les plus chaudes seront les plus siliciées. Les fontes très-manganésées, mais non silicicées, comme les spiegeleisen, ne peuvent être employées, parce que l'oxyde du manganèse infusible qui est produit, attaque rapidement la garniture silicieuse des appareils pour former une scorie peu fusible, par suite de la faible proportion de silice et parce qu'il en résulte des projections et même des explosions résultant de la viscosité de cette scorie. Il faut qu'il existe dans la fonte au moins 1 pour 100 de silicium pour chaque 2,75 pour 100 de manganèse. Un excès de silicium donne un acier silicié qui est cassant. Une fonte blanche carburée, ni manganésifère, ni siliciée, ne peut réussir, et on n'obtient qu'un magma de fer plus ou moins décarburé et d'oxyde de fer, et non de l'acier fondu.

Il faut enfin que les fontes soient pures, c'est-à-dire dépourvues de matières qui puissent rendre leurs produits rouverains ou cassants à froid. L'élément le plus nuisible est le phosphore, qui ne peut être éliminé dans l'affinage rapide du procédé Bessemer, puisque jamais la scorie n'est assez basique pour l'absorber à l'état de phosphate. Le soufre est moins nuisible, parce qu'une petite proportion peut être éliminée par la scorie manganésifère qui se forme.

Par une étude attentive du procédé Bessemer, on est parvenu à de remarquables résultats : comme économie, en envoyant directement la fonte du haut fourneau aux convertisseurs, et opérant sur une grande échelle, on obtient, comme à Terre-Noire, d'excellents rails en acier à bas prix; comme qualité, par un bon choix des fontes et une bonne conduite de l'opération, des aciers doux, extrêmement précieux, pour canons, frettes, etc.

On rencontre dans la pratique des difficultés fort grandes pour obtenir directement, à l'aide du Bessemer, des lingots de grandes dimensions pour arbres à manivelles, canons, etc. Cela est dû à ce que la température ne peut être élevée à volonté au moment du versement du métal.

La forme de la cornue rend l'état d'imparfaite liquidité, ou, si l'on préfère, d'imparfaite solidité très-incommode; elle gêne pour diriger le métal où il doit être porté. Ainsi qu'il a été dit, aussitôt que la couleur de la flamme, qui paraît au-dessus du vase qui renferme la charge de fer fondu, montre que le carbone a été enlevé, la soufflerie est arrêtée, et immédiatement une charge de fonte au bois, à propension aciéreuse, y est versée. Le vent est alors rendu, et le temps nécessaire pour l'union parfaite des deux éléments n'est que de quelques moments, pendant lesquels le carbone est réduit à la proportion voulue par le vent. On voit que l'instant où l'on verse une matière difficilement fusible n'est pas celui qui répond à la température la plus élevée. Dans la fabrication ordinaire de l'acier fondu, l'acier n'est pas détérioré pour être resté fondu, même deux heures entières dans le creuset, et l'ouvrier ne verse jamais le contenu du creuset avant d'être assuré que l'acier est homogène et

exactement à la température convenable, bien qu'il n'y ait qu'une seule nature de substance dans le pot. Aussi, pour bien des pièces, on est contraint à se rapprocher de l'ancien procédé de Sheffield, de l'emploi du creuset.

Affinage par mélange de fer avec la fonte. Dans son grand ouvrage, Réaumur avait, dès 1722, indiqué comme moyen simple de fabrication de l'acier, l'incorporation du fer dans un bain de fonte. Malgré l'analyse chimique qui faisait reconnaître dans le produit la quantité de carbone convenable pour l'acier, ce procédé, réinventé nombre de fois, n'a jamais donné de bons résultats, jusque dans ces derniers temps, tant parce qu'on se servait de produits de toutes provenances, ce qui ne pouvait conduire qu'à une fabrication hétérogène, que parce qu'on ne tenait pas assez compte des conditions à réaliser pour obtenir les groupements moléculaires convenables, par un chauffage suffisamment élevé notamment. Ces conditions ont été réalisées d'une manière assez satisfaisante dans le four Martin, qui, bien que reculant devant le Bessemer, sert à fabriquer de bons produits, notamment avec des fontes trop froides pour celui-ci.

Four Martin. Pour obtenir de hautes températures avec économie de combustible, M. Le Chatelier, qui présida aux premières tentatives faites à Imphy, fit adopter le système Siemens pour chauffer le four à réverbère, et recommanda d'employer directement la loupe sortant des fours à puddler pour fer, avant le martelage. Nous donnerons la description d'une opération d'après M. Jordan, qui l'a décrite avec soin dans son beau travail sur l'état de la métallurgie du fer en 1867.

Les appareils comprennent pour chaque four pour acier du système Martin :

1° Un ou deux générateurs ou gazogènes, du système inventé par MM. Siemens.

2° Un four à reverbère ordinaire, chauffé à la houille et destiné au réchauffage préalable des morceaux de fonte ou de fer qui doivent être fondus dans le four à acier.

3° Le four pour fusion d'acier, système Martin, qui n'est autre qu'un four à réverbère à sole creuse, chauffé par les gaz provenant des gazogènes ci-dessus, et muni, comme ceux-ci, de quatre chambres à briques ou régénérateurs de chaleur qui servent tantôt à refroidir les flammes qui sortent du four, tantôt à chauffer le gaz et l'air préalablement à leur entré dans le four et à leur combustion. La flamme dans le four peut être rendue à volonté oxydante, réductrice ou neutre par la manœuvre des clapets placés sur les conduites d'arrivée de l'air et du gaz.

On introduit dans le four de fusion, qui est à une haute température par suite des opérations précédentes, une quantité de 900 à 1,000 kilogrammes de fonte en morceaux, portés préalablement au rouge, et en deux ou trois fois. Cette fonte entre en fusion, et quand le bain est parfaitement liquide, on fait une première addition de fer porté au rouge blanc. Celui-ci est soit du vieux fer, soit du fer fabriqué spécialement au four à puddler. Il se dissout dans le bain de fonte assez rapidement si la température est assez élevée et sans qu'on effectue aucun brassage. Quand il est parfaitement fondu, on fait une seconde addition de 100 kilogrammes et on continue de la sorte jusqu'à ce qu'on ait ajouté 1,600 à 1,700 kilogrammes de fer. Pendant tout ce temps, on gradue les quantités relatives d'air et de gaz, de façon à ce que l'atmosphère, dans le four, soit aussi neutre que possible.

La quantité de carbone qui se trouvait dans les 1,000 kil. de fonte primitivement fondue se trouve alors répartie dans les 2,600 kil. de métal, et celui-ci est devenu de l'acier, à la composition chimique de l'acier. Une partie du carbone a disparu pendant la durée de l'opération, qui est assez longue (6 à 10 heures, suivant la température que l'on peut maintenir), sous l'influence de la faible quantité d'air libre qui pénètre dans le four, et aussi des particules d'oxyde de fer qui accompagnent toujours les morceaux de fonte ou de fer qu'on y introduit; la faible quantité de silicium que renferme la fonte employée se transforme en scorie, sous les mêmes influences, longtemps prolongées. On prend, au moment de chaque addition, un échantillon de métal à l'aide d'une cuiller, et on essaye sa dureté et sa malléabilité. D'après ces essais, on ajoute à la fin de l'opération une petite quantité de fonte miroitante très-carburée, à l'aide de laquelle on arrive à la dureté désirée pour l'acier. On fabrique, par ce procédé, des produits de quatre espèces : 1° des aciers fondus; 2° des aciers durs pour la fabrication des rails et des outils; 3° des aciers doux pour la fabrication des canons de fusil, des bandages; 4° un métal presque complétement décarburé, semblable aux bons fers au bois.

Procédé Micolon. — On a monté à Paris, en utilisant les riblons de fer et d'acier, exactement la fabrication indiquée par Réaumur, et on a obtenu des résultats aussi bons que le permettait le peu de régularité de la nature des matières premières.

M. Micolon, qui a fondé cette fabrication, employait, pour fondre, soit le cubilot, soit le creuset.

L'acier au cubilot se faisait en fondant au coke dans un cubilot ordinaire des riblons de fer assez peu triés, auxquels on ajoutait seulement un peu de riblon d'acier et une faible portion de spiegeleisen. On obtenait ainsi un acier notablement carburé qui ne soudait pas, mais qui se moulait aisément sans soufflures, et avec lequel on fabriquait des cloches et des sonnettes qui eurent beaucoup de succès; en le recuisant convenablement, on arrivait à le forger et à l'étirer, et nous avons vu des haches et des pics fabriqués de cette façon. On a fait aussi des hélices pour canots à vapeur, des engrenages qui étaient remarquables par leur ténacité. Cette fabrication d'acier au cubilot, n'a peut-être pas dit son dernier mot.

Pour l'acier au creuset, le procédé Micolon ne présente rien de particulier, et n'est autre que le procédé par réaction indiqué déjà par Réaumur. On fond dans des creusets des riblons de fer mélangés de riblons d'acier, du spiegeleisen en proportions variables, et on obtient des aciers plus ou moins durs, plus ou moins doux, suivant le dosage des charges. Ces aciers peuvent être de qualité supérieure, comme ils peuvent être tout à fait inférieurs, suivant la nature des matières qui ont servi à leur fabrication. On peut du reste modifier plus ou moins cette qualité par l'addition de matières fondantes ou épurantes diverses.

Procédé Siemens. Il y a quelque chose d'anormal à employer le fer puddlé pour produire de l'acier, qui serait obtenu, au lieu de fer, si on avait arrêté la décarburation au point convenable. M. Siemens a trouvé bien plus avantageux d'obtenir la décarburation de la fonte au moyen d'oxydes de fer à bon marché, de minerais riches, dont le fer vient augmenter la quantité d'acier obtenue. Cette fabrication, basée sur l'emploi des gaz et effectuée dans un four tournant, pour agiter la matière soumise à l'action de flammes oxydantes ou réductrices à volonté, l'a conduit à des résultats assez satisfaisants pour qu'il tente de l'appliquer à la réduction directe des minerais mélangés de charbon pour produire de l'acier naturel.

Il paraît douteux que l'on trouve économie à supprimer l'emploi si avantageux du haut fourneau, si ce n'est dans le cas de minerais donnant des fontes phosphoreuses au haut fourneau, qui pourraient donner des produits non phosphoreux en présence des scories basiques qui ne permettent pas la décomposition des phosphates.

ALLIAGES D'ACIER. — Stodart et Faraday ont fait des expériences nombreuses sur les alliages d'acier, d'où ils avaient conclu que l'on pouvait améliorer la qualité de l'acier, en l'alliant avec divers métaux. C'est, en général, la dureté que l'on augmente ainsi, mais aux dépens de la ténacité. L'industrie n'a guères tiré parti de ces expériences, dont nous consignerons ici les résultats.

L'acier allié avec 1/500 d'argent donne un produit plus dur que le meilleur acier fondu. Quand on augmente la proportion de l'argent, ce métal ne se combine pas, et se dispose en fibres que les acides mettent à découvert.

L'acier allié avec 1/100 de nickel donne un produit très-dur, prenant un beau poli, et capable de se damasser par l'action des acides. M. Fischer de Schaffouse a fabriqué quelque temps cet alliage qu'il appelait fer météorique. L'acier allié avec 1/100 ou 3/100 de chrome donne un produit très-dur, aussi malléable que le fer; il se damasse parfaitement. Cet alliage, proposé par Berthier, a été fabriqué sur un grande échelle dans les environs de Liége.

L'acier allié avec 1/100 ou 3/100 de platine fournit des résultats analogues. M. Bréant a fabriqué de belles lames damassées avec cet alliage. C'est avec cet alliage, croyons-nous, que le duc de Luynes avait fait fabriquer les lames de magnifiques sabres orientaux.

On peut varier beaucoup ces alliages, et il en est qui prennent un si beau poli, que Stodard et Faraday les recommandent pour la fabrication des miroirs métalliques. Voici la densité de quelques-uns d'entre eux.

Fer météorique, forgé.	7,965
Fer et 3/100 de nickel	7,849
Acier et 10/100 de platine (*miroir*). . . .	8,100
Acier et 10/100 de nickel (*miroir*).	7,684
Acier et 1/100 d'or, forgé.	7,870
Acier et 2/100 d'argent, forgé.	7,808
Acier et 1,5/100 de platine, forgé	7,73

Acier au tungstène. M. Gruner a communiqué à la Société d'encouragement les résultats de l'examen qu'il a fait d'un acier spécial d'une très-grande dureté, qui est employé à la fabrication de crochets servant à tourner les bandages en acier des roues de chemins de fer de l'Ouest.

Cet acier spécial est d'une dureté extrême, sa cassure d'un beau blanc argentin mat; son grain est extrêmement fin, d'un aspect velouté, présente une surface unie, même à la loupe. On ne peut le travailler qu'au rouge faible; il éclate lorsqu'on essaye de le tremper à l'eau, et il est assez dur pour entamer l'acier ordinaire, même sans trempe. On peut, cependant, le tremper à l'huile; mais, comme il est très-aigre, on doit faire chauffer uniformément la pièce entière et la faire refroidir ensuite avec beaucoup de précaution, pour ne pas causer de brisure.

Cette dureté particulière fait rechercher cet acier quand il faut tourner les métaux durs, et particulièrement quand il s'agit de travailler les jantes en acier des roues de chemins de fer; mais son aigreur le rend impropre à la plupart des usages auxquels on emploie l'acier ordinaire.

Il est vendu sous le nom d'acier spécial ou *acier Mushet*, du nom de M. Mushet (R.), fondateur de la société Titanic forest-steel work, qui le fabrique.

Le nom de cette compagnie pouvait faire croire que cet acier contenait du titane; mais cette opinion était peu probable. En effet, Berthier et d'autres chimistes ont essayé vainement de préparer des alliages de fer et de titane; les essais faits par M. Gruner et ceux de M. Ponsard pour réduire le fer titané n'ont amené qu'à fabriquer de la fonte et de l'acier contenant à peine quelques millièmes de titane, lequel, sans doute, y est engagé mécaniquement, et sans constituer un alliage réel. Cet acier spécial ne paraît donc pas devoir ses propriétés particulières au titane.

L'analyse directe qu'a fait M. Gruner lui a montré que ce métal était un véritable alliage de fer et de tungstène; il y a trouvé 8 pour 100 de tungstène et 2 1/2 pour 1 000 de silicium, et approximativement, 14 pour 1 000 de carbone.

L'acier au tungstène est connu depuis une vingtaine d'années; les premiers essais d'industrie furent faits par le docteur Koller, de Vienne. MM. Caron, Leguen, Petin et Gaudot ont successivement fait de l'acier au tungstène et étudié ses propriétés. On a reconnu, que le tungstène augmente à la fois la ténacité et la dureté de l'acier d'une manière croissante jusqu'à ce qu'il atteigne la proportion de 3 pour 100. Au delà de ce point, la dureté continue à croître, mais la ténacité tend à diminuer. L'acier devient aigre et cassant; un barreau extra-dur venant de Puy-les-Vignes, près de Saint-Léonard, contenait 6 pour 100 de tungstène et était cassant comme du verre. Il est donc très-remarquable que l'acier Mushet contienne 8 pour 100 de ce corps, et soit cependant assez ductible pour pouvoir être travaillé, trempé à l'huile et préparé en crochets de tours de forte dimension, quoique son aigreur le rende impropre à la fabrication des instruments tranchants, des ressorts, des canons, etc. Tout indique qu'il a dû être préparé au creuset en fondant ensemble un excellent acier cémenté, et du wolfram réduit parfaitement épuré.

TRAVAIL DE L'ACIER. Nous réunirons ici quelques procédés du travail de l'acier, qui ont pu être adoptés grâce aux moyens de production qui viennent d'être exposés, et qui ont fourni des ressources infiniment précieuses pour réaliser d'importants progrès dans les constructions mécaniques, l'artillerie, l'exploitation des chemins de fer, etc.

Aciers moulés. Lorsqu'on a eu la disposition de grandes masses d'acier fondu, soit par la puissance des appareils producteurs, soit plus sûrement, comme température et homogénéité, par la réunion du métal contenu dans un grand nombre de creusets et de fours, on a été naturellement conduit à chercher à employer, pour obtenir des pièces de forme voulue, les procédés de moulage, qui, appliqués à la fonte, rendent tant de services. Mais, quand on l'a tenté, on s'est heurté longtemps contre des obstacles qui paraissaient infranchissables, les pièces coulées s'obtenaient toutes caverneuses et remplies de soufflures à l'intérieur; la surface extérieure était couverte de taches provenant de la vitrification du sable du moule : plus on voulait obtenir de l'acier doux, plus ces difficultés étaient graves. M. Jordan définit, ainsi qu'il suit, les conditions auxquelles il faut satisfaire pour obtenir de bons résultats.

Le sable pour moulage d'acier doit être suffisamment réfractaire. On le fabrique surtout par le broyage de vieux creusets d'argile dont on sépare toutes les parties vitrifiées; en ajoutant à cette poudre sèche un peu d'argile réfractaire et malaxant les matières, on obtient une substance assez réfractaire et assez plastique pour former la première couche au contact du modèle. La nature de l'enduit est aussi un point important. La plombagine broyée, ou l'ardoise, paraît en former la base.

Il faut, pour éviter les soufflures, se garer aussi bien de l'air qui peut être entraîné avec le métal fluide que de celui qui est contenu dans le moule ou adhérent à ses parois. Ce moule doit être étuvé à une haute température et conservé encore très-chaud, afin qu'il ne se forme pas trop vite une croûte solide à son contact lors de la coulée, croûte qui gênerait le dégagement des bulles. Pour couler, on place sur l'orifice du moule un bassin de

coulée muni au fond d'un ajutage formé avec une quenouille réfractaire; lorsque tout le métal nécessaire pour remplir le moule est rassemblé dans le bassin, on soulève la quenouille et le métal forme un jet dans l'orifice du moule sans en toucher les parois, sans entraîner d'air, et en permettant à celui qui remplit le vide de s'échapper. En laissant au métal quelques instants pour se reposer dans le bassin, il se débarrasse des bulles qu'il aurait pu entraîner jusque-là. Les parois du moule, parfaitement sèches, ne fournissent point de gaz, et l'air chaud, qui remplit les interstices des grains de sable, s'échappe sans difficulté par les joints et par les trous du châssis.

Le métal doit être très-fluide et, par conséquent, à une très-haute température, surtout s'il s'agit d'acier doux, c'est à-dire peu carburé. Il faut couler d'autant plus lentement que l'acier est plus doux; si l'on va trop vite, avec de l'acier à canons par exemple, il se produit comme un rochage; le métal semble bouillir; il remplit le bassin qui déborde.

L'acier se solidifie à une plus haute température que la fonte; son retrait, ou plutôt sa contraction, depuis cette température jusqu'à celle ordinaire, est, par suite, considérable. Aussi, pour ne pas obtenir des moulages chambrés ou caverneux, il faut qu'ils soient munis de masselottes considérables et qu'on ait soin d'alimenter ces masselottes.

Enfin, lorsque le métal est solidifié, il faut débarrasser le moulage autant que possible de son enveloppe qui gênerait les contractions, et le faire refroidir très-lentement dans une étuve ou plutôt dans un four à recuire. A l'usine Vickers, de Sheffield, la fonderie est tellement disposée que les châssis avec les pièces coulées, portés sur des wagons, peuvent être poussés dans les fours à recuire, au sortir même des fosses de coulée. On dit même que certains moulages d'acier très-doux sont coulés en acier dur qu'on adoucit ensuite par un recuit au sein d'une poudre oxydante, opération semblable à celle de la fabrication de la fonte malléable.

Les moulages sont, la plupart du temps, employés tels qu'ils sortent des moules après burinage et ébarbage, surtout lorsque leur forme est un peu compliquée; il est rare alors qu'on puisse les marteler pour améliorer la qualité de l'acier.

Parmi les objets dont on a le mieux réussi la fabrication en acier moulé, sans grand travail après la fonte, on doit citer: des cloches en acier, des croisements et changements de voie, des roues de wagons, des roues d'engrenage, des socs de charrue.

Fabrication au petit creuset de Krupp. Nous donnerons quelques détails sur la fabrication de Krupp d'Essen, qui, en continuant à refondre l'acier au petit creuset, obtient une régularité, une qualité supérieure grâce à la liquéfaction parfaite de la matière, et à l'addition du fer dans les creusets pour obtenir la ténacité très-grande recherchée pour divers produits, surtout pour les pièces d'artillerie de gros calibre qui lui ont valu une si grande renommée.

D'après les renseignements fournis par la maison Krupp, lors de l'Exposition de 1867, tous les produits qui sortent de l'usine sont, comme on vient de le dire, des aciers fondus au creuset. Les nombreux fours à puddler et les convertisseurs Bessemer ne servent qu'à fabriquer des aciers bruts qui sont ensuite refondus dans des creusets avec des fers soigneusement préparés, ou avec des fontes de choix, pour obtenir les aciers marchands. On n'emploie dans les creusets de l'acier cémenté que pour la fabrication des aciers à burin et de cylindres trempés et polis, qui servent pour le laminage des métaux précieux et qui formaient autrefois la spécialité de la maison. La majeure partie de la fabrication provient d'un mélange d'acier brut et de fer provenant du puddlage des excellentes fontes manganésifères fabriquées avec des minerais des pays de Siegen et de Nassau.

Les creusets sont fabriqués avec un soin extrême: la pâte se compose d'un mélange de plombagine, d'argile réfractaire, de débris de briques et de vieux creusets; elle est mélangée et pétrie mécaniquement; le mélange se fait par emboutissage au balancier; le séchage a lieu très-lentement dans des séchoirs qui contiennent toujours 100,000 creusets. Ces creusets plombaginés ont une capacité qui varie de 20 à 40 kilogrammes suivant la nature de l'acier à obtenir; on ne craint pas l'action carburante de la plombagine contre laquelle on prend les précautions nécessaires dans le dosage de la charge. Ils ne servent, du reste, jamais qu'une fois, et on peut ainsi les porter à une température extrêmement élevée, à laquelle des creusets chargés pour la deuxième ou la troisième fois ne résisteraient probablement pas.

Les fours sont de diverses natures, chauffés au coke ou au gaz, et renferment 2, 4, 8, 12 ou 24 creusets. Dans la plus grande halle de fonderie, il y a des fours pour 1,500 creusets, chauffant tous à la fois, disposés de telle sorte qu'avec des ouvriers exercés et bien dirigés, le contenu de tous ces creusets puisse arriver à un même moule.

M. Turgan, qui a assisté à une de ces coulées, donne quelques détails curieux sur ce travail, que nous reproduisons ici.

Les fours dans lesquels reposent les creusets sont disposés le long des parois de la halle; des galeries commodes ouvrent une circulation facile sous le foyer. Lorsque les ouvriers conducteurs de la fusion ont, avec de longues tiges de fer, constaté que l'état de liquidité est bien celui qui est désirable, on commence par enlever, par-dessous, le coke qui entourait les creusets dans les fours; la bonne disposition des galeries rend cette manœuvre facile.

Les creusets peuvent alors être enlevés. Le problème est le suivant, que la coulée soit grande ou petite: Faire arriver dans un moule, sans interruption, un ruisseau d'acier fondu, assez chaud pour couler sans arrêt aucun et se placer dans le moule de manière à s'y solidifier, en étant parfaitement homogène. Or, l'acier se refroidit, se solidifie très-vite, et la plus mince couche solidifiée, que produirait une interruption dans l'écoulement, enlèverait toute valeur au lingot. Les manœuvres sont fort simples, mais elles seraient complétement inexécutables par un personnel inexpérimenté; il faut que chacun exécute parfaitement, mathématiquement, le temps qui le regarde dans l'opération. Le chef doit bien déterminer la place du moule, pour qu'il soit à portée de tous les fours en fusion. Il doit calculer également la pente des rampes descendant vers la tranchée; sur ces pentes reposent des canaux convergents à une cuvette dominant le moule. Dans ces canaux recouverts d'une légère feuille de tôle et évasés à leur extrémité libre, les ouvriers, systématiquement conduits, versent l'acier qui s'écoule vers la cuvette, dont le rôle est de régulariser la descente de l'acier dans le moule. Les canaux sont, en forte tôle, revêtus à l'intérieur de terre réfractaire.

Quand le chef a jugé la disposition de la cuvette et des canaux convenablement agencée, il fait un signal, et les ouvriers à leur poste commencent par découvrir les fours, en tirant sur des rails leur couvercles en fonte revêtus de briques et qui sont portés sur des galets.

Un ouvrier saisit alors un creuset avec une pince, mais au lieu de l'enlever à bout de bras, il accroche simplement la tige recourbée de sa pince sur une barre que viennent lui présenter deux autres ouvriers, qui la portent en travers de leurs épaules; il est donc aussitôt délivré de son fardeau et peut saisir un autre creuset, tandis que les deux hommes qui en ont hérité

le portent sans fatigue et sans secousse, pendu verticalement entre eux comme les fardeaux que portent les porte faix de Marseille ; ils le déposent presque instantanément sur une place laissée libre au-devant des fours. A cette place, d'autres ouvriers rangés militairement, deux par deux, tiennent entre eux une pince libre dont l'anneau entoure le ventre du creuset, qui reste encore vertical entre les deux porteurs.

Puis ils marchent alors lentement, mais sûrement, vers le canal qui est destiné à leur équipe, et y versent le contenu du creuset qui s'écoule vers la cuvette ; dès que le creuset est vidé, ils le précipitent par un entonnoir dans les caves, de sorte qu'il n'embarrasse pas le sol de la halle; ils trempent dans des bassins d'eau disposés à cet usage leurs pinces, que le contact du creuset échauffe rapidement, et les longues manches de toile épaisse qui leur servent de gants; puis ils reprennent leurs pinces et vont se mettre à la suite de leur compagnie, et tout cela sans agitation, sans autres cris que l'appel poussé par l'équipe pour indiquer aux chauffeurs, placés dans les galeries souterraines, que le moment est venu de retirer le coke entourant les creusets. Quelques minutes suffisent pour remplir la vaste capacité contenant quelquefois 40,000 kilogrammes comme le lingot cylindrique de 1m,567 de diamètre mis, par M. Krupp, à l'Exposition de 1867, dont la face supérieure polie permettait d'apprécier la finesse, la densité et la pureté du métal. Tous les métallurgistes ont admiré l'uniformité du grain, et l'absence totale de soufflures, si remarquables dans une pièce de cette dimension.

Martelage. Nous montrons à l'article TREMPE de quelle importance est le martelage pour la qualité de l'acier, comment, par un effet tout particulier, il contribue à son homogénéité, aussi l'emploi du marteau-pilon est devenu l'élément essentiel de la fabrication des pièces en acier. Ainsi, l'importante fabrication des canons en acier, si bien réussie par Krupp, a conduit à l'établissement d'un marteau-pilon de 40 tonnes, pour marteler à cœur les pièces de canon de très-fort calibre.

Emploi de l'acier pour rails. La grande diminution du prix de l'acier, par suite de la puissance des moyens de fabrication qu'a su trouver l'industrie moderne, permet de lui assigner des emplois qui répondent à une consommation extrêmement considérable. On doit citer avant tout celle qui doit répondre à la fabrication des rails de chemin de fer, qui en fer ordinaire ne peuvent résister aux grands trafics plus de 10 ou 12 ans. Nous citerons ici les vues d'un haut intérêt de M. E. Flachat sur cette question.

Le fer produit, couramment, par le procédé Bessemer, a une très-grande dureté et une très-grande ténacité, et l'appareil servant à cette fabrication, fonctionne en ce moment dans la plupart des établissements métallurgiques importants. Il y sert, il est vrai, à la production d'un fer ayant des qualités aciéreuses; mais s'il ne réussit pas à faire avec toutes les fontes un métal susceptible de la trempe, il réussit à faire, avec beaucoup d'entre elles une matière dont la dureté et la résistance à froid, la cohésion, l'homogénéité et l'élasticité conviennent éminemment à l'emploi en rails.

Or, il n'y a aucune raison pour que la fabrication de ce fer fondu en lingots soit plus coûteuse que celle du fer puddlé. Chaque jour on se rapproche de l'égalité des prix.

Ce qui est constaté aujourd'hui, c'est que l'opération qui consiste à corroyer le fer, c'est-à-dire à le laminer par bandes plates, à le couper pour le mettre en paquets, à le marteler et le laminer de nouveau, puis à recommencer deux fois et trois fois la même opération, est un procédé qui peut servir à compléter l'épuration du métal, mais non lui donner la texture, l'homogénéité et le grain qui sont particuliers aux fers durs et tenaces. Le marteau produit cet effet, le laminoir jamais. Le laminage donne au fer une texture d'autant plus fibreuse, ou nerveuse, suivant la qualité première, qu'il est plus répété et fait à de plus basses températures. Son action rend le fer moins pesant, plus *creux*, moins résistant, c'est-à-dire plus coulant à la chaleur soudante. Le fer laminé s'est, pour ces motifs, introduit très-lentement dans l'emploi par les forges à bras, dites maréchales.

Le pas que le procédé Bessemer a fait faire à la fabrication, à part l'expérience d'une méthode d'affinage nouvelle et plus efficace, c'est de montrer la supériorité de résistance du fer affiné *fondu* sur le fer affiné par le puddlage, c'est de montrer la valeur de l'action du marteau, de réduire l'utilité du laminoir à la simple mise dans la forme d'emploi, et de démontrer ainsi, non-seulement l'inutilité du corroyage, mais aussi l'inconvénient de soumettre le fer, à partir de sa fusion en lingots, à un travail à chaud exagéré. Il y a bien peu d'années encore, quand on voulait fabriquer un arbre en fer de 0,30 centimètres de diamètre, on mettait au four un paquet de petites bandes de fer laminé, ayant 1 mètre à 1m,20 carré de section. Aujourd'hui, on met au four un lingot fondu de 0m,50, et on obtient un fer plus résistant du double. Cette différence capitale dans la fabrication du fer ne vient-elle pas de deux causes: la première de ce que, dans le travail actuel du fer, la haute température, celle de fusion du fer lui-même, n'intervient jamais, puisque le fer n'est jamais fondu; la seconde de ce qu'il est travaillé par un instrument dont le mode d'action participe bien plus de l'étirage que d'une pression normale.

Le procédé Bessemer a ouvert une voie nouvelle: il a produit, avec la même fonte, des fers plus homogènes que ne faisait la méthode ancienne d'affinage, plus résistants aussi; des fers exclusivement à grain, texture qui ne se perd, sous l'influence du laminoir, qu'aux dépens de certaines qualités. On entend les ingénieurs les plus expérimentés dans l'emploi du fer, exprimer l'opinion que le meilleur fer est celui qui, dans le traitement, a conservé sa texture *grenue*, tandis qu'autrefois c'était le fer rendu *nerveux* par le traitement qui avait la préférence; et comme le nerf se donne par des passages répétés au laminoir, par des façons énergiques à basse température, le fer était étiré mais non pas comprimé; il était préféré pour des emplois à froid, parce que les fibres superficielles en contact avec le laminoir, acquéraient, par une sorte d'écrouissage, la propriété du fil de fer.

Le fer puddlé ordinaire n° 1, destiné à produire par le corroyage les fers de qualité, étant soumis à la traction, présente une résistance très-faible: 15 à 18 kilog. par millimètre de section; converti par un seul corroyage, c'est-à-dire par un faible traitement mécanique, en fer de gros échantillon, il ne résiste guère à un effort de traction de plus de 28 à 30 kil.; corroyé deux fois et laminé en ronds à la main et à basse température, il résiste à 37 et 42 kilog.; enfin, réduit par une façon de plus, dans les laminoirs à guides, à un diamètre de 4 à 5 millimètres, il résiste à 40 ou 45 kilog.; puis, passé à froid à la filière, et converti en fil de fer de 1 millimètre, il résiste à 80 kilog. par millimètre de section. Mais le fer aciéreux obtenu aujourd'hui, des mêmes fontes à fer, dans l'appareil Bessemer, par la fusion à haute température, coulé en lingots, après un affinage qui donne au produit des qualités de densité et d'homogénéité particulières, présente déjà, sans façons aucunes, une résistance égale à celle du fil de fer, et le marteau élève ensuite cette résistance de 25 pour 100; sa densité est celle de l'acier, et, dans tous les cas, très-supérieure à celle du meilleur fer.

Bandages de roues pour wagons. Nous allons décrire

le curieux procédé de fabrication appliqué par Krupp sur une très-grande échelle.

Un lingot d'acier fondu est forgé de la forme représentée fig. 27, et deux trous d'environ 5 centimètres de diamètre sont percés au foret ou au découpoir à travers toute son épaisseur. Une fente est pratiquée pour les réunir, comme l'indique la figure, puis le bloc est chauffé et ouvert de manière à former un anneau d'acier fondu, fig. 27, qui est laminé ou forgé au marteau de manière à former un bandage.

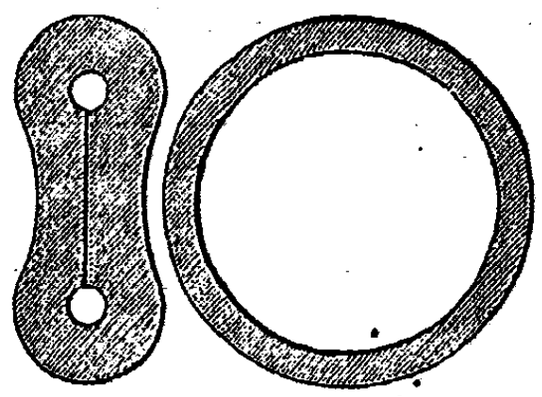


Fig. 27.

Roues en acier fondu. Ces roues sont fabriquées par Vickers, de la forme représentée dans la section, fig. 28, et obtenues directement par moulage. L'a-

Fig. 28.

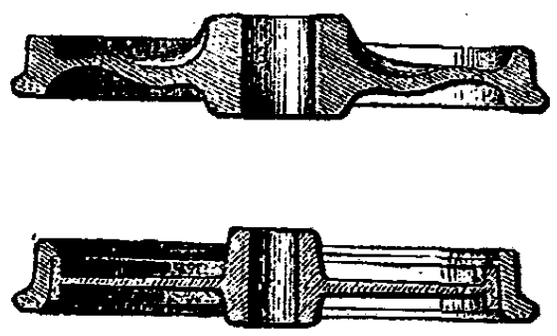


Fig. 29.

cier passe des creusets dans une poche et de là dans un moule revêtu de substances assez réfractaires pour résister à l'action de l'acier fondu. Ce procédé est bien moins coûteux que celui de Krupp, qui forge un lingot d'acier fondu, de manière à l'amener à la forme d'un disque A, fig. 30, puis le fait pas-

A

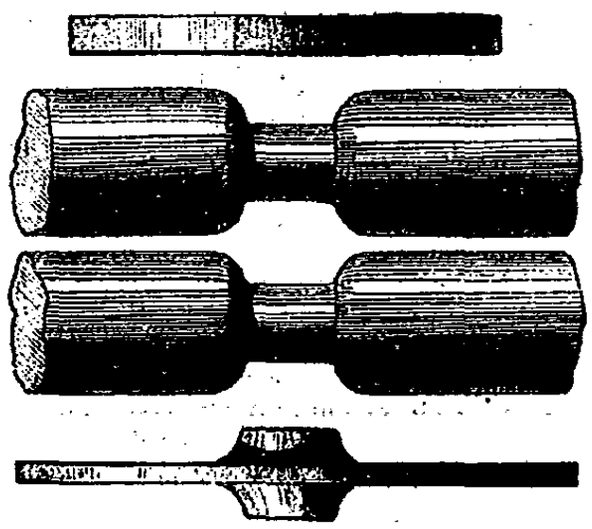


Fig. 30.

ser à travers une paire de cylindres, entaillés tous deux dans leur milieu, comme le montre la figure, en changeant continuellement le point de la circonférence par

lequel le disque d'acier se présente aux rouleaux. Celui-ci est de la sorte écrasé et étendu, la résistance du métal étant d'ailleurs de plus en plus accrue par le laminage, pendant que le moyeu de la roue se produit en raison du moindre diamètre du milieu des cylindres. Le disque est alors martelé sur la tranche pour prendre la forme indiquée dans la figure 29, et enfin tourné. Le prix coté par Krupp, savoir 125 francs pour une roue d'acier fondu pesant 150 kilog., forgée et finie, indique que ce procédé de fabrication est arrivé à un degré extraordinaire de perfection et d'économie.

Canons. La fabrication de pièces d'artillerie en acier doux, est encore une des applications importantes de ce métal, exigeant toutes les ressources des machines-outils les plus puissantes. Nous reviendrons sur cette fabrication à l'article BOUCHES A FEU; nous donnerons ici seulement la description du procédé de fabrication des canons avec le laminoir employé en Angleterre et dû à M. Clay.

On se sert des cylindres ordinaires à surface lisse; mais, au lieu de vis pour déterminer leur écartement, des tiges de piston sont adaptées aux coussinets supérieurs du cylindre de dessus, et celui-ci monte et descend avec ces tiges. Elles sont attachées à des pistons se mouvant dans des cylindres hydrauliques qui surmontent les deux montants. Ces cylindres portent des tuyaux de sortie fermés par une soupape, qui permet de régler à volonté la sortie de l'eau du cylindre. Supposons le cylindre rempli d'eau, les rouleaux donneront une certaine compression, soit à une loupe, soit à une barre poussée entre eux. Lorsque la valve viendra à être ouverte pendant que la barre de fer est entraînée afin d'obtenir la forme conique, l'écartement des cylindres augmentera graduellement en proportion de l'eau qui s'échappe du cylindre, et de l'élévation du piston qui en résulte. Une des extrémités de la barre est alors diminuée d'épaisseur pendant que l'autre est à peine altérée. La barre est ainsi passée entre les cylindres jusqu'à ce qu'elle ait pris la forme conique voulue. Quand il s'agit de forger un canon, si l'extrémité du côté de la bouche et celle du côté de la culasse doivent appartenir à des cônes très-différents, ou varier brusquement d'épaisseur, les cylindres peuvent être arrêtés en débrayant quand la partie de plus petit diamètre est finie, et ils sont alors disposés pour une opération suivante, la soupape étant ouverte pour une forme nouvelle. La soupape étant ajustée, la culasse est fabriquée à l'aide des mêmes cylindres. Les tourillons sont assemblés en dernier.

Cette méthode est applicable au laminage de toutes les pièces de forme conique. Inventée à Birmingham au commencement du siècle pour laminer les canons de fusil, elle a été appliquée à la fabrication des carabines d'Enfield.

ACOUSTIQUE. C'est sur l'étude des sons, leur mesure, les moyens de les produire, que repose l'industrie qui a pour objet la production des instruments de musique. Cherchons donc à résumer les principaux résultats de la science des sons.

ÉCHELLE MUSICALE. Nous avons déjà dit que le son résultait de la vibration des corps; c'est la vitesse des vibrations qui décide de la hauteur du son : plus les vibrations sont rapides, plus le son est aigu; plus au contraire elles sont lentes et plus le son est grave. Il y a des limites entre lesquelles seulement les vibrations sont musicales. En général, les sons cessent d'être perceptibles lorsque le nombre de vibrations dépasse une soixantaine de mille par seconde, on reste inférieur à trente vibrations pour la même unité de temps; au delà de ces limites leur trop grande acuité ou leur extrême gravité ne permettent plus qu'ils soient perçus par des oreilles humaines. Dans tous les cas, ces vibrations sont beaucoup trop rapides pour qu'on puisse les compter

directement; cependant on y arrive d'une manière assez précise par plusieurs procédés détournés qui se contrôlent les uns les autres.

Le plus simple consiste dans l'emploi d'une corde assez forte, assez longue pour que, tendue entre deux points fixes et éloignés de sa position rectiligne, elle y revienne en décrivant de part et d'autre des oscillations lentes et très faciles à compter. Alors, en faisant varier seulement la longueur de la corde, on constate que le nombre des vibrations est en raison inverse de la longueur de la corde; cette loi, que d'ailleurs le calcul indique, étant ainsi vérifiée par l'expérience, on raccourcit la corde jusqu'au point d'obtenir un son appréciable et correspondant à un nombre de vibrations que l'on déduit de la longueur de la partie vibrante. A partir de ce point, et en faisant vibrer des longueurs de plus en plus petites comptées sur la même corde, ou mieux sur une autre corde préalablement mise à l'unisson, on obtient une infinité de sons de plus en plus élevés, parmi lesquels une oreille bien organisée saisit certains rapports remarquables.

Supposons qu'une corde vibrante de 1 mètre de longueur rende un son net et bien apprécié par l'oreille, réduite à un demi-mètre elle rend un son plus aigu, mais qui possède avec le premier une analogie extrême et qu'on reconnaît être à l'*octave*. Mais, au lieu de réduire brusquement la corde à moitié, on peut diminuer par tâtonnements sa longueur, de manière à lui faire rendre successivement toutes les notes de la gamme naturelle comprise entre deux sons à l'octave l'un de l'autre. Ces notes ont reçu les dénominations conventionnelles : *ut, ré, mi, fa, sol, la, si, ut*. En opérant comme nous venons de le dire, on trouve que pour une même corde, toujours également tendue, les longueurs qui correspondent à ces notes sont représentées par les nombres :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*ut*
1,	$\frac{8}{9}$,	$\frac{4}{5}$,	$\frac{3}{4}$,	$\frac{2}{3}$,	$\frac{3}{5}$,	$\frac{8}{15}$,	$\frac{1}{2}$.

Et d'après la loi énoncée précédemment, qui dit que la vitesse des vibrations est inversement proportionnelle aux longueurs de corde, on déduit pour les différentes notes de la gamme des nombres de vibrations qui sont représentés par les quantités :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*ut*
1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.

Ainsi le nombre de vibrations de deux notes à l'octave l'une de l'autre diffère entre elles du simple au double exactement; et quel que soit le nombre n des vibrations correspondant à un son donné, si on le prend pour point de départ d'une gamme, le nombre des vibrations des différentes notes de cette gamme sera toujours égal au nombre n multiplié par le nombre fractionnaire correspondant à chacune de ces notes.

Les gammes sont donc toutes pareilles, quel que soit leur point de départ dans la série des sons perceptibles; et ce qui constitue essentiellement l'intervalle sensible entre les différentes notes, c'est uniquement le rapport qui existe entre les nombres des vibrations qui leur correspondent. Cette définition de l'intervalle musical est puisée dans la nature même de nos sensations auditives.

Ainsi compris, les intervalles qui séparent les différentes notes de la gamme ne sont pas tous égaux, car, en divisant chaque note par celle qui précède, on trouve des quotients différents, que nous allons écrire en troisième ligne et en regard de l'intervalle qu'ils représentent :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*ut*
1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.
	$\frac{9}{8}$,	$\frac{10}{9}$,	$\frac{16}{15}$,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{10}{9}$,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{16}{15}$.

L'inspection de ces nombres montre que dans la gamme naturelle il y a des intervalles de trois grandeurs différentes : 3 représentés par $\frac{9}{8}$, 2 par $\frac{10}{9}$ et 2 par $\frac{16}{15}$. La différence entre $\frac{9}{8}$ et $\frac{10}{9}$ est assez petite pour que l'oreille la néglige; elle constitue un nouvel intervalle désigné sous le nom de *comma*. En négligeant le comma on ne trouve plus dans la gamme que deux sortes d'intervalles, des grands et des petits : cinq grands représentés indistinctement par $\frac{9}{8}$ ou $\frac{10}{9}$, et deux petits représentés par $\frac{16}{15}$. On appelle les premiers des *tons* et les seconds des *demi-tons*. Ils sont répartis dans la gamme de manière que le premier demi-ton se trouve entre la deuxième et la troisième note, et le second entre la septième et la huitième.

Dièses et bémols. — Mais on emploie en musique d'autres notes que celles que nous avons considérées jusqu'ici. Voici comment on s'y est trouvé conduit : je suppose que, disposant de l'échelle musicale dans toute son étendue perceptible, on compose un instrument capable de donner, à partir de la note la plus grave, une série de gammes à l'octave les unes des autres, comme serait, par exemple, un piano réduit à ses touches blanches. Il serait possible d'exécuter sur cet instrument un chant simple, pourvu que l'on commençât par la note convenable. Mais si l'on voulait commencer par une autre note, on rencontrerait une impossibilité absolue à reproduire ce même chant avec son caractère et son sens musical. La raison en est simple : les tons et les demi-tons n'étant pas régulièrement répartis dans la gamme, l'intercalation d'un même nombre de touches entre deux notes successives ne représente pas toujours le même intervalle pour l'oreille; et lorsqu'on essaie de déplacer un air sur l'instrument, ou, comme on dit, de le *transposer*, on éprouve à chaque instant la nécessité d'intercaler entre deux notes, séparées par un ton, une troisième note intermédiaire. C'est pour répondre à ce besoin qu'on a introduit l'usage des notes *diésées* ou *bémolisées*.

Diéser une note, c'est l'élever de manière à multiplier le nombre de ses vibrations par $\frac{25}{24}$; la bémoliser, c'est la baisser en multipliant le nombre de ses vibrations par le rapport inverse, c'est-à dire par $\frac{24}{25}$. Il suit de là qu'entre deux notes de la gamme séparées par un ton, entre *ut* et *ré*, par exemple, on peut intercaler *ut* dièse et *ré* bémol. Mais ces notes sont tellement voisines et diffèrent si peu l'une de l'autre, qu'on a pu se permettre, sans blesser l'oreille, de leur substituer une note unique qui sert pour tous les cas. On en fait autant pour les quatre autres tons de la gamme, que l'on partage en deux par l'introduction d'une note intermédiaire, et l'on obtient ainsi une nouvelle gamme, dite chromatique, dont toutes les notes successives sont à un demi-ton les unes des autres.

Tempérament. — Toutefois, si, pour compléter l'échelle musicale, on s'était borné à intercaler, tel que nous venons de le dire, cinq notes nouvelles entre les notes de la gamme naturelle conservée parfaitement juste, on n'arriverait pas encore à satisfaire aux exigences d'une oreille tant soit peu exercée, parce que les douze intervalles qui composeraient ainsi la nouvelle ne seraient pas tous égaux entre eux. On est donc convenu d'altérer encore l'échelle naturelle suivant une méthode appelée *tempérament*. On part de ce principe que, de tous les intervalles employés en musique, le seul qui exige une justesse absolue, c'est l'octave; puis, cet intervalle on le partage en douze demi-tons égaux. On ne conserve plus aucune des notes de la gamme naturelle, mais on leur substitue de nouvelles notes qui en approchent beaucoup et qui ont l'avantage de se prêter avec facilité à toutes les transpositions possibles. Dans une gamme chromatique établie sur ces principes, tous les demi-tons sont représentés par un même nombre,

et ce nombre est tel que, multiplié douze fois par lui-même, il devienne égal à 2: il est donc égal à la racine douzième de 2 ou à 1,059.

Accords. — Si l'on considère l'une après l'autre et en montant toutes les notes d'une gamme tempérée ou non, on trouve d'abord, comme nous l'avons dit, deux tons, puis un demi-ton, puis trois tons, et enfin un demi-ton. Les intervalles compris entre la première et la seconde note, entre la première et la troisième, etc., jusqu'à l'octave, s'appellent une *seconde*, une *tierce*, une *quarte*, une *quinte*, une *sixte*, une *septième* et une *octave*. Ces mêmes intervalles peuvent se compter à partir d'une note quelconque; mais alors leur grandeur peut varier d'un demi-ton, et il vient à propos de distinguer des tierces, des quartes, etc., *majeures* et *mineures*.

Quand deux ou plusieurs notes de la gamme se font entendre au même instant, il résulte de leur simultanéité des sensations qui flattent ou qui blessent l'oreille, et qui produisent des *accords* ou des *dissonances*. L'accord le plus simple est l'unisson, après vient l'octave, puis la quinte, puis les tierces majeure et mineure, et enfin la quarte Les secondes majeure et mineure, et surtout cette dernière, ne produisent que des dissonances. Quand trois sons simultanés sont tels que le premier et le second forment une tierce majeure, le second et le troisième une tierce mineure, le premier et le troisième forment nécessairement une quinte; il en résulte une triple consonnance que l'on a nommée *accord parfait*.

MESURE DES SONS. Jusqu'à présent nous n'avons parlé que d'un seul moyen d'évaluer le nombre de vibrations correspondant à un son donné. Ce moyen est fondé sur la loi simple qui lie le nombre des vibrations d'une corde à sa longueur. Nous avons supposé d'ailleurs que deux corps vibrant à l'unisson exécutaient dans le même temps le même nombre de vibrations. Il est facile de montrer que cette supposition n'est point hasardée, car on possède plusieurs moyens de produire des sons et de compter leurs vibrations, et tous fournissent des résultats concordants. Nous nous bornerons à indiquer la sirène de M. Cagniard de La Tour (fig. 29[1]).

Sirène. — Une boîte cylindrique *cc* communique par sa base inférieure avec un tuyau qui doit permettre

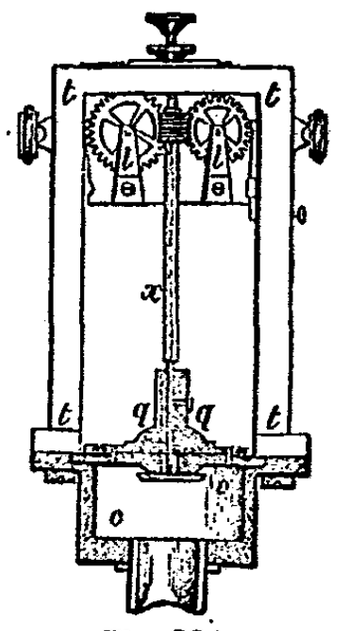


Fig. 29[1].

l'arrivée d'un fluide liquide ou gazeux, tandis que sa base supérieure porte une rangée de trous équidistants et disposés en cercle. Cette base sert en outre de point d'appui à une monture métallique *tt* et à l'extrémité inférieure d'un axe vertical *x*, susceptible de tourner sur lui-même avec une grande facilité. Perpendiculairement à cet axe on a monté un plateau circulaire *qq*,

qui vient se placer aussi près que possible de la base sans la toucher, et qui porte comme elle une rangée d'un même nombre de trous disposés en cercle, à la même distance du centre, et percés obliquement dans l'épaisseur du métal.

Par suite de cette disposition ingénieuse, si l'on imprime au plateau un mouvement de rotation, et si l'on fait affluer par le tuyau un fluide quelconque, de l'air, par exemple, il arrive que l'écoulement au dehors de la boîte ne peut pas se faire d'une manière continue, mais seulement intermittente; car, parmi toutes les positions que le plateau mobile occupe par rapport au fond fixe de la boîte, on peut distinguer celles pour lesquelles il y a coïncidence entre les deux systèmes de trous, et celles pour lesquelles ils ne se correspondent pas. De plus, il est évident que par suite de son mouvement continu le plateau passe alternativement de l'une à l'autre de ces deux sortes de positions, et par suite permet et suspend alternativement l'écoulement. Quand le mouvement de rotation est suffisamment rapide, les chocs résultant de cet écoulement intermittent engendrent un son dont la hauteur dépend de la vitesse de rotation du plateau. Or cette vitesse est entretenue par l'écoulement même du fluide à travers les trous obliques du plateau, et elle dépend de la pression sous laquelle cet écoulement a lieu. Il en résulte qu'en faisant varier cette pression on fait aussi varier la hauteur du son rendu par l'instrument. Si c'est une soufflerie qui est chargée de subvenir à cet écoulement, il suffit de la charger plus ou moins pour obtenir toutes les hauteurs possibles de son entre deux limites très éloignées. Mais, ce qui complète admirablement cet appareil remarquable et ce qui le rend capable d'indiquer lui-même le nombre de vibrations correspondant au son qu'il rend, c'est le soin qu'on a pris de faire engrener à volonté l'axe vertical du plateau mobile avec un compteur ou système de roues dentées situé en *ll*. Ce compteur porte deux aiguilles dont le mouvement indique à l'extérieur le nombre de tours exécutés par le plateau, quelle que soit la vitesse dont il est animé; le nombre de tours multiplié par le nombre des trous du plateau donne évidemment le nombre des chocs ou des vibrations complètes qui produisent le son. Tel est l'instrument imaginé par M. Cagniard de La Tour, et auquel il a donné le nom de *Sirène*, parce qu'il est capable de parler aussi bien dans l'eau que dans l'air.

Pour déterminer le nombre des vibrations exécutées par un corps sonore, on commence par mettre la sirène à l'unisson avec lui en réglant l'écoulement de l'air; quand on procède avec soin, on arrive à maintenir le son fixe pendant quelque temps. Alors on engrène le compteur pendant un certain nombre de secondes déterminé. La marche des aiguilles sur les cadrans indique le nombre des tours du plateau, et par suite le nombre des vibrations exécutées pendant un nombre de secondes connu; on en tire facilement le nombre des vibrations exécutées par seconde.

Quelle que soit la méthode employée pour compter les vibrations, les résultats obtenus sont assez concordants pour qu'on puisse les considérer tous comme étant sensiblement l'expression de la vérité. Dans la partie moyenne de l'échelle des sons, on en a choisi un pour servir en quelque sorte de point de départ. Ce choix est tout à fait arbitraire; mais l'usage l'a fixé, et le *la* du diapason représente dans le langage musical un son d'une hauteur bien déterminée. Soumis à l'étude physique, ce son a été trouvé correspondant à 880 vibrations simples, c'est-à-dire à 880 excursions des molécules du corps sonore.

Comme la série entière des sons perceptibles renferme plusieurs octaves composées chacune des notes *ut*, *ré*, *mi*, etc.; il a été nécessaire d'affecter chacune de ces octaves d'un indice particulier pour les distinguer les

ACOUSTIQUE.

unes des autres. L'octave qui renferme le *la* du diapason porte l'indice 3, qu'on écrit à la suite et en bas de chaque note. Ainsi le *la* du diapason est un la_3; par suite, le *la* du violoncelle, qui est à l'octave en dessous, est un la_2; il en résulte que celui-ci fait 440 vibrations par seconde : le la_1 en fait 220, le la_{-1} 110, et le la_{-2} 55 seulement, en sorte que l'ut_{-2} n'en fait que 33; c'est la note la plus grave employée en musique.

On peut, d'après ce qui précède, déterminer la longueur absolue des ondes sonores dans un milieu quelconque, car il suffit pour cela de connaître la vitesse avec laquelle le son se propage dans ce milieu et le nombre des vibrations qui produisent le son. Dans l'air, cette vitesse est de 333 mètres par seconde; il est évident qu'un son qui résulterait de 333 vibrations par seconde émettrait 333 ondes égales entre elles et qui, par conséquent, auraient 1 mètre de longueur. Pour des vibrations plus nombreuses les ondulations seraient plus courtes; elles seraient plus longues dans le cas contraire. On voit qu'en général la longueur de l'onde s'obtient en divisant la vitesse du son par le nombre des vibrations, ce qui donne pour l'ut_{-2} une ondulation de plus de 10 mètres ou de 32 pieds de longueur.

Battements. — L'évaluation numérique des sons conduit à l'explication d'un phénomène d'acoustique qui paraît au premier abord fort extraordinaire. Lorsque deux instruments de même nature, soit deux cordes ou deux tuyaux, rendent des sons prolongés et différant très peu de hauteur, on entend en outre une sorte de roulement dont les battements élémentaires sont d'autant plus rapprochés que l'intervalle des deux sons est plus grand. Quand les deux instruments parlent à l'unisson, tout battement cesse. Quand au contraire ils rendent des sons très distants l'un de l'autre, le roulement peut devenir assez précipité pour engendrer un troisième son. Ce phénomène, proprement désigné sous le nom de *battement*, est dû à la coïncidence des vibrations des deux corps sonores, qui se reproduit périodiquement, et détermine chaque fois un renforcement dans le son.

Des différentes manières de produire des sons. Les frottements et les chocs excitent une quantité de bruits ou de sons confus en déterminant dans les molécules des corps des agitations et des mouvements qui n'ont rien de régulier, et qui n'offrent aucune prise à l'étude. Nous n'avons à nous inquiéter que des circonstances dans lesquelles prennent naissance des sons musicaux et appréciables, et allons passer en revue les systèmes employés dans les divers instruments de physique.

Cordes vibrantes. Nous avons déjà parlé des sons rendus par les cordes tendues entre deux points fixes, et nous avons énoncé la loi très simple qui lie, toutes choses égales d'ailleurs, le nombre des vibrations à la longueur de la corde; mais comme le degré de tension, la grosseur et la densité de cette corde ont également une influence sur la rapidité des vibrations, il importe d'indiquer l'influence qui dépend de chacune de ces données.

Les expériences confirment les lois suivantes, auxquelles on arrive aussi par le calcul :

« Les nombres de vibrations des cordes sont proportionnels aux racines carrées des poids qui les tendent; mais ils sont en raison inverse des longueurs des cordes, de leur épaisseur et des racines carrées de leurs densités. »

Ces lois ne sont relatives qu'aux vibrations *transversales* des cordes, c'est-à-dire à celles qu'elles exécutent en s'infléchissant de part et d'autre autour de leur position d'équilibre.

Il est possible d'exciter dans une corde tendue des vibrations d'une autre espèce, désignées sous le nom de vibrations *longitudinales*, et qui suivent des lois toutes différentes. Pour produire ces sortes de vibrations, il faut frotter une corde tendue dans le sens de sa longueur avec un archet ou un morceau de drap saupoudré de colophane. On sollicite, en opérant ainsi, les molécules à se déplacer et à osciller dans le sens de la longueur de la corde. Mais dans ces circonstances l'élasticité propre de la substance intervient d'une manière puissante, et le son obtenu par ce mode d'ébranlement est toujours très aigu quand on le compare à celui que rend une même corde vibrant transversalement.

Que les cordes vibrent transversalement ou longitudinalement, elles peuvent se partager presque spontanément en 2, 3, 4, 5, etc., parties vibrant isolément. Dans deux parties consécutives les mouvements, considérés au même instant, se font toujours dans des sens opposés, ce qui aide à comprendre comment, sur la limite de deux parties vibrant isolément, il existe des molécules qui restent en repos. Ces points de repos sont ce qu'on appelle des *nœuds*; et les points milieux des parties vibrantes, ceux qui décrivent les plus grandes excursions, sont appelés les *ventres*.

On détermine facilement l'apparition des nœuds dans une corde vibrante : il suffit de la toucher légèrement en l'un des points où ces nœuds tendent à se produire, c'est-à-dire en un point correspondant à l'une des divisions qui fractionneraient la corde en parties d'égale longueur. La série des sons que peut donner une même corde dans ces diverses circonstances est représentée, à partir du son le plus grave ou fondamental, par la série naturelle des nombres 1, 2, 3, 4, etc.

Vibration des tiges. — Une tige rigide et élastique fixée à l'une de ses extrémités ou par son milieu offre encore la facilité de produire des sons, avec un grand nombre de substances différentes. Quand une tige ou une lame est pincée par une de ses extrémités dans un étau, si on fait effort pour la courber et qu'on l'abandonne à elle-même, on la voit, comme une corde pincée, décrire des oscillations dont le nombre est lié à la longueur de la partie vibrante d'une manière assez simple. « Ce nombre est en raison inverse de la racine carrée de la longueur, comptée à partir de l'extrémité libre jusqu'au point où la tige s'engage entre les mors de l'étau. »

Vibration de l'air dans les tuyaux. — Enfin l'air lui-même est, dans bien des cas, le corps dont les vibrations excitent le son. Les instruments à vent nous en présentent de nombreux exemples. En général ils isolent une colonne d'air dont les dimensions influent sur la hauteur du son. Le procédé usité pour mettre cette colonne en vibration varie d'un instrument à l'autre; mais toujours on peut le considérer comme fondé sur l'emploi de l'*anche* ou du *bec de flûte*.

L'anche agit d'une manière simple et facile à comprendre; c'est une languette L (fig. 29²) fixée par une

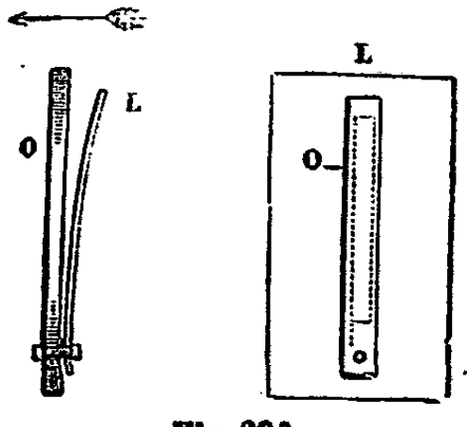


Fig. 29².

extrémité au devant d'une ouverture rectangulaire O, pratiquée dans une paroi solide. Cette languette est construite de manière à se cambrer dans l'état de re-

pos et à dégager l'ouverture sous-jacente. Mais, si l'on établit d'une manière quelconque un courant d'air qui tende à s'échapper par l'ouverture *o* dans le sens indiqué par la flèche, on voit la languette entraînée s'appliquer d'abord sur la paroi et suspendre momentanément l'écoulement; puis son élasticité la ramène à sa position première, après quoi elle est entraînée de nouveau, et ainsi de suite, tant que l'air fait effort pour s'écouler par l'ouverture. On voit par là que la sortie de l'air doit se faire par intermittences, et lorsque ces intermittences sont assez rapprochées il en résulte un son beaucoup plus fort que celui qu'on pouvait attribuer aux vibrations de la lame seule.

Dans beaucoup d'instruments à vent le son se produit avec l'intervention d'une anche : la clarinette, le hautbois; certains jeux d'orgues sont dans ce cas. Le cor de chasse semble dépourvu d'anche, mais les lèvres en tiennent lieu. Enfin la voix humaine elle-même se produit dans le larynx par le passage plus ou moins rapide de l'air expiré entre des replis membraneux appelés *cordes vocales*, qui jouent, à très peu près, le rôle d'anche. En effet ces cordes, tendues sur les parois du larynx, interceptent entre elles l'ouverture allongée, étroite, connue sous le nom de *glotte*. Lorsqu'on veut donner de la voix et sous l'influence de certains muscles, les cordes se tendent, la glotte se rétrécit et devient insuffisante pour le libre écoulement de l'air fourni par les poumons : alors les cordes sont pressées, elles s'écartent momentanément et reviennent par leur propre élasticité; en un mot, elles s'animent d'un mouvement de vibration qui fait varier périodiquement les dimensions de la glotte, et il se produit un son en rapport avec la rapidité de ce mouvement vibratoire.

Dans les tuyaux d'orgue appelés tuyaux de flûte on n'aperçoit plus aucune pièce vibrante, tout se passe dans la colonne d'air et suivant des lois simples qui ont été indiquées par Daniel Bernouilli, et qui varient selon que les tuyaux sont ouverts par les deux bouts ou par un bout seulement.

Dans les tuyaux de cette espèce (fig. 29[3]), l'air chassé par une soufflerie s'insinue en passant par une fente étroite dont la trace se voit en *l* dans la coupe ci-jointe. Cette fente, désignée sous le nom de lumière, vient s'ouvrir au niveau d'une ouverture transversale *b* pratiquée dans l'épaisseur de la paroi du tuyau. Cette ouverture est dite la *bouche* du tuyau et son bord le plus élevé est aminci en biseau. C'est sur le bord ou lèvre supérieure que le courant d'air dirigé par la lumière vient se briser en produisant un son. La matière solide des parois du tuyau n'influe en rien sur la hauteur du son, mais seulement sur son timbre.

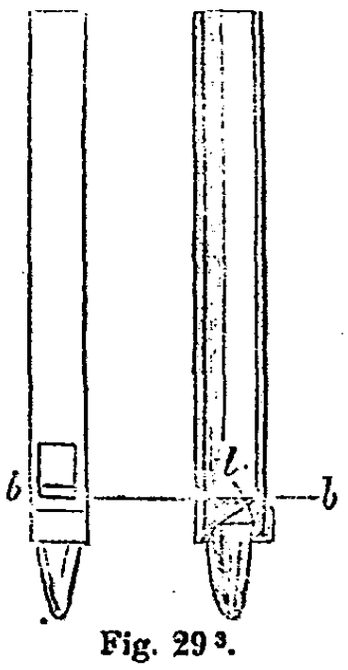


Fig. 29[3].

ADHÉSION. L'adhésion est la force qui réunit deux corps en contact et se rapproche beaucoup de la *cohésion*, qui est la force qui réunit les molécules d'un même corps. Les anciens physiciens se sont beaucoup occupés de ce genre d'action; ils ont reconnu que cette force était proportionnelle aux nombres de points de contact, et pour les corps solides, en raison du poli des corps et des efforts de compression exercés pour rapprocher les surfaces.

Musschenbroëck a constaté que deux plaques de verre de moins de 5 centimètres de diamètre, chauffées à la température de l'eau bouillante et mises en contact (du suif fondu étant placé entre leurs surfaces, et par suite la pression atmosphérique s'ajoutant aux efforts d'adhésion), exigent pour leur séparation une force de 65 kil.

Des morceaux de plomb de même dimension ne se séparent que sous un effort de 135 kil., et des morceaux de fer poli ont atteint 150 kil.

Ces limites sont encore dépassées lorsque l'application des surfaces devient très parfaite.

Adhésion des liquides. L'adhésion de l'eau à des corps solides, a donné lieu à l'invention ingénieuse des *machines à cordes de Vera*. Vera montra, en 1780, à l'Académie de Paris, un modèle de son invention, qui fut jugé par la Commission comme très utile. Le principe d'après lequel cette machine était construite et les principales parties qui la composent seront aisément compris. Une poulie fixée à un support quelconque, et qu'on fait mouvoir avec une manivelle, porte une courroie sans fin qui passe sur la gorge d'une poulie plus petite, à laquelle elle communique un mouvement rapide. Sur l'axe de cette seconde poulie, en est monté une troisième réunie par une corde sans fin à une quatrième et dernière poulie plongée dans le liquide. La corde sans fin soulève l'eau qui s'attache à elle, et la fait jaillir, en tournant autour de la poulie supérieure. Les ouvertures destinées au passage de la corde sont munies de viroles montantes qui empêchent le retour de l'eau.

Le modèle que l'inventeur présenta produisait de grands effets. Avec une corde de 15 millimètres de diamètre, on tira en 7 minutes 3/4, d'une profondeur de 20^{m} 1/2, 233 litres d'eau. Beaucoup d'améliorations pour cette machine furent proposées depuis. *Venel* et *Benzenberg* ont proposé de mettre en mouvement deux systèmes de poulies avec deux cordes plates et continues; à l'aide d'une roue dentée, extérieurement et intérieurement, qui engrène avec des pignons montés sur les axes des poulies motrices, de manière à les faire mouvoir dans le même sens; ils rapprochent en même temps tellement ces deux cordes l'une de l'autre, qu'un prisme massif d'eau reste suspendu entre elles et est jeté hors du bassin. Les services que rendrait cette machine, dont le mécanisme est aussi simple que commode, sont beaucoup diminués par l'impossibilité où l'on est de trouver, pour fabriquer les cordes, une substance qui résiste à l'influence destructive de l'humidité. Les entrelacer de crins, ou les entourer, en forme de vis, d'une corde plus mince, augmenterait à la vérité le volume d'eau soulevée, mais ne remédierait pas à l'inconvénient que nous venons de signaler. Il serait bon de se servir de nattes en genêt au lieu de chanvre, ce qu'avait déjà conseillé de faire l'inventeur. Au reste, il faut remarquer qu'outre la force nécessaire à soulever l'eau, il y a encore à vaincre un frottement considérable et qu'on communique inutilement à l'eau une grande vitesse. Cette machine ne peut donc être utilement employée dans la *pratique;* c'est ce que disait *Berthollet* quand elle parut.

ADIPOCIRE (*angl.* adipocire, *all.* fettwachs). Fourcroy a désigné sous ce nom la matière grasse que l'on rencontre dans les corps morts, lorsqu'ils ont été enterrés dans des circonstances particulières. Lorsque dans les années 1786 et 1787, on fouilla, pour l'assainir, l'ancien cimetière des Innocents à Paris, et qu'on en transporta les ossements dans les catacombes, on remarqua qu'un grand nombre de cadavres, et en particulier la plupart de ceux qui avaient été enterrés quinze ans auparavant dans une fosse commune, et dont les bières, au nombre de quinze cents, avaient été entassées tout à fait les unes sur les autres, s'étaient transformés en une matière blanche et savonneuse. Ces corps s'étaient aplatis sous leur pression mutuelle; et quoiqu'ils conservassent généralement leurs formes, il s'é-

tait déposé autour des os d'un grand nombre d'entre eux, une substance d'un blanc grisâtre un peu molle et flexible. Fourcroy présenta à l'Académie des sciences, en 1789, un mémoire sur ce phénomène, par lequel il démontra que le corps gras en question était un savon ammoniacal contenant du phosphate de chaux ; que, de même que le spermaceti, il prenait par un refroidissement spontané une structure cristalline et foliacée, et que, comme la cire, il devenait granulaire par un refroissement rapide. Il l'appela en conséquence *adipocire*. Son point de fusion était 52°,5 centigrades.

Cette substance fut de nouveau examinée par M. Chevreul en 1812, et ce chimiste trouva qu'elle contenait de l'acide margarique et de l'acide oléique, combinés avec une matière colorante jaune et odorante, de l'ammoniaque, un peu de chaux, de potasse, d'oxyde de fer, d'acide lactique, et d'une substance azotée. Cette matière doit donc être considérée comme une combinaison des acides margarique et oléique en proportions variables (d'où provient sa fusibilité également variable), et n'a aucune analogie soit avec le spermaceti, soit avec la cholesterine, comme l'avait admis Fourcroy.

D'après MM. Gay-Lussac et Chevreul, cet *adipocire* provient seulement de la graisse préexistante dans le corps mort, et non de l'altération de la chair musculaire des tendons, ou des cartilages, ainsi qu'on l'avait d'abord présumé ; ce qui avait donné lieu à des essais dispendieux et sans résultat pour convertir sur une grande échelle, en *adipocire*, les corps morts des bêtes à cornes, et les rendre propres à la fabrication des chandelles et du savon, par la seule exposition de ces corps, pendant quelque temps, à l'action de l'humidité.

ADULTÉRATION. Altération d'un produit manufacturé quelconque, et plus spécialement d'un produit chimique, par un mélange frauduleux de substances de moindre valeur. Nous décrirons les moyens de s'assurer de la pureté des divers produits, aux articles spéciaux relatifs à leur fabrication.

AÉRAGE (*angl.* ventilation, *all.* wetterwechsel). Renouvellement de l'air vicié renfermé dans un lieu quelconque ; voyez VENTILATION. Ce mot s'applique surtout au renouvellement de l'air dans les puits et galeries de mines; voyez MINES.

AÉROSTAT (*angl.* air-balloon, *all.* luftschiff). La découverte des aérostats est l'une des inventions qui ont le plus fixé l'admiration du public, et bien que les années qui se sont écoulées depuis n'aient pas justifié toutes les espérances qu'elle avait fait naître, on ne peut cependant s'empêcher de la considérer comme l'une des plus extraordinaires des temps modernes.

C'est aux frères Montgolfier que nous devons cette merveilleuse découverte. Ils avaient annoncé qu'une grande machine de leur invention serait capable de parcourir l'atmosphère ; l'expérience en fut tentée à Annonay, le 5 juin 1783, en présence des états généraux et d'un concours immense de peuple ; c'est alors que l'on vit en effet un spectacle nouveau sur la terre, et bien digne d'exciter l'enthousiasme : un globe immense qui s'élevait majestueusement dans les airs, et qui semblait s'y soutenir par quelque puissance invisible. Cette espèce de prodige est cependant bien facile à comprendre. La *montgolfière* (c'est le nom qu'ont reçu les appareils de cette nature, d'après celui de leurs inventeurs), se compose d'un globe de papier verni ou de taffetas, qui porte à sa partie inférieure une ouverture de quelques pieds carrés. Au-dessous de cette ouverture, et à quelque distance, est suspendu un panier léger, en fil de métal, contenant un corps combustible, soit de la paille hachée, soit de la laine ou du papier. Ce combustible étant enflammé, l'air chaud qui l'environne monte de lui-même pénètre dans le globe et en remplit bientôt toute la capacité. A volume égal, l'air chaud pèse moins que l'air froid; ainsi le poids du globe est moindre que le poids de l'air qu'il déplace, et il doit s'élever par l'excès d'énergie de la poussée du fluide. Il s'élève, emportant avec lui le combustible enflammé qui produit sa puissance ascensionnelle, et, pour qu'il s'arrête, il faut qu'il arrive dans des couches d'air assez raréfiées pour que la différence des poids de l'air froid déplacé et de l'air chaud intérieur soit justement égale aux poids réunis de l'enveloppe, du panier et du combustible qu'il contient.

Pilâtre des Roziers et le marquis d'Arlandes osèrent les premiers monter dans une nacelle suspendue à une montgolfière, et voyager librement dans l'atmosphère, malgré l'immense danger qui les attendait, dans le cas où le feu, qu'il était nécessaire d'entretenir sous le ballon pour maintenir la dilatation de l'air intérieur, serait venu à gagner l'enveloppe et l'incendier au milieu des airs.

Nous joignons ici, figure 1, le dessin de la montgolfière qui, en novembre 1783, s'éleva de la Muette, emportant Pilâtre des Roziers et d'Arlandes, qui s'élevèrent ainsi dans les airs.

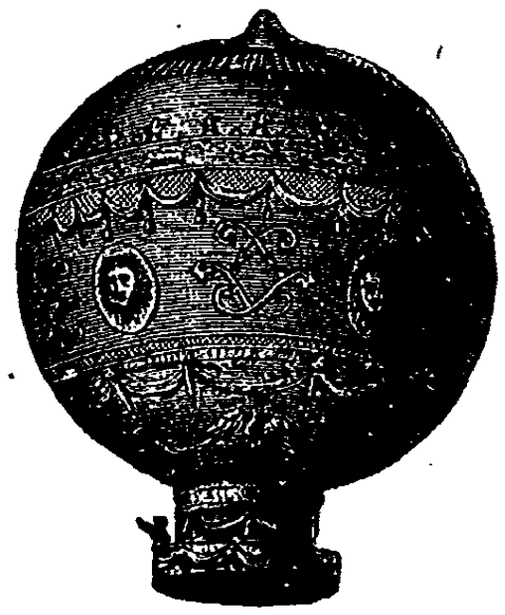


Fig. 1.

Un physicien célèbre, Charles, jeune alors, et professeur à Paris, entreprit de remplacer l'air chaud par le *gaz hydrogène*, dont Cavendish avait fait connaître l'extrême légèreté dès 1766, de le maintenir renfermé dans une étoffe, recouverte de couches de vernis. C'était supprimer l'emploi si dangereux du feu ; aussi presque tous les ballons, construits depuis cette époque l'ont-ils toujours été sur ce principe. Charles fit construire un ballon de 500 mètres cubes; et, pour montrer la confiance que devait inspirer sa découverte, il fit avec Robert, le 1er décembre 1783, une ascension dans laquelle il fut porté en quelques minutes à la hauteur de 900 à 1000 mètres, et parcourut, dans cette région de l'atmosphère, plus de neuf lieues dans l'espace de deux heures. C'est au milieu des Tuileries que Charles fit son ascension. Toute la population de Paris était en mouvement ; les places publiques, les sommets des édifices, et tous les lieux élevés étaient couverts de spectateurs. Un coup de canon fut le signal du départ, et bientôt on vit monter le ballon, comme un météore qui s'élève sur l'horizon ; au plus haut des airs on distinguait encore les banderoles flottantes, éclairées par le soleil, et les navigateurs tranquilles qui saluaient la terre. Jamais expérience de physique n'excita tant d'admiration et un tel concert d'applaudissements.

Les ascensions se sont bien multipliées depuis cette époque et les ballons sont devenus un accessoire obligé des fêtes publiques. Il n'entre pas dans notre cadre de nous occuper de la description des nombreuses ascen-

sions qui ont été faites, mais bien d'analyser les principes de la construction des ballons, comme question industrielle et les lois de leur mouvement comme question de physique et de mécanique.

Force ascensionnelle. — La densité du gaz hydrogène est 0,0688 ou à peu près 1/15 par rapport à l'air, à la même pression et à la même température. Un mètre cube d'air pesant à 0 et sous la pression 0m,76, 1k,299, un mètre cube dans les mêmes conditions pèsera un peu moins de 0k,09. La différence entre ces poids ou 1k,20 mesure, d'après le principe d'Archimède, la force avec laquelle un mètre cube de gaz hydrogène est soulevé dans l'air.

Le gaz hydrogène qui, à cause de sa légèreté, constitue l'élément capital de la construction des ballons, se prépare au moyen de l'action de l'acide sulfurique sur des copeaux de fer. On peut multiplier à volonté les tonneaux dans lesquels on produit le dégagement du gaz; cependant cette préparation ne laisse pas que d'être longue pour des aérostats d'une grande dimension. Aussi se contente-t-on souvent d'employer le gaz hydrogène carboné que les usines à gaz des villes possèdent tout préparé dans leurs gazomètres ; mais ce gaz ayant une densité plus grande que l'hydrogène, la force ascensionnelle n'est plus que de 735 grammes par mètre cube à la pression 0,76, au lieu de 1k,20. M. Giffard prépare rapidement et économiquement l'hydrogène en faisant passer de la vapeur d'eau sur des tournures de fer chauffées au rouge, puis après l'oxydation de celles-ci, en les revivifiant en faisant passer dans le four de l'oxyde de carbone, produit facilement dans un gazogène.

Nous donnons ci-après une table qui fait voir quelle capacité, en employant l'hydrogène, doit avoir un ballon sphérique pour enlever un poids donné.

DIAMÈTRE en mètres.	Volume en mètres cubes	Surface en mèt. carrés	Kilogrammes que le gaz peut enlever.	Poids de l'enveloppe.	Force ascensionnelle.
				kil.	kil.
2	4,19	12,57	5,03	3,14	1,89
4	33,51	50,27	40,21	12,57	27,65
6	113,10	113,10	135,72	28,27	107,44
7	179,59	153,94	215,51	38,48	177,03
8	268,08	201,06	321,70	52,01	269,69
9	381,70	254,47	458,04	63,62	394,42
10	523,60	314,16	628,32	78,54	549,78
11	696,91	380,13	836,29	95,03	741,26
12	904,78	452,39	1085,74	113,10	972,84
13	1150,35	530,93	1380,42	132,73	1247,69

L'enveloppe doit être à la fois légère, résistante et imperméable au gaz hydrogène, pour que le ballon ne perde pas rapidement sa force ascensionnelle en cessant d'être plus léger que l'air dans lequel il est plongé. On satisfait assez bien aux premières conditions par l'emploi d'une bonne étoffe de soie, en double épaisseur, mais la dernière on ne peut jamais l'obtenir qu'imparfaitement, vu la facilité avec laquelle l'hydrogène traverse tous les corps à l'exception des corps vitreux. On doit donc se rapprocher de ceux-ci, ce qu'on obtient avec des vernis, des huiles siccatives, des dissolutions de caoutchouc et surtout de gélatine, qui a donné de bons résultats à M. Dupuy de Lôme. Il a formé l'enveloppe de son ballon d'un taffetas de soie blanche pesant 52 grammes par mètre carré, et de nanzouk, avec interposition d'une dissolution épaisse de caoutchouc entre les deux étoffes; elle a été rendu imperméable par trois couches d'un enduit ainsi préparé : 1° on dissout au bain-marie 100 parties en poids de gélatine dans 600 parties d'acide pyroligneux et on ajoute 100 de glycérine; 2° on dissout 100 parties de tannin dans 600 parties d'acide pyroligneux ; 3° on verse doucement, à chaud, la première dissolution dans la seconde et l'on recuit le tout au bain-marie pendant une heure au moins, en ajoutant peu à peu de l'acide de manière à maintenir le même volume total. On applique l'enduit au pinceau du côté du nanzouk.

Pour découper dans une étoffe d'assez faible largeur les bandes ou fuseaux dont la réunion forme l'enveloppe sphérique du ballon, on procède ainsi qu'il suit :

Tracez (fig. 2) le quart de cercle GOA, avec le rayon OA du ballon; portez ce rayon sur la circonférence de A en E, puis de G en C, et divisez les arcs de AC, CE, EG, en parties égales aux points B, D, F ; le quart de cercle se trouvera ainsi divisé en 6 parties égales.

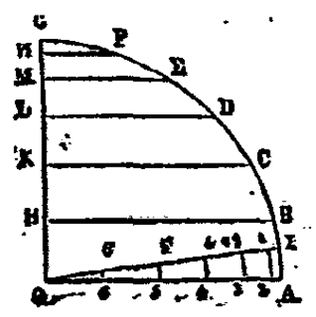


Fig. 2.

Par les points de division, menez des parallèles BH, CK, DL, FN, AO ; joignez le point O du milieu I de AB, et du point O comme centre avec les longueurs BH, CK, etc., décrivez successivement les arcs de cercle 22 33, 44, etc. AI, étant la vingt-quatrième partie de l'équateur de la sphère de rayon AO, les arcs 22, 33, 44, etc., seront la vingt-quatrième partie des parallèles respectifs des rayons BH, CK, DL, etc.; de sorte que si l'on développe un méridien en portant (fig. 3), sur la ligne droite *ab*, 12 fois la longueur AB et qu'ensuite, des points de division 1, 2, 3, 4, 5, 6, comme centres, et avec les rayons respectifs AI, 22, 33, 44, 55, 66, etc., on décrive des arcs de cercle de chaque côté de la ligne *ab*, et qu'on trace tangentiellement à ces arcs de cercles la courbe *amb n*, on obtiendra un patron tel que vingt-quatre fuseaux de cette sorte, assemblés par leurs bords, formeront un ballon sensiblement sphérique. Quand le globe a de grandes dimensions, comme chacun des arcs AB, BC ne peut être censé égal à sa corde, on divise pour plus d'exactitude le quart du cercle en 12 parties égales (et même plus encore) au lieu de 6, et l'on fait la même construction que ci-dessus. La sphère est alors formée de 48 fuseaux au lieu de 24. On doit laisser des deux côtés de chaque fuseau une bande pour la couture avec le fuseau voisin.

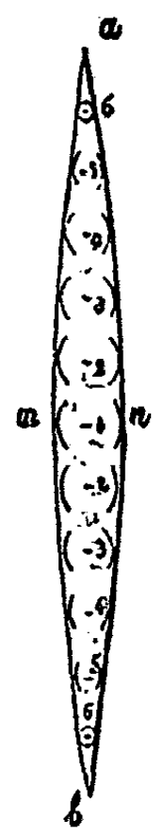


Fig. 3.

Si le globe doit être ovoïde, la construction est la même, seulement la fig. 2 doit représenter le quart du méridien de cet ovoïde, G étant l'un des pôles et DA l'équateur; on doit toujours partager l'arc du méridien GA en parties égales.

Comme on le voit sur la fig. 4, la nacelle dans laquelle se place l'aéronaute doit être suspendue au ballon par un filet qui repose sur la plus grande partie de sa surface, sans points d'attache qui compromettraient la solidité de la surface et pourraient occasionner des déchirements.

La force ascensionnelle du ballon sert à enlever, avec l'aéronaute, du lest, des sacs de sable qui permettent de partir avec une vitesse modérée, avec une force ascensionnelle réduite (que l'on mesure avec une romaine). C'est en jetant successivement ce sable que l'on peut s'élever à des hauteurs croissantes. Pour des-

cendre, l'aéronaute entr'ouvre une soupape placée à la partie supérieure du ballon et qu'il peut manœuvrer au moyen d'une corde. Le ballon perd ainsi une partie de sa force ascensionnelle et en manœuvrant convena-

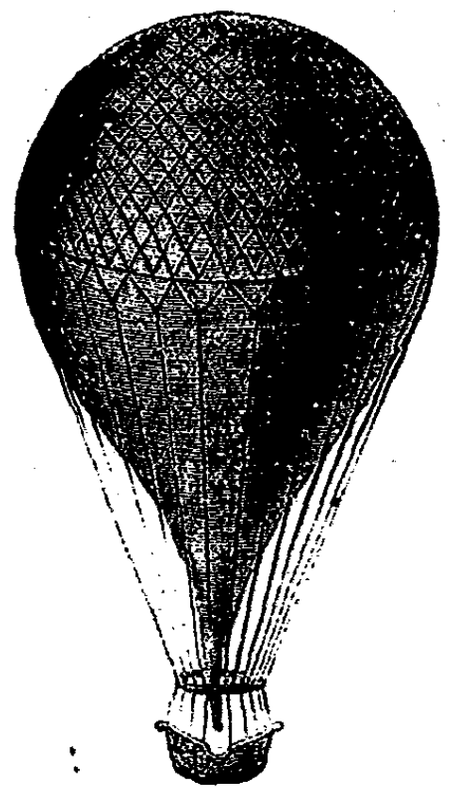


Fig. 4.

blement, à l'aide de la soupape et du lest, il devient possible de descendre sans danger.

Il importe de ne pas gonfler l'aérostat lors du départ ; car, à mesure qu'il s'élève, la pression de l'atmosphère diminuant, le gaz intérieur augmente de volume et exerce une pression croissante sur l'enveloppe, qui pourrait bientôt être déchirée.

Nous diviserons en trois parties cette étude sur les aérostats, pour traiter successivement les questions les plus intéressantes qui s'y rapportent, savoir :

1° Les ballons captifs ;

2° Les ballons sphériques, les lois de leur mouvement ;

3° Les aérostats de forme allongée.

I. BALLONS CAPTIFS. C'est surtout au point de vue de l'étude de la météorologie que l'emploi continu des ballons propres à observer les phénomènes qui se passent à diverses hauteurs peut être bien précieux. Arago avait proposé l'emploi de ballons captifs, attachés au sol par un fil de métal, pour faire passer dans le sol l'électricité des nuages et préserver ainsi les récoltes de la grêle. Rappelons encore que, pendant les guerres de la Révolution et notamment à la bataille de Fleurus, on employa des ballons captifs comme moyen d'observer les mouvements de l'armée ennemie, mais par suite, des difficultés de leur emploi, surtout par une cause dont nous parlerons plus loin, ils rendirent peu de service, et on y renonça bientôt.

M. Giffard a fait fonctionner à l'Exposition de 1867 un ballon captif, attaché par un cordage qu'une machine à vapeur faisait enrouler à volonté autour d'un treuil. Le poids du cordage limitait l'élévation du ballon à quelques centaines de mètres, mais évitait les pertes de gaz, par la soupape, pour les descentes.

Il s'était efforcé d'éviter les pertes de gaz à travers les parois, qu'on ne peut que diminuer par des enduits, qui sont toujours notables et qui ne permettraient pas à un appareil de fonctionner longtemps. Elles ne disparaîtraient même pas avec des enveloppes en feuilles métalliques minces, avec lesquelles M. Marey-Monge avait construit un ballon en les soudant au chalumeau. D'ailleurs un pareil système offrirait ce danger qu'avec le peu d'épaisseur des feuilles métal-

liques rendues aigres par le laminage, le ballon ne pourrait varier de dimensions avec les changements de pression, ce qui serait cause de fréquentes déchirures.

Le second obstacle à lever serait de parvenir à maintenir contre le vent les ballons captifs. Cette question a été traitée dans le numéro de mai 1844, du *Magasin pittoresque*, par M. Transon, d'une manière si remarquable et si neuve, qu'on nous saura gré d'en extraire ce qui suit :

Les ballons captifs paraissaient, dans l'origine de l'invention, devoir rendre de grand services à l'art de la guerre et à la météorologie. Ainsi il paraissait qu'un aérostat, demeurant en communication avec le chef de l'armée, serait d'un grand secours pour effectuer une reconnaissance militaire, pour éclairer les mouvements de l'ennemi, pour étudier les ressources et les moyens de défense d'une ville assiégée, etc. ; et tout le monde sait que l'armée du Nord, en 1793, renfermait une compagnie d'aérostiers dirigée par le colonel Coutelle. Cet officier raconte que, dans ses études préparatoires au château de Meudon, il avait pu, du haut de son aérostat captif, reconnaître le cours de la Seine jusqu'à Meulan ; résultat bien suffisant pour donner une idée des services que ce mode d'observation pourrait rendre s'il était convenablement organisé. — Comment la météorologie, de son côté, ne tirerait-elle pas de l'emploi des ballons captifs un avancement rapide, puisqu'elle y trouverait le moyen d'étudier les phénomènes de température, de pression barométrique, d'électricité, etc., qui se produisent dans le cours de la journée à toutes les hauteurs de la verticale d'un même lieu ? Enfin c'est par les ballons captifs qu'on pourra sans doute réaliser quelque jour l'ingénieuse idée de l'*aérostat paratonnerre et paragrêle*.

Nous entrerons à ce sujet dans quelques détails.

On sait que le phénomène du tonnerre, et probablement aussi celui de la grêle, dépendent de la quantité d'électricité que les nuages orageux transportent avec eux dans l'atmosphère. Cependant comme les corps terminés en pointe, s'ils sont en même temps de nature métallique, ont la propriété de soutirer l'électricité, il devient manifeste que présenter de tels corps à distance convenable d'un nuage électrique, c'est un moyen assuré d'annuler ou, sans aucun doute, d'amoindrir indéfiniment les effets de l'orage. Aussi espérait-on bien, à l'époque de l'invention du paratonnerre, que l'établissement d'un grand nombre de semblables appareils sur toute la surface d'un pays ne manquerait pas de diminuer considérablement le nombre des orages et la grandeur des désastres qui en sont la suite. Mais cet espoir ne s'est pas réalisé. Le paratonnerre ne devient efficace que si le nuage électrique est à une petite distance, et, à la vérité, cela suffit pour qu'il soit à l'égard de nos édifices une excellente sauvegarde contre les effets de la foudre. Mais la plupart des nuages orageux sont beaucoup trop élevés pour recevoir des paratonnerres la moindre influence. Kaemtz, dans son cours de météorologie, combat par des observations précises l'opinion vulgaire qui attribue à tous les nuages orageux une faible hauteur (pag. 364 de la traduction de Martins). Ces nuages passent donc au-dessus de nos villes toutes hérissées de paratonnerres sans que leur charge électrique soit diminuée, et par conséquent sans cesser d'être une source de désastres pour les campagnes. Cependant imaginez, comme l'a proposé Arago, qu'un ou plusieurs ballons aient été élevés à une hauteur voisine des nuages orageux ; armez-les de pointes pour soutirer l'électricité ; enfin maintenez une communication entre eux et la terre par une corde également conductrice du fluide ; par là vous aurez forcé vraiment l'orage à s'écouler sans fracas ni danger. Mais, pour employer les ballons captifs, il faut les *maintenir contre le vent*. L'air est calme

quelquefois ; mais c'est une circonstance rare et qui dure à peine quelques heures. L'état naturel de l'atmosphère, c'est d'être agité par le vent. Eh bien! la force d'un vent, même médiocre, suffira pour porter à terre tout ballon captif. C'est là la vraie difficulté qu'a rencontrée Coutelle au siége de Mayence et qu'il a signalée dans sa notice. (*Revue encyclopédique*, septembre 1826.) S'étant fait élever pour reconnaître la place, il pouvait déjà discerner les mouvements des troupes dans l'intérieur de la ville assiégée. Mais, tout d'un coup le vent fraîchit, et porta trois fois de suite son aérostat jusqu'à terre, en le faisant tourner autour des points d'attache, de toute la longueur des cordes de retenue. A chaque fois que le ballon avait touché, il se relevait par la réaction du choc avec une vitesse extrême, et, de suite après, il était de nouveau rabattu. Naturellement, il fallut se faire descendre et abandonner la partie. Mais ce simple récit explique assez pourquoi l'expérience faite à la bataille de Fleurus n'a pas été renouvelée dans les campagnes suivantes.

Pour atteindre au but proposé, il suffira de combiner avec le principe de l'*aérostat* celui du *cerf-volant*. Prenons d'abord cette idée dans toute sa simplicité, et imaginons qu'à la corde de retenue et au-dessous du ballon soit attaché un véritable cerf-volant : n'est-il pas manifeste qu'un tel appareil s'élèvera d'abord avec facilité comme aérostat, et qu'ensuite, comme cerf-volant il se maintiendra avec une facilité égale? Notez bien qu'alors, comme précédemment, le ballon sera sollicité par le vent et de la même manière; de plus, l'impulsion exercée sur la paroi inclinée du cerf-volant produira deux efforts, dont l'un dans le sens horizontal ne ferait à la vérité qu'augmenter la tendance du ballon et à coucher à terre. Mais cet effort horizontal ne sera pas le seul ; il sera accompagné d'une nouvelle force ascensionnelle; de cette force qui, dans les circonstances ordinaires, est employée à soutenir le poids du cerf-volant. Et comme cette force ascensionnelle varie avec la vitesse du vent de la même façon précisément que la force horizontale, elle ne risque pas d'être vaincue par elle. Il suffira donc que tout l'appareil se maintienne contre le vent dans le cas d'une vitesse modérée, et on comprend que cela est facile à réaliser, pourvu qu'on combine convenablement l'étendue et l'inclinaison du cerf-volant... Cela, dis-je, suffira pour que l'appareil se maintienne ensuite contre toute vitesse, n'y ayant de limites à cet égard que celles résultant du plus ou du moins de résistance de toutes les parties, et notamment de la résistance dont sera susceptible le cordon de retenue. Une idée si simple a dû se présenter déjà plusieurs fois à l'esprit. Et en effet, lorsque cette idée a été communiquée à la Société philomatique, M Peltier, dont les recherches sur l'électricité, et notamment sur l'électricité atmosphérique, sont appréciées de tous les physiciens, fit savoir que déjà, à sa connaissance, deux personnes avaient attaché à l'aérostat de véritables cerfs-volants, et avaient ainsi maintenu leurs ballons captifs à une certaine hauteur. Ces expériences antérieures assurent donc l'efficacité du moyen proposé. Mais c'est le principe du cerf-volant plutôt que le cerf-volant lui-même dont nous proposons de faire emploi. Imaginez une voile exactement carrée, soutenue par deux vergues égales formant les diagonales du carré ; ou bien une voile octogonale avec deux vergues de plus ; toutes ces vergues sensiblement arquées pour donner plus de prise au vent. L'ensemble offrira à peu près l'aspect d'un parachute à la Garnerin, ou plus vulgairemet d'un parapluie. La corde de retenue de l'appareil est attachée au croisement des vergues, dans la concavité de la voile. Une autre corde est fixée également au centre de la voile, mais de l'autre côté, du côté convexe ; la longueur de cette seconde corde est de quelques mètres seulement ; à son extrémité se réunissent plusieurs des cordages du filet qui enveloppe le ballon, et c'est ainsi que la voile est réunie au ballon. Le filet supporte d'ailleurs une nacelle, comme à l'ordinaire.

Cet appareil, étant élevé par la force ascensionnelle de ballon, donnera prise au vent ; de sorte que, si la voile est placé dans une situation analogue à celle du cerf-volant, elle produira nécessairement les mêmes effets. La queue du cerf-volant des écoliers est tirée en arrière par l'effort du vent ; par là elle procure au cerf-volant l'inclinaison nécessaire pour que tout l'appareil se soutienne. Nous assurerons à notre voile une inclinaison convenable en fixant le bout d'une corde à l'extrémité inférieure de l'une des vergues, extrémité qui sera en même temps le point le plus bas de la voile. Nous mettrons l'autre bout de cette corde à la portée de l'aéronaute qui est dans la nacelle. En tirant plus ou moins cette corde, il donnera à la voile telle inclinaison qu'il jugera convenable ; et, pour que son effort soit plus efficace, nous ferons passer cette corde de manœuvre sur un palan fixé lui-même à la corde principale qui lie le filet à la convexité de la voile. Ainsi l'aéronaute pourra peser sur cette corde de tout son propre poids réuni à celui de la nacelle; ce qui sera bien plus suffisant que pour l'effet qu'on veut obtenir... Déjà notre appareil est supérieur au cerf-volant ordinaire, en ce que nous pouvons approprier l'inclinaison de la voile à la force actuelle du vent ; mais nous pouvons mettre aussi à la portée de l'aéronaute trois autres cordes, ou, en termes de marine, trois autres manœuvres, fixées par leurs autres bouts, l'une à l'extrémité supérieure de la vergue précédente, ce qui sera le point le plus haut de la voile, et les deux autres aux deux extrémités de la vergue horizontale. Il pourra alors se mouvoir latéralement, descendre ou remonter à volonté par l'effet de la force du vent. (Nous renvoyons au curieux article du *Magasin pittoresque* les personnes qui désireraient savoir comment, au moyen de l'emploi de cette voile, l'auteur propose de diriger deux ballons réunis se mouvant dans des zones de vents différents, qu'il admet se succéder souvent à de faibles distances. Ce ne serait certes pas un moyen de locomotion commode ni avantageux, mais au moins il paraît possible dans quelques cas).

II. BALLONS SPHÉRIQUES LIBRES. — *Lois de leur mouvement*. Malgré le faible intérêt que présente, au point de vue industriel, la question des aérostats, elle est assez curieuse; et il importe de compléter, autant que possible, l'étude scientifique de cette question de mécanique à propos de laquelle, dans la plupart des écrits, on trouve plus souvent des écarts d'imagination que des renseignements positifs.

Ascension verticale des aérostats. Considérons, dit Poncelet, un ballon sphérique de 10 mètres de diamètre, son volume sera de $523^{mc},6$; par conséquent le poids du volume d'air qu'il déplace (à 12° et 0,750 de pression) aura pour valeur $523,6 \times 1^k227 = 642^k,5$; celui du gaz hydrogène qu'il contient

$$523,6 \times 0,082 = 42,94;$$

et, enfin, le poids absolu du fluide qu'il entraîne, la *proue fluide*, qui accompagne une sphère en mouvement, doit, d'après les expériences de Dubuat, être évaluée à $0,6 \times 642,5 = 385^k,5$, poids énorme et qui doit exercer une grande influence sur le mouvement du ballon.

Ordinairement, les ballons destinés aux voyages aériens portent, suspendue à un système de cordes qui passent sur la partie supérieure du ballon, une nacelle en osier très-légère, dans laquelle se placent les aéronautes; nous supposerons que le poids de ces objets et de tout le surplus de l'équipage, y compris le lest, du sable qui permet de s'élever dans des couches supérieures, en le versant et diminuant ainsi le poids de l'appareil, soit de 350 kilos. Enfin, pour être parfaitement rigoureux, il conviendrait d'avoir encore égard à la résistance de l'air contre la nacelle, les cordages, etc.;

AÉROSTAT.

mais, comme ces quantités sont impossibles à évaluer d'une manière précise, et qu'elles sont très-petites vis-à-vis de celles qui se rapportent au ballon, nous les négligerons dans ce calcul approché. D'après cela, le ballon serait enlevé de terre avec une force constante $P' - P = 642^k,5 - 42,94 - 350 = 249^k,56$, qui sera diminuée, à chacun des instants du mouvement ascensionnel, de toute la résistance opposée par l'air, que l'on devra évaluer au moyen de la formule $R = 0,0625\ KAV^2$ (voy. RÉSISTANCE DES FLUIDES), laquelle devient ici à cause de

$$A = 3,1416 \times 5 \times 5 = 78^{mq},54,\ R = 4,91\ KV^2.$$

M. Mangon, par des expériences directes sur des ballons tirés, à diverses vitesses assez petites, a trouvé $R = 0,024\ A^{1,10}\ V^2$, qui donne une résistance plus grande que la précédente, qui conduit à admettre, dans le calcul approché que nous faisons ici, $K = 0,90$, valeur plus élevée que celle qui résulte des expériences de Hutton, sur des boulets (0,64).

On aura donc pour calculer les circonstances du mouvement:

$$F = 249^k,56 - 4,911\ KV^2,$$

Le ballon, partant de terre avec une vitesse V, d'abord nulle, tant que la résistance restera au-dessous de $249^k,56$, cette vitesse ira toujours en augmentant de quantités relativement décroissantes pour des temps égaux t. Mais, si cette résistance pouvait devenir égale à $249^k,56$, ce qui exigerait que la vitesse atteignit elle-même la valeur fournie par la relation

$$249^k,56 = 4,911\ kV^2 \text{ ou } P - P' = \frac{kp\,AV^2}{2g},$$

ou
$$V = \sqrt{\frac{2g(P' - P)}{kp\,A}},$$

ou, en prenant $K = 0,90$, $V = 7,87$,

il cesserait d'y avoir alors aucune variation, et un mouvement uniforme se continuerait indéfiniment, si les circonstances restaient, dans les régions supérieures de l'atmosphère, les mêmes qu'à la surface de la terre. Mais il n'en est pas ainsi: on sait que le baromètre baisse à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, et qu'il sert à mesurer ces élévations; que, par suite, la pression de l'air diminuant, la force ascensionnelle du ballon diminue également.

Pour donner une notion exacte des diminutions de densité de l'air à mesure que l'on s'élève, nous reproduisons le tableau suivant des élévations correspondantes, à différentes hauteurs barométriques, pour la latitude 45°, la pression 0,76 au niveau de la mer, et la somme des températures aux stations extrêmes égales à zéro.

Longueur des colonnes barométriques.	Élévation du lieu d'observation au-dessus du niveau des mers.
0,70	657m
0,60	1888
0,50	3344
0,40	5127
0,30	7425

Si le ballon n'est pas bien plein au départ, la perte de puissance ascensionnelle est négligeable jusqu'à ce qu'il soit gonflé.

Lorsque le ballon peut augmenter de volume, la densité de l'air qu'il déplace reste toujours dans un rapport constant avec celle du gaz intérieur, puisque toutes deux varient par les mêmes causes et suivant les mêmes lois; le poids de l'air déplacé reste donc constant comme celui du gaz intérieur. Mais l'enveloppe, les agrès et les corps étrangers que le ballon emporte avec lui ont un volume appréciable. L'air déplacé par eux pèse de moins en moins à mesure que le ballon s'élève, et cette variation amène une légère diminution de la force ascensionnelle.

Soit V le volume intérieur du ballon gonflé à la pression H, v celui de l'enveloppe et des agrès, enfin p le poids de tous les objets dont le volume est égal à v; de plus, supposons la température constante et égale à zéro, la force ascensionnelle sera alors:

$$V\frac{H}{0,76}(1,293 - 0,09) + v\frac{H}{0,76}1,293 - p.$$

En égalant cette expression à zéro, on a une équation qui donne la valeur H de la pression de la couche où le ballon de volume V doit s'arrêter en équilibre. On voit que le ballon étant donné, on dispose des valeurs v, et p, c'est-à-dire du lest et des corps étrangers pour faire varier H.

Nous verrons comment on utilise ces éléments pour élever et maintenir le ballon à une hauteur convenable, mais, avant de les résumer, parlons de la descente.

Vitesse de descente des parachutes dans l'air. — La nécessité de laisser sortir du gaz par la soupape, pour détruire la force ascensionnelle du ballon, lui donne des formes variables pour lesquelles un calcul est difficile, la résistance d'un ballon un peu dégonflé devenant, dès une vitesse de trois mètres, double de celle du ballon gonflé. Nous en donnerons le type en empruntant encore à Poncelet le calcul de la descente dans l'air des parachutes de forme concave, propre à fournir le maximum de résistance.

On sait que ces parachutes, à l'aide desquels les aéronautes peuvent abandonner leurs ballons et descendre sans danger des régions supérieures de l'atmosphère, sont à peu près disposés comme les parapluies ordinaires (fig. 5), si ce n'est qu'ils reçoivent des dimen-

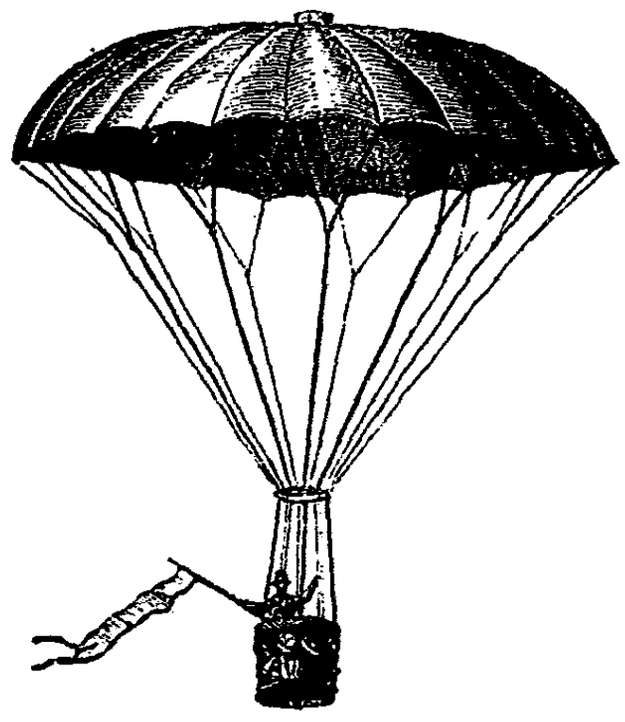


Fig. 5.

sions beaucoup plus grandes, et qu'ils portent, à l'extrémité inférieure de leur axe vertical, une petite nacelle en osier propre à recevoir le voyageur. Quelle sera la limite de vitesse qu'un pareil système pourra atteindre, sous des dimensions données, dans sa descente verticale, ou, si l'on aime mieux, quelles doivent être ces dimensions pour que la vitesse effective demeure inférieure à une limite reconnue n'offrir aucun péril pour le voyageur?

D'après les expériences de Thibault, pour une flèche comprise entre 1/3 et 1/4 de l'envergure ou diamètre

moyen du parachute, la résistance serait 1,15 fois celle d'un plan mince qui aurait pour aire la projection A de sa surface, sur un plan perpendiculaire à son axe vertical. D'un autre côté, nous savons que la valeur la plus probable de K, pour ces derniers plans, est de 1,3; on aurait donc, dans le cas actuel, $K = 1,3 \times 1,15 = 1,5$, en nombre rond; de sorte qu'en supposant au parachute un diamètre moyen de 8 mètres, ce qui donne $A = 3,1416 \times 4 \times 4 = 50^{mq},2656$, on pourrait calculer sa résistance par la formule:

$$R = 0,06253 \times 1,5 AV^2 = 0,0938 AV^2 = 4,715 V^2 \text{ kil.}$$

D'après cela, supposant que le poids P — P' du voyageur et de tout le surplus de l'équipage mesuré dans l'air soit de 85 kil., la plus grande vitesse que puisse acquérir le parachute, dans sa descente, sera donnée par l'équation $85^k = 4,715 V^2$ ou $V = \sqrt{18,277} = 4^m,25$ par seconde. Une telle vitesse *limite*, en supposant qu'elle pût être atteinte, serait assez faible pour prévenir un accident à l'instant où la nacelle toucherait la terre. Un calcul inverse, et tout aussi simple d'ailleurs, servirait à trouver la valeur de l'aire A, propre à satisfaire à toute autre condition.

Nous n'avons pas tenu compte de la résistance de la nacelle, *des tiges du parachute, etc., et les calculs ne se* rapportent qu'à la plus grande vitesse que puisse acquérir le système, à celui qui répond à l'instant où le mouvement serait devenu entièrement uniforme. Or, il est aisé de se convaincre que c'est là une limite, une asymptote, et que, dans la réalité, les corps qui tombent ou s'élèvent verticalement dans l'air, ne peuvent jamais parvenir rigoureusement à cet état de mouvement, quoiqu'ils en approchent sans cesse, et que, dans certains cas où la masse du corps et du fluide entraîné est très-petite, ils puissent en approcher de fort près, même au bout d'un intervalle de temps médiocre.

Disons encore que l'expérience a montré que pour arrêter les oscillations dangereuses, il fallait pratiquer une petite ouverture au haut du parachute, une petite cheminée, qui diminue sa puissance retardatrice, mais le ramène dans la direction verticale.

Règles pratiques de l'aérostation. — L'étude analytique qui précède permet de tracer les principales règles à suivre pour exécuter des ascensions dans les meilleures conditions et en obtenir les meilleurs résultats.

Le ballon étant rempli de gaz hydrogène ou de gaz d'éclairage, sans que l'enveloppe soit tendue, on charge de lest la nacelle, attachée au bras court d'une romaine, permettant de mesurer la force ascensionnelle. On fait celle-ci un minimum, eu égard aux dangers que l'aérostat peut rencontrer dans le commencement de son parcours.

Une fois en l'air, l'aéronaute jette du lest peu à peu pour atteindre la couche du vent qui lui semble convenable, évitant d'ouvrir la soupape, à moins de danger de rupture du ballon trop gonflé au départ. En effet, le ballon perdant constamment du gaz par exosmose, malgré tous les vernis adoptés, un ballon ordinaire ne peut guère faire de voyage de plus de 3 ou 4 heures, à moins de disposer d'un excédant de lest très-considérable. Après *une heure*, il tombe très-notablement, et, si le lest a été jeté, la fin du voyage est proche.

Avec ces précautions, en consultant bien la direction et la vitesse du vent, 25 ballons sur 27 ont échappé à l'ennemi qui entourait Paris, lors du siége par les Prussiens, sur des distances de 40 à 50 lieues, dans plusieurs directions, indéfiniment dans un tiers de la zône.

Pour descendre, il faut, après s'être rapproché de terre par de petites ouvertures de soupape, les faire plus grandes en arrivant en un endroit convenable bien découvert. On laisse pendre de la nacelle un long cordage qui, en flottant sur le sol, amortit la force vive, puis une ancre au bout d'une ligne, et celle-ci mordant, on ouvre la soupape en grand. Le concours de passants, pour saisir les cordes pendantes et empêcher le rebondissement du ballon, est fort utile quand un vent *un peu fort contrarie ces manœuvres* et rend l'arrêt difficile.

Direction des aérostats. — Les ballons flottant dans l'atmosphère font en quelque sorte partie de celle-ci, obéissent à tous les vents, se meuvent avec les couches d'air dont ils font partie. L'aéronaute est donc transporté dans une direction souvent tout autre que celle qu'il voudrait suivre, et, par suite, l'utilité que pouvait produire son voyage est, bien souvent, annulée. Aussi, depuis l'origine de l'invention des aérostats, s'est-on occupé de leur direction, et des multitudes d'inventeurs ont-ils proposé des systèmes plus étranges en général les uns que les autres. Bien qu'il y ait bien à rabattre des résultats pouvant être obtenus par la solution du problème proposé, bien qu'il soit facile de montrer que cet immense progrès de l'humanité, suivant la phrase stéréotypée, ne peut donner des résultats économiques, par la nature même des choses, il est intéressant, au point de vue théorique, d'analyser tout ce qu'il est possible de faire, d'autant plus que, dans des circonstances extraordinaires, on pourrait en tirer des résultats pratiques très-intéressants.

Nous en finirons d'abord avec une solution qui ne repose que sur l'imagination des inventeurs, et à laquelle l'expérience des aéronautes est tout à fait contraire.

On a remarqué depuis longtemps qu'il existe souvent, à des hauteurs diverses de l'atmosphère, des courants de direction différente, ou même, quelquefois, tout à fait opposée. L'aéronaute peut donc quelque peu espérer de rencontrer un vent à peu près convenable; *mais la manœuvre de monter ou descendre, pour atteindre* les régions où le courant pourrait être favorable, abrége essentiellement la durée du voyage, puisqu'elle exige, comme nous l'avons dit, soit une perte de lest pour gagner de la hauteur, soit une perte de gaz pour descendre, en diminuant ainsi la force ascensionnelle du ballon.

Il n'y a là qu'une bien faible ressource pour ne pas être entraîné absolument dans la direction du vent régnant à terre. Nous doutons qu'elle réussisse souvent; mais, en tous cas, il n'y a pas à songer à trouver toujours, à une hauteur quelconque, le vent susceptible de transporter l'aérostat dans une direction déterminée.

Meunier, officier du génie fort distingué, avait étudié avec beaucoup de soin un projet de ballon conçu surtout en vue d'utiliser cette chance fort aléatoire, projet qui n'a pas été exécuté. Il cherchait à éviter la consommation de gaz pour descendre, en comprimant de l'air dans un ballon, en ménageant, dans celui-ci, comme le dit le titre de son mémoire, une cavité particulière destinée à contenir de l'air atmosphérique et en faisant tourner pour s'élever, comme pour modifier la direction du ballon, de grandes ailes analogues à celles employées pour les moulins à vent, que nous appelons aujourd'hui des hélices propulsives.

Pour appliquer un travail moteur croissant à faire tourner l'hélice, il faut augmenter le nombre d'hommes agissant sur des manivelles, pour la faire tourner; mais par suite aussi, les dimensions du ballon, destiné à annuler leur poids, et, par conséquent, la résistance au mouvement du système. Y a-t-il avantage à le faire? Le système est-il susceptible d'un *maximum*? c'est la question que Navier a soumise au calcul, par une analyse qui a son point de départ dans la manière de calculer l'action de l'air sur les ailes des moulins à vent. Il parvient à la formule finale, pour la vitesse *u*, qu'il

est possible d'imprimer, par un système semblable à un ballon de rayon a,

$$u = \left(1{,}223\, a\right)^{\frac{1}{3}}$$

Ce qui donne, pour un ballon :

de 5^m de rayon,	392 mètres cubes	$u =$	1^m,82
10	» 3140	»	$u =$ 2^m,29
20	» 25120	»	$u =$ 2^m,89

c'est-à-dire qu'en dépassant toutes les limites possibles dans l'exécution, on ne pourrait penser à se diriger contre un vent insignifiant de 2^m, 50 par seconde, celui qui permet à peine aux moulins à vent de se mettre en mouvement.

En laissant de côté la question du remplacement des hommes par une machine à feu placée sous le ballon rempli d'hydrogène, question sur laquelle nous reviendrons, on doit conclure, de ce qui précède, l'impossibilité pratique de diriger les ballons sphériques.

III. AÉROSTATS DE FORME ALLONGÉE. — Pendant le siége de Paris, M. Dupuy de Lôme, initié par ses travaux antérieurs à la théorie de l'hélice propulsive, à l'emploi des cordages dans le gréement des navires à voiles, s'est proposé d'exécuter un aérostat dirigeable, dans les limites où la chose était scientifiquement reconnue possible, c'est-à-dire en employant un aérostat de forme ovoïde portant des hommes actionnant une hélice capable de donner une impulsion au système, et, par suite, de lui permettre d'obéir à une voile faisant gouvernail; permettant, non d'avancer contre le vent, mais d'obliquer sur sa direction, et, par suite, d'atteindre des parages déterminés, avec un vent à peu près convenable. Dans ces conditions, on eût pu rentrer à Paris pendant le siége, but des efforts du savant ingénieur.

Il s'exprimait, ainsi qu'il suit, dans son mémoire, lu à l'Institut, le 17 octobre 1870.

La nécessité de maintenir la direction de l'aérostat sensiblement en ligne droite, et de faire qu'elle ne se modifie qu'à la volonté de l'aéronaute agissant sur le gouvernail, exige que l'ensemble de l'appareil présente, d'une façon très-caractérisée, un axe horizontal de moindre résistance, ainsi qu'une surface de résistance latérale placée à l'arrière du centre de gravité. Ce n'est donc pas seulement pour la convenance de réduire la résistance de l'aérostat à la marche horizontale qu'il faut renoncer à la forme du ballon ordinaire, dont la surface est engendrée par la révolution d'un méridien autour d'un axe vertical. Un pareil aérostat, muni d'un moteur, serait sans cesse, pour sa direction, dans un état d'équilibre instable, exposé à tournoyer sur lui-même en faisant, ce qu'on appelle en marine, des *embardées* intolérables.

J'ai donc adopté une forme oblongue suffisamment caractérisée, malgré les difficultés qui en résultent pour le maintien de cette forme de la traction des suspentes de l'édifice qui doit porter les voyageurs, les colis, le moteur, le lest, etc. Cette forme oblongue nécessite encore des dispositions particulières pour éviter, sous l'influence d'un dégonflement partiel, des dénivellements trop sensibles de l'axe qui doit rester horizontal. Tout considéré, j'ai adopté pour la forme du ballon celle d'une surface de révolution engendrée par une courbe spéciale se rapprochant d'un arc de cercle de 7 mètres de flèche, et tournant autour de sa corde de 42 mètres de longueur. Cette corde constitue l'axe horizontal du ballon, dont la longueur est réduite à 40 mètres, en substituant, pour la solidité de la construction, une petite surface sphérique à la pointe des extrémités.

Le volume est ainsi de 3,860 mètres cubes, et la maîtresse section verticale de 154 mètres carrés.

AÉROSTAT.

Pour s'opposer à la déformation sous la traction des suspentes (indépendamment de l'effet de la pression intérieure des gaz), la nacelle est d'une forme allongée et d'une construction rigide. Elle présente, en outre, à son avant ainsi qu'à son arrière, deux appendices également rigides faisant fonction de brancards de nacelle. Les suspentes en corde de soie descendent du filet deux par deux des plans perpendiculaires à l'axe longitudinal du ballon, et sont fixées tant sur la nacelle que sur les brancards. Ces suspentes sont croisées par quelques étais obliques destinés à s'opposer seulement à un mouvement de balan de l'avant à l'arrière.

Pour maintenir le ballon sans cesse gonflé dans les conditions indiquées ci-dessus, en présence des déperditions de gaz sur lesquelles il faut compter, ou lorsque l'aéronaute en fera échapper volontairement pour opérer une descente partielle ou totale, il sera introduit de l'air atmosphérique dans un petit ballon logé à cet effet dans l'intérieur du grand, et remplissant ainsi une fonction ayant quelque analogie avec la vessie natatoire des poissons. Si le petit ballon étant rempli, le dégonflement du grand ballon continuait, il serait alors introduit un supplément d'air atmosphérique directement dans les gaz du grand ballon.

Il est évident que, si l'on ne considérait que la simplicité, on se bornerait à ce dernier procédé. On éviterait ainsi le poids de l'étoffe nécessaire à la confection de cette poche. C'est environ 50 kilogrammes qui pourraient être ajoutés au lest ; mais la poche de dilatation, malgré la réduction qu'elle occasionne sur le lest, procure la faculté d'opérer un plus grand nombre de montées et de descentes alternatives. En effet, elle permet de faire ces montées et ces descentes sans perdre de gaz ; d'où il suit que la presque totalité du lest n'aurait à faire face qu'aux déperditions à travers l'enveloppe.

J'arrive à l'évaluation du travail nécessaire pour imprimer la vitesse de 8 kilomètres à l'heure, par rapport à l'air ambiant, à l'aérostat conformé comme je l'ai dit ci-dessus.

Par suite de ces données, on a :

Section de la maîtresse partie du ballon porteur.	154^{mq}
Section de la maîtresse partie de la nacelle et de la partie du corps des hommes dépassant la nacelle environ.	4^{mq}
Filet et suspentes en cordes de soie . . .	10^{mq}

Il importe d'évaluer séparément la résistance qu'opposeront à la marche à travers l'air ces diverses parties de l'aérostat.

Si c'étaient des plans minces se présentant perpendiculairement au courant d'air, il résulte des recherches faites à ce sujet, par divers expérimentateurs, que la pression exercée par ce courant, à la vitesse de 8 kilomètres à l'heure (ou de 2^m,222 par seconde), serait de 0^k,665 par mètre carré.

Mais on sait que la pression d'un courant d'air, comme d'un courant d'eau, diminue dans une très-grande proportion quand ces courants n'ont qu'à contourner des solides façonnés pour faciliter le mouvement du gaz ou du liquide autour d'eux.

L'étude des navires a fourni à cet égard des données nombreuses qui manquent encore pour l'air. Toutefois, les données relatives au mouvement des masses aqueuses autour d'un corps plongé dans leur milieu peuvent fournir un moyen d'estimer au moins des *minima* pour le coefficient de réduction entre la résistance des plans minces soumis perpendiculairement à un courant d'air et celle de corps à maîtresse section égale en surface au plan mince, mais configurés de manière à faciliter la division de l'air à l'avant et son remplacement à l'arrière.

Parmi les navires comparables au ballon porteur qui nous occupe, au point de vue capital des angles d'incidence du courant à l'avant, des rayons de courbure des sections longitudinales, et enfin des angles d'incidence de remplacement du fluide à l'arrière, on n'en saurait trouver dont la résistance, rapportée à la surface de la maîtresse section ne ressorte pas à moins de 1/40 de la résistance du mètre carré de plan mince frappant perpendiculairement la surface. Il est des navires où ce rapport descend à moins de 1/80.

sont petits, elle porte des hommes et des objets sans forme définie, et il est, par suite, prudent de porter le coefficient de réduction de la résistance de cet ensemble par rapport au plan mince au 1/5.

Enfin, pour les cordonnets du filet ou les cordes de suspente, leur diamètre et par suite leur rayon de courbure étant très-petits, j'ai porté leur coefficient de réduction par rapport à la surface plane à 1/2.

Cela posé, la résistance de l'aérostat à la marche se composera ainsi qu'il suit :

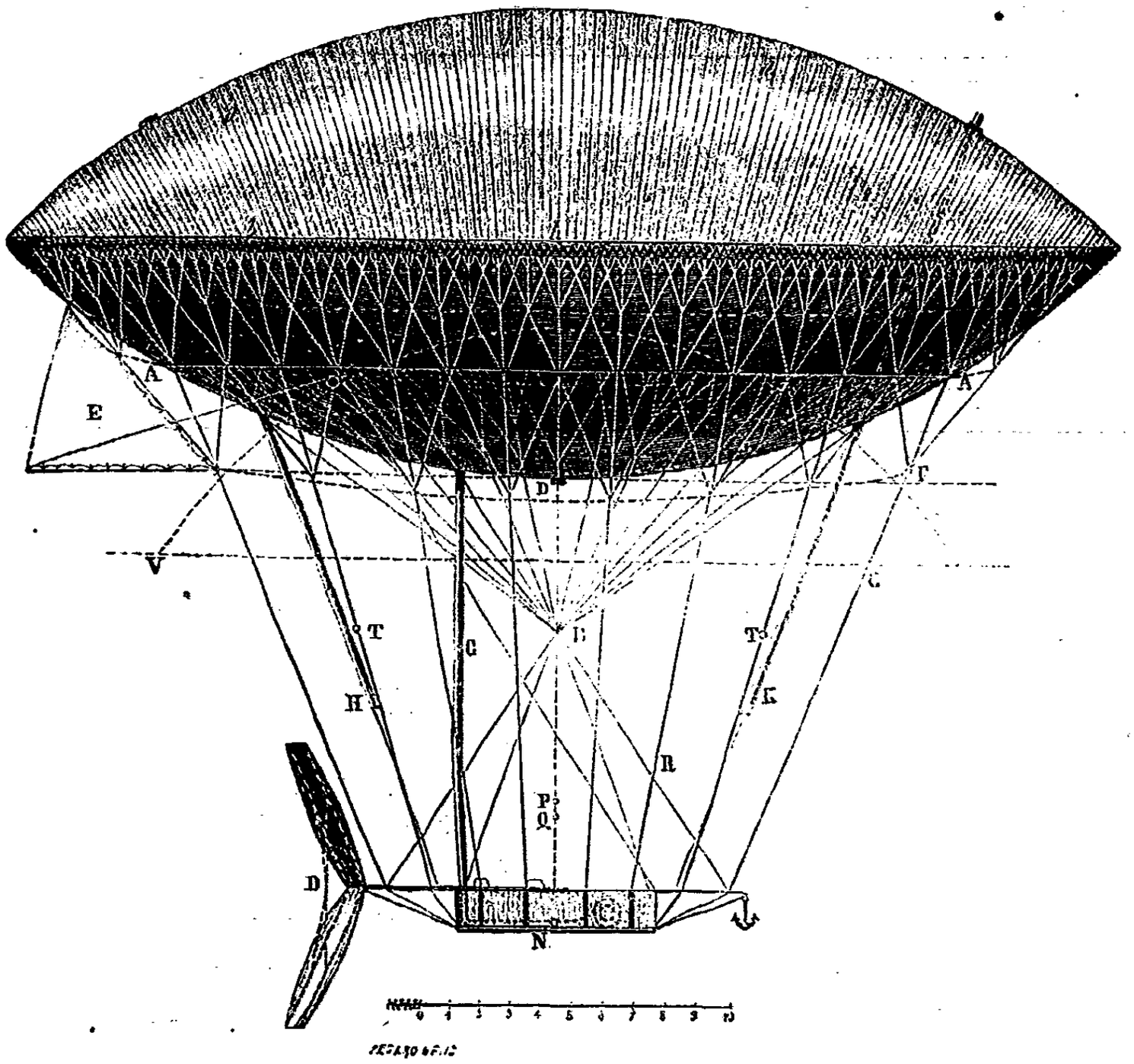


Fig. 6.

Cela posé, ne serait-il pas légitime de compter que le ballon porteur qui nous occupe présenterait également une résistance à la marche dans l'air, réduite à 1/40 de la résistance du plan mince, *si ce ballon pouvait conserver la forme régulière du dessin?* Mais cette dernière hypothèse n'est pas réalisable : il faut compter que le ballon, sous la pression de son filet, présentera des surfaces plus ou moins bombées dans l'intervalle des mailles. Pour tenir compte de la déformation partielle de la surface géométrique, produisant une multitude de petites ondulations, j'estime qu'on leur fera une large part d'influence, en doublant la résistance calculée.

Pour la nacelle les formes sont également étudiées de manière à faciliter son passage dans l'air autant que le permettent les exigences de sa fonction ; mais elle n'aura pas une surface polie, les rayons de courbure

Ballon sans filet :

154mq	à 0,665 feraient	102kg,412	: à 1/20 on a :		5kg,120
	Nacelle et accessoires :				
4	à 0,865 —	2 ,660	: à 1/5 —		1 ,330
	Filet et suspentes :				
10	à 0,655 —	6 ,650	: à 1/2 —		3 ,350
			Résistance totale.....		9 ,800

Pour une vitesse de l'aérostat de 2m,22 par seconde, le travail final accompli par l'aérostat est donc de

9kg,800 × 2m,22, ou de 21kgm,77.

Je me propose d'employer comme propulseur, pour obtenir la poussée et la vitesse calculées ci-dessus, une hélice, qui exigera un travail moteur d'environ 30kgm à cause des frottements et résistances.

En présence de cette petite puissance motrice, il m'a

paru avantageux d'employer simplement la force des hommes. Quatre hommes peuvent, sans fatigue, soutenir, *pendant une heure*, en agissant sur une manivelle, ce travail de 30 kilogrammètres, qui n'exige de chacun d'eux que $7^{km},5$. Avec une relève de deux hommes, chacun d'eux pourra travailler une heure, se reposer une demi-heure, et ainsi de suite, pendant les dix heures du voyage, qui sont une des données de cette étude.

Passons à la description du ballon exécuté d'après ce programme et aux résultats obtenus.

Les dimensions suivantes ont été adoptées : longueur, $36^{m},12$; diamètre au milieu, $14^{m},84$; section en ce point, $172^{mq},96$; volume, 3454^{mc}.

Le ballon est parti entièrement gonflé d'hydrogène. Deux tuyaux *pendentifs* H, K (fig. 5) descendent à 8 mètres au-dessous du ballon; librement ouverts, ils permettent au gaz de s'échapper à mesure de sa dilatation, tout en gardant un excès de pression intérieure qui prévienne toute déformation sous l'action du vent. Pour obtenir la permanence de la forme, en dépit des causes de déperdition de gaz et des diminutions de pressions dans les descentes partielles ou totales, l'auteur a recours au jeu d'un *ballonnet* interne, dont le cercle V indique le contour, dans lequel on peut, à volonté, envoyer de l'air à l'aide d'un ventilateur et d'un tuyau C. Une soupape D est réglée de telle sorte que de l'air, insufflé mal à propos, doit s'échapper plutôt que de refouler l'hydrogène au delà du bas des pendentifs; au cas où le ballon aurait à remonter après une descente partielle, le gaz, plutôt que de se dégager par les pendentifs en se dilatant, chasserait l'air du ballonnet par cette soupape. En volume, le ballonnet est 1/10e du ballon; son jeu permet donc d'atterrir avec le ballon toujours gonflé, en partant d'une hauteur où la pression barométrique ne serait environ que les 0,9 de $0^{m},76$, soit d'une hauteur de 866 mètres.

Le propulseur est une hélice à deux ailes formée par des lattes de bois supportant de l'étoffe, et portée sur un mât qui permet de la relever lorsqu'on atterrit. Appelons R la résistance de l'air pour la vitesse u de l'aérostat; d, p, n, le diamètre de l'hélice, son pas, son nombre de tours par minute, α le recul de l'hélice. En posant :

$$\frac{pn}{60} = (1 + \alpha)\, u,$$

le travail de l'hélice, par seconde, s'écrira :

$$R\frac{pn}{60} = (1 + \alpha)\, R\, u;$$

et le travail T, à dépenser dans le même temps, dépassera cette dernière quantité de la valeur des frottements. L'expérience de l'éminent ingénieur a triomphé ici de grandes incertitudes d'appréciation. Pour la vitesse de $2^{m},22$ par seconde, il avait estimé celle du ballon seul à 6 kilogrammes, et celle de l'appareil entier à 14 kilogrammes. Ayant adopté les valeurs $d = 9^{m}$, $p = 8^{m}$, la théorie de l'hélice le conduit à supposer $\alpha = 0{,}26$. Il obtient ainsi, pour n et T, des valeurs qui justifient l'emploi de quelques hommes actionnant directement l'arbre de l'hélice : 4 hommes pour la vitesse de $2^{m},22$, le double pour une plus grande vitesse de $2^{m},22\sqrt[3]{2} = 2^{m},80$ environ.

La solidarité entre le ballon et la nacelle, qui reçoit la poussée de l'hélice, est à obtenir impérieusement. Un ballon de forme oblongue, surtout s'il vient à se dégonfler, a tendance à *cabaner*, à se dresser verticalement sur son grand axe. Là est donc un danger imminent à conjurer. M. Dupuy de Lôme relie la nacelle au ballon par un système de deux filets supportés par le ballon au moyen de rubans plats; ou plutôt, indépendamment du *filet porteur* proprement dit, il a eu la lumineuse idée de disposer un second filet, qu'il appelle *filet de balancines*, dont les cordages se croisent à l'intérieur du premier suivant des règles qu'il tire de la théorie des systèmes funiculaires. Ce filet de balancines est l'un de traits dominants de la solution de M. Dupuy de Lôme: avec le ballonnet, il défie la possibilité du danger dont nous parlions et dont l'histoire de l'aérostation n'est pas sans exemple.

Une voile triangulaire de 15 mètres carrés E placée sous le ballon, près de la pointe arrière, sert de gouvernail, sa vergue inférieure est attachée à une corde qui se manie de la nacelle. La discussion du parallélogramme des vitesses V du vent et u du ballon fait connaître l'angle I de la route résultante sur la direction du vent, ainsi que la possibilité ou le moyen d'atteindre une destination donnée. On reconnaît que le maximum I_1 de I répond au cas où l'on oriente le cap perpendiculairement à la route suivie sur le sol.

Le gaz employé a été l'hydrogène provenant de l'action de l'acide sulfurique et de l'eau sur la tournure de fer, puis lavé et séché.

L'ascension s'est faite au fort neuf de Vincennes. Gonflé (avec le ballonnet affaissé, pour simplifier l'opération) et lesté en équilibre au ras du sol, le ballon avait une force ascensionnelle de 3799 kilogrammes, égale au total des poids :

Aérostat proprement dit, avec tous ses accessoires et instrument d'observations.	1776kg	Ensemble 3799kg
14 hommes d'équipage, bagages et vivres . . .	1148	
Colis à porter à destination	275	
Lest disponible	600	

On est parti en abandonnant 150 kilogrammes de lest. Étaient à bord : M. Dupuy de Lôme, MM. Zédé, ingénieur de la marine, Yon et Dartois, aéronautes, Bouron, contre-maître de la maison Claparède. Un anémomètre spécial donnait la vitesse propre de l'aérostat dès que l'hélice entrait en mouvement. Divers procédés, empruntés à la pratique des marins ou imaginés pour les besoins de la navigation aérienne, boussole, baromètre anéroïde, permettaient de rapporter la route sur une carte. Voici les éléments mesurés entre 560 mètres et 940 mètres d'élévation, 8 hommes agissant sur les manivelles motrices de l'hélice et développant un travail qu'on ne saurait estimer à plus de 60 kilogrammètres par seconde.

ANGLE, sur la direction qu'imprimerait l'action seule du vent, de l'orientation donnée au cap.	ANGLE, sur la direction qu'imprimerait l'action seule du vent, de la route résultante suivie.	Vitesse par seconde propre à l'aérostat.	Vitesse par seconde résultante.	Nombre de tours de l'hélice.
97°	12°	2,35 m	12 m	25
85	10	2,45	16	26
84	11	2,82	17	27,5

OBSERVATION. — Vent fort, d'une intensité croissante; vitesse avec l'hélice stoppée comprise entre 12 mètres et 17 mètres.

En lâchant 300 kilogrammes de lest, on s'est élevé jusqu'à 1020 mètres.

Au moment d'atterrir, le lieu désigné par le *point* fait

sur une carte, Mondécourt près de Noyon, s'est trouvé vrai : les observations de vitesses et d'orientations de routes étaient donc exactes. La stabilité a été merveilleuse. Plusieurs personnes pouvaient se déplacer à la fois dans la nacelle sans produire aucune oscillation. Intentionnellement, on descendit de 1020 mètres à 600 mètres sans user encore du ballonnet : les plis de l'aérostat étaient alors très-accentués, et il devint intéressant de voir la tension de telle ou telle balancine maintenir l'horizontalité du grand axe du ballon. La descente a été fort belle, sans choc, malgré le vent.

Les résultats de l'expérience de M. Dupuy de Lôme sont fort beaux et paraissent donner à peu près tout ce qu'on peut espérer de la navigation aérienne. Faut-il répéter, avec la plupart des publicistes et avec le savant ingénieur, qu'ils seraient bien plus beaux en remplaçant 7 des travailleurs par « une machine à vapeur de 8 chevaux, propre à donner à l'aérostat une vitesse propre de 22 kilomètres à l'heure, lui permettant de se dévier du vent d'un angle considérable, et, souvent même, de suivre toute route voulue.

Cette conséquence nous paraît exagérée. Outre le danger de l'emploi de la machine à feu sous un ballon rempli d'hydrogène, souvent plus ou moins mélangé d'air, la machine humaine, dont le travail correspond à la combustion des matières alimentaires, est loin d'être inférieure à la machine à vapeur. Pour la plupart des systèmes de machines, elle est moins lourde à travail égal. Sans doute M. Giffard a combiné précisément, en vue de l'aérostation, ses petites machines à grande vitesse de piston, qui sont très-légères; mais il ne faudrait pas que la traversée durât quelques heures, que l'approvisionnement d'eau et de combustible fût bien considérable, pour que la supériorité revînt à la machine humaine. On n'aura toujours ainsi qu'un appareil dangereux, ne pouvant servir que quelques heures, incapable de lutter contre des vents notables. On rencontre rarement des circonstances qui rendraient utile l'emploi d'un semblable système.

Travaux de M. Giffard.—Il serait injuste d'oublier ici ces travaux de M. Giffard, qui, comme inventeur, avait ouvert la voie à l'ingénieur expérimenté dont nous venons d'analyser le travail.

Nous emprunterons quelques détails sur son ascension de 1852, et sur l'installation d'une machine à vapeur qu'il a eu le courage de tenter, à une lettre publiée par lui à cette époque.

Elle ne relate pas les dangers qu'il a courus lors de la descente surtout et qui font apprécier la valeur d'une étude complète, qui a conduit à une bonne proportion d'hélice et surtout à la construction d'un aérostat allongé, d'une grande stabilité, ce qu'on n'avait pas su faire avant M. Dupuy de Lôme, dit M. Giffard.

« L'appareil aéronautique, dont je viens de faire l'expérience, a présenté pour la première fois dans l'atmosphère la réunion d'une machine à vapeur et d'un aérostat d'une forme nouvelle et convenable pour la direction.

« Cet aérostat est allongé et terminé par deux pointes; il a 12 mètres de diamètre au milieu et 44 mètres de longueur; il contient environ 2,500 mètres cubes de gaz; il est enveloppé de toutes parts, sauf à la partie inférieure et aux pointes, d'un filet dont les extrémités ou *pattes d'oie* viennent se réunir à une série de cordes fixées à une traverse horizontale en bois de 20 mètres de longueur; cette traverse porte à son extrémité une voile triangulaire assujettie par un de ses côtés à la dernière corde partant du filet, et qui lui tient lieu de charnière ou axe de rotation.

« Cette voile représente le gouvernail et la quille ; il suffit, au moyen de deux cordes qui viennent se réunir à la machine, de l'incliner de droite à gauche pour produire une déviation correspondante à l'appareil et

changer immédiatement de direction. A défaut de cette manœuvre, elle revient aussitôt se placer d'elle-même dans l'axe de l'aérostat, et son effet normal consiste alors à faire l'office de quille ou girouette, c'est-à-dire à maintenir l'ensemble du système dans la direction du vent relatif.

« A 6 mètres au-dessous de la traverse sont suspendus la machine à vapeur et tous ses accessoires.

« Elle est posée sur une espèce de brancard en bois, dont les quatre extrémités sont soutenues par des cordes de suspension, et dont le milieu, garni de planches, est destiné à supporter les personnes et l'approvisionnement d'eau et de charbon.

« La chaudière est verticale et à foyer intérieur sans tubes; elle est entourée extérieurement, en partie, d'une enveloppe en tôle qui, tout en utilisant mieux la chaleur du charbon, permet au gaz de la combustion de s'écouler à une plus basse température; la cheminée est dirigée de haut en bas, et le tirage s'y opère au moyen de la vapeur qui vient s'y élancer avec force à sa sortie du cylindre, et qui, en se mélangeant avec la fumée, abaisse encore considérablement sa température tout en les projetant rapidement dans une direction opposée à celle de l'aérostat.

« La combustion du charbon a lieu sur une grille complétement entourée d'un cendrier, de sorte qu'en définitive il est impossible d'apercevoir extérieurement la moindre trace de feu.

« La vapeur produite se rend aussitôt dans la machine proprement dite; celle-ci est à un cylindre vertical dans lequel se meut un piston qui, par l'intermédiaire d'une bielle, fait tourner l'arbre coudé placé au sommet. Celui-ci porte à son extrémité une hélice à 3 patelles de 3m,40 de diamètre, destinée à prendre le point d'appui sur l'air et à faire progresser l'appareil. La vitesse de l'hélice est d'environ 110 tours par minute, et la force que développe la machine pour la faire tourner est de 3 chevaux, ce qui représente la puissance de 25 ou 30 hommes. »

IMITATION DU VOL DES OISEAUX.—Disons un mot, en terminant, du système que des inventeurs reproduisent périodiquement, qui consiste à donner le moyen de voyager dans l'air, au moyen d'ailes plus ou moins analogues à celles des oiseaux, dont le vol a toujours excité la jalousie de l'homme, comme le montre la tradition d'Icare.

L'homme ne peut jamais espérer voler dans les airs par sa seule puissance ; son poids est trop grand par rapport au travail qu'il peut produire par unité de temps, et il ne saurait être comparé à l'oiseau qui, pesant si peu, dépense tant d'efforts dans un vol rapide, énergie en rapport avec sa respiration accélérée, car les oiseaux ont aussi le degré de chaleur animale le plus élevé parmi tous les animaux. L'homme peut nager, parce que la densité de l'eau est assez voisine de celle de ses tissus, pour qu'une partie importante de son poids s'y trouve annulée. C'est précisément ce qui arrive aux oiseaux dans l'air, et leurs plumes si légères rendent leur poids minime, relativement à leur volume.

Nous voyons la même condition satisfaite pour les poissons, immergés aussi dans un fluide; non-seulement leur densité est peu différente de celle des liquides, mais ils la diminuent à volonté au moyen de l'espèce de ballon qu'ils portent à l'intérieur de leur vessie natatoire, qui leur permet de monter ou descendre, et qui fait que leur poids est toujours annulé dans la couche d'eau où ils se déplacent par l'action de leur nageoire.

Un simple calcul montre facilement combien le problème est insoluble. La résistance de plateaux de surface S, mus dans l'air, avec une vitesse V, a été trouvée par Piobert égale à un nombre de kilogrammes exprimés par la formule $0{,}084\ SV^2$.

Demandons-nous quelle devrait être la surface de l'espèce d'aile, du plateau qu'un homme, pesant 65 kil., devrait manier pour se soutenir dans l'air ou pour qu'on ait en chaque instant :

$$65 = 0{,}084\ SV^2.$$

L'effort musculaire que l'on peut faire pour soulever un poids égal à celui du corps ne peut être produit qu'avec une très-faible vitesse ; les expériences indiquent qu'on ne peut pas l'évaluer à plus de 0m,25. L'équation ci-dessus donne alors :

$$65 = 0{,}084 \times 0{,}0625\ S = 0{,}00525\ S,$$

d'où $S = 12{,}370$ mètres carrés!

APPAREILS PLUS LOURDS QUE L'AIR. — En faisant appel à la puissance des machines, on peut combiner des systèmes propres à élever des poids dans l'air ; c'est ainsi que l'hélice, tournée rapidement, s'élève dans certains jouets. Cela a été proposé, en effet, à diverses reprises et sous diverses formes, mais toujours dans des projets vagues et mal étudiés ; ils n'ont jamais passé par les mains d'ingénieurs capables de mesurer les poids, les surfaces, les quantités de travail nécessaires pour atteindre le but, ou, plutôt, ils ont toujours conduit à des impossibilités. Avec une quantité relativement très-grande de travail, on peut produire de petits effets de ce genre, mais rien de plus ; nous citerons le *spiralisateur*, dont l'hélice, qui pèse quelques grammes, peut s'élever à 15 ou 20 mètres, lorsqu'un homme sait la bien lancer au loin. Mais ce ne sont pas là des systèmes pouvant servir à parcourir à volonté les régions de l'air, en y supportant des poids notables. On ne pourrait poser des chiffres sans arriver à des résultats analogues à ceux que nous avons trouvés ci-dessus, en cherchant la solution du problème du vol au moyen de la force musculaire de l'homme. Mais, ajoute-t-on, on trouvera dans l'avenir des moteurs tellement puissants et si légers, que tout ce qui nous paraît impossible aujourd'hui deviendra alors facile. Il serait aisé d'établir que c'est là un rêve, si l'on veut tenir quelque peu compte des prix de revient, que la source de tout travail mécanique étant la chaleur, il est absurde de croire que l'on trouvera des machines à feu utilisant incomparablement mieux que les corps organisés la chaleur produite par la combustion de la partie assimilée de leurs aliments.

En résumé, laissant de côté la question de prix, on peut, pour satisfaire à quelques esprits passionnés, accorder qu'il n'est pas impossible que, quelques composés chimiques coûteux, comme la poudre, la dynamite, que l'on peut considérer comme des réservoirs de travail, puissent servir à alimenter des machines à la fois très-puissantes et très-légères, ou plutôt agir directement par réaction comme la poudre dans la fusée qui s'élève et se maintient en l'air, dans une direction voulue, tant que toute la poudre n'est pas brûlée, en utilisant la réaction (qui serait peut-être une des formes les moins défectueuses d'utilisation d'un travail moteur), et qu'un jour, peut-être, on pourra faire dans l'air, quand il y aura peu de vent, des transports qui coûteront mille fois plus cher, au moins, que par chemin de fer. Ce n'est pas la peine de faire tant d'efforts pour avoir quelques chances d'obtenir un pareil résultat.

AFFILER. Voyez AFFÛTER.

AFFINAGE DES MATIÈRES D'OR ET D'ARGENT, DÉPART (*angl.* refining of gold silver, parting ; *all.* Scheidung in die Quart). La séparation des matières d'or et d'argent est l'objet d'une industrie d'une certaine importance à cause de la valeur de ces métaux. Elle se fait soit au moyen de l'acide nitrique, soit au moyen de l'acide sulfurique.

Parlons d'abord de l'emploi de l'acide nitrique aujourd'hui abandonné.

Le degré de concentration de l'acide nitrique, le plus convenable pour effectuer le *départ*, est celui qui correspond à une densité de 1,320 ; s'il ne se trouble pas lorsqu'on y verse quelques gouttes de nitrate d'argent, il ne contient pas d'acide muriatique, et est propre au *départ*. S'il en renfermait on le purifierait en ajoutant assez de nitrate d'argent pour précipiter tout l'acide hydrochlorique à l'état de *chlorure d'argent*. La petite quantité d'acide sulfurique qu'il peut contenir n'offre aucun inconvénient.

Le procédé du *départ* par l'acide nitrique est fondé sur ce principe, que l'argent est soluble dans l'acide nitrique, tandis que l'or ne l'est pas. L'expérience démontre que, pour que l'alliage soit complétement attaqué, la composition la plus convenable correspond à trois parties d'argent en poids pour une d'or. Il faut théoriquement 38 kilogr. d'acide nitrique ayant une densité de 1,320 pour oxyder 100 kilogr. d'argent et 111 kilogr. d'acide pour dissoudre l'oxyde formé, en tout 149 kilogr. d'acide nitrique ; mais l'affineur en consomme souvent plus de 200 kilogr., par suite des moyens imparfaits qu'il emploie pour condenser les vapeurs acides. On évite cette perte au moyen d'un vase de grande dimension placé à la suite de celui dans lequel a lieu l'attaque, qui est refroidi par de l'eau et communique avec l'air extérieur par des tubes remplis de fragments siliceux humectés d'eau ; l'acide nitrique donne lieu, par suite de la réaction à des vapeurs nitreuses qui absorbent de l'oxygène dans le réservoir annexé, et se transforment de nouveau, presqu'en totalité, en acide nitrique : de sorte qu'en définitive, la quantité d'acide dépensée se réduira à peu près aux 110 kilogr. nécessaires pour dissoudre l'oxyde d'argent. On peut admettre qu'en opérant avec soin, il suffira de 120 kilogr. d'acide pour opérer le départ d'un alliage de 100 kilogr. d'argent et de 25 kilogr. d'or.

Comme 100 kilogr. de cuivre exigent théoriquement pour s'oxyder 130 kilogr. d'acide nitrique, ayant une densité de 1,320 et 390 kilogr. pour dissoudre l'oxyde formé, en tout 520 kilogr. d'acide, il importe que l'alliage soumis au départ ne renferme pas de cuivre.

Ces données ayant été adoptées comme base de l'opération, on introduit 30 kilogr. de l'alliage d'or et d'argent grenaillé, devant contenir à peu près de 21 à 22 kilogr. d'argent, dans la cornue de platine dont la capacité est de 45 litres, puis on verse par la tubulure 40 kilogr. d'acide nitrique à la densité de 1,320 ayant un volume de 27 litres.

A l'aide du système décrit plus haut, on pourra recueillir de 10 à 15 kilogr. d'acide sur les 40 kilogr. introduits. Lorsqu'en ouvrant l'orifice on ne voit plus apparaître de vapeurs nitreuses rougeâtres, on retire le feu, et, après avoir laissé refroidir, on démonte l'appareil ; on décante ensuite le liquide ; on traite enfin par de l'acide nitrique pur bouillant et plus concentré la poudre d'or restée au fond de la cornue, pour dissoudre les dernières parcelles d'argent, et on lave avec soin le résidu par décantation avec de l'eau distillée. Enfin, après l'avoir desséché, on le fond dans un creuset avec un peu de borax et de nitre, et on coule dans des lingotières ; c'est de l'or fin.

On précipite la dissolution nitrique et les eaux de lavage, le tout préalablement étendu d'eau distillée, par des lames de cuivre ; il se forme du nitrate de cuivre qui colore la liqueur en bleu, et l'argent se précipite à l'état métallique. On lave le précipité d'argent avec de l'eau distillée bouillante pour enlever tout le nitrate de cuivre qu'elle contient, puis on le comprime à l'aide d'une presse hydraulique dans des cylindres en fonte. Les culots, fondus dans des creusets avec un peu de nitre et de borax et coulés dans des lingotières, donnent de l'argent fin.

Si l'on veut revivifier le nitrate de cuivre, l'appareil indiqué ci-dessus permet de recueillir une portion considérable de l'acide nitrique, en évaporant d'abord le nitrate presqu'à siccité, puis rajustant le tuyau de communication avec le condenseur, et augmentant graduellement le feu pour expulser l'acide; l'oxyde de cuivre se déposera au fond de la cornue, sous forme d'une masse noire, et si on a eu soin d'entretenir le gravier des tubes constamment humide, l'acide nitrique est régénéré sans autre dépense qu'un peu de chauffage.

Après avoir séparé l'oxyde de cuivre, on peut l'employer à préparer du sulfate de cuivre en ajoutant 122 parties d'acide sulfurique, étendues d'eau, pour 100 d'oxyde. Quant à la quantité de cuivre nécessaire pour précipiter l'argent, elle est de 29 kil. pour 100 kil. d'argent.

Dans le départ au moyen de l'acide nitrique, l'or retient un peu d'argent, ce qu'on démontre en le dissolvant dans l'eau régale, et étendant d'eau, il se forme au bout de quelques heures un précipité opalin de chlorure d'argent. De même l'argent obtenu contient une petite quantité d'or.

M. *Dizé* a eu l'idée de remplacer l'acide nitrique par l'acide sulfurique, au moyen duquel on peut séparer de l'argent affiné, par le procédé décrit plus haut, une certaine quantité d'or. Ce procédé est généralement adopté en France, et a permis de retirer de l'argent affiné par l'acide nitrique, un millième de son poids d'or. Ce qui donne un produit de 3,444 fr. 44 c. par 1,000 kil. d'argent.

L'alliage le plus convenable au départ par l'acide sulfurique se compose d'or, d'argent et de cuivre, dans le rapport de 200, 725 et 75, en tout 1,000. Il ne doit jamais contenir plus d'or, parce qu'alors tout l'argent ne serait pas attaqué, et il ne doit pas non plus contenir plus de cuivre, sans quoi le sulfate de ce métal qui se formerait, et qui est insoluble dans l'acide sulfurique concentré, empâterait l'alliage et le garantirait de l'action de l'acide. Si l'alliage contient des métaux oxydables, tels que du plomb, de l'étain, etc., en quantité un peu grande, on commencera par les séparer au moyen de la coupellation. Si la proportion de ces métaux est très petite, leur séparation s'exécute en même temps que celle du cuivre en excès par l'opération de la *poussée*, en fondant l'alliage avec un peu de nitre.

Le procédé de départ par l'acide sulfurique, pour l'argent contenant peu d'or se compose des cinq opérations suivantes :

1° On a plusieurs fourneaux de 0m,32 de diamètre, sur chacun desquels on place des cornues en platine de forme ovale; on charge dans chaque cornue 3 kil. d'argent aurifère granulé, et 6 kil. d'acide sulfurique concentré. Les cornues ont des chapiteaux coniques terminés par des tubes recourbés qui conduisent les vapeurs acides dans des tuyaux en plomb, faisant office de condenseurs. Comme l'acide sulfurique n'attaque pas à froid l'alliage, on chauffe jusqu'à l'ébullition; une partie de l'acide se décompose alors en oxygène, qui s'unit à l'argent et au cuivre métalliques, et en acide sulfureux qui se dégage, une autre partie dissout les oxydes et forme des sulfates qui se déposent en partie sous la forme de poudre cristalline, parce qu'ils sont peu solubles dans l'acide sulfurique concentré. La dissolution s'opère très rapidement pendant les premières heures, puis elle se ralentit et n'est complète qu'au bout de douze heures. Pendant l'ébullition une certaine quantité d'acide sulfurique non décomposé se vaporise et s'échappe avec l'acide sulfureux. On la condense dans un grand récipient en plomb maintenu à une basse température. On a proposé de condenser l'acide sulfureux en le mettant en contact avec du lait de chaux sur une grande étendue de surface, dans des appareils analogues à ceux qu'on emploie pour purifier le gaz d'éclairage.

2° Quand tout l'argent a été converti en sulfate, on le transvase dans un réservoir en plomb, et on l'étend d'eau pure jusqu'à ce que la dissolution marque 15 ou 20° de l'aréomètre de Baumé; quant à la poudre d'or non attaquée, on la lave avec de l'eau distillée et bouillante, et l'on ajoute les eaux de lavage à la dissolution précédente. On précipite ensuite l'argent par des lames de cuivre, on lave avec soin le précipité avec de l'eau bouillante, puis on le soumet encore humide à une forte compression, afin d'en séparer les dernières parties de sulfate de cuivre.

3° L'argent précipité et desséché est fondu dans un creuset et coulé en lingots.

4° L'or est de même desséché et fondu en ayant soin de lui ajouter un peu de nitre, afin d'oxyder et de séparer les quelques molécules de cuivre qui peuvent n'avoir pas été dissoutes.

5° Comme le sulfate de cuivre a une valeur assez grande, il faut neutraliser sa dissolution, l'évaporer et faire cristalliser dans des cristallisoirs en plomb. Les fermiers consomment en France une immense quantité de ce sel pour chauler leur blé, en l'humectant avant les semailles avec une dissolution qui marque 2 ou 3° à l'aréomètre de Baumé, ce qui le préserve des ravages des oiseaux et des insectes.

L'or pur, à l'instant de son départ par l'acide sulfurique, étant en poudre très fine, et à une température assez élevée, tend à se souder au platine et à épaissir ainsi le fond de la cornue; comme il est important et pour la conservation de la cornue, et pour l'économie du chauffage de pouvoir ôter la croûte d'or qui s'y dépose, les affineurs se servent de petites quantités d'eau régale étendue qui dissout rapidement l'or et n'attaque pas sensiblement le platine. Cette opération est délicate et exige de la circonspection. La formation de ces dépôts augmente par l'emploi d'une trop forte chaleur et d'une trop faible quantité d'acide relativement à celle de l'alliage. Il convient donc d'employer de grandes cornues. On doit surtout éviter la présence du plomb et de l'étain, qui détruiraient promptement les vases en platine, accident qui est arrivé plus d'une fois.

Depuis l'emploi des nouveaux procédés d'affinage, les lingots contenant plus d'un dixième d'or sont pris par les affineurs, comme or fin; ils rendent l'or et l'argent, gardent le cuivre, et reçoivent seulement 5 fr. 50 c. par kilogr. pour frais d'affinage.

Pour un lingot d'argent contenant moins d'un dixième d'or, l'affineur garde un millième de l'or et le cuivre du lingot, rend le reste de l'or, tout l'argent, et paie au propriétaire une prime qui s'élève jusqu'à 0 fr. 75 c. par kilogr.; et si le propriétaire veut avoir tout l'or et tout l'argent, il paie à l'affineur, qui garde en outre le cuivre, 2 fr. 68 c. par kilogr. Pour l'argent à bas titre, le cuivre seul en fait les frais.

Les ateliers d'affinage de MM. Saint-André et Poisat, rue de la Fidélité, à Paris, sont peut-être les plus beaux de ce genre, qui existent au monde. La chambre principale a 80 mètres de long, 13 mètres de large et environ 10 mètres de haut; une grande cheminée s'élève en son milieu, et il y en a une autre à chacune des extrémités. L'une des moitiés de l'atelier sert au *départ* proprement dit; l'autre moitié renferme les chaudières et cuves employées pour faire évaporer et cristalliser le sulfate de cuivre obtenu, et pour concentrer l'acide sulfurique condensé dans le récipient. On fond l'argent dans des creusets en fer forgé, capables d'en contenir plusieurs quintaux, et on le granule en le coulant dans des cuves métalliques remplies d'eau. Les grenailles d'argent sont desséchées, puis transportées dans un bureau bien éclairé, entouré de châssis vitrés, où elles sont pesées, enregistrées, et réu-

nies en portions d'un poids déterminé. Chacune de ces portions est mise dans une chaudière hémisphérique et légèrement aplatie, en fonte, ayant 0m,65 environ de diamètre, et recouverte d'un chapiteau également en fonte. Un tuyau de dégagement placé au sommet du chapiteau communique avec un récipient de forme allongée en plomb, qui est situé au-dessous du niveau du plancher. Ces chaudières, dont le fond est baigné par la flamme, sont placées par couple sur chaque fourneau, parallèlement au petit axe de l'atelier. Les fourneaux sont disposés symétriquement par rapport au grand axe de l'atelier, de telle sorte que l'on puisse circuler librement tout autour.

On emploie 2 parties en poids d'acide sulfurique concentré pour 1 partie d'argent, et on fait bouillir lentement jusqu'à ce que tout l'argent soit transformé en un sulfate pâteux; le récipient souterrain en plomb, dans lequel se condense la petite quantité d'acide sulfurique entraînée avec l'acide sulfureux, communique par un tuyau vertical en plomb, de 0m,10 de diamètre, à l'une des extrémités d'une grande chambre en plomb, située dans la charpente de l'atelier et solidement soutenue par de forts chevrons en bois. Cette chambre qui a 10m de long, 3m,30 de large, et 2m de haut, sert à condenser et à recueillir l'acide sulfurique, que l'on obtient en faisant arriver au milieu de l'acide sulfureux venant du récipient souterrain une certaine quantité de vapeurs nitreuses d'air et de vapeur d'eau; tout à fait comme cela se pratique dans la fabrication de l'acide sulfurique dans des chambres de plomb (voyez ACIDE SULFURIQUE). Un grand tuyau carré en plomb, partant de l'autre extrémité de la chambre, et légèrement incliné, amène l'acide qui s'est condensé dans un petit réservoir en plomb, qui lui-même décharge par un autre tuyau dans la cheminée centrale les produits gazeux non condensés, et entretient ainsi un tirage continu, à travers toutes les chambres en plomb jusqu'aux cornues en fonte.

Outre les cornues en fonte, ne servant qu'à traiter l'argent allié de cuivre qui ne contient qu'une très petite quantité d'or, il y a au milieu de l'atelier et près de la cheminée six cornues en platine, dans lesquelles on traite les alliages assez riches en or.

Le sulfate d'argent pâteux, avec excès d'acide obtenu dans les cornues en fonte, est transvasé avec une cuillère en fonte à long manche dans de grandes cuves en plomb attenantes aux cornues, et étendu d'eau, jusqu'à ce qu'il marque 36° à l'aréomètre de Baumé. On y fait alors arriver de la vapeur d'eau par une série de tuyaux verticaux en plomb, placés sur toute la longueur du réservoir et plongeant presque jusqu'au fond; la liqueur entre bientôt en ébullition, et on continue de faire arriver de la vapeur d'eau jusqu'à ce que l'aréomètre ne marque plus que 22 degrés. On transvase alors le sulfate à l'aide de siphons en plomb, dans de grands bassins, à fond arrondi également en plomb; où on le précipite par des lames minces de cuivre; on décante enfin le sulfate de cuivre dans un bassin inférieur, où on le laisse reposer et s'éclaircir.

Le précipité d'argent est égoutté, puis fortement comprimé à l'aide d'une presse hydraulique dans des moules en fonte à section carrée. On opère sur 30 kilogr. d'argent à chaque fois. Les culots d'argent ainsi obtenus, sont desséchés, et fondus dans des creusets en graphite, dans un fourneau placé à côté du bureau de contrôle qui, comme nous l'avons dit, est fait avec des cloisons vitrées, de sorte que l'inspecteur peut voir tout ce qui se passe dans l'atelier.

Le sulfate de cuivre est évaporé jusqu'au degré de concentration convenable, dans de larges chaudières à fond plat en plomb, placées sur une même rangée dans le second compartiment de l'atelier, puis transvasé à l'aide de siphons dans des cristallisoirs également en

plomb. Après avoir laissé reposer pendant trois à quatre jours, on concentre de nouveau les eaux-mères..., et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'elles marquent 60° à l'aréomètre de Baumé; elles ne retiennent plus alors que des traces de sel; on achève de les concentrer jusqu'à 66° dans les cornues en platine; elles se décolorent complétement et sont employées comme de l'acide neuf.

On obtient d'abord des cristaux de sulfate de cuivre hydraté (vitriol bleu), mais dès que la concentration est arrivée à un certain point, l'affinité de l'acide sulfurique pour l'eau est telle que les eaux-mères ne donnent plus que des masses blanches, confusément cristallisées, de sulfate de cuivre anhydre, qu'on redissout dans de l'eau pure, pour le faire cristalliser de nouveau à l'état hydraté, et le livrer au commerce. On peut affiner par jour dans l'établissement de MM. Saint-André et Poisat, au moins 250,000 fr. Une petite machine à vapeur de la force de 6 chevaux, met en mouvement les pompes en plomb, qui amènent l'acide sulfurique étendu et les dissolutions de sulfate acide de cuivre dans les chaudières de concentration, un appareil pour pulvériser les vieux creusets, et un petit moulin d'amalgamation qui consiste en deux segments de sphère, tournant autour d'un axe vertical, dans une cuve en fonte à fond hémisphérique. Le sol de l'atelier est couvert d'une grille en fer; la poussière et les boues qui se rassemblent dans les interstices et au-dessous sont recueillies de temps à autre, et portées au moulin d'amalgamation. Il n'y a en tout que dix ouvriers, et il suffit que l'argent traité renferme $\frac{1}{2525}$, ou un peu moins de 0,0004 d'or pour compenser les frais de départ. Voyez *Complément*, INSALUBRES (ART.)

AFFINITÉ. Terme de chimie, désignant la force attractive particulière qui produit la combinaison de substances de différentes nature; comme, par exemple, celle d'un alcali avec un acide, ou du soufre avec un métal.

AFFUT. On donne le nom d'affût au système qui supporte la pièce de canon.

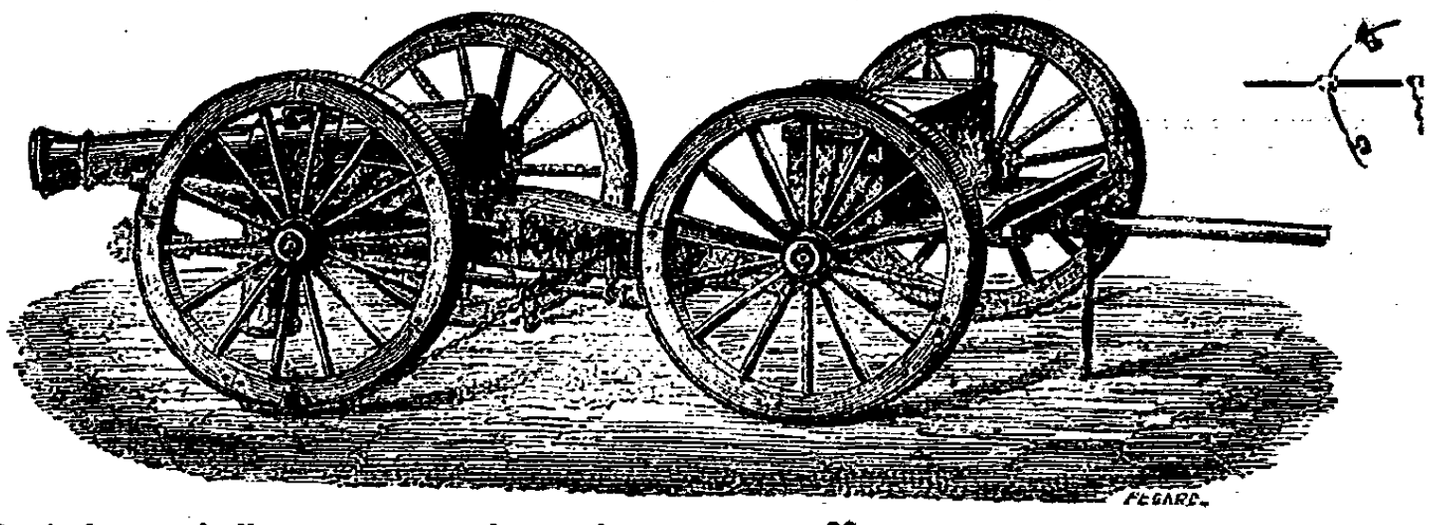
Trois choses sont à considérer pour déterminer la composition d'un affût: le tir, les manœuvres et le transport. Il faut donc un affût différent pour chaque espèce de service auquel la pièce est destinée. Nous examinerons successivement: l'affût de campagne et de montagne, l'affût de siége, l'affût de place et côte, et l'affût marin, en décrivant les formes adoptées par l'artillerie française, qui depuis le remaniement complet de son matériel en 1827, peuvent être regardées comme celles qui approchent le plus de la perfection.

AFFUT DE CAMPAGNE. L'artillerie de campagne se compose: de pièces de 8 et d'obusiers de 24 pour les batteries de position, de pièces de 12 et d'obusiers de 6 pouces pour les batteries de réserve. Deux affûts seulement suffisent au service de ces quatre bouches à feu, construits d'après les mêmes principes et composés des mêmes pièces, ils ne diffèrent entre eux que par des détails.

La mobilité est la première condition de l'artillerie de campagne. L'affût se compose de deux parties principales, l'affût proprement dit et son avant-train, qui, réunis, forment une voiture complète à quatre roues. (fig. 35). Lorsqu'il s'agit de faire feu, on détache l'affût de son avant-train, et l'on a: d'un côté, l'avant-train, voiture à deux roues; d'un autre, l'affût reposant à terre par trois points; ses deux roues et l'extrémité de sa *flèche* (fig. 36).

On appelle *flasques* les deux pièces sur lesquelles est immédiatement portée la bouche à feu, les tourillons y sont reçus dans deux logements dits *encastrements*, les flasques reposent à leur tour sur l'essieu, et sont réunis à la *flèche*, à la hauteur de la culasse. En ce point est la vis de pointage, destinée à donner à l'âme de la

35.



36

bouche à feu une inclinaison convenable. La construction limite cette inclinaison seulement jusqu'aux portées pour lesquelles le tir a de la justesse; sans cette précaution, il arriverait souvent que des chefs de batterie, contraints d'obéir aux ordres d'officiers étrangers à l'artillerie feraient consommer inutilement les munitions.

La direction est donnée au moyen d'un levier fixé dans une lunette à l'extrémité de la flèche; ce levier peut s'enlever à volonté quand on unit l'affût avec son avant-train.

L'affût doit porter le long de ses flasques, et fixées par des moyens simples qui les retiennent malgré les cahots, toutes les pièces de l'armement, telles que : deux écouvillons, un tire-bourre, deux leviers de pointage et un seau d'eau pour rafraîchir la pièce, quand un tir précipité l'échauffe d'une manière dangereuse. La hauteur des flasques doit être telle que la pièce puisse être chargée avec aisance.

A ces conditions il s'en joint d'autres de formes et de résistance, dont on ne peut se rendre compte sans entrer dans quelques considérations sur l'action de la poudre.

Lorsqu'une pièce fait feu, le fond de l'âme éprouve une réaction qui est communiquée à l'affût par les tourillons unis aux flasques dans les encastrements. On comprend que chaque partie de l'affût éprouve des percussions qui tendent à le détruire, et que l'habileté du constructeur consiste à les combattre; il est guidé en cela par les principes suivants :

1° Les percussions s'affaiblissent quand on augmente le poids de la bouche à feu par rapport à celui du projectile, et d'un autre côté la percussion exercée sur les encastrements des flasques est d'autant moindre que l'affût offre moins de résistance au recul; il faut donc que le poids de la pièce soit un maximum, et le poids de l'affût un minimum.

2° La flèche souffre beaucoup des percussions : plus l'angle qu'elle fait avec le terrain est aigu, plus elles sont amorties, il faut cependant remarquer que ce principe n'a de véritable importance que pour de grandes variations de cet angle qui affecte alors d'une manière sensible le recul.

La flèche se trouve affaiblie par le logement de la vis de pointage et un boulon d'assemblage, précisément en un des points où la réaction est la plus vive, surtout dans le tir des obusiers, dont le poids est inférieur à celui des canons; il faut donc apporter le plus grand soin à la qualité du bois de construction que l'on emploie.

3° La tête de l'affût choque l'essieu, et il se forme souvent une fente à l'angle antérieur de l'encastrement d'essieu. Ce choc est causé par l'inertie et le frottement des roues. On ne peut songer à le combattre en diminuant le recul qui est nécessaire; il ne reste donc qu'à rendre le poids des roues, un minimum.

4° Le frottement des fusées et des moyeux est de peu d'influence sur le recul, quand les essieux sont en fer et les boîtes en bronze; mais il devient très important, si l'on augmente le rayon moyen des fusées, et si, par exemple, en faisant rouler les roues sur leurs moyeux, on met en contact des substances d'un grand frottement.

Manœuvre et transport. L'affût s'unit à l'*avant-train* au moyen d'un simple crochet ou *cheville ouvrière;* il faut donner par conséquent peu d'élévation à cette articulation, rendre toujours visibles la lunette et la cheville ouvrière, et placer le centre de gravité du système de telle manière que la flèche puisse être facilement soulevée par deux hommes; la manœuvre est facilitée par deux poignées en fer; malgré ces précautions l'opération d'attacher l'affût à l'avant-train peut paraître trop longue dans certains cas, alors tous deux restent liés pendant le tir au moyen d'une corde nommée *prolonge*, et l'on peut dans cet état les faire manœuvrer au galop. Ce moyen d'union doit être employé le plus rarement possible. La prolonge est portée toute roulée sur la flèche de l'affût.

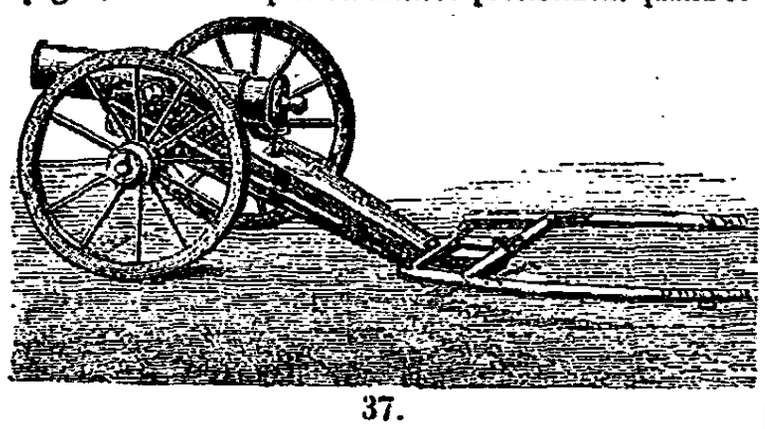
Le crochet cheville ouvrière se trouve en arrière de l'essieu de l'avant-train, de plus, les flasques, au lieu d'être prolongés jusqu'à la lunette, étant remplacés par

AFFUT.

une flèche de peu de largeur, la voiture, quoique munie de roues d'égale hauteur à son avant-train et à son arrière-train, satisfait aux conditions de roulage et de tournant nécessaires au service. Deux plaques en fer sont placées sur la flèche, aux deux endroits où doivent venir frotter les roues de l'avant-train. La position de la cheville ouvrière en arrière de l'essieu laisse aux deux trains une indépendance complète; cette indépendance assure la mobilité du système.

La roue de 1m,49 de diamètre d'un modèle unique convient à toutes les voitures de campagne, ce qui donne une grande simplicité; mais ces avantages sont rachetés par quelques inconvénients. Le timon de l'avant-train, privé de contre-appui, obéit à toutes les secousses de la voiture, et ces réactions doivent être supportées par les deux chevaux de derrière, elles leur sont communiquées par deux branches en fer fixées à l'extrémité du timon et engagées dans un anneau à la partie inférieure du collier. Pour diminuer ces réactions autant que possible, on dispose le centre de gravité de telle sorte que les chevaux portent constamment au moyen de leurs supports 14 à 18 kilogr. selon que l'avant-train est vide ou chargé. De plus ces mêmes secousses et le support qui les transmet, ne permettent pas d'attacher à l'extrémité du timon une *volée* pour les attelages de devant; en sorte qu'il faut les faire tirer directement sur les traits des chevaux de derrière, ce qui est le mode le plus vicieux pour utiliser leurs efforts.

AFFUT DE MONTAGNE. L'artillerie de montagne est en quelque sorte un appendice de l'équipage de campagne, car son emploi commence précisément quand le



37.

terrain n'est plus accessible aux voitures. La pièce unique dont on se sert alors est un obusier de 12, pesant 100 kilogr., charge ordinaire d'un mulet de bât. L'affût ne doit pas excéder ce poids.

Le corps d'affût est formé d'une seule pièce de bois. Sa partie antérieure convenablement évidée, reçoit l'obusier, soutient les tourillons, et permet de pointer sous tous les angles nécessaires au-dessus et au-dessous de l'horizon.

La voie est au plus de moitié de celle des autres voitures, à cause des chemins creux et encaissés qui se trouvent dans les pays montagneux. Le recul doit être aussi limité que possible, puisque ces bouches à feu sont destinées à tirer souvent sur des emplacements fort resserrés, ou sur des rampes ascendantes, et cependant l'affût doit être fort léger; il a donc fallu faire usage d'essieux en bois, diminuer le rayon des roues et, ces précautions étant encore jugées insuffisantes, établir une enrayure qui arrête complétement le mouvement rétrograde après une course de peu d'étendue.

L'avant-train de l'affût de montagne consiste en une limonière qui s'adapte à la crosse d'une manière simple et solide. Quand la route le permet, les deux mulets porteurs de l'affût et de la pièce y sont attelés à la suite l'un de l'autre. Un levier passé dans l'âme de la pièce sert à maintenir la voiture dans les tournants difficiles.

AFFUTS DE SIÉGE. L'artillerie de siége se compose de pièces de 24 et de 16, d'obusiers de 8 pouces, de mortiers et pierriers.

Un même affût sert aux pièces de 24 et aux obusiers de 8 pouces; l'affût des pièces de 16 n'en diffère que par ses dimensions. (fig. 38). Comme dans l'artillerie de campagne, l'affût peut transporter sa pièce, et se compose de l'affût proprement dit et d'un avant-train.

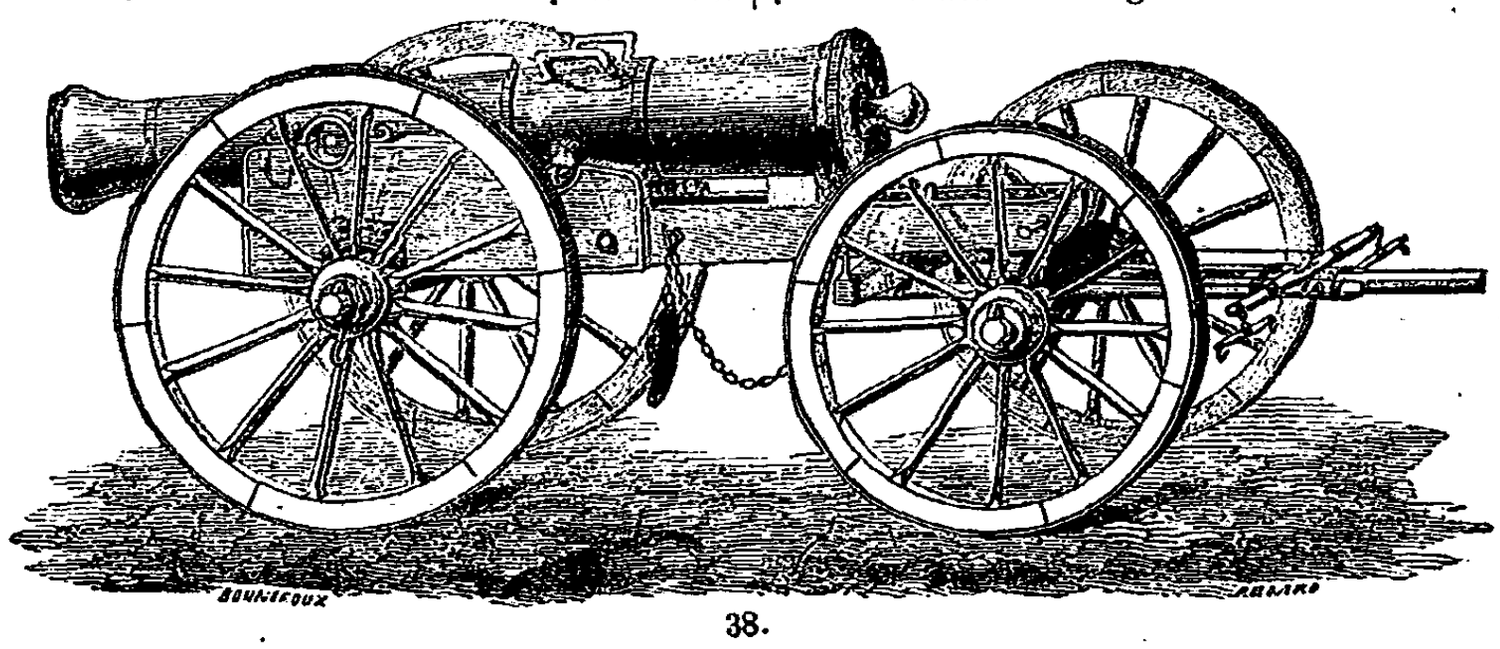
Outre les principes déjà énoncés, l'affût proprement dit demande à être construit dans les conditions suivantes pour le tir.

1° Être aussi élevé que le permet la manœuvre. En effet, la pièce de siége est abritée par une masse de terre percée d'une ouverture appelée embrasure; plus cette embrasure sera élevée au-dessus du sol, mieux la pièce et ses servants seront à couvert, mais d'un autre côté, les projectiles employés étant d'un certain poids, il faut que sa hauteur laisse toute liberté aux hommes pour la charger. Cette hauteur est donnée par une pièce de bois dont on garnit l'essieu en fer.

2° Le recul doit être borné aux stricts besoins du service.

En campagne, une pièce recule sans inconvénient, elle repose sur le sol naturel; une pièce de siége a besoin, en raison de son poids, d'un sol préparé, on lui construit donc une plate-forme en madriers jointifs, posant sur trois fortes lambourdes enterrées. Il y a économie de matériel, à faire la plate-forme la plus courte possible.

Le recul sera donc limité de manière à ce qu'il dégage seulement l'âme de la pièce de son embrasure pour l'exécution de la charge.



38.

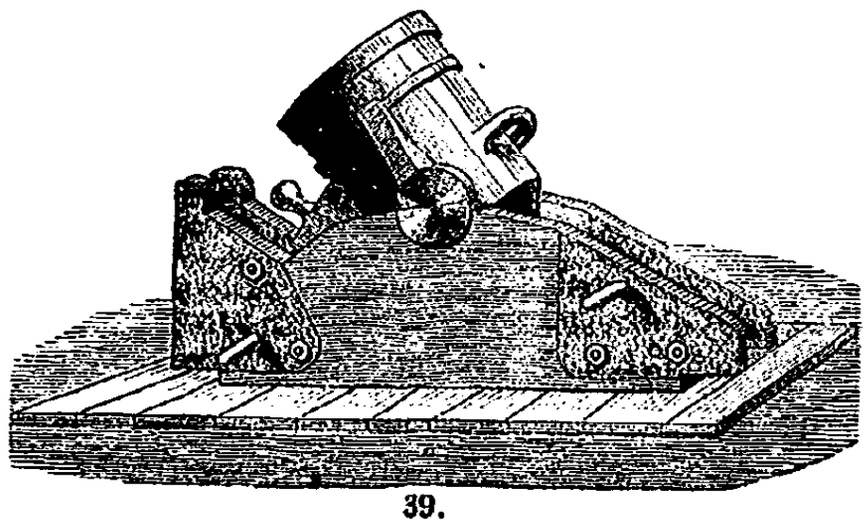
3° Aux deux côtés de l'affût, doivent se trouver des points d'application pour les leviers de manœuvre, les

ans en avant de l'essieu, d'autres en arrière, et d'autres encore près des croseos. Le poids de l'affût et de la pièce ne permettrait pas en effet de les diriger au moyen d'un simple levier de pointage. Une vis sert à donner à la pièce l'inclinaison voulue; quand l'affût est chargé d'un obusier, elle est remplacée par un coin, l'obusier étant trop court pour reposer sur la vis ; cette inclinaison doit pouvoir varier entre 12° au-dessus de l'horizon et 5° ou 6° au-dessous.

Jamais un équipage de siége n'est exposé à parcourir des terrains fort accidentés; on a donc dû renoncer à l'indépendance des deux parties de la voiture à quatre roues que forment l'affût et l'avant-train, et alors, employer un attelage supérieur à celui de l'artillerie de campagne. Les chevaux de derrière n'ont plus de supports pour résister aux oscillations du timon maintenu par une pièce de contre-appui et les chevaux de devant tirent directement sur une volée attachée à l'extrémité du timon.

Il faut remarquer que la cheville ouvrière traverse la pièce de contre-appui, ce qui donne une grande ouverture d'angle pour le tournant. Cette précaution jointe à la réunion des flasques à une flèche unique, a permis de donner aux quatre roues le même diamètre. Ce diamètre est de 1,55. Cependant le timon ne serait pas complétement soustrait aux réactions de l'arrière-train, si la pièce restait en route dans les encastrements du tir, il a fallu dans ce cas répartir d'une autre manière le poids des deux trains entre les essieux, et c'est là une des différences les plus importantes de l'affût de siége et de celui de campagne. Dans la position de route la pièce repose, par son premier renfort, sur un coussinet, que deux boulons unissent à la flèche et par la volée sur la tête de cette même flèche située au-dessus du second essieu. Deux chevilles-arrêtoirs s'opposent à un nouveau glissement des tourillons en avant, le talus des flasques empêche le glissement en arrière, et ces flasques empêchent tout mouvement de rotation sur l'axe de l'âme de la pièce, bien qu'ils ne supportent pas le moindre poids.

AFFUTS DE MORTIERS ET PIERRIERS. Les affûts de mortiers et pierriers (fig. 39) sont dans des conditions



39.

tout à fait différentes des affûts de canon, uniquement destinés au tir. Une voiture est nécessaire pour les transporter d'un lieu à un autre eux et leurs pièces.

On observera pour la construction de l'affût que :

1° Un mortier doit tirer sous un angle de 45°, cette cause et le faible rapport du poids de la pièce et du projectile rend tellement grande la percussion exercée normalement sur le sol, qu'il a fallu supprimer les roues et faire porter sur le sol les flasques dans toute leur longueur; et de plus ces flasques doivent avoir peu d'élévation pour que les efforts auxquels elles doivent résister tendent plutôt à les écraser qu'à les faire ployer dans le sens vertical.

2° Le mortier tire derrière un épaulement sans embrasures, le poids des bombes est fort considérable l'affût sera donc peu élevé au-dessus du sol.

3° La plate-forme sur laquelle il repose est composée de lambourdes de fort équarissage, elle sera donc fort lourde à transporter et on doit chercher à obtenir un recul minimum.

4°. Enfin pour lui donner la direction nécessaire, il faut des points d'application pour les leviers, les uns à la tête, les autres à la queue de l'affût.

AFFUTS DE PLACE ET COTE. La défense se sert des mêmes affûts que l'attaque pour ses canons, ses obusiers et ses mortiers; mais elle y en ajoute un qui lui est particulier, et que lui commandent impérieusement les nécessités de son service. Nous avons vu l'affût de siége en effet disposé derrière un terre-plein et faisant pénétrer la pièce à travers une embrasure. La défense doit être avare du sang de ses soldats dont le nombre est toujours restreint, l'embrasure ouvre une brèche à travers laquelle ils sont découverts. De plus, il lui faut donner à chacune de ses bouches à feu un vaste champ de tir, pour diriger tous ses feux à la fois sur un des établissements de l'ennemi, et celui-ci ruiné, les reporter aussitôt sur un autre point; autrement, si elle dispersait ses moyens de destruction, une grande quantité de munitions serait consommée, sans produire l'effet désiré. Il faut donc un affût de place qui élève la pièce au-dessus du parapet et lui donne le plus grand champ de tir possible.

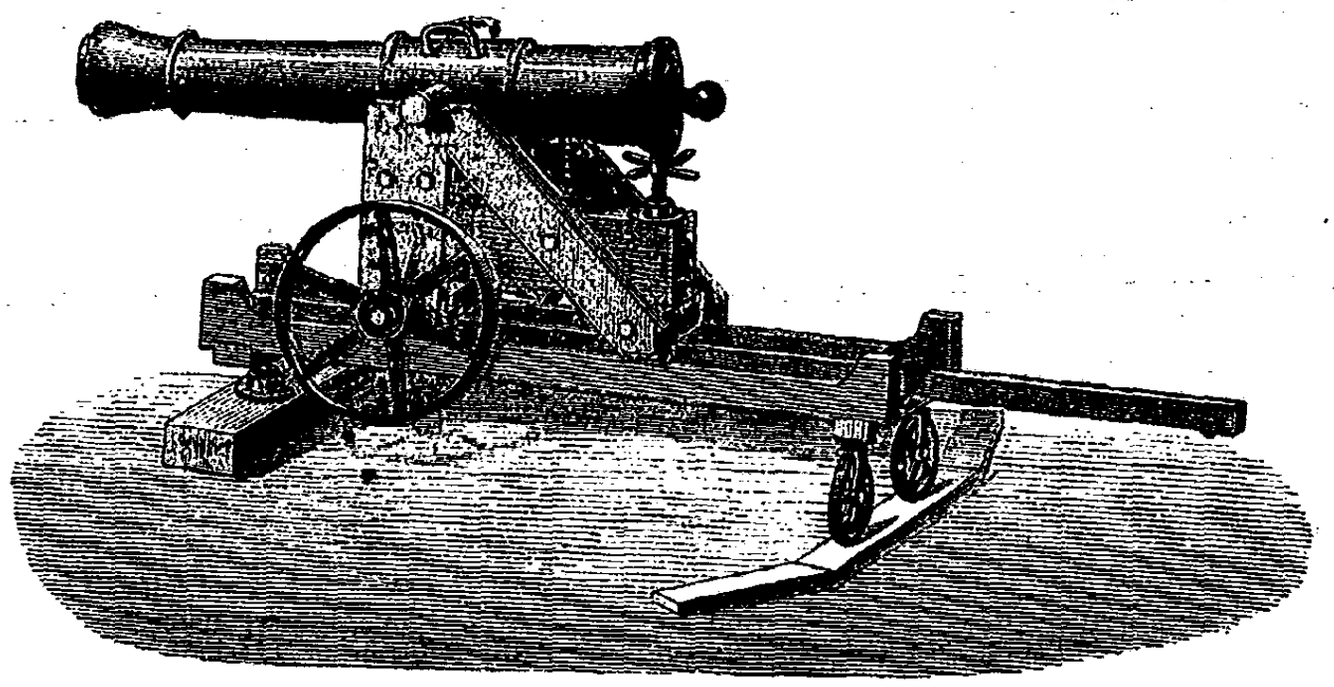
Les batteries destinées à défendre les bords de la mer sont mobiles ou fixes. Les premières doivent empêcher les débarquements, tirer sur les troupes, etc., ce seront donc des batteries de campagne; mais les secondes sont affectées à la défense de points principaux, tels qu'un port, une rade, etc. Composées de canons, d'obusiers et de mortiers elles sont placées derrière un épaulement. L'affût des mortiers reste le même comme nous l'avons dit pour toute espèce de service. Mais les canons et les obusiers tirant sur des buts mobiles comme des vaisseaux devront être montés sur des affûts élevant la pièce au-dessus du parapet et permettant de lui donner facilement toutes les directions.

Cette similitude de conditions avec les affûts de place a fait adopter le même système pour les deux services. Seulement, comme les pièces de côte sont destinées à tirer à de grandes portées, c'est-à-dire avec de fortes charges et sous de grands angles, l'on prendra pour base la résistance de leur affût; de plus, le voisinage de la mer détériore avec la plus grande promptitude les ferrures engagées dans le bois, elles devront donc être aussi peu nombreuses que possible.

Cette double condition d'élever la pièce au-dessus du parapet, et de lui donner un champ de tir fort étendu, s'obtient au moyen d'un élément nouveau. C'est un châssis composé de deux parties distinctes, le petit et le grand châssis.

Trois pièces longitudinales réunies par deux entretoises forment le grand châssis. Celles de droite et de gauche qui forment les côtés supportent l'affût, c'est sur elles qu'il se meut; à leurs deux extrémités, des taquets arrêtent sa marche, soit dans le recul, soit dans la mise en batterie Pour faciliter cette dernière manœuvre, le châssis est un peu incliné de l'arrière à l'avant. La pièce du milieu, ou poutrelle directrice, dépasse d'une quantité assez considérable la queue du châssis; elle sert à donner la direction.

C'est sur le petit châssis que repose la tête du grand. Deux semelles en bois assemblées par des entailles, un plateau circulaire également en bois, une cheville ouvrière en fer qui entre dans la tête de l'axe du grand châssis; telles sont les diverses parties du petit châssis.

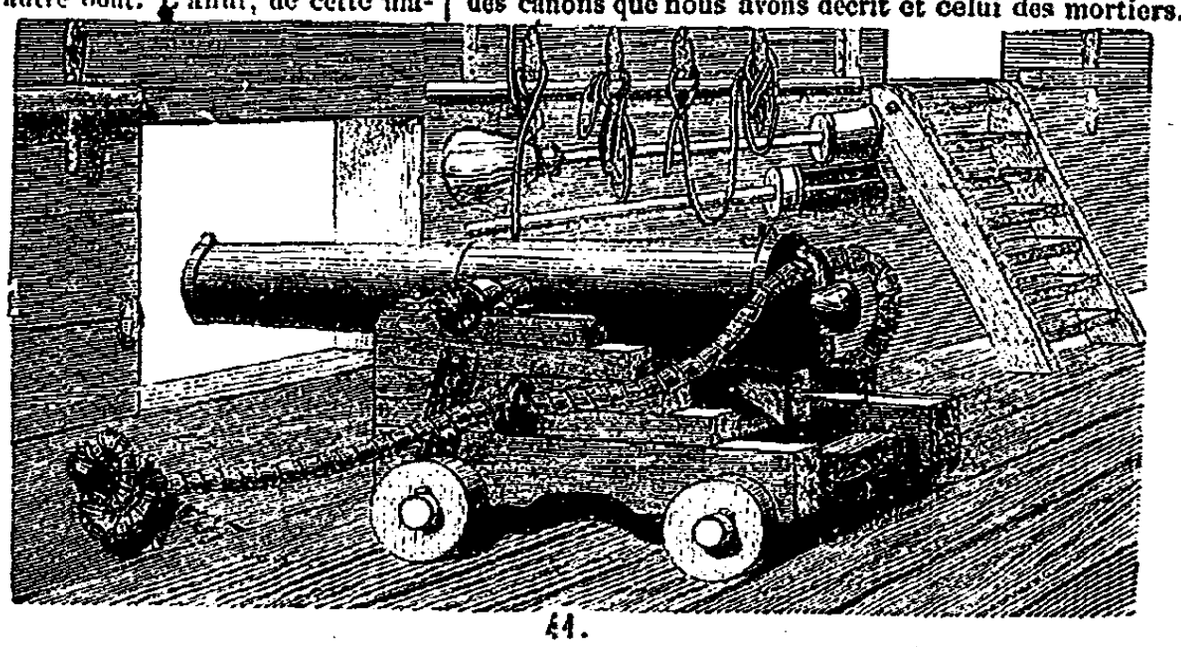


On comprend que le petit châssis étant fixe par sa nature, et ne se trouvant lié avec le grand qu'en un seul point, ce dernier est libre de se mouvoir en tous sens autour de ce point.

Pour obtenir ce mouvement circulaire et vaincre les frottements, la queue du grand châssis est supportée par deux roulettes en fonte tournant librement dans des châsses verticales. Ces roulettes circulent sur trois madriers posés bout à bout, c'est à cela que se réduit la plate-forme de l'affût de place et côte; il serait inutile, en effet, de faire un plancher complet comme pour les pièces de siége.

Quant à l'affût proprement dit, nous remarquerons :

1° Les flasques qui se composent chacun d'un montant légèrement incliné, et d'un arc-boutant dont l'ensemble figure une espèce de V renversé. Ils sont unis par des entretoises et un corps d'essieu en bois; de plus on a assemblé un fort tirant de bois, avec le corps d'essieu par son extrémité antérieure, et l'entretoise des arcs-boutants par son autre bout. L'affût, de cette manière, offre toutes les garanties nécessaires contre les commotions du tir, et ne laisse par son profil que peu de prise au ricochet dont les terribles effets détruisent si promptement l'armement d'une place.



41.

2° Les roues, de 1m,10 de diamètre, et la unette qui le termine, permettent d'en faire, au moyen d'un avant-train, une voiture à quatre roues, de telle sorte que la pièce peut être transportée facilement d'une place à une autre, le long du parapet, manœuvre si fréquente dans un siége.

3° Les moyeux des roues sont en fonte; ils s'appuient sur les côtés du châssis pendant l'exécution du tir, et fonctionnent ainsi comme des roues d'un très petit diamètre, ce qui permet de limiter le recul, ainsi que nous l'avons déjà fait observer.

Le service des places et côtes nécessite trois affûts de ce genre pour les canons de 24 et obusiers de 8, pour les canons de 16, et pour ceux de 12; mais ces trois affûts ne diffèrent que par leurs dimensions; ils ont le même châssis, le même essieu, les mêmes roues et le même avant-train, qui est l'avant-train de campagne déjà décrit.

AFFUT MARIN. La marine emploie sur ses vaisseaux des pièces d'un calibre en général très fort, ses boulets pèsent 36, 30, 24 et 18 livres; les obusiers Paixhans lancent des projectiles de 8 pouces de diamètre. Toutes ces pièces sont en fonte, et par conséquent d'un poids bien plus considérable que celui des pièces en bronze correspondantes. Le pont et les entreponts dans lesquels se trouvent les batteries sont nécessairement des espaces restreints; enfin jamais le service, comme dans l'artillerie de terre, ne demande que l'affût devienne une voiture susceptible de voyager. Par suite des violentes réactions qu'ont à supporter ces affûts, de leur immobilité une fois placés sur le vaisseau, et de la nécessité de diminuer le recul autant que possible, leur construction doit leur faire tenir le milieu entre l'affût des canons que nous avons décrit et celui des mortiers.

Ainsi des flasques peu élevés offrant une grande résistance à l'écrasement, de simples roulettes d'un petit rayon, montées sur des fusées d'un rayon comparativement beaucoup plus grand, donnent de grandes garanties à la résistance et à un minimum de recul. Mais ces garanties ne suffiraient pas à la deuxième condition, si l'on n'employait un procédé particulier à l'affût marin. La *brague* est un cordage qui passe dans une lunette que les pièces d'artillerie de marine portent au-dessus de leurs boutons de culasse, ce cordage entre ensuite dans deux anneaux qui se trouvent fixés sur les

côtés extérieurs des deux flasques, et va s'attacher à la paroi intérieure du bordage. Plus ou moins tendue suivant les besoins du service, la bragne fixe la pièce dans l'écoutille qui lui sert d'embrasure, l'empêche d'obéir au roulis du vaisseau, et, pendant l'exécution du tir, limite le recul dans l'espace strictement nécessaire.

Comme tous les autres affûts, l'affût marin est construit en fer et en bois; mais le bois doit chez lui remplacer les pièces en fer toutes les fois que la chose est praticable, à cause des promptes détériorations que fait éprouver, au fer engagé dans le bois, l'air de la mer.

Les principaux défauts que l'on peut reprocher aux différents affûts dont nous venons de donner une description succincte, sont moins inhérents à leurs formes et à leurs dimensions qu'aux matériaux dont ils sont composés. La nature de ces matériaux n'est même pas souvent sans influence sur certains vices de construction. Ainsi l'on a été obligé de réunir en une flèche les deux flasques de l'affût de campagne, afin de donner aux deux trains le plus grand angle de tournant possible; il s'en suit qu'à l'endroit même où l'affût reçoit les plus vives réactions le bois se trouve affaibli par deux boulons d'assemblage et la place de l'écrou de la vis de pointage. Supposez au lieu de bois une matière pouvant offrir la même résistance sous un plus petit volume, les flasques pourront alors être prolongés jusqu'à la crosse de l'affût sans offrir plus d'épaisseur que la flèche actuelle et le défaut signalé disparaîtra.

Mais de tous les reproches adressés au matériel de l'artillerie, le plus grave est sans contredit son peu de durée. Sur les côtes, dans les places et dans les parcs, les affûts pourrissent promptement; d'immenses magasins sont employés dans les arsenaux à garantir des approvisionnements de bois ruineux, que le temps, malgré ces précautions, détruit avec une telle rapidité que les dépenses pour leur renouvellement annuel se comptent par millions; enfin le déboisement général de la France rend de plus en plus rares, de plus en plus coûteux, les chênes de choix qui seuls peuvent remplir les conditions voulues pour la plupart des pièces.

On a donc cherché à remplacer le bois par une autre matière qui pût résister aux intempéries de l'atmosphère, le bronze dans presque tous les cas autres que celui de l'artillerie de campagne remplirait merveilleusement les conditions exigées, mais son prix a dû faire écarter toutes propositions de cette nature.

La fonte et le fer venaient ensuite; on a construit des affûts de place et de côte en fonte et en fer forgé. Comme service, ces affûts essayés à La Fère n'ont rien laissé à désirer, mais il n'en n'a pas été de même lorsque l'on a voulu expérimenter l'effet que produiraient sur eux les projectiles ennemis.

On sait que le tir à ricochet, c'est-à-dire les boulets qui viennent en bondissant enfiler les faces des ouvrages d'une place, est destiné à détruire son matériel. Telle est la puissance de ce tir, qu'il constitue à lui seul, pour ainsi dire, la supériorité de l'attaque sur la défense. Or les nouveaux affûts en augmenteraient beaucoup la puissance; ainsi en armant une place de cette manière, on diminuerait d'autant ses chances de résistance. Quand un boulet vient frapper une pièce de bois, la partie atteinte est enlevée, mais la vitesse ne se communique pas au reste de l'affût. Il n'en est pas de même de la fonte dont la cohésion moléculaire est telle que les affûts volaient en éclats sous les chocs des projectiles, et produisaient une mitraille si terrible qu'outre la destruction de son matériel, la place aurait bientôt perdu tous ses défenseurs.

On avait fondé quelques espérances sur l'affût en fer forgé, mais il fut aussi maltraité que les autres, et même le nombre de ses éclats fut plus considérable. Ce dernier résultat peut-être pourrait être discuté. N'y avait-il pas une trop grande solidarité entre toutes les pièces de l'affût? De quelle nature était le fer employé? Le fer obtenu dans les hauts fourneaux au coke est généralement aigre, cassant. En Espagne le fer de *Somorostro*, extrait directement du minerai dans des forges à la catalane, est tellement doux que les fers des mulets, les cercles des roues des voitures à bœuf des paysans des montagnes et mille autres menus objets, se forgent à froid. Un pareil fer aurait-il volé en éclats sous le choc d'un projectile animé même d'une grande vitesse? Il est donc admis aujourd'hui que la fonte doit être proscrite dans la construction des affûts destinés à être exposés au tir à ricochet. Sur les côtes, dans les casemates, ce tir n'est pas à craindre : de nouvelles expériences feront sans doute adopter pour ces deux services des affûts en fonte.

Il a paru cependant à quelques partisans déclarés de l'emploi de la fonte qu'un pareil jugement ne devait pas être sans appel. On remarque en effet que la forme du corps choqué n'est pas sans importance pour les résultats de ce choc. Ainsi un cube énorme de fonte sera brisé par la rencontre d'un boulet de 24, et ce même boulet sera sans effet et volera lui-même en éclats s'il vient heurter la surface extérieure d'un canon en fonte dont l'épaisseur est bien moindre que celle du cube brisé. Ne serait-il pas alors facile de construire un affût en fonte qui ne présenterait au tir à ricochet que des surfaces cylindriques de diamètre et d'épaisseur égale à celle des canons de 24 de la marine?

Pour l'artillerie de campagne, une condition de plus est à remplir que pour l'artillerie de place et même de siége, c'est la facilité des réparations. Il faut qu'en route, sur le champ de bataille presque, la plupart des menues réparations puissent être effectuées de suite, sans autres moyens que ceux que l'on a ordinairement à sa disposition. Plusieurs essais, presque tous contestés, ont été tentés. En Angleterre des expériences ont été faites et ont paru satisfaisantes, mais la plus concluante de toutes, si les faits annoncés sont parfaitement exacts, serait celle de l'artillerie wurtembergeoise. Un affût en fer forgé a manœuvré sans accident aucun au polygone, puis exposé au tir d'une batterie, il a été mis en pièces, alors séance tenante, on l'a reconstruit avec le seul secours de la forge de campagne, et il a recommencé sa manœuvre.

Le problème à résoudre peut donc être posé en ces termes :

Pour les affûts de campagne, élasticité et indépendance entre toutes les parties du système, afin qu'une trop grande solidarité ne fasse pas éclater l'affût tout entier sous un seul choc, possibilité de réparer toutes les pièces à la forge de campagne. Pour les affûts de place et côte, résistance au choc des projectiles, mais sans trop exagérer le poids de l'affût. On parviendrait peut-être à ce dernier résultat par un alliage qui serait doué de la ductilité du cuivre ou du bronze et n'aurait qu'un prix modéré. Rien n'a été tenté dans cette voie, on fait aujourd'hui des objets en fonte dite malléable, ces objets ont, dit-on, toute la résistance à la flexion du fer le plus doux; peut-être obtiendrait-on quelques résultats avantageux en traitant la fonte employée dans les affûts comme la fonte malléable. CHANAL.

AFFUTER. — AFFILER. Quand un outil tranchant ou pointu a servi pendant quelque temps, il se trouve hors de service. Pour pouvoir s'en servir de nouveau, on l'*affûte* ou on le *repasse*, soit en le frottant sur des pierres ordinairement en grès fin compacte, soit au moyen de meules mues avec rapidité. L'usure produite sur les faces de l'outil en diminue l'épaisseur et rend par suite plus vif l'angle du tranchant. Mais cette partie, devenue trop fine, se courbe sous l'action de la meule et forme une partie très mince qui se recourbe; c'est ce qu'on appelle le *morfil*, qui rend nécessaire un affilage subséquent. Cet affilage se fait en général en reployant

le morfil s'il est trop long, puis, dans tous les cas, en passant légèrement l'outil sur une pierre à l'huile très-douce et à grains très-fin. Voyez COUTELLERIE.

AGARIC. Nom générique de certains champignons appartenant aux genres *boletus* et *fungus*; ils donnent une coloration noire avec les sels de fer. On dit qu'on peut en fabriquer une espèce d'encre de Chine.

AGATE. Pierre siliceuse, ordinairement rubannée, qu'on taille en cachets ou sous toute autre forme, pour les articles grossiers de la joaillerie. Voyez PIERRE PRÉCIEUSE et QUARTZ.

AGGLOMÉRÉS. A l'article GOUDRON il a été parlé de l'emploi de cette substance pour obtenir, à l'aide du mucus de houille, des masses d'un emmagasinement facile, dont la navigation à vapeur et les chemins de fer font aujourd'hui grand usage. Les houillères qui produisent beaucoup de mucus ont adopté avec empressement cette méthode, qui, combinée avec le lavage (Voyez COLLE), permet d'obtenir de beaux produits.

AGRICULTURE. En présence du chiffre de nos importations annuelles de denrées alimentaires, et de l'accroissement continuel de notre population, on ne saurait mettre en doute l'impérieuse nécessité de s'occuper des moyens d'augmenter la production agricole de la France, pour la mettre en rapport avec les besoins toujours croissants de la consommation journalière.

Grâce à la vulgarisation des théories scientifiques et aux encouragements qui lui ont été prodigués, l'industrie française a reçu, depuis un demi-siècle, un admirable développement. Il est temps de faire pour l'agriculture ce que l'on fait pour l'industrie manufacturière : il faut que les hommes d'instruction et d'énergie s'occupent enfin d'opérations agricoles, et que la science vienne éclairer la pratique du cultivateur.

Les travaux agricoles convenablement dirigés sont assez lucratifs — nous le démontrerons par des faits nombreux — pour attirer l'attention des spéculateurs, et offrent assez d'attrait pour occuper les hommes les plus capables et les plus actifs. La science, de son côté, possède maintenant les éléments nécessaires pour expliquer et prévoir la plupart des phénomènes.

Le rôle de chaque plante, de mieux en mieux connu, permet de réaliser autour d'elle les conditions les plus favorables à son développement; l'étude chimique de l'alimentation végétale perfectionne la théorie des assolements et détermine les éléments qu'il faut ajouter ou retrancher au sol pour le rendre propre à telle ou telle culture.

La mécanique apporte chaque jour de nouveaux perfectionnements aux instruments agricoles et utilise de plus en plus au profit de l'homme, les forces naturelles.

La puissance de la vapeur livre à la culture d'immenses surfaces de terrains jusqu'alors recouverts par les eaux ; d'autres contrées sont arrosées, d'autres, enfin, assainies par d'ingénieux systèmes de travaux souterrains, voient de magnifiques récoltes remplacer la stérilité la plus complète.

L'agriculture, par l'introduction dans la pratique des données scientifiques et des ressources de la mécanique, constitue maintenant, par elle-même, une véritable industrie manufacturière, et doit dès lors occuper dans le *Dictionnaire*, une place en rapport avec son importance.

Nous ne prétendons pas, on le conçoit, enseigner ici la pratique agricole ; mais nous entrerons dans assez de détails pour nous faire entendre du cultivateur praticien, lui faire comprendre la théorie de ses opérations, lui permettre d'apprécier sainement le but et les résultats de chacune d'elles, ainsi que les avantages et les inconvénients des diverses méthodes qui lui seront proposées.

Les opérations agricoles les plus importantes et les plus lucratives sont basées sur l'*aménagement* des eaux

AGRICULTURE.

de domaines, ou de contrées plus ou moins étendues. Ces opérations exigent le concours de grands capitaux et de connaissances spéciales. Elles peuvent donner lieu à de véritables entreprises industrielles et à la formation de puissantes associations. L'intérêt qui s'attache aujourd'hui aux irrigations, aux desséchements et au drainage des terres, l'importance de ces divers travaux, au double point de vue des intérêts généraux et des spéculations particulières, expliquent l'étendue de la partie de cet article consacrée à ce sujet, que nous avons cherché à faire connaître le plus complétement possible.

Obligé de réunir dans un cadre fort restreint des documents extrêmement nombreux, nous avons dû chercher à les classer avec ordre, en évitant toute répétition et tout développement d'une utilité douteuse. Après quelques données statistiques qui permettront d'apprécier la valeur de la production territoriale de notre pays et l'importance des questions qui s'y rapportent, nous exposerons les principes les plus essentiels de la science agricole; nous étudierons ensuite les travaux d'aménagement des eaux, qui doivent souvent précéder toute entreprise de culture. Ces notions préliminaires suffiront pour étudier rapidement, et cependant d'une manière assez complète, les procédés agricoles proprement dits et les constructions que réclame une exploitation bien dirigée.

Voici, du reste, les divisions principales que nous avons cru devoir adopter; il est utile de les indiquer ici pour en faire comprendre l'ensemble :

I. Statistique agricole de la France.
II. Principes généraux de la science agricole.
III. Aménagement des eaux au point de vue agricole.
IV. Opérations mécaniques de culture ; machines agricoles.
V. Alimentation végétale ; engrais et amendements.
VI. Cultures ; assolements.
VII. Animaux domestiques.
VIII. Constructions rurales.

CHAPITRE Ier.

STATISTIQUE AGRICOLE DE LA FRANCE.

Il conviendrait sans doute, dans un traité complet, de présenter d'abord des notions historiques plus ou moins étendues sur l'agriculture, de rechercher l'origine des divers procédés, de citer les auteurs des principales découvertes, de suivre les progrès successifs de cet art, dont l'origine se perd dans la nuit des temps, et d'apprécier l'influence des institutions publiques sur la position du cultivateur et sur le développement de l'industrie qu'il exerce. A notre point de vue purement pratique, cette étude rétrospective, d'une immense difficulté, d'une étendue sans bornes, ne présente aucune utilité réelle. Nous nous contenterons, par conséquent, de citer les faits historiques à côté des opinions qu'ils tendent à justifier ou des pratiques dont ils pourront éclairer l'usage, sans nous occuper de les grouper dès l'abord d'une manière systématique. Mais il nous importe de connaître l'état actuel de l'agriculture française et de le comparer à celui des nations voisines, placées dans des circonstances plus ou moins analogues à celles où nous nous trouvons nous-mêmes, pour reconnaître les améliorations à réaliser ou les écueils à éviter. Rappelons donc d'une manière succincte les données principales de la statistique agricole.

La France, grâce à son étendue, à la diversité de hauteur et d'exposition des différentes parties de son territoire, offre le rapprochement de climats assez différents et des cultures les plus dissemblables; on peut la partager, au point de vue de ses productions naturelles, comme Arthur Young paraît, un des premiers, avoir essayé de le faire, en quatre zones ou régions agricoles à peu près parallèles et dirigées du sud-ouest au nord-est. La première de ces zones, comprise entre la Méditerranée et une ligne droite passant par Carcassonne et Montélimart, est caractérisée par la culture de l'olivier. La zone suivante produit la vigne et le maïs; elle est limitée par la zone précédente, d'une part, et de l'autre par une ligne passant par Bourges et l'embouchure de la Garonne. La troisième zone est encore propre à la culture de la vigne, mais n'admet plus celle du maïs; elle est limitée par une ligne menée de Guérande à Coucy. La dernière zone, enfin, ne présente plus la culture de la vigne. Cette division, vraie d'une manière générale, ne saurait, on le conçoit, supporter un examen de détail : les abris, les différences de cultures, d'altitudes, de natures de terrain, et une foule d'autres circonstances inutiles à détailler, transforment en lignes singulièrement contournées les limites rectilignes indiquées par l'auteur que l'on vient de citer. Mais cette division grossière suffit pour donner une idée générale de la répartition de nos cultures, considérées dans leur ensemble, et méritait, sous ce rapport, d'être mentionnée.

Cet aperçu général est du reste complétement insuffisant pour faire concevoir la variété de nos produits et la richesse de notre sol. Chaque zone principale, sans perdre ses caractères généraux, se partage en contrées d'un aspect particulier. Nos anciennes provinces présentent presque toutes les caractères spéciaux qui les distinguent, les caractérisent, et feront conserver longtemps encore aux contrées qui les composaient les dénominations que notre nouvelle division administrative semblait devoir effacer en peu de temps. Des caractères plus spéciaux encore que ceux des provinces agricoles appartiennent aux *contrées* agricoles; ils donnent à chacune d'elles sa physionomie particulière, déterminent les conditions de ses cultures et la nature des améliorations à y exécuter. Une monographie exacte et détaillée de nos principales contrées agricoles serait un des travaux les plus utiles et les plus importants. Ces documents, ces portraits agricoles, si l'on peut s'exprimer ainsi, sont malheureusement encore ou trop peu nombreux, ou trop incomplets, pour qu'il soit possible, en les réunissant ici, de produire une esquisse de géographie agricole suffisamment exacte pour être de quelque utilité; on se bornera donc, quant à présent, à une étude de chiffres, sauf à donner plus loin quelques renseignements sur l'aspect général de l'agriculture de certaines localités dont on devra s'occuper d'une manière particulière.

Les auteurs de la *Statistique officielle de la France* ont partagé le territoire en quatre régions, déterminées par l'intersection du méridien de Paris et du 47e parallèle. Cette division, fort commode pour les opérations du vaste travail que l'administration voulait entreprendre, n'est nullement en rapport avec les faits agricoles, et ne saurait donner à cet égard aucun renseignement positif; mais il était nécessaire de la connaître pour l'intelligence de ce qui va suivre.

La surface totale de la France, d'après M. Moreau de Jonnès, auquel nous empruntons la plupart des chiffres suivants, est de 52 millions 768,618 hectares, dont plus de 50 millions constituent le domaine agricole. Il convient d'étudier séparément, comme l'ont fait les auteurs de la *Statistique officielle*, la production végétale et la production animale de cet immense territoire.

AGRICULTURE.

1o *Production végétale.*

Nous avons réuni dans le tableau suivant les renseignements qui forment le résumé sommaire placé à la fin de la *Statistique officielle*.

Les chiffres de ce tableau ne présentent pas tous le même degré de certitude, comme le remarquent eux-mêmes les auteurs de la *Statistique*. Les renseignements relatifs aux céréales sont aussi exacts que possible; mais diverses causes d'erreurs peuvent avoir influé sur la détermination des quantités de plusieurs autres produits. L'extrême division de la culture des pommes de terre, la grande variété des produits du jardinage, rendent presque impossible toute évaluation complétement rigoureuse. La nouveauté et la division des cultures secondaires, telles que le colza, le houblon, etc., laissent des doutes sur les chiffres qui s'y rapportent. Les produits des prairies artificielles, qui sont du trèfle, de la luzerne et du sainfoin, varient en quantité et en valeur suivant ces espèces, et comme on n'a pu en tenir compte séparément, les termes généraux qui ont été adoptés ne sont que des approximations. On pourrait faire au sujet d'autres chiffres encore des observations analogues à celles qui précèdent; néanmoins les résultats fournis par la statistique générale offrent un degré d'exactitude qui n'avait jamais été obtenu dans aucun travail de cette nature, et qui donne un puissant intérêt aux renseignements qu'elle fournit.

L'administration s'est trouvée forcée d'omettre dans ses tableaux quelques produits qu'elle n'a pu faire évaluer avec une exactitude convenable, notamment les pailles, les récoltes des oseraies, de certains vergers, etc. On est obligé pour ces diverses matières d'avoir recours à des estimations basées sur des observations plus ou moins complètes, mais ne présentant pas de caractère officiel. En ce qui concerne les pailles, M. Moreau de Jonnès estime que leur production se partage de la manière suivante entre les diverses espèces :

	Production annuelle.	Production par hect.
Froment.	110,906,026q.m.	19q.m.,71
Seigle et méteil.	68,870,902	19 ,18
Avoine.	42,799,750	14 ,19
Maïs.	6,890,974	10 ,91
	229,467,652q.m.	16q.m.,00

La valeur totale de ces pailles, suivant le même auteur, s'élèverait à 761,767,460 fr., soit environ 36 pour 100 de la valeur totale des céréales elles-mêmes.

M. Royer a cherché à combler les lacunes que laissaient subsister les omissions de la statistique officielle et à rectifier quelques-unes des évaluations présentées dans ce grand travail. D'après cet auteur, on doit ajouter aux estimations du grand tableau les sommes suivantes :

Additions par rectifications. . . .	1,433,082,814 fr.
Valeur des pailles, résidus, etc., non évalués.	524,279,924 fr
Valeur du pâturage, etc., non évalué.	57,887,035 fr.
	2,015,249,773 fr.

ce qui porterait à 6 milliards et demi environ par an la valeur totale de la production végétale en France. Ce chiffre ne paraît pas exagéré, quand on tient compte de la faiblesse de certains prix d'estimation admis dans les calculs de la *Statistique officielle*; il est cependant un peu supérieur à l'évaluation de M. Moreau de Jonnès.

On ne saurait examiner ici en détail la répartition des diverses cultures et les renseignements spéciaux qui se rapportent à chacune d'elles; mais l'importance du

DÉSIGNATION DES CULTURES ET PRODUITS.	SURFACE DES CULTURES. Par espèces.	SURFACE DES CULTURES. Par groupes.	QUANTITÉ TOTALE ANNUELLE. Du produit.	QUANTITÉ TOTALE ANNUELLE. de la semence.	PRIX moyen.	VALEUR TOTALE DU PRODUIT ANNUEL. Par espèces.	VALEUR TOTALE DU PRODUIT ANNUEL. Par groupes.
CÉRÉALES.	hectares.	hectares.	hectol.	hectol.	fr. c.	fr.	fr.
Froment.	5586786,53	» »	69558062	11441780	15 85	1102768057	» »
Épeautre.	4733,43	» »	136127	15752	5 95	806723	» »
Méteil.	910932,59	» »	11829448	1932427	12 20	144170351	» »
Seigle.	2577253,88	» »	27841700	5139422	10 65	296292740	» »
Orge.	1188189,53	» »	16661462	2575615	8 25	137622411	» »
Avoine.	3000634,19	» »	48899785	7015508	6 20	302011470	» »
Maïs.	631734,89	13900262,01	7620264	242792	9 40	71796084	2055467836
CULTURES DIVERSES							
Pommes de terre. . .	921970,59	» »	96233985	10267255	2 10	202105866	» »
Sarrasin.	651241,92	» »	8469788	551562	7 25	61388641	» »
Légumes secs.. . . .	298925,72	» »	3460877	539893	15 05	52007840	» »
Jardins..	360696,41	» »	» »	» »	»	157093888	» »
Betteraves.	57663,15	» »	15740694 qm	444892 k	4 85	28979449	» »
Colza.	173506,39	» »	2279363 h	19859 h	22 45	51126744	» »
Chanvre. Graine.	176148,48	» »	1671641	450799	47 05	86287341	» »
Chanvre. Filasse.			67507076 k		0 90		» »
Lin. Graine.	98241,41	» »	737394 h	252472	21 65	57507216	» »
Lin. Filasse.			36875401 k		1 15		» »
Tabac.	7955,31	» »	88897 qm	» »	61 70	5483558	» »
Garance.	14674,25	» »	460340	» »	58 25	9343349	» »
Houblon.	826,89	» »	888289 k	» »	1 05	951559	» »
Châtaigneraies. . . .	455386,87	» »	3478582 h	» »	3 90	13528190	» »
Autres cultures. . . .	226901,62	3442139,01	» »	» »	»	12209868	» »
Mûriers.	» »	» »	» »	» »	»	12779088	» »
Oliviers.	» »	» »	467330	» »	136 10	22776398	803568995
PATURAGES.							
Prairies naturelles. .	4198197,88	» »	105203888 qm	» »	»	462598243	» »
Prairies artificielles..	1576547,19	» »	47258674	29091061 k	»	203765169	» »
Jachères.	6763281,34	» »	» »	» »	»	92285902	» »
Pâtures et pâtis.. . .	9191076,08	21729102,49	» »	» »	»	82064046	840713360
FORÊTS.							
De la Couronne. . .	52972,03	» »	110253 st	» »	»	1047404	» »
De l'État.	1048907,63	» »	5203499	» »	»	32871969	» »
Des communes et des particuliers. . . .	7333965,91	» »	29256833	» »	»	172681452	» »
Sol forestier. . . .	368705,40	8804550,97	» »	» »	»	» »	206600525
BOISSONS.	1972340,21	1972340,21	» »	» »	»	» »	» »
Vins.	» »	» »	36783223 h	» »	11 10	419029152	» »
Eaux-de-vie.	» »	» »	1088802	» »	54 25	59059450	» »
Cidre. Gros.	» »	» »	10880947	» »	10 10	84422437	» »
Cidre. Petit.					4 65		» »
Bière. Forte.	» »	» »	3885365	» »	20 85	58035735	» »
Bière. Petite.					7 90		620546474
Bière. Mélangée.					10 50		
VERGERS.							
Pépinières et oseraies.	766577,91	766577,94	» »	» »	»	» »	» »
DOMAINE AGRICOLE.	50614972,63	50614972,63	» »	» »	»	» »	» »
AUTRES SURFACES..	» »	2153646,22	» »	» »	»	» »	» »
Totaux. . . .	» »	52768618,85	» »	» »	»	» »	4526896890

AGRICULTURE.

froment ne permet pas de passer sous silence les faits principaux relatifs à cette intéressante culture.

Le froment est cultivé dans tous les départements, mais il y a une très grande différence entre l'étendue relative de sa culture dans chacun d'eux; ainsi, tandis qu'elle occupe dans le Gers 144,667 hectares, elle ne s'étend dans la Creuse que sur 1,242 hectares. Le tableau suivant rend bien sensible l'inégalité de l'étendue de cette culture dans les différentes parties de la France :

	hect.	hect.		
Nord oriental. . .	1,584,335		29 p.%	»
Midi oriental. . . .	953,635		47	»
France orientale. .	2,537,970	2,537,970	46	46
Nord occidental. .	1,465,705		26	»
Midi occidental. . .	1,543,192		28	»
France occidentale.	3,008,897	3,008,897	54	54
France continent..		5,546,867	»	100
Corse.	39,919	39,919	»	»
Total.		5,586,786		100

Des inégalités plus prononcées encore que celles qui se produisent dans l'étendue de la culture s'observent dans la moyenne annuelle de la consommation individuelle dans nos différents départements, comme le prouvent les chiffres suivants :

Consommation moyenne par habitant.

		hectol.
Maxima.	Gers.	3,07
	Tarn-et-Garonne.	3,06
	Calvados.	2,89
	Lot-et-Garonne.	2,84
	Seine.	2,72
	Seine-Inférieure.	2,54
Minima.	Morbihan.	0,54
	Ardèche.	0,46
	Corrèze.	0,41
	Lozère.	0,34
	Loire	0,26
	Cantal.	0,18

Nous ne pousserons pas plus loin, quant à présent, ces études comparatives, sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir plus loin.

2° *Animaux domestiques.*

Les animaux domestiques forment aujourd'hui une partie importante de notre production agricole, la France ne possède cependant que trois bœufs ou vaches, et neuf moutons ou brebis par dix habitants, proportion inférieure à celle des mêmes animaux en Angleterre, en Prusse, en Sardaigne, en Espagne, etc., et bien minime si on la compare à l'abondance de bestiaux qui existait chez certains peuples de l'antiquité. Voici, du reste, le résumé des renseignements fournis par la *Statistique officielle* sur l'ensemble de la richesse et de la production animale en France (voir le tableau ci-dessous).

Certains chiffres de ce tableau ne présentent pas toute la certitude désirable; tels sont principalement ceux qui se rapportent à la fixation de la valeur du revenu annuel et à la détermination du poids brut et du poids net.

Les rapports des nombres des diverses espèces d'animaux à la population paraissent à peu près égaux à ce qu'ils étaient aux époques antérieures, c'est-à-dire que l'accroissement du nombre des animaux domestiques, semble suivre à peu près la même loi que celui de la population elle-même.

La valeur totale et le produit annuel des animaux domestiques, indiqués en masse dans le tableau ci-dessous, se partagent de la manière suivante entre les diverses parties du territoire :

	Valeur. fr.	Produit des animaux vivants
Nord oriental. . . .	529,978,504	221,004,583
Midi oriental. . . .	346,930,228	128,572,101
France orientale. . .	876,908,732	349,576,684
Nord occidental. . .	581,477,390	287,051,238
Midi occidental. . .	402,691,852	127,337,090
France occidentale. .	984,169,242	414,388,328
France continentale.	1861,077,974	763,965,012
Corse.	9,494,395	3,286,839
Totaux. . .	1,870,572,369	767,251,851

DÉSIGNATION des ESPÈCES.	NOMBRE total de chaque espèce D'ANIMAUX.	PRIX moyen par TÊTE.	VALEUR TOTALE.	Revenu moyen par tête et par an	REVENU TOTAL par an.	NOMBRE d'animaux abattus par an.	Poids brut par tête.	Poids net par tête.	CONSOMMATION totale par an.	VALEUR TOTALE de la viande consommée par année.
		fr. c.	fr.	fr. c.	fr.		kil.	kil.	kil.	fr.
Taureaux. . .	399,026	84	33,613,990	24 30	9,695,577	»	»	»	»	»
Bœufs. . . .	1,968,838	153	301,819,337	31 80	62,576,699	492,905	413	248	122,446,618	100,557,522
Vaches. . . .	5,501,825	89	487,875,663	39 05	214,790,694	718,956	240	144	103,567,986	71,454,288
Veaux. . . .	2,066,849	26	52,936,763	12 15	25,153,237	2,487,362	48	29	72,874,391	57,278,746
Béliers. . . .	575,715	16 05	9,243,405	4 55	2,607,790	»	»	»	»	»
Moutons. . . .	9,462,180	13 50	127,862,305	4 45	42,233,317	3,432,166	28	17	56,664,356	50,120,144
Brebis. . . .	14,804,946	9 20	135,938,491	4 05	59,925,119	1,337,327	20	12	16,695,674	11,044,985
Agneaux. . . .	7,308,589	5 70	41,539,056	2 10	15,284,217	1,035,188	10	6	6,313,291	5,661,761
Porcs. . . .	4,910,721	35 00	172,556,008	16 15	79,427,010	3,957,407	91	73	290,446,475	243,683,483
Chèvres. . . .	964,300	9 20	8,851,451	5 65	5,448,301	157,416	22	12	1,906,385	896,014
Chevaux (1). .	1,271,630	172	218,408,584	95 05	120,852,951	»	»	»	»	»
Juments. . . .	1,194,231	146	174,709,681	76 70	91,583,056	»	»	»	»	»
Poulains. . . .	352,635	70	24,626,018	24 55	8,659,029	»	»	»	»	»
Mules et mulets	373,841	172	64,284,246	56 85	21,244,148	»	»	»	»	»
Ânes et ânesses	413,519	39	16,217,371	18 80	7,771,306	»	»	»	»	»
Totaux. . .	. . . . .	. . . .	1,870,572,369		767,251,851	13,618,727			673,389,781 (a)	543,180,518 (b)

(1) Non compris 50,987 chevaux de l'armée. — (a) Y compris 2,474,605 kilogrammes de viande à la main vendus à Paris. — (b) Y compris la valeur de la viande à la main.

Le nord occidental se place au premier rang, sous le rapport de la valeur totale et du produit annuel de ses animaux domestiques. Cette supériorité est due à l'immense influence de circonstances locales particulières. Le Nord, malgré son agriculture si avancée, se trouve surpassé, sous ce rapport, par la Normandie, que favorise un ciel si convenable à l'entretien du bétail et au développement des pâturages.

Aux chiffres fournis par les tableaux précédents, on doit ajouter certaines sommes assez importantes, pour obtenir la valeur totale du produit annuel des animaux. Le cuir, les cornes, les abats, le suif, les produits des basses-cours, etc., ne figurent pas, en effet, dans la *Statistique officielle;* on est obligé de les évaluer par des déductions plus ou moins rigoureuses; voici le résumé des calculs présentés à cet égard par M. Moreau de Jonnès :

Produit des animaux vivants, comme au tableau.	767,251,851
Viande consommée, comme au tabl.	543,180,518
Autres produits alimentaires.	62,775,000
Produits industriels.	92,529,000
Cire et miel.	15,000,000
Total général.	1,480,736,369

3° *Récapitulation.*

En réunissant la valeur de la production végétale à celle de la production animale, on obtient un total de 6 milliards environ; mais on doit retrancher de cette somme la valeur du produit des pâturages qui est consommé par les animaux, ce qui réduit à 5 milliards et 166 millions environ le produit total annuel de l'agriculture française. On examinera plus loin (chapitre IX) comment se répartit cette masse énorme de richesses, et les moyens de favoriser son accroissement progressif; mais on voulait seulement, dans cette introduction, faire apprécier la prodigieuse importance de l'agriculture dans notre pays et l'intérêt qui s'attache aux plus légères améliorations, quand elles s'étendent à des masses de produits aussi considérables; les chiffres précédents nous semblent suffire complétement pour atteindre ce but.

CHAPITRE II.

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA SCIENCE AGRICOLE.

Première section. — Notions générales.

Le but de l'agriculture est de produire les matières du règne végétal et du règne animal nécessaires aux besoins de l'homme. Une exploitation agricole est une véritable fabrique de végétaux et d'animaux, et comme ces derniers se nourrissent presque exclusivement de matières végétales, c'est à la production de ces substances que se ramène en définitive le problème agricole, considéré d'une manière abstraite.

Comme toutes les industries qui combinent et transforment les substances élémentaires pour constituer des produits nouveaux, l'agriculture est essentiellement un art chimique. Mais, comme tous les arts de cette espèce, elle appelle à son aide la mécanique pour préparer de mille manières les matériaux qu'elle met en œuvre, et, de plus, opérant sur les plantes et les animaux, elle doit s'appuyer constamment sur deux autres sciences non moins importantes pour elle, la physiologie végétale et la physiologie animale avec toutes leurs applications.

Les êtres organisés sont formés, comme on le sait, d'un petit nombre d'éléments principaux : l'oxygène, l'hydrogène, le carbone et l'azote, combinés sous mille

AGRICULTURE.

formes diverses, et auxquels viennent s'ajouter en faible proportion quelques substances minérales, dont le rôle, bien que secondaire, est cependant de la plus haute importance. Mais il ne suffit pas, pour produire les réactions mystérieuses qui donnent naissance à telle ou telle plante, de mettre en présence les éléments qui la constituent, il faut encore savoir réaliser les conditions physiques et chimiques nécessaires au développement et à l'entretien de la vie, et fournir au végétal, sous une forme appropriée à sa nature, les aliments dont il a besoin. Posé dans ses termes les plus généraux, le problème dont l'agriculture doit chercher la solution serait donc de modifier les propriétés physiques et chimiques d'un sol donné de telle sorte qu'il puisse produire une récolte déterminée.

La science ne prétend pas, il est inutile de le dire, résoudre un tel problème, et ne doit même pas se le poser sans d'importantes restrictions. Bien que l'homme, par ses travaux, puisse dans certaines limites modifier un climat, il y aurait folie pour lui à prétendre naturaliser une culture loin de la contrée qui lui est propre. Il doit chercher à utiliser les ressources des différentes régions du globe, et non pas vouloir imposer ses caprices à la création. Mais si la science se renferme dans des bornes plus étroites, elle n'en est pas moins utile et fournit chaque jour à la pratique des enseignements et des moyens nouveaux. La chimie, sans pénétrer dans le domaine des fonctions vitales, donne déjà sur la nutrition des végétaux les renseignements les plus précis et l'explication des principaux phénomènes que présente leur développement.

L'introduction du *Dictionnaire* contient des notions de physiologie végétale qu'il est inutile de reproduire ici. On ne saurait d'ailleurs présenter dans cet article, sans sortir du cadre qui lui est imposé, des notions étendues de chimie appliquée à l'agriculture; on se bornera donc à rappeler quelques faits généraux, qui suffiront pour faire comprendre les explications de détail dispersées dans cet article et le but général des diverses opérations que l'on décrira successivement.

Les végétaux, comme tout le monde le sait, pénètrent dans le sol par leurs racines et étendent dans l'air leurs tiges, leurs rameaux et leurs feuilles. Ils vivent ainsi dans deux milieux bien différents, la terre et l'atmosphère. Chacun de ces milieux leur fournit pour sa part, en proportion plus ou moins considérable, de l'oxygène, de l'hydrogène, du carbone et de l'azote; mais c'est dans la terre seulement qu'ils peuvent trouver les matières minérales fixes qui entrent dans leur constitution. Ne nous occupons pas pour le moment de cette partie de leur alimentation, sur laquelle on reviendra, et cherchons à expliquer comment ils s'assimilent les éléments principaux qui les constituent, c'est-à-dire l'hydrogène, l'oxygène, le carbone et l'azote, en exposant d'abord les phénomènes de la germination, pour nous occuper ensuite du végétal complétement développé et de son accroissement progressif.

Les graines présentent toutes une assez grande analogie de composition. On y trouve de l'amidon, de la gomme, une matière azotée et une matière grasse, ainsi qu'une certaine quantité de substances minérales. Ces éléments se rencontrent en proportions très variables dans les différentes plantes, et présentent dans chacune d'elles des caractères physiques ou chimiques un peu différents, mais ils conservent toujours leurs propriétés générales et distinctives. Cette analogie de constitution chimique mérite une sérieuse attention, car elle montre combien sont uniformes et simples les procédés que la nature emploie pour produire cette immense quantité de plantes dont la variété fait la continuelle admiration des esprits observateurs.

La germination d'une graine ne peut se produire

sans le concours d'une *température convenable* et d'un *certain degré d'humidité*; elle exige de plus la présence du gaz oxygène, dont l'indispensable nécessité pour la production de ce phénomène a été constatée par de nombreuses expériences, dans le détail desquelles il serait inutile d'entrer ici. Il paraît même que la germination est d'autant plus rapide que la jeune plante trouve autour d'elle ce gaz à un plus grand état de pureté. C'est sans doute à l'action oxydante du chlore en présence de l'eau que l'on doit attribuer l'influence de ce gaz sur la germination de graines qui semblaient incapables de se développer et que l'on a fait lever, d'après les conseils de M. de Humboldt, en les mettant dans une pâte d'acide chlorhydrique et de peroxyde de manganèse, mélange propre à dégager du chlore. Ce procédé n'a pas été, à notre connaissance, appliqué sur une grande échelle, mais le bas prix des substances employées permettrait sans doute d'en étendre l'usage à des opérations importantes.

Quand on fait germer des graines dans un vase fermé, on reconnaît sans peine que, dans les premiers temps de la germination, une certaine quantité d'oxygène est remplacée par un volume à peu près égal d'acide carbonique. Mais les phénomènes de la germination ne se bornent pas à une simple combustion, comme semblerait l'indiquer l'observation précédente; un acide particulier et quelques autres produits se développent en même temps que l'acide carbonique. La germination, au point de vue chimique, constitue une réaction des plus complexes, dont l'étude détaillée n'a pas encore été faite d'une manière tout à fait complète. On peut dire seulement, d'une manière générale, que la jeune plante, dans les premiers temps de son développement, se nourrit aux dépens d'une partie des substances renfermées dans la graine, en produisant de l'acide carbonique par un phénomène de combustion comparable à celui de la respiration des animaux.

Peu de temps après la germination, les racines se développent et les parties vertes apparaissent. Les phénomènes chimiques de la nutrition du végétal se manifestent alors d'une manière beaucoup plus nette que dans les premiers temps de son existence et doivent être indiqués rapidement.

La découverte de la décomposition de l'acide carbonique par les plantes remonte au dix-huitième siècle; elle suffirait pour illustrer l'histoire scientifique de cette époque. Senebier, profitant des observations de Bonnet et de Priestley, qui avaient reconnu que des feuilles plongées dans de l'eau aérée dégageaient de l'oxygène, rattacha ce phénomène à la nutrition des plantes, et posa le principe général qui préside à leur développement.

Les parties vertes des végétaux, en présence de la lumière, jouissent de la propriété de décomposer l'acide carbonique en fixant le carbone et en dégageant l'oxygène combiné avec lui. Il suffit pour établir ce fait de placer une branche garnie de feuilles dans une cloche exposée à la lumière et contenant de l'acide carbonique; on remarque, au bout de quelques heures, qu'une plus ou moins grande quantité d'acide carbonique a été décomposée et remplacée par un égal volume de gaz oxygène. Mais, pour étudier directement l'action des plantes vivantes sur l'acide carbonique existant en si faible proportion dans l'air ordinaire, il est nécessaire d'opérer sur un volume d'air très considérable, en plaçant, autant que possible, la plante dans les conditions normales de son existence. M. Boussingault a exécuté cette expérience, en introduisant dans un ballon de verre de grande dimension un rameau de vigne garni de ses feuilles. Un aspirateur, convenablement disposé, faisait passer à travers le ballon un courant d'air animé d'une vitesse uniforme. Dans les conditions où l'expérience avait lieu, l'air renfermait avant son entrée dans le ballon 0,0004 de gaz acide carbonique, et il n'en contenait plus, quand on opérait le jour, que 0,0001 à 0,0002 au moment de sa sortie. Les expériences de cette nature, variées et répétées plusieurs fois, ont toujours donné des résultats analogues.

La lumière est indispensable à l'accomplissement du phénomène de décomposition dont on vient de parler. Pendant la nuit, les feuilles, au lieu de mettre de l'oxygène en liberté, abandonnent au contraire une certaine quantité d'acide carbonique dont l'origine n'est peut-être pas encore parfaitement connue.

Une plante peut vivre et se développer avec le secours seul de l'eau et de l'acide carbonique qu'elle trouve dans l'air. Il est facile de faire germer différentes graines dans du sable pur et calciné, en les arrosant avec de l'eau distillée, et en les préservant du contact de toute substance étrangère. Dans ces conditions, la croissance d'un végétal est toujours lente et son développement incomplet; mais la végétation devient plus active si l'eau qui mouille les racines contient elle-même une plus ou moins grande quantité d'acide carbonique en dissolution. Entraîné par le mouvement ascendant de la sève, ce gaz parvient dans les feuilles, où il subit, sous l'influence de la lumière, la même décomposition que celui que la plante absorbe directement dans l'atmosphère. L'influence favorable sur la végétation de l'eau renfermant de l'acide carbonique, parfaitement établie par une foule d'observations, et particulièrement par une expérience directe de M. de Gasparin, explique l'utilité de la présence dans le sol de matières organiques en décomposition, et plusieurs autres phénomènes sur lesquels on aura l'occasion de revenir.

On a dit que la lumière était nécessaire à la décomposition de l'acide carbonique par la matière verte des feuilles, et par suite au développement des plantes elles-mêmes. Certains végétaux dépourvus de parties vertes, les champignons par exemple, peuvent, il est vrai, végéter et grossir dans l'obscurité; mais ces plantes ne vivent qu'aux dépens des matières organiques en décomposition au milieu desquelles s'accomplit leur végétation. Elles ne forment donc pas de matières organiques, elles ne font que transformer celles qu'elles absorbent, et se rapprochent en cela de la manière d'être des animaux.

Les racines des plantes ont besoin d'être en contact avec le gaz oxygène, soit libre, soit en dissolution dans l'eau, pour conserver leur vitalité et puiser dans le sol l'humidité qui forme la sève, dont la circulation constitue la vie des végétaux. Les plantes plongées dans de l'eau privée d'air par un procédé physique ou chimique, périssent rapidement. Ce fait permet de comprendre la pernicieuse influence des eaux stagnantes et croupissantes sur la végétation, et d'apprécier, en partie, les avantages d'un sol rendu poreux et facilement perméable aux gaz par des préparations convenables.

Les plantes ne se bornent pas à décomposer l'acide carbonique pour s'assimiler du carbone; elles paraissent aussi décomposer l'eau pour se combiner avec l'hydrogène, que quelques-unes d'entre elles renferment en proportion un peu plus considérable que celle qui serait nécessaire pour former de l'eau avec l'oxygène qu'elles contiennent. Mais cette partie de l'alimentation végétale, bien moins importante que la précédente, a été beaucoup moins étudiée. Quant à l'oxygène que ces plantes renferment, il est naturellement fourni par l'eau qui baigne et pénètre tous les organes des végétaux.

L'oxygène, l'hydrogène et le carbone ne sont pas les seuls éléments constitutifs des végétaux; l'azote entre aussi dans leur composition. Ce dernier corps

joue un rôle des plus importants dans la végétation; son action ne saurait être trop soigneusement étudiée.

Il ne paraît pas possible d'admettre que les végétaux absorbent *directement* l'azote gazeux de l'air. Mais comme il est incontestable que la plupart des récoltes renferment plus d'azote que n'en contenaient les engrais mis à leur disposition, sans que pour cela le sol paraisse s'être appauvri de composés azotés, il est nécessaire d'expliquer comment l'azote s'introduit et se fixe ainsi dans les plantes.

L'action si favorable des azotates sur la végétation démontre nettement que les plantes peuvent absorber et réduire l'acide azotique et s'assimiler son azote, comme elles absorbent et comme elles réduisent l'acide carbonique pour s'assimiler son carbone.

L'emploi comme engrais de composés ammoniacaux s'explique probablement par la même réaction, car on sait avec quelle facilité l'ammoniaque s'oxyde et se transforme en acide azotique, sur lequel les plantes exercent l'action réductrice dont on vient de parler.

Reste donc à se rendre compte des sources où les végétaux puisent l'acide azotique, qui leur fournit une plus ou moins grande partie de l'azote nécessaire à la formation de leurs tissus.

Les eaux de pluie et d'orage renferment de l'ammoniaque et de l'acide azotique en proportions excessivement faibles, qui, multipliées par le volume d'eau qui tombe annuellement sur un hectare, produisent une quantité de composés azotés très-appréciable, mais cependant insuffisante en général pour l'alimentation de récoltes abondantes. Il faut donc chercher ailleurs la source d'une partie de l'acide azotique qui sert de véhicule à l'introduction de l'azote dans les végétaux.

L'observation des nitrières naturelles ou artificielles a appris depuis longtemps que dans certaines conditions, l'acide azotique peut prendre naissance au sein d'une masse terreuse. Des observations plus récentes et plus délicates ont montré que la même réaction se produit, bien que sur une échelle beaucoup plus faible, dans les terres arables de bonne qualité.

Les conditions dans lesquelles l'azote gazeux de l'air se transforme à la surface du sol en acide azotique et en azotates, ne sont pas encore connues d'une manière assez élémentaire pour qu'il soit possible de les exposer ici en quelques mots. Mais le fait de la nitrification étant admis, on comprend qu'une partie de l'azote de l'air se transforme en acide azotique, qu'il soit absorbé sous cette forme de composé soluble par les racines et qu'il se fixe enfin dans la plante par l'action réductrice dont on a parlé en commençant. On comprend en un mot que, sans appauvrir la terre, une récolte contienne plus d'azote que l'engrais qui lui a été fourni et que la graine qui lui a donné naissance.

Les faits déjà connus expliquent un grand nombre de résultats pratiques. Ils indiquent, par exemple, qu'il se forme plus d'acide azotique dans le sol recouvert de certaines récoltes que de certaines autres; pourquoi, par conséquent, certaines plantes sont plus épuisantes que d'autres.

En résumé, les végétaux trouvent l'azote nécessaire à leur existence en partie dans les produits de la décomposition des matières organiques mises à leur disposition, et, pour le reste, dans une faible portion de l'azote de l'air lui-même transformé dans le sol en acide azotique.

Les végétaux outre l'oxygène, l'hydrogène, l'azote et le carbone renferment encore, comme on l'a déjà dit, une proportion relativement assez faible de matières minérales, qui paraissent indispensables à leur développement complet. Ces substances constituent les cendres laissées par la combustion des végétaux. On trouvera dans le chapitre V de nombreux résultats d'analyse des matières minérales contenues dans les végétaux. Il suffira de dire ici, pour donner une idée de l'importance de ces substances dans l'acte de la végétation, que le produit de la récolte d'un hectare de la plupart de nos plantes cultivées enlève au sol, dans des circonstances ordinaires, plus de 200 kilogrammes de matières fixes, parmi lesquelles on rencontre les acides phosphorique et sulfurique, la silice, l'alumine, la chaux, la potasse, etc. On a longtemps négligé cette importante partie de l'alimentation végétale; mais son intérêt, bien compris depuis quelques années, est sans contredit l'un des grands progrès dus aux perfectionnements des procédés d'analyse chimique, assez avancés aujourd'hui pour permettre d'établir d'une manière précise la nature des amendements ou des récoltes les plus convenables pour un terrain déterminé.

La nature et les proportions relatives des substances minérales contenues dans les végétaux varient naturellement d'une espèce à l'autre, en raison de leur constitution propre et de leurs caractères spéciaux. Les racines d'une plante, plongées dans un sol renfermant un plus ou moins grand nombre de sels minéraux différents, choisissent, en quelque sorte, ceux de ces composés qui conviennent à leur espèce. Ainsi, en analysant les cendres de diverses plantes venues dans un même terrain, on trouve que l'une est riche en sel marin, que les phosphates prédominent dans une autre, que la silice abonde dans une troisième, et ainsi de suite.

La présence dans les plantes, en assez forte proportion, de matières regardées *comme insolubles* est facile à expliquer, bien qu'elle ait été un sujet d'étonnement pour les savants qui l'observèrent les premiers. On sait maintenant, en effet, que l'insolubilité n'est pas une propriété absolue. Les corps réputés insolubles ne le sont que relativement, et l'eau, surtout quand elle est aérée et chargée d'acide carbonique, en dissout toujours une petite quantité. D'un autre côté, le volume d'eau qui traverse une plante pendant la durée de sa végétation est véritablement énorme; ainsi, pour ne citer qu'un fait : Hales a constaté qu'un soleil de force moyenne absorbait par jour 0k700 kil. d'eau, qui s'évaporait à la surface de la plante. De sorte que l'on comprend très bien, quelque faible que soit la quantité de substance minérale dissoute dans l'eau que le végétal absorbe, qu'il puisse recevoir par cette voie tous les sels dont il a besoin.

La terre cultivable renferme d'ailleurs, quand elle est appropriée à une récolte, tous les éléments minéraux nécessaires au développement de la plante. Mais ces éléments ne sont pas tous arrivés à l'état de désagrégation qui les rend partiellement solubles et assimilables par les plantes; ils n'arrivent à cet état que successivement, par l'action prolongée des agents atmosphériques et des préparations répétées que l'on fait subir au sol

La nature spéciale des aliments minéraux nécessaires à chaque espèce de plante, la puissance élective que possèdent les racines, et la lenteur enfin avec laquelle les roches qui constituent les terrains agricoles se désagrègent et passent à l'état de solubilité relative qui permet aux plantes de les absorber, donnent le moyen de se rendre compte de la nécessité d'alterner les récoltes et d'expliquer d'une manière générale le principe des assolements. On conçoit, en effet, qu'une première récolte, ayant puisé dans le sol les sels dont elle a besoin, puisse être suivie d'une seconde récolte exigeant une alimentation différente, puis celle-ci d'une troisième encore différente, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on puisse revenir à la première récolte, qui trouvera de nouveau, dans un état convenable, les éléments minéraux qui lui sont nécessaires, s'il s'est écoulé un temps suffisant, depuis la première culture, pour que les labours et les intempéries aient pu désa-

gréger et rendre soluble une nouvelle proportion des roches du terrain cultivé.

On vient de rappeler, aussi brièvement que possible, les notions de chimie agricole les plus indispensables à l'explication des phénomènes dont nous avons à nous occuper. On n'insistera pas davantage sur ces préliminaires qui seront développés plus loin quand le sujet l'exigera. C'est dans les ouvrages spéciaux de botanique, de physiologie et de chimie, qu'il faut chercher des notions étendues sur ces intéressantes questions. Hâtons-nous donc d'entrer d'une manière plus intime dans notre sujet en étudiant, avec les détails nécessaires, les deux milieux dans lesquels vivent et se développent les végétaux : le sol qui les supporte, et l'atmosphère dans laquelle ils étendent leurs rameaux et leurs feuilles.

Deuxième section. — Terrains agricoles.

I. CONSTITUTION GÉOLOGIQUE.

On trouvera à l'article *Géologie* du *Dictionnaire* des notions étendues sur les différentes formations de notre globe. On doit seulement ajouter ici quelques mots sur la constitution de la couche arable la plus superficielle de la terre, quelquefois fort différente du *terrain* géologique sur lequel elle repose.

Les géologues ont été longtemps sans s'occuper des dépôts qui recouvrent une partie du globe. Ils ne voyaient dans ce mélange confus de roches brisées ou décomposées qu'un amas informe indigne de leur attention. L'importance des études de géologie agricole, mieux appréciée dans ces derniers temps, a porté plusieurs personnes à s'occuper d'une manière directe de cet ordre d'idées. Tout fait espérer que de bonnes descriptions géologiques de terrains agricoles ne tarderont pas à être moins rares qu'elles ne le sont aujourd'hui, et qu'elles pourront fournir à la pratique de précieuses indications.

Les couches des terres arables n'ont pas toutes la même origine. On peut, sous le rapport de leur mode de formation, les partager en plusieurs classes principales, parmi lesquelles nous citerons :

Les *terrains formés sur place* par la décomposition même de la roche qui les supporte. Ils sont généralement peu profonds et d'une fertilité médiocre : les forces qui tendent à désagréger une roche pour la transformer en terre cultivable sont assez nombreuses. Les gelées, la pesanteur, les propriétés plus ou moins hygrométriques des parties qui constituent le terrain, les racines en pénétrant dans les fentes du rocher, l'action de l'oxygène, de l'eau, de l'acide carbonique, etc., sont autant de causes qui tendent à décomposer les minéraux, soit en modifiant leurs propriétés physiques, soit en altérant plus ou moins profondément leur constitution chimique. Mais ces forces agissent toujours avec une extrême lenteur, et leur action décroît rapidement d'intensité quand une couche de débris suffisamment épaisse recouvre la roche et la préserve de nouvelles attaques.

Les *terrains diluviens*, qui forment la plus grande partie du sol cultivable de la France, et même de l'Europe entière, offrent plusieurs caractères généraux, souvent modifiés par l'influence de circonstances locales, mais toujours assez nettement définis pour permettre de rattacher ces immenses dépôts à une même révolution géologique.

Les *terrains d'alluvion* se forment encore chaque jour sous nos yeux : les galets, les graviers, les sables et le limon entraînés par les fleuves et les rivières, se déposent en différents points de leur cours et forment des terrains composés de couches superposées répondant aux diverses crues du cours d'eau. Les terrains les plus fertiles de nos vallées appartiennent à cette formation qui constitue une portion de l'Egypte et des bassins du Rhin, de la Garonne, etc. On ne saurait assez se préoccuper de favoriser le dépôt de ces alluvions précieuses, dont des travaux d'endiguement mal dirigés facilitent trop souvent l'entraînement à la mer.

Les *terrains d'atterrissement* se produisent sur quelques points des côtes où les vents et les courants viennent déposer les matières terreuses et sablonneuses apportées par les fleuves, ou enlevées par les vagues à d'autres points de la côte. Les terrains ainsi formés ne peuvent pas s'élever au-dessus du niveau des grandes marées ; pour devenir propres à la culture, ils doivent être défendus contre les eaux par des travaux d'endiguement. Mais leur fertilité compense largement les dépenses d'établissement et d'entretien de ces ouvrages de défense, dont le nord de la France, la Hollande et la Belgique offrent de si beaux exemples.

Les *dunes*, qui occupent en France une étendue considérable sur les côtes de l'Océan, sont formées de grains de sable quartzeux d'un très petit volume. Ces montagnes de sable, poussées par le vent, avancent graduellement et recouvrent successivement les champs et les villages qu'elles rencontrent. L'art parvient maintenant à fixer les dunes et à les transformer, dans quelques localités, en un sol cultivable très propre à certains végétaux.

Les *terrains paludéens*, dont le nom indique l'origine, jouissent de propriétés aussi variées que les circonstances locales qui leur ont donné naissance. La facilité que présente souvent l'amélioration de cette espèce de terrains doit appeler sur eux toute l'attention des cultivateurs.

Il est nécessaire de dire ici quelques mots de la *disposition des couches des terrains agricoles.*

L'épaisseur de la couche du sol où vivent et se développent les racines des plantes est excessivement variable ; réduite à quelques centimètres dans les mauvais sols, elle atteint 0m,25 à 0m,35 dans les sols profonds. On désigne sous le nom de *sous-sol* le terrain placé au-dessous de la couche agraire dont on vient de parler. Mais on conçoit que cette simple division en sol et sous-sol manque de précision, et ne suffit pas pour exprimer la nature si variable des différentes couches qui se succèdent dans un terrain agricole. M. de Gasparin, pour préciser d'une manière plus complète leur constitution, les partage en quatre classes : « Nous appellerons, dit cet habile agronome, le *sol* la couche supérieure du terrain, jusqu'à la profondeur où elle conservera la même nature minérale. Le sol se divisera en : 1° *sol actif*, celui qui est mêlé de terreau, qui reçoit les impressions de l'atmosphère, les sels solubles, dans lequel se passent les phénomènes de la végétation et qui est atteint par les labours ; 2° au-dessous de cette première couche, et quoique conservant la même composition minérale, si le sol est profond, nous appellerons *sol inerte* la seconde couche qui n'est pas entamée par les cultures. »

« Au-dessous du sol, au moment où une nouvelle couche de composition minérale différente se présente, nous avons le *sous-sol*, qui peut être formé lui-même de plusieurs couches variables aussi dans leur composition, jusqu'à ce qu'on atteigne dans la profondeur la couche imperméable. »

On conçoit d'ailleurs que dans certains cas particuliers quelques-unes des couches précédentes n'existent pas ; ainsi le *sol* peut reposer directement sur la couche imperméable, etc.

La profondeur du sol actif, d'après ce qui précède, dépend exclusivement de la profondeur des labours. Il est avantageux que le sol actif soit assez profond ; mais on ne peut poser aucune règle générale sur la conve-

nance de le mélanger plus ou moins souvent au sol inerte en ramenant à la surface une partie de celui-ci. Le succès de cette opération dépend évidemment de la composition relative de ces deux parties du sol. Si le sol actif est épuisé et que le sol inerte soit doué d'une grande fertilité, le mélange est avantageux. Si, au contraire, le sol inerte était de mauvaise qualité et que le sol actif n'eût été amélioré qu'à force d'engrais et d'amendements, il est clair qu'il faudrait éviter avec soin toute espèce de mélange des deux couches.

Le sous-sol, quand surtout il est voisin de la surface, exerce une influence capitale sur la valeur du terrain, soit par sa nature même, soit par son action sur l'écoulement des eaux. Il y a telles contrées qui ne doivent leur infertilité qu'à la nature du sous-sol. Nous ferons d'ailleurs une étude spéciale de ce sujet dans le chapitre III, en nous occupant de l'assainissement des terres.

Quant à la couche imperméable, il importe surtout d'examiner son épaisseur pour reconnaître de combien elle sépare le sol du réservoir inférieur des eaux, dont l'action est si grande et quelquefois si favorable à la végétation de la surface, soit parce qu'il conserve au terrain une fraîcheur constante, soit parce qu'il fournit, à l'aide de puits artésiens ou de machines, les eaux nécessaires à l'irrigation.

II. COMPOSITION CHIMIQUE DES TERRAINS.

Les terres cultivables diffèrent chimiquement beaucoup plus entre elles par les proportions relatives des matières qui les constituent que par la nature même de ces matières. On ne rencontre, en effet, à de rares exceptions près, dans les sols arables, abstraction faite de l'eau, que les substances suivantes, soit isolées, soit combinées entre elles ou avec certains acides :

Silice,	Soude,
Alumine,	Oxyde de fer,
Chaux,	Oxyde de manganèse,
Magnésie,	Azote,
Potasse,	Terreaux.

Les propriétés chimiques de la plupart de ces composés sont décrites à l'article spécial qui les concerne. Il suffira de quelques mots pour compléter leur histoire, au point de vue particulier qui nous occupe.

La *silice* est une des substances les plus abondamment répandues dans la nature ; ses propriétés varient extrêmement avec son état d'agrégation : tout à fait insoluble quand elle est en masses compactes, comme dans le quartz pur, les silex et la plupart des minéraux où elle se rencontre, elle est, au contraire, assez soluble dans l'eau quand elle provient de la décomposition des silicates. Elle peut donc dans cet état pénétrer dans les végétaux, où on la rencontre en effet presque toujours, et quelquefois en quantité tellement abondante qu'elle communique à leurs tissus une dureté considérable et un aspect particulier, comme on le remarque, par exemple, dans les prêles, le bambou, etc.

L'*alumine*, à l'état de pureté, est extrêmement rare dans la nature ; mais, combinée avec de l'eau et de la silice, elle constitue l'*argile*, si répandue à la surface de la terre, et dont le rôle est si important en agriculture. Il existe beaucoup d'espèces d'argiles formées de mélanges en proportions variées de calcaire, d'oxyde de fer, etc., avec la combinaison d'alumine et de silice dont on vient de parler. L'argile pure peut absorber 0,70 de son poids d'eau, fait pâte avec ce liquide, ne l'abandonne que difficilement et durcit beaucoup par la dessiccation ; de sorte qu'elle offre de grandes difficultés de travail pour les instruments de culture, soit à l'état sec, soit à l'état humide. L'argile brûlée absorbe énergiquement les gaz avec lesquels elle se trouve en contact ; mais sa propriété la plus remarquable, sous le rapport des phénomènes de la végétation, est la faculté qu'elle possède de s'emparer des composés ammoniacaux et de les retenir jusqu'à ce qu'elle en soit en quelque sorte saturée. Tous les agriculteurs savent, en effet, que les premières fumures sont presque sans effet sur les terres argileuses épuisées depuis longtemps ; les composés ammoniacaux restent combinés avec l'argile et n'agissent pas sur la végétation. Mais après un certain temps le fumier ajouté profite entièrement aux récoltes, et on peut même obtenir alors, pendant un ou deux ans, d'abondants produits sans nouvelles fumures, en reprenant au sol la richesse qu'il s'était appropriée.

La *chaux* n'existe jamais pure dans la nature ; on la rencontre en général dans les terres cultivées à l'état de carbonate, de sulfate et de phosphate. Le premier de ces sels est de beaucoup le plus abondant dans les terres arables ; il constitue même la base de certains sols et imprime toujours un caractère spécial à ceux où il se trouve. Le carbonate et le phosphate de chaux sont solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique. Le sulfate est assez soluble ; on sait qu'il se rencontre dans les eaux de source ou de puits d'un grand nombre de localités. On étudiera attentivement le rôle et les propriétés des trois sels précédents dans le chapitre consacré aux engrais et amendements (chapitre V).

La *magnésie*, à l'état de carbonate et de phosphate, existe en assez forte proportion dans un grand nombre de sols très fertiles, et se retrouve dans les plantes qui végètent dans ces terrains. Le carbonate de magnésie absorbe beaucoup plus d'eau que le carbonate de chaux ; il tend par conséquent à rendre les terrains plus frais et plus liants, quand il se trouve en proportion convenable. Mais quand le sol est exclusivement formé de débris de dolomie (carbonate double de chaux et de magnésie), il présente la stérilité et les défauts des sols crayeux, dont il offre aussi l'aspect général.

La *soude* et la *potasse* présentent entre elles la plus grande analogie ; ces deux alcalis peuvent même, jusqu'à un certain point, se substituer l'un à l'autre dans la constitution des plantes. Ils exercent sur la végétation une très grande influence, et leur emploi judicieux pourrait souvent modifier de la manière la plus avantageuse les produits d'un terrain qui ne serait pas suffisamment pourvu de matières alcalines. Une récolte de froment n'enlève pas au sol moins de trente et quelques kilogrammes de potasse et de soude, et comme ces substances n'existent en général qu'en assez faibles proportions dans les terrains, on voit combien il importe de restituer à la terre, par les fumiers ou autrement, une quantité de ces bases à peu près équivalente à celle qui a été enlevée par la récolte précédente. Cette observation explique les heureux résultats obtenus dans quelques circonstances de l'emploi de cendres de bois ou d'eaux de lessive répandues sur le sol.

Le *fer oxydé* se rencontre à peu près dans tous les terrains ; il leur donne différentes couleurs, variant du rouge brun foncé au jaune clair. Le peroxyde de fer paraît jouir, comme les argiles, de la propriété de fixer et de conserver les composés ammoniacaux. Il exercerait par là une grande influence sur la végétation. On a dit, dans ces derniers temps, que le fer à l'état de sel de protoxyde existe en assez grande quantité dans des terres fertiles. Si cette observation se vérifie, elle pourra servir à expliquer l'utilité de l'oxyde de fer dans les terres labourées et l'origine d'une partie des produits ammoniacaux consommés par les plantes. Les composés de fer sont rarement employés dans la grande culture comme amendement ; mais on a, par plusieurs expériences, constaté leur action favorable sur les plantes étiolées ou atteintes d'une espèce de chlorose.

L'*oxyde de manganèse* paraît plus répandu dans les terres cultivables qu'on ne l'avait cru pendant longtemps. Il est, dans tous les cas, beaucoup moins abondant que l'oxyde de fer. Son influence sur la végétation n'est pas encore bien connue ; des expériences à cet égard pourraient être fort utiles. Dans le cas où elles seraient favorables, le bas prix des sels de manganèse, aux environs de certaines villes manufacturières, permettrait d'en faire d'utiles applications à l'agriculture.

L'*azote* existe en général dans les terrains à l'état de composés ammoniacaux et d'acide azotique, mais toujours en très-faible proportion, puisque les terres fertiles, dans leur état naturel, n'en renferment pas plus de 0,0006 de leur poids. On ne connaît pas encore d'une manière précise toutes les réactions qui donnent naissance aux produits azotés qui servent à la végétation. On sait seulement que les principales sources de ces composés sont : les eaux de pluie, qui réunissent l'ammoniaque qui paraît exister dans l'atmosphère ; les engrais, enfin certains corps poreux, qui semblent favoriser la production des azotates.

Le *terreau* ou l'*humus* est le produit de l'altération des matières végétales par l'action combinée de l'oxygène de l'air, de l'humidité et d'une espèce particulière de fermentation. Les feuilles, les tiges, le bois, les enveloppes des fruits abandonnés à l'air, perdent une partie de l'eau qui entre dans leur composition ; et une proportion relativement moindre de carbone, de sorte que le produit de l'altération de ces diverses substances est plus riche en carbone qu'elles ne l'étaient elles-mêmes. Le terreau provenant de sources diverses, — et produit dans des circonstances souvent très-différentes les unes des autres — est loin de constituer un corps parfaitement défini et toujours identique avec lui-même. Ce composé mériterait une étude particulière ; on ne peut maintenant qu'indiquer ses propriétés les plus générales, ou plutôt les caractères qu'il communique aux mélanges plus ou moins complexes dont il fait partie. La potasse caustique en dissolution dissout le terreau, en formant une liqueur d'un brun foncé dont les acides séparent une masse floconneuse d'une teinte noirâtre, à laquelle on a donné les différents noms d'acide ulmique, humique, etc. Cette matière brune constitue le terreau isolé ; elle est à peu près insoluble dans l'eau, mais elle peut éprouver un second degré d'altération qui la rend soluble et la transforme en ce que l'on nomme extrait de terreau. Pendant que cette seconde altération se produit, il se dégage de l'acide carbonique, et il se forme, en petite quantité, quelques autres acides organiques. La propriété dont jouit le terreau d'absorber les gaz atmosphériques, et de se décomposer en produisant de l'acide carbonique, explique en partie l'influence énergique qu'il exerce sur la végétation. Le terreau est très-avide d'oxygène et paraît susceptible de réduire certains corps avec lesquels il se trouve en contact. Les terrains très-fertiles en contiennent, en général, de 0,05 à 0,08. Quand cette proportion est notablement dépassée, la fertilité décroît, et les terres qui renferment 0,25 de terreau sont presque toujours à peu près stériles et exigent des amendements et un mode de culture tout à fait spéciaux.

Les terreaux, produits par les débris de végétaux riches en tannin, en contiennent eux-mêmes une certaine quantité. L'acidité que leur communique cette substance les rend impropres à la plupart des cultures, et ne peut être corrigée que par l'emploi de quantités considérables de chaux ou autres matières alcalines.

La tourbe est une espèce de terreau dû à la destruction successive des plantes aquatiques. Elle forme quelquefois des couches plus ou moins épaisses exploitées comme combustible ; ses caractères chimiques varient à l'infini avec les circonstances qui ont présidé à sa formation. La tourbe, dans d'autres circonstances, est intimement mélangée avec le sol, comme l'humus dans les terres ordinaires, et forme alors des terrains paludéens d'une grande richesse s'ils renferment du calcaire, et, au contraire, presque sans valeur quand ils ne contiennent pas ce principe de fertilisation.

AGRICULTURE.

On vient d'indiquer la nature et les propriétés les plus importantes des matières qui entrent habituellement dans la composition des terrains agricoles. Il serait impossible de faire connaître ici avec assez de détails les procédés de l'analyse chimique des terres. On se bornera à indiquer une méthode d'essai très-simple de la terre arable, la *lévigation*, que tout le monde peut exécuter, et qui fournit aux praticiens de fort utiles indications.

Le choix de l'échantillon de terre que l'on veut soumettre à l'expérience doit être fait avec soin. Il convient toujours de prendre des échantillons en divers points d'un champ, et de les mélanger pour former un échantillon moyen, qui représente mieux la composition générale du sol que ne pourrait le faire la terre prise en un seul point.

On fait bouillir dans une capsule ou une casserole en porcelaine, pendant une heure environ, de 300 à 500 grammes de terre avec 1 ½ à 2 ½ litres d'eau pure, ou mieux d'eau distillée, puis on jette la masse sur une petite passoire en fer-blanc dont les trous ont un ½ millimètre de diamètre. En agitant le mélange avec une cuillère, l'eau s'écoule dans un vase à précipité de deux litres environ placé sous la passoire, et entraîne les parties les plus fines de la terre. On reverse sur la passoire, en la puisant avec la cuillère, une partie de l'eau déjà écoulée, pour achever d'entraîner les parties fines de la terre qui auraient échappé à la première opération, et enfin on termine le lavage en versant peu à peu et à plusieurs fois, si cela est nécessaire, sur les matières restées dans la passoire, une petite quantité de nouvelle eau. Ce qui reste sur la passoire est jeté dans un vase à précipité, à peu près semblable au précédent, en partie rempli d'eau. On imprime à ce liquide un mouvement de rotation, de manière à mettre en suspension dans l'eau tout ce qu'il renferme. Les *gros débris organiques*, non encore décomposés, nagent à la surface du liquide ; ils sont recueillis avec une cuillère, ou, ce qui est plus commode, avec une petite écumoire, on les fait sécher au grand soleil, ou mieux à la chaleur d'un bain-marie très-simple, formé d'une assiette creuse posée sur une casserole où on entretient de l'eau bouillante, et enfin on les pèse. La matière restée au fond du vase, après l'enlèvement des débris organiques, est un mélange de sable moyen et de gravier. On le jette sur une seconde passoire dont les trous ont 3 millimètres de diamètre. Le *gravier* reste sur la passoire et le *sable moyen* passe à travers. On recueille ces deux substances, on les sèche et on les pèse.

Les matières entraînées par l'eau à travers la première passoire sont formées de terre et de sable fin. Pour séparer ces deux substances, on imprime au liquide du vase qui les renferme un mouvement de rotation aussi rapide que possible ; on laisse le mouvement se ralentir et on décante le liquide. Le sable fin, plus pesant que la terre et en grains plus volumineux, tombe au fond de l'eau et reste dans le vase, tandis que l'eau entraîne la terre proprement dite. Si la séparation des deux substances n'était pas suffisamment nette la première fois, une partie de la terre fine étant restée avec le sable, on pourrait reverser dans le vase renfermant ce dernier une partie de l'eau écoulée avec la terre, après l'avoir laissée reposer pendant quelque temps, puis recommencer une seconde fois l'opération de l'agitation, puis du décantement du liquide, revenu

à peu près au repos. Le *sable fin* est recueilli séparément, séché et pesé. Quant au liquide trouble chargé de terre, on l'agite vivement pour mettre la terre fine en suspension, et on jette le tout sur un filtre en papier non collé contenu dans un entonnoir placé sur un support en bois, au-dessus d'une capsule ou d'une casserole de porcelaine. La *terre fine* reste sur le filtre, on la lave avec un peu d'eau chaude qui s'ajoute à l'eau primitivement employée, on la sèche et on la pèse.

III. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES TERRES.

Les propriétés physiques des terres, qu'il serait si nécessaire de bien connaître, n'ont malheureusement été jusqu'à présent que très imparfaitement étudiées. M. de Gasparin est, à notre connaissance, le premier auteur français qui ait cherché à grouper avec méthode les données expérimentales, obtenues avant lui sur ce sujet; nous lui empruntons la plus grande partie de ce qui suit.

Densité. Pour obtenir la densité d'une terre, on pèse un flacon plein d'eau distillée, on le vide et on le sèche, puis on le remplit en partie de la terre soumise à l'expérience; on le pèse de nouveau, on achève de le remplir d'eau, et on agite avec soin pour chasser les bulles d'air, ou plutôt, quand on veut obtenir une grande précision, on le met dans le vide pendant quelque temps, et enfin on fait une troisième pesée. En appelant p, p' et p'' les poids obtenus dans les opérations précédentes, diminués du poids du vase, et D la densité cherchée, il est évident que l'on a :

$$D = \frac{p'}{p + p' - p''}$$

On peut opérer d'une manière plus expéditive et suffisamment exacte pour les recherches ordinaires, en opérant de la manière suivante : On prend un flacon à large ouverture, contenant exactement deux décilitres cubes jusqu'à un trait marqué sur le col, on verse dans ce flacon un décilitre d'eau, puis on achève de le remplir avec la terre sur laquelle on opère. Le poids de la terre nécessaire à cette opération, exprimé en *hectogrammes*, fournit immédiatement la densité cherchée, puisque ce nombre indique précisément le rapport du poids d'un décilitre cube de terre à celui d'un égal volume d'eau.

Voici quelques nombres obtenus par Shübler :

Désignation de la terre.	Densité.
Sable calcaire.	2,822
Sable siliceux.	2,753
Glaise maigre (1).	2,704
Glaise grasse (2).	2,652
Terre argileuse (3).	2,603
Argile pure (4).	2,594
Terreau.	1,225
Terre de jardin (5).	2,332
Terre d'Hoffwill (6).	2,404
Terre du Jura (7).	2,526

On ne saurait évidemment conclure de la densité d'une terre sa composition chimique. Cependant, on peut dire, d'une manière générale, que les terres très denses sont riches en silice, et que les terres légères renferment de fortes proportions de terreau.

L'écartement plus ou moins grand qui existe entre les particules de la terre et qui varie avec une foule de circonstances, ne permet pas d'établir une relation simple entre la densité et le poids d'un mètre cube de terre; de sorte qu'il est impossible de déduire l'une de ces quantités de l'observation de l'autre. M. de Gasparin, en soumettant diverses terres complétement imprégnées d'eau à une même préparation, est arrivé aux résultats suivants :

	Pesanteur spécifique.	Poids d'un mèt. cube.
Glaise sablonneuse du Grand-Serre (Drôme).	2,47	2,103k
Terre siliceuse ocreuse de Bagnols (Gard).	2,56	1,838
Terre argilo-calcaire de Camargue, dite forte.	2,60	1,683
Glaise micacée d'Aulas (Gard) . . .	2,45	1,661
Terre argilo-calcaire de Camargue, dite légère.	2,50	1,639
Terre argilo-calcaire d'Orange (Prebois).	2,50	1,510
Glaise sablonneuse de la Valoire (Drôme).	2,63	1,458
Terre siliceuse des Arnas (Rhône). .	2,60	1,370
Terre d'Orange, riche en terreau (Grenouillet).	2,12	1,126

Les terres augmentent presque toujours de volume par l'action de la fouille; de sorte que le poids d'un mètre cube, après cette opération, est moindre que le poids du mètre cube de la même terre non fouillée. Ce foisonnement de la terre est extrêmement variable. On l'estime, en moyenne, à 1/10 du volume primitif; mais cette donnée n'a rien d'absolu, et doit être vérifiée par une expérience directe dans chaque pas particulier. Ainsi, j'ai eu l'occasion d'observer des terres qui foisonnaient à peine, et on en cite qui augmentent par la fouille du cinquième de leur volume primitif.

Le poids du mètre cube de terre, telle qu'elle se trouve dans les champs, est un document précieux pour l'exécution des travaux agricoles. Nous réunissons ici quelques données pratiques empruntées à différents observateurs.

	Poids du mètre cube.	
Sable fin et sec.	1,399k à	1,428k
Sable fin et humide.	1,900	»
Sable fossile argileux.	1,713	1,799
Terre végétale légère.	1,214	1,400
Terre argileuse.	1,600	»
Terre glaise..	1,900	»
Terre de bruyère.	614	643
Terreau..	828	857
Tourbe sèche.	514	»
Tourbe humide.	785	»
Marne.	1,571	1,642
Grosse terre mêlée de sable et de gravier.	1,860	»
Terre grasse, mêlée de cailloux.	2,290	»

Ténacité, adhérence des terres. Les terres soumises aux travaux de la culture sont presque toujours humides, les instruments ont donc à vaincre la ténacité propre du terrain et la force avec laquelle il adhère au bois ou au métal de l'outil employé. La ténacité et l'adhérence des terres exercent par conséquent une grande influence sur la difficulté des cultures, et l'on comprend dès lors tout l'intérêt que le cultivateur attache à la nature plus ou moins *forte* de la terre qu'il exploite. Un coup de bêche suffit au praticien exercé pour se rendre compte de cette propriété, ou du moins pour établir une comparaison assez exacte entre la terre qu'il examine et

(1) Contenant 40 p. 100 de sable siliceux fin.
(2) — 24 p. 100 — —
(3) — 40,75 p. 100 — —
(4) Argile privée de sable, d'un gris bleuâtre, douce au toucher et un peu grasse.
(5) Légère, noire et fertile, contenant 52,4 d'argile, 36,5 de sable siliceux, 1,8 de sable calcaire, 2 de carbonate de chaux pulvérulent, et 7 d'humus.
(6) Contenant 51,1 d'argile, 42,7 sable siliceux, 0,4 de sable calcaire, 2,3 carbonate de chaux pulvérulent, et 3,4 d'humus.
(7) Contenant 63 de sable siliceux, 33,3 d'argile, 1,2 sable calcaire, 1,2 carbonate de chaux pulvérulent, et 1,2 d'humus.

AGRICULTURE.

celle qu'il cultive habituellement ; mais pour rendre rigoureusement comparables ces diverses évaluations, des méthodes plus précises deviennent nécessaires.

Dans les travaux publics, on classe les terres, sous le rapport de la difficulté de leur travail, d'après le temps nécessaire pour fouiller à la pioche un certain volume de déblai (voyez le mot *Terrassement*). La même méthode serait applicable, dans certains cas, aux ouvrages agricoles de terrasse et donnerait, avec des modifications convenables, des indications précieuses pour la pratique. Mais jusqu'à présent les agronomes ont eu recours à d'autres procédés.

Quelques personnes se bornent à former, avec les terres à essayer, des boules de $0^m,03$ de diamètre, que l'on dessèche à une température de 50° à 60°, et dont on compare la résistance à l'écrasement. Les boules de terres sablonneuses s'écrasent entre les doigts, et quelquefois tombent d'elles-mêmes en poussière. Les terres argileuses, au contraire, présentent une résistance plus ou moins grande, et quelquefois très considérable. Mais on comprend que cette méthode ne donne, comme la première, que des indications assez vagues et ne saurait présenter aucun caractère de précision.

On a cherché à mesurer la résistance absolue des terres en brisant sous des charges connues, et dans des circonstances déterminées, des prismes de dimensions également connues. On comprend combien le peu d'homogénéité de la terre doit apporter de perturbation dans les résultats obtenus ainsi. Les écarts d'une expérience à l'autre, faite sur une même terre avec des précautions identiques, s'élèvent souvent à plus des huit dixièmes de la charge maximum ou minimum de rupture. On ne pourrait donc arriver à des données de quelque valeur qu'en répétant les mêmes expériences un très grand nombre de fois pour chaque espèce de terrain, ce qui devient réellement impraticable. Les expériences faites jusqu'à présent ne sauraient, par conséquent, donner de renseignements assez précis pour qu'il soit utile de reproduire ici les chiffres obtenus.

Si la détermination de la ténacité des terres est à peu près impossible, scientifiquement parlant, il n'en est pas de même de la comparaison de leur adhérence, qui peut se faire d'une manière assez rigoureuse en opérant de la manière suivante : on suspend à l'un des plateaux d'une balance un disque de bois ou de fer de un décimètre carré de surface, et on lui fait équilibre au moyen de poids placés sous l'autre plateau, puis on met le disque en contact avec la terre, et on note les poids qu'il est nécessaire d'ajouter dans le second plateau pour rompre l'adhérence du disque et de la terre. On doit employer dans ces expériences toutes les terres à un même degré d'humidité relative ; celui que l'on obtient, par exemple, en les réduisant en bouillie claire et les laissant égoutter sur une toile grossière. L'adhérence du fer à la terre est de 1/10 moins forte, en moyenne, que celle du bois, résultat bien connu du reste de quiconque a manié comparativement un instrument de fer et un instrument de bois. Voici quelques chiffres obtenus par Schübler, en opérant comme on vient de l'indiquer :

	Adhérence par décimètre carré pour le bois de hêtre.
Sable siliceux	$0^k,19$
Sable calcaire	$0^k,20$
Terre du Jura	$0^k,27$
Terre d'Hoffwil	$0^k,28$
Terre de jardin	$0^k,34$
Glaise maigre	$0^k,40$
Glaise grasse	$0^k,52$
Terre calcaire	$0^k,71$
Terre argileuse	$0^k,86$
Argile pure	$1^k,32$

Il est inutile d'insister sur les conséquences à déduire du tableau précédent. Il traduit en nombres des renseignements dont tout agriculteur possède plus ou moins le sentiment. Remarquons seulement combien l'humidité peut influer sur la propriété qui nous occupe, puisque le sable siliceux qui, sec, n'offre pas d'adhérence, en acquiert une aussi notable quand il est mouillé.

La ténacité et l'adhérence des terres sont, comme on l'a vu, deux propriétés distinctes dont la composante, en quelque sorte, exerce la plus grande influence sur la difficulté que présente la culture du sol. Il n'existe malheureusement pas de procédé simple et pratique pour évaluer isolément la première de ces propriétés ; aussi serait-il de la plus grande importance d'avoir un moyen, prompt, simple et facile, de comparer à la fois la résistance au travail des terres dans leurs différents états naturels et dans différents lieux. C'est le but que M. de Gasparin s'est efforcé d'atteindre en proposant l'emploi d'une bêche ou d'une fourche d'un poids constant, et tombant d'une certaine hauteur, dont l'enfoncement indiquerait la plus ou moins grande résistance du sol. Ce moyen très simple donnerait certainement des résultats assez comparables, et il serait vraiment à désirer que son emploi se généralisât parmi les agronomes éclairés. La bêche dynamométrique de M. de Gasparin pèse $2^k,75$, et on la laisse tomber bien verticalement de 1 mètre de hauteur ; le fer a $0^m,150$ de large. Dans les terrains pierreux on emploierait une fourche à trois dents du même poids que la bêche. Les dents de cette fourche, terminées en pointe peu aiguisée, ont $0^m,03$ de côté.

Hygroscopicité des terres. On désigne sous ce nom la propriété que possèdent, à un plus ou moins haut degré, les différentes terres de retenir l'eau entre leurs particules sans la laisser égoutter. On constate et on évalue facilement cette propriété en faisant avec 20 gr. de terre, préalablement desséchée, une bouillie claire que l'on verse sur un filtre mouillé et pesé. Quand il ne s'écoule plus d'eau, on pèse le filtre et la terre qu'il contient. La quantité d'eau retenue se calcule en retranchant du poids total ainsi obtenu celui de la terre sèche et du filtre. Un grand nombre de circonstances peuvent influer fortement sur cette propriété : l'addition des engrais l'augmente beaucoup ; l'écobuage, au contraire, la diminue notablement. C'est donc complétement à tort que certains auteurs ont donné comme mesure de la fertilité d'un sol son degré d'hygroscopicité. Cette propriété dépend à la fois de l'état physique et de la composition chimique des particules.

Voici, du reste, quelques résultats obtenus par Schübler :

	Eau retenue par 100 parties de terre.
Sable siliceux	25
Gypse	27
Sable calcaire	29
Glaise maigre	40
Glaise grasse	50
Terre argileuse	60
Argile pure	70
Terre calcaire fine	85
Terreau	190
Carbonate de magnésie	456
Terre de jardin	89
Terre arable d'Hoffwil	52
Terre arable du Jura	48

La *perméabilité* des terres, c'est-à-dire la propriété qu'elles ont de laisser passer l'eau, n'est point en rapport direct avec l'hygroscopicité comme on pourrait le croire. On compare la perméabilité de différentes terres en plaçant sur un tamis une couche d'une

AGRICULTURE.

certaine épaisseur de la terre à étudier, et on évalue la vitesse avec laquelle l'eau versée sur ces terres s'écoule dans un vase placé sous le tamis. Le sable laisse écouler l'eau très rapidement; l'argile, au contraire, la laisse à peine passer. La perméabilité des terres est une propriété importante qu'il importe d'étudier avec soin; elle se rattache à leurs propriétés capillaires, qui exercent sur la végétation une très grande influence, en facilitant plus ou moins les mouvements des gaz et des liquides, et qui jouent un rôle des plus importants dans les opérations de drainage et d'irrigation. Un examen attentif de la perméabilité des terres expliquerait peut-être bien des anomalies restées jusqu'à présent incomprises dans les travaux de cette espèce.

Les expériences de laboratoire dont nous venons de parler, et celles de même ordre qu'il nous reste à indiquer, ne permettent pas d'apprécier l'une des plus précieuses propriétés que puisse posséder une terre arable, la fraîcheur. Cette propriété dépend de la nature du sous-sol, de l'exposition du terrain, etc. Pour l'apprécier on prend un échantillon de terre à $0^m,33$ de profondeur, on le renferme dans un flacon à large ouverture bouché avec soin, pour le transporter au lieu de l'expérience. On le pèse, on le dessèche à 100° et on le pèse de nouveau. Pour qu'une terre soit saine, il faut que deux ou trois jours après une forte pluie elle ne renferme pas plus de la moitié de l'eau qu'elle peut retenir en raison de son hygroscopicité propre, déterminée comme on l'a indiqué ci-dessus, et pour qu'elle ne soit pas sèche, il est nécessaire qu'au mois d'août, après huit jours de sécheresse, elle renferme encore 10 p. 100 de son poids d'eau M. de Gasparin range parmi les terres fraîches celles qui retiennent habituellement de 15 à 23 p. 100 d'eau, et parmi les terres sèches celles qui en renferment moins de 10 p. 100.

Faculté des terres de se dessécher, d'absorber l'humidité, les gaz, etc. L'aptitude que les terres possèdent de se dessécher à l'air est à peu près en raison inverse de leur hygroscopicité. Schübler déterminait cette propriété en exposant les terres saturées d'humidité, sur des plateaux d'une surface donnée, à une température également déterminée. Les conditions ainsi déterminées ne paraissent pas assez nettement définies. Il conviendrait d'opérer à la fois à une température constante et dans un milieu constamment ramené au même degré de sécheresse, par la présence d'un corps déliquescent, de chlorure de calcium, par exemple.

Quand une terre se dessèche, elle diminue de volume, se resserre sur elle-même, et exerce souvent dans ces mouvements une action des plus nuisibles sur les racines, qu'elle écrase et déchire quelquefois. On apprécie ce retrait en formant des cubes de $0^m,30$ de côté avec des terres mouillées; on les dessèche à l'ombre, et quand ils ne changent plus de poids on mesure de nouveau leurs dimensions. En opérant ainsi, Schübler a obtenu les chiffres suivants :

	1,000 parties perdent de leur volume
Terre calcaire fine.	50
Glaise maigre.	60
Glaise grasse.	89
Terre du Jura.	95
Terre argileuse.	114
Terre d'Hoffwil.	120
Terre de jardin.	149
Argile pure.	183
Terreau.	200

La différence de retrait de l'argile et du calcaire explique la pulvérisation de la marne par les alternatives seules de sécheresse et d'humidité. Le terreau perd le cinquième de son volume par la dessiccation, et revient quand on le mouille à son volume primitif, ce qui explique en partie les mouvements si prononcés que l'on observe dans les terrains tourbeux quand la proportion d'eau qu'ils renferment vient à varier. L'abaissement de terrains de cette espèce a quelquefois été très sensible à la suite de travaux de drainage, et tous les ingénieurs qui ont eu à faire des remblais avec des terres de cette qualité ont eu l'occasion de remarquer les modifications produites dans les ouvrages par les variations d'humidité de la masse.

Les terres plongées dans l'air humide jouissent presque toutes de la faculté d'absorber une certaine quantité d'eau; cette propriété concourt à les entretenir dans l'état d'humidité nécessaire à une bonne végétation et constitue par conséquent une qualité précieuse dans beaucoup de circonstances. Schübler, dont le nom revient si souvent dans l'étude des propriétés physiques des terres, opérait en plaçant 5 gr. de chacun des échantillons qu'il voulait expérimenter sur de petits plateaux de $0^m,036$ de côté, disposés sous une cloche plongeant dans l'eau à sa partie inférieure. Il suffisait de peser, après différents intervalles de temps, les plateaux et leur contenu pour se rendre compte de ce que chaque échantillon avait absorbé d'eau. Le terreau se place en première ligne sous le rapport de la propriété qui nous occupe; de sorte que certains agronomes ont proposé de prendre pour mesure de la valeur d'un sol sa propriété d'attirer l'humidité. Mais on comprend qu'on ne saurait ainsi faire abstraction de la composition du terrain, de son exposition et de ses autres propriétés, sans s'exposer à commettre de graves erreurs.

Voici, du reste, les nombres obtenus dans quelques expériences faites comme on vient de l'indiquer :

	Absorbtion après :			
	12 heures.	24 h.	48 h.	72 h.
Sable siliceux. . . .	0,000	0,000	0,000	0,000
Sable calcaire. . . .	0,040	0,045	0,045	0,045
Terre du Jura. . .	0,071	0,095	0,100	0,100
Terre d'Hoffwil. . .	0,081	0,110	0,115	0,115
Glaise maigre. . .	0,105	0,130	0,140	0,140
Glaise grasse. . . .	0,125	0,150	0,170	0,175
Terre calcaire fine.	0,130	0,155	0,175	0,175
Terre argileuse. . .	0,150	0,180	0,200	0,205
Terre de jardin. . .	0,175	0,220	9,250	0,260
Argile pure.	0,185	0,210	0,240	0,245
Humus.	0,400	0,485	0,550	0,600

Les terres ne jouissent pas seulement de la propriété d'absorber l'humidité; elles exercent sur les gaz, quand elles sont humides, une action analogue qui a particulièrement été étudiée pour l'oxygène. Quand les terres se dessèchent, elles abandonnent l'oxygène qu'elles avaient en quelque sorte condensé mécaniquement, et ne reprennent la propriété d'absorber ce gaz qu'autant qu'elles sont humectées de nouveau. L'absorption du gaz oxygène, comme on vient de le dire, se produit sans action chimique quand les terres ne contiennent ni humus, ni fer à un degré inférieur d'oxydation; mais quand ces dernières substances existent dans un terrain, les choses se passent d'une manière bien différente. L'oxygène, en agissant sur l'humus, le transforme en eau et acide carbonique, qui, entraîné par la sève, ou dégagé dans l'atmosphère, favorise énergiquement le développement des plantes. La suroxydation du fer ne paraît pas moins importante; elle a lieu non-seulement par l'action directe du gaz oxygène, mais aussi par la décomposition de l'eau, pendant laquelle l'hydrogène naissant se combine à de l'azote, pour former de l'ammoniaque, dont on connaît la puissante influence sur les végétaux.

L'absorption de l'oxygène par la terre humide a été souvent étudiée; nous indiquerons seulement ici quel-

ques expériences de Schübler, bien qu'elles laissent beaucoup à désirer. Le contact des substances durait trente jours :

	Absorption d'oxygène en poids pour 100,000 parties en poids de la terre.
Sable siliceux.	4,6
Sable calcaire.	5,6
Glaise maigre.	9,3
Terre calcaire fine.	10,8
Glaise grasse.	11,0
Terre argileuse.	13,6
Terre arable du Jura.	15,2
Argile pure.	15,3
Terre arable d'Hoffwil.	16,2
Terre de jardin.	18,0
Humus.	20,3

Propriétés calorifiques des terres. La constitution physique des terres et leur composition chimique influent considérablement, et sur leur propriété de retenir la chaleur, et sur leur calorique spécifique. On n'a pas d'expériences bien précises sur ce sujet, et les observateurs ne semblent pas s'être assez préoccupés de distinguer les différents éléments de la question. On s'est borné à échauffer, à une même température, des poids égaux de différentes terres, à les laisser refroidir d'un même nombre de degrés, après les avoir renfermés dans des vases semblables, et à noter le temps nécessaire à ce refroidissement. La faculté de retenir la chaleur est proportionnelle à ce temps. On comprend que les résultats ainsi obtenus sont assez peu comparables. Voici cependant l'ordre dans lequel Schübler range, sous ce rapport, les terres soumises à ces expériences :

	Faculté de retenir la chaleur.
Sable calcaire	100
Sable siliceux.	956
Glaise maigre.	769
Terre du Jura.	743
Glaise grasse.	741
Terre d'Hoffwil	704
Terre argileuse.	684
Argile pure.	667
Terre de jardin.	648
Terre calcaire.	618
Terreau.	490

L'échauffement des terres par la chaleur solaire est une propriété bien plus intéressante, au point de vue pratique, que celle dont on vient de parler. Cet échauffement dépend, pour un même lieu, de la nature de la surface du sol, de sa composition chimique, de son degré d'humidité, et enfin de l'inclinaison sous laquelle il reçoit les rayons calorifiques.

La couleur du sol exerce sur son échauffement une très grande influence. Les cultivateurs ont remarqué qu'à égalité d'exposition, les sols colorés donnaient des récoltes plus hâtives que les sols blancs; que le vin des premiers était plus généreux que celui des seconds. Les jardiniers recouvrent souvent leurs planches de terreau et de matières noires, pour activer la maturité des fruits et des légumes. C'est encore en se fondant sur cette propriété que l'on a souvent recommandé de peindre en noir les murs d'espalier. Cette coutume, du reste, n'est pas également applicable dans toutes les contrées; elle tend plutôt à régulariser le climat dans lequel vivent les fruits qu'à le rendre plus chaud par moments. Elle paraît dès lors convenir davantage aux pays chauds qu'aux contrées du Nord, où les murs blancs, en rejetant sur les fruits toute la chaleur du jour, peuvent favoriser leur développement et leur maturité.

La composition chimique du sol paraît presque sans

AGRICULTURE.

action sur l'échauffement des terres par le soleil. Différents terrains ramenés à avoir une surface de même espèce n'ont présenté que des différences de température n'excédant pas 2° à 3°.

L'état de sécheresse ou d'humidité d'un terrain exerce au contraire sur son échauffement une grande influence. Les mêmes terrains, desséchés ou humides, ont présenté, dans des expériences faites avec soin, des différences de 7 à 8°. L'évaporation qui se produit à la surface des terrains humides doit être pour beaucoup dans l'abaissement de température dont il s'agit.

On n'insistera pas davantage sur l'examen des propriétés physiques et chimiques des terrains, considérées d'une manière abstraite. On a pu voir combien il reste de questions à éclaircir, de points à étudier sur cet intéressant sujet. Quelques-unes des méthodes d'expériences indiquées dans ce qui précède exigent des recherches assez délicates et n'offrent jusqu'à présent qu'un intérêt scientifique; mais le plus grand nombre présente, au contraire, un caractère de simplicité et d'utilité pratique facile à apprécier. L'essai chimique des terres, la détermination de leur densité et de leur degré de fraîcheur, sont autant d'opérations faciles à exécuter, et qui fournissent tous les renseignements nécessaires pour arriver à une juste appréciation des qualités d'un terrain.

On comprend du reste, sans qu'il soit en quelque sorte besoin de l'indiquer, que l'on doit toujours procéder dans ces études par voie de comparaison, c'est-à-dire, en soumettant aux essais et la terre dont on veut apprécier les qualités, et une terre prise dans des localités voisines et dont les propriétés sont bien connues et établies par une longue suite d'observations.

Il ne reste plus, pour compléter l'étude générale des terrains et résumer l'ensemble des notions précédentes, qu'à dire quelques mots de la classification des terres arables.

IV. CLASSIFICATION DES TERRES ARABLES.

Les terres arables présentent dans leurs caractères et leurs propriétés une variété infinie. Tous les auteurs qui se sont occupés d'agriculture ont senti le besoin d'une bonne classification des terrains et ont essayé de les partager en familles et en groupes, d'établir une nomenclature claire et précise permettant de reconnaître un terrain par son nom, ou de donner un nom à un sol jouissant de propriétés connues. Aucunes des tentatives faites jusqu'à présent, il faut bien l'avouer, n'ont atteint complétement le but proposé. Dans chaque localité, n'ayant à comparer qu'un petit nombre d'espèces et de variétés, on arrive facilement à des dénominations suffisamment précises dans le cercle auquel on les applique, mais tout à fait insuffisantes quand il s'agit de les étendre à d'autres contrées.

On n'essayera pas d'indiquer ici les divers systèmes de classifications des terres successivement proposés : les uns sont exclusivement fondés sur la constitution chimique des terrains, ou sur leurs propriétés physiques; les autres ne tiennent compte que de la nature des produits cultivés; d'autres, enfin, cherchent à employer une méthode mixte et à considérer à la fois un ensemble de caractères déduits de considérations de plusieurs genres. Il suffira d'indiquer les méthodes de classification les plus généralement suivies par les auteurs qui se sont occupés dans ces derniers temps des questions de cette nature.

Dans quelques publications récentes on s'est borné à distinguer seulement : 1° les terres fortes ou compactes; 2° les terres franches ou normales; 3° les terres légères; 4° les terres très maigres ou sableuses; 5° les

terres de natures exceptionnelles, telles que les tourbes, les dunes, etc. Il est inutile d'insister sur tout ce que présente de vague et d'insuffisant une pareille classification; on conçoit qu'il est impossible de l'appliquer avec succès dans toute étude tant soit peu précise.

Une classification plus complète a été proposée par M. Oscar Leclerc-Thouin, dans la *Maison rustique du dix-neuvième siècle*, et reproduite depuis lors, avec quelques légers changements, par la plupart des ouvrages élémentaires d'agriculture. Voici, en résumé, les divisions adoptées par l'auteur que nous citons. Elles répondent assez bien, dans leur ensemble, aux dénominations usuelles consacrées par l'habitude et employées par beaucoup de cultivateurs :

- **A.** Sols argileux.
  1. Argile pure.
  2. Argilo-ferrugineux.
  3. Argilo-calcaire.
  4. Argilo-sableux. { Terres fortes. — franches.
- **B.** Sols sableux.
  1. Sablo-argileux.
  2. Quartzeux et graveleux.
  3. Granitiques.
  4. Volcaniques.
  5. Sablo-argilo-ferrugineux.
  6. Terre de bruyère.
  7. Sable pur.
- **C.** Sols calcaires.
  1. Sable calcaire.
  2. Crayeux.
  3. Tuffeux.
  4. Marneux.
- **D.** Sols tourbeux et marécageux.
  1. Tourbeux.
  2. Uligineux.
  3. Marécageux.
- **E.** Sols magnésiens.

Nous indiquerons en peu de mots les caractères essentiels des cinq grandes classes du tableau précédent et de leurs principales subdivisions :

A (1). L'argile existe en forte quantité dans tous les sols de cette classe et leur imprime, à un plus ou moins haut degré, suivant sa proportion, les caractères qui lui sont propres. Les terres argileuses ont beaucoup de ténacité et de compacité; elles restent en masses consistantes après le labour et exigent un travail fréquent et pénible. Par la cuisson, les fragments de terre argileuse deviennent très durs et sonores comme de la brique.

Les terrains de cette espèce retiennent l'eau avec beaucoup de force, et leur assainissement présente souvent de très grandes difficultés. La sécheresse y produit des gerçures profondes, les resserre fortement, et s'oppose ainsi au développement des racines des végétaux. Les défauts que l'on vient de signaler appartiennent aux terrains d'argile presque pure; mais ils disparaissent plus ou moins complétement lorsque cette substance est intimement mêlée de sable et de calcaire, qui lui donnent des qualités précieuses pour la culture, lorsqu'ils existent en quantités convenables dans le sol, comme cela arrive dans quelques-unes des variétés suivantes.

(2) Les terres *argilo-ferrugineuses* contiennent une plus ou moins forte proportion de fer; elles acquièrent par la cuisson une couleur rouge brun très prononcée. A l'état naturel, elles sont noirâtres, rouges ou jaunes; ces dernières sont généralement fort impropres à la culture.

Comme exemple de composition de terrain argilo-ferrugineux, nous rapporterons l'analyse d'une terre d'une île de la Seine, en amont de Rouen, par M. J. Girardin :

Sable fin.	Siliceux.	11,28
	Calcaire.	6,77
Débris organiques grossiers et coquilles.		1,00
Matières solubles dans l'eau.	Humus soluble azoté.	0,85
	Carbonate et chlorures alcalins.	
	Sulfate alcalin et sels magnésiens.	
Terre ténue.	Humus insoluble.	17,30
	Argile.	34,60
	Calcaire avec carbonate de magnésie.	12,18
	Peroxyde de fer.	16,02
		100,00

(3) Les terres *argilo-calcaires* se partagent en plusieurs variétés, suivant l'état de division du calcaire. Lorsqu'il est en petits fragments, le terrain se rapproche, quant à ses propriétés physiques, des terres argilo-sableuses; lorsque, au contraire, le calcaire se trouve dans un état d'extrême division, il constitue une argile marneuse, terrain qui absorbe l'eau avec une grande facilité et la retient avec une telle énergie, qu'il est à peu près impropre à la culture dans les pays humides, ou dans les années pluvieuses.

(4) La lévigation extrait des terres argilo-sableuses une plus ou moins grande proportion de sable. On les partage en terres fortes et en terres franches; ces dernières renferment de 10 à 30 p. 100 de calcaire et autant de sable. Elles conviennent à la plupart des végétaux usuels et jouissent habituellement d'une assez grande fertilité.

B. Les sols sableux possèdent des propriétés opposées à celles des sols argileux. Ils sont légers, ne présentent aucune consistance, n'adhèrent pas aux instruments. Ils se dessèchent avec une facilité si grande, qu'ils ne peuvent souvent produire aucune récolte sans le secours des irrigations.

(1) Les sols *sablo-argileux* se confondent, par des transitions insensibles, avec la dernière variété de la première classe. On place dans l'espèce qui nous occupe les terrains les plus fertiles et les plus propres à la culture, telles que les alluvions récentes de nos principales vallées. Tous les engrais conviennent à ces terrains, déjà riches, en général, en matières organiques et en calcaire.

(2) Les terres *quartzeuses*, composées de cailloux ou de graviers plus ou moins volumineux, sont peu propres à la culture. Elles acquièrent cependant une grande valeur si l'ensemble des circonstances locales permet, comme dans le Bordelais, d'y cultiver la vigne, dont les racines pénètrent assez profondément pour trouver dans ces sols arides une nourriture suffisante, ou bien encore si le voisinage d'un cours d'eau permet d'y appliquer les procédés du colmatage ou du terrement.

(3 et 4) Les sols *granitiques* et *volcaniques* proviennent, comme leurs noms l'indiquent, de la décomposition plus ou moins complète des roches de granite, ou des produits d'éruptions volcaniques anciennes ou modernes.

Les terrains produits par la décomposition de granites feldspathiques, quand ils acquièrent une épaisseur convenable, comme dans certaines parties du Limousin, sont d'une grande fécondité. Mais ces circonstances heureuses se présentent rarement, et, dans le plus grand nombre des cas l'abondance des fragments siliceux enlève aux terrains granitiques toute leur fertilité.

Les terrains volcaniques présentent presque toujours une grande valeur; ils constituent d'excellentes terres cultivables quand ils possèdent une certaine humidité. La belle plaine de la Limagne d'Auvergne offre, en France, l'exemple le plus remarquable de cette espèce

AGRICULTURE.

de sol. La couleur foncée du terrain lui permet d'absorber la chaleur avec facilité, et la nature du sous-sol assure à la couche superficielle une fraîcheur continuelle.

(6) La terre de bruyère est un mélange de sable fin siliceux et de terreau, qui lui donne une couleur foncée et des propriétés particulières. Ce genre de sol ne joue jusqu'à présent qu'un rôle très secondaire dans la grande culture; il est trop aride en été et généralement trop peu profond. Il occupe cependant en France d'assez vastes étendues pour attirer l'attention des cultivateurs, et se trouve souvent assez à proximité des moyens d'amélioration qui lui sont propres pour mériter une étude sérieuse.

L'analyse suivante, due à M. Payen, peut donner une idée de la composition de cette espèce de terre; elle s'applique à un échantillon pris à Meudon, près Paris :

Sable de grès.	62,0
Racines et débris végétaux. . .	20,0
Humus.	16,0
Matière soluble à l'eau froide. .	1,2
Carbonate de chaux	0,8
	100,0

(7) Le sable siliceux pur recouvre, sur quelques parties des côtes de France, de vastes étendues. Longtemps délaissées comme improductives, les dunes commencent à préoccuper sérieusement l'opinion, depuis que les travaux de Brémontier ont prouvé la possibilité de les fixer et de les planter en pins, et que d'autres essais ont établi que l'on pouvait, avec de l'eau, en tirer un excellent parti. En Belgique et en Hollande, on voit des terrains de sables, ensemencés en spergule, fournir d'abondantes récoltes de ce fourrage et se transformer peu à peu, sous l'influence d'une culture éclairée, en sols d'une qualité remarquable. On reviendra plus loin sur ce sujet, en indiquant les procédés de fixation et d'amélioration des landes de Gascogne.

C. Les sols calcaires sont ceux où le carbonate de chaux se rencontre en proportion prépondérante. Ces sols sont maigres, arides, et généralement peu fertiles. Leur couleur, ordinairement blanche, les empêche d'absorber la chaleur solaire. Ils consomment les fumiers avec une grande rapidité. Il convient, autant que possible, de leur appliquer les engrais à l'état de composts, formés avec l'argile et le terreau recueillis dans les mares et fossés où se dirigent les eaux pluviales qui ont arrosé des terres de meilleures qualités. Une partie de la Champagne est formée d'un sol crayeux qui imprime à tout le pays une stérilité que remarque l'observateur le moins attentif.

Il est inutile d'examiner les sous-divisions de ce groupe de terrains, heureusement assez peu répandus en France.

D. Les sols tourbeux ou marécageux, dans leur état naturel, sont ordinairement impropres à la culture; ils exigent presque toujours, pour devenir capables de nourrir les plantes cultivées, des travaux préliminaires et des améliorations que nous indiquerons dans les chapitres suivants.

La tourbe est le produit de la décomposition plus ou moins avancée de végétaux, accumulés, par une cause ou par une autre, sous une couche d'eau. Elle est colorée en brun ou en noir, et présente souvent une assez forte proportion de plantes non encore décomposées. Elle contient de 80 à 93 p. 100 de matières organiques et seulement 7 à 20 p. 100 de matières minérales; sable siliceux, argile, carbonate, sulfate et phosphate de chaux et de magnésie. Les tourbes ne renferment pas d'alcali et présentent, en général, une réaction acide qui s'oppose au développement de tous les végétaux, autres que les quelques variétés spéciales à ce genre de terrains.

Les sols marécageux, quand ils ont été convenablement desséchés, en leur conservant toutefois des moyens d'arrosage, peuvent fournir d'excellentes terres d'une fertilité souvent remarquable. Les cultures de garance de nos départements méridionaux existent quelquefois dans des terrains de cette nature, riches en matières animales, et assez heureusement placés, par rapport au réservoir inférieur des eaux, pour conserver une humidité permanente et convenable.

E. Les sols magnésiens n'occupent pas en France une étendue assez importante pour qu'il soit nécessaire de s'en occuper ici. Ils sont, au contraire, assez abondants en Angleterre et en Italie. Ils proviennent de la décomposition d'une espèce de dolomie. Ils se dissolvent lentement dans l'acide chlorhydrique faible, et l'ammoniaque précipite abondamment la solution. Ces caractères suffisent pour les distinguer des sols calcaires.

M. de Gasparin, dans son grand ouvrage, propose une classification nouvelle des terrains, assez différente de celle que nous venons de faire connaître. Cette classification est loin d'être généralement adoptée; mais elle présente un caractère remarquable de netteté scientifique que tous nos lecteurs apprécieront.

Voici le tableau synoptique des divisions adoptées par M. de Gasparin :

- **A. Terrains renfermant l'élément calcaire.**
  - 1. Limons (loams). — Inconsistants. / Meubles. / Tenaces.
  - 2. Argilo-calcaires. — Argileux. / Calcaires.
  - 3. Craies. . . . . — Fraîches. / Sèches.
  - 4. Sables. . . . . — Meubles. / Inconsistants.
- **B. Terrains ne renfermant pas l'élément calcaire.**
  - 1. Siliceux. . — Secs. / Frais.
  - 2. Glaiseux. . — Inconsistants. / Meubles. — Micacés. / Schisteux. / Volcaniques. / Sabloneux. / Tenaces.
- **C. Argiles.**
- **D. Terreaux.**
  - 1. Doux.
  - 2. Acides. — Terre de bruyère. / Terre de bois. / Tourbe.

Les caractères propres de ces différentes classes de terrains sont les suivants :

A. Les terrains renfermant l'élément calcaire font effervescence avec les acides.

1. *Les limons*, après avoir été traités par l'acide nitrique ou chlorhydrique, donnent un résidu d'argile et de silice libre, qui séparées par la lévigation forment au moins chacune un dixième du poids de la terre.

Les limons se couvrent naturellement d'herbes, parmi lesquelles dominent les bonnes graminées; ils offrent aux plantes un point d'appui suffisamment solide, et ont assez d'affinité pour l'eau pour entretenir autour des racines une fraîcheur convenable. Ils sont d'ailleurs *inconsistants*, *meubles* ou *tenaces*, selon que l'argile y existe en proportion plus ou moins considérable.

Comme exemples de composition de terrains appar-

tenant à la classe qui nous occupe, on peut citer les analyses suivantes :

Terre d'alluvion formée par le Rhône, à Gabet, près Orange.

Terreau	4,0
Carbonate de chaux	43,5
Argile	32,5
Silice libre	20,0
	100,0

Limon meuble de la rive gauche du Volga, analysé par M. Payen.

Silice	71,56
Alumine	11,40
Oxyde de fer	5,62
Chaux	0,80
Magnésie	1,22
Chlorures alcalins	1,21
Acide phosphorique	traces
Matière organique (2,45 p. 0/0 d'azote)	6,95
Perte	1,24
	100,00

Limon tenace du Nil, analysé par M. Lassaigne.

Silice	4
Argile	48
Oxyde de fer	6
Carbonate de chaux	18
Carbonate de magnésie	4
Terreau	9
Eau	11
	100

2. Les terres *argilo-calcaires* contiennent plus d'un dixième de carbonate de chaux ; le résidu de l'action des acides ne contient pas un dixième de sable siliceux libre séparable par lévigation. Les terres de cette classe appartiennent à la première subdivision du tableau synoptique quand elles renferment au moins 50 p. 100 d'argile, et à la seconde quand elles contiennent au moins 50 p. 100 de carbonates. Les terres argilo-calcaires se subdivisent encore en *tenaces*, *meubles* et *inconsistantes*.

3. Les *craies* renferment au moins 60 p. 100 de carbonate de chaux et au plus 10 p. 100 d'argile. Ces terrains sont généralement infertiles. Ils sont froids, légers et ne conservent pas les fumiers.

Analyse d'un terrain crayeux de Brimont, près Reims, par Barruel.

Carbonate de chaux	66,7
Phosphate de chaux	2,0
Hydrate de peroxyde de fer	2,0
Alumine	2,3
Sable siliceux	27,0
	100,0

Les craies sont *fraîches* quand la position du réservoir des eaux inférieures leur permet de conserver l'été 0,4 d'humidité, à 0m,30 de profondeur. Dans le cas contraire, elles sont *sèches*, et présentent tous les inconvénients de leur nature.

4. Les *sables calcaires* renferment au moins 0,50 de sable calcaire ou siliceux, ne passent pas à travers un crible dont les trous ont un demi-millimètre de diamètre. Quand le sable prédomine dans le terrain, il est *inconsistant* ; quand ils renferment un peu d'argile et de craie fine, ils peuvent acquérir une certaine consistance et se classer dans les terres *meubles*.

B. Les terrains *ne renfermant pas de calcaire* ne font point effervescence avec les acides

1. Les terrains *siliceux* donnent au moins par la lévigation 0,55 de silice libre.

2. Les terrains glaiseux fournissent par la lévigation au moins 0,45 d'argile et 0,10 de silice libre.

C. Les *argiles* renferment au moins 0,85 d'argile et de la silice libre. Elles sont impropres à la culture.

D. On range parmi les *terreaux* les terres qui, préalablement desséchées, perdent plus d'un cinquième de leur poids par la combustion. Les sous-divisions sont suffisamment définies par leurs noms mêmes, sans qu'il soit nécessaire de les étudier avec détails.

La nature des plantes qu'un terrain produit naturellement est l'un des caractères les plus propres à déterminer ses propriétés. C'est un renseignement précieux qui permet souvent d'apprécier la valeur d'une terre que l'on veut mettre en culture, et qu'il ne faut jamais négliger de fournir, quand on veut faire connaître par une description les qualités d'un sol donné.

Nous avons pensé qu'il serait utile de présenter, dans le tableau suivant, en regard des principaux types de terrains, les noms de quelques-unes des plantes dont la végétation spontanée caractérise le mieux chacun d'eux.

DÉSIGNATION du terrain.	PLANTES SAUVAGES caractéristiques.
Terrains argileux.	Tussilage pas d'âne. Laitue vireuse. Sureau yèble. Lotier corniculé. Orobe tubéreux. Agrostis traçante. Chicorée sauvage.
Terrains argilo-calcaires.	Anthyllide vulnéraire. Potentille anserine Potentille rampante. Mélique bleue. Laitue vivace. Sainfoin cultivé. Chondrille joncée. Frêne commun.
Terrains calcaires.	Brunelle à grandes fleurs. Boucage saxifrage. Germandrée petit chêne. Gaude. Potentille printanière. Coquelicot. Seslerie bleuâtre. Chardons. Globulaire commune. Noisetier commun.
Terrains sableux.	Jasione des montagnes. Elyme des sables. Statice des sables. Laiche des sables. Roseau des sables. Fléole des sables. Sabline pourpre. Canche. Fétuque rouge. Drave printanière. Oseille petite. Agrostide. Spergule des champs. Réséda jaune. Bouleau. Pin maritime.

DÉSIGNATION du terrain.	PLANTES SAUVAGES caractéristiques.
Terrains constamment submergés.	Mâcre. Fétuque flottante. Laiches. Scirpes. Souchets. Nénuphars. Roseau à balais. Fléchière. Plantin d'eau. Menthe poivrée. Épilobes.
Terrains non constamment submergés.	Spirée ulmaire. Menthe aquatique. Joncs. Laiches. Prêles.

Les deux classifications des terrains agricoles que l'on vient d'exposer, assez différentes en apparence, présentent au fond une certaine analogie, et il ne serait pas difficile, pour les personnes qui désireraient le faire, d'établir la synonymie à peu près exacte des principales dénominations employées. Mais on ne saurait s'empêcher de reconnaître que les noms adoptés par les auteurs des différentes méthodes de classification des terrains, sont ou trop peu précis, ou trop peu répandus, pour qu'il soit possible de reconnaître avec certitude la nature d'un sol par l'énoncé du nom qui lui est attribué. Il est donc indispensable, toutes les fois que l'on veut faire connaître un terrain, d'en donner une description complète, fournissant sommairement, comme le recommande M. de Gasparin, les indications suivantes :

1° La situation topographique du terrain;
2° Son altitude au-dessus de la mer;
3° La place que le terrain occupe dans la classification adoptée;
4° La position géologique, le genre de formation des terrains agricoles dont il dépend;
5° Sa pesanteur spécifique;
6° Sa ténacité;
7° Son hygroscopicité;
8° Sa fraîcheur;
9° Sa couleur à l'état sec ou humide;
10° Son analyse, précédée de la séparation par criblage et lévigation, et de l'examen microscopique des différents lots;
11° L'épaisseur du sol, la nature du sous-sol, la profondeur du réservoir inférieur des eaux;
12° L'inclinaison de la surface, son exposition;
13° Ses abris, leur direction, leur hauteur;
14° Les circonstances accidentelles prévues, inondations, gelées, etc.;
15° Les plantes sauvages les plus communes;
16° L'état de la végétation des arbres et des plantes cultivées;
17° Le prix de l'hectare, du fermage, l'assolement, l'état des voies de communication et des débouchés, l'impôt, les charges, etc.

On vient de donner sur la classification des terrains tous les renseignements nécessaires, quant à présent. L'examen des cultures et des amendements les plus propres à chaque espèce de sol se trouvera naturellement dans les chapitres suivants. Quant à l'appréciation de la *valeur* des terres, que beaucoup d'auteurs placent à la suite de la classification des terrains, nous

croyons devoir la renvoyer au chapitre IX, parce que cette question ne saurait être convenablement traitée avant l'exposé des considérations économiques et commerciales qui se rattachent à l'estimation des produits.

Troisième section. — Météorologie agricole.

Après avoir étudié avec détails, comme on vient de le faire, les terrains agricoles dans lesquels se développent les racines des végétaux, il convient de s'occuper des propriétés de l'atmosphère au milieu de laquelle ils étendent leurs rameaux et leurs feuilles, et d'examiner les principaux phénomènes météorologiques qui exercent sur la végétation une si puissante influence.

Nous devons dans cette partie de notre travail, comme dans les précédentes, renvoyer aux traités spéciaux pour l'étude détaillée des phénomènes, en nous bornant à un résumé succinct des faits d'un intérêt pratique et à l'indication des méthodes d'observations les plus simples et les plus usuelles.

La météorologie en général, et surtout l'application à l'agriculture de cette branche importante de la physique, est encore fort peu avancée. L'absence d'observations assez multipliées se fait sentir à chaque instant et ne permet pas, jusqu'à présent du moins, de formuler avec certitude les lois les plus fondamentales. On commence cependant à comprendre l'utilité des observations météorologiques, et tout fait espérer que les louables efforts de quelques physiciens, qui s'occupent spécialement de propager ce genre d'études, parviendront à le rendre plus général. Mais on doit reconnaître que les observations isolées, sans direction commune, faites par des méthodes différentes, ne peuvent apporter à la science que des données bien imparfaites et souvent trompeuses, et que pour arriver à des notions positives il serait indispensable d'établir des observatoires météorologiques plus ou moins nombreux, pourvus d'instruments comparables, établis et employés sous la direction de l'observatoire principal de chaque contrée, avec le concours effectif de l'État. Cette idée si souvent et, à notre avis, si justement soutenue, ne présenterait, du reste, aucune difficulté réelle d'exécution et n'exigerait en France qu'une dépense insignifiante, puisque l'administration pourrait trouver, dans les différents corps savants qu'elle emploie, un grand nombre d'hommes qui se chargeraient avec empressement d'observations de cette espèce, si on leur fournissait seulement les appareils et l'emplacement nécessaires. Le plus grand nombre des observations udométriques connues jusqu'à présent sont dues à des ingénieurs de l'État. Rien ne serait plus facile que de multiplier les études de cette espèce, sans entraver en aucune façon les travaux habituels des services, et d'arriver ainsi, en fort peu de temps, à une connaissance exacte de cet élément important de notre climat.

La nature des éléments fixes et variables de l'air a déjà été indiquée. On ne reviendra point ici sur ce sujet, et on se bornera à l'examen rapide des principaux phénomènes atmosphériques qui agissent directement sur la végétation.

1. Chaleur.

La chaleur exerce, comme tout le monde le sait, l'action la plus directe sur la végétation. Mais avant d'étudier les effets mêmes de cet agent sur les plantes, quelques explications sont nécessaires.

La température moyenne d'un jour est la somme des températures observées à différentes époques équidistantes de la journée, divisée par le nombre des observations. Plus les observations sont rapprochées, et plus le quotient ainsi obtenu approche de la moyenne absolue.

On a reconnu, par un assez grand nombre d'observations, que la moyenne de la journée est à peu près la moyenne des températures observées à huit heures du matin et à huit heures du soir, ou plus exactement la moyenne des températures de quatre heures et de dix heures du matin, et de quatre heures et de dix heures du soir.

La température moyenne des mois et des années s'obtient en faisant la somme des températures moyennes de chaque jour, et divisant par le nombre des termes ainsi ajoutés.

La température moyenne d'un lieu dépend d'un très grand nombre de circonstances, parmi lesquelles on remarque particulièrement la latitude de ce lieu, son altitude, la direction des vents régnants, la proximité ou l'éloignement de montagnes, de grandes masses d'eaux, de marais ou de forêts, la couleur du sol, l'exposition, etc., etc. On conçoit dès lors que l'expérience peut seule fournir cette donnée, et qu'il est inutile de s'arrêter à l'examen de formules empiriques établies par quelques auteurs, au moyen d'un nombre de renseignements évidemment insuffisant. On peut seulement admettre, comme résultat moyen suffisamment approché, dans la partie de l'Europe que nous habitons, que, toutes choses égales d'ailleurs, la température décroît de un degré centigrade par 160 mètres environ d'élévation.

L'ensemble des lieux jouissant de la même température moyenne, en les supposant ramenés à une même altitude, forme ce qu'on appelle une ligne *isotherme*. Les lignes de cette espèce ne sont encore que très vaguement et très imparfaitement tracées à la surface du globe, et même en Europe. On appelle lignes *isothères* le lieu des points d'égales températures moyennes d'été, et lignes *isochimènes* le lieu des points d'égales températures moyennes d'hiver. Les tracés des lignes isothermes, isothères et isochimènes diffèrent beaucoup les unes des autres. Les deux dernières classes de lignes sont encore plus mal connues que la première. Elles présenteraient cependant, au point de vue agricole, un plus grand intérêt; mais les observations sont loin d'être assez nombreuses pour permettre de les déterminer, même d'une manière approximative.

La température moyenne annuelle de la partie habitée de la France paraît être de 12° environ. La plus basse température qu'on y ait observée a été de 28°,1, le 3 février 1830, à Mulhouse. La plus haute température constatée à l'ombre, également en France, a été observée à Orange, en juillet 1830, par M. de Gasparin; le thermomètre s'est élevé à 40°,2.

Les différences entre les températures moyennes de l'hiver et de l'été et les maximum et minimum de chaque jour, sont d'autant moins fortes que l'on s'approche davantage des bords de l'Océan ou de la Méditerranée. Ainsi, tandis que la différence des températures moyennes de l'hiver et de l'été est à peu près de 18° dans les villes de l'intérieur de la France, telles que Strasbourg, Dijon, etc., elle se réduit à 13° ou 14° dans les villes dont la distance à la mer n'excède pas 230 kilomètres, comme Poitiers, La Rochelle, etc., et reste même notablement au-dessous de cette limite dans beaucoup de points de notre littoral.

Les chiffres précédents se rapportent à la température de l'air, mais ce milieu transparent laissant passer plus ou moins facilement les rayons lumineux et calorifiques, n'atteint pas la même température que la terre et les végétaux qui vivent à sa surface. La chaleur solaire, ainsi reçue par les plantes, augmente très notablement leur température moyenne et les place dans des conditions beaucoup plus avantageuses à leur développement que celles qui résulteraient de la température seule de l'air, à la latitude du lieu qu'elles occupent. D'après un grand nombre d'observations

AGRICULTURE.

faites ou réunies par M. de Gasparin, la moyenne annuelle de chaleur atmosphérique étant à Paris de 10°,8, à Peissemberg de 5°,65 et à Orange de 13°,1, la chaleur solaire est de 14°,0 à Paris, de 9°,45 à Peissemberg et de 19°,9 à Orange; ce qui donne une augmentation de 3°,2 dans la première localité, de 3°,80 dans la seconde et de 6°,8 dans la dernière. Ces différences, déjà très considérables, prendront une plus grande importance encore si l'on se borne à observer l'influence de la chaleur solaire pendant le printemps, époque où la végétation commence à se développer. On trouve, en effet, les résultats suivants :

	Températures moyennes du printemps.		
Lieu d'observation.	à l'ombre.	au soleil.	Différence.
Paris.	10,60	14,80	4,20
Peissemberg. .	8,20	19,32	11,12
Orange. . . .	12,00	19,40	7,40

Les chiffres précédents suffiront pour indiquer l'importance de la chaleur solaire sur les plantes et démontrer la nécessité de tenir compte de cet élément dans l'établissement des climats agricoles. L'évaporation qui se produit à la surface de la terre humide abaisse d'ailleurs, d'une manière plus ou moins notable, sa température au-dessous de celle des tiges et des parties sèches des végétaux, ce qui établit entre les racines et les autres parties des plantes une différence de température probablement fort utile au mouvement de la sève et au développement de leurs fonctions vitales.

La quantité de chaleur absorbée par le sol est d'autant plus considérable, toutes choses égales d'ailleurs, que la direction des rayons solaires est plus voisine de la perpendiculaire à la surface, au point considéré. On conçoit, d'après cela, que les terrains inclinés au sud doivent avoir une température moyenne supérieure à celle des terrains exposés au nord; et l'on s'explique facilement les différences qui existent entre la valeur de terres voisines, par le fait seul de leur exposition plus ou moins avantageuse. L'étude complète de l'influence de l'inclinaison d'un terrain sur sa température exige quelques calculs qu'il serait inutile de reproduire maintenant.

Les températures moyennes, soit annuelles, soit même diurnes, sont loin d'exercer sur la végétation l'influence qu'on serait naturellement porté à leur attribuer, et ne donnent que des notions extrêmement incertaines sur le climat agricole d'une contrée déterminée. On conçoit, en effet, que la même température moyenne peut résulter de l'addition de températures extrêmes fort différentes. Les *maxima* et les *minima* absolus de températures, ou les moyennes de ces valeurs extrêmes, ont un intérêt bien plus direct et bien plus appréciable.

La température s'élève rarement assez dans nos climats pour exercer sur les plantes, pourvu qu'on leur fournisse une humidité suffisante, une action nuisible. Nos végétaux souffrent bien plus souvent de l'absence que de l'excès de la chaleur; nous n'avons donc rien à dire, quant à présent, sur les effets des *maxima* de température. Il n'en est pas de même des températures *minima*, qui produisent si souvent en France des ravages effrayants.

L'action du froid sur les végétaux dépend de son intensité, de sa durée, de l'époque où il a lieu, et des circonstances qui accompagnent le retour d'une température plus élevée.

Le degré de froid qui suspend la végétation dans une plante et détruit ses organes, varie avec la nature et les parties de cette plante exposées à la gelée. Les jeunes pousses de chêne, par exemple, résistent souvent à une température inférieure à zéro, qui fait pé-

rir celles du figuier, et les plantes de serre ne peuvent supporter un froid de 4°. D'un autre côté, les parties les plus tendres des végétaux, celles qui sont les plus imprégnées de sucs, périssent plus facilement que les parties ligneuses et compactes. Les bourgeons meurent souvent, tandis que les branches résistent; et celles-ci sont quelquefois atteintes sans que le tronc soit affecté. Les racines enfin, protégées par la terre, ne sont ordinairement frappées qu'en dernier lieu. Chaque espèce de plante ne peut probablement supporter qu'un certain minimum de température. Mais il est extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, d'évaluer ce minimum, qui indiquerait une limite absolue à la culture de chaque végétal. Il ne suffit pas, en effet, de savoir que tel arbre est mort sous l'action d'une température déterminée, pour assurer qu'il ne pourra pas vivre et se développer dans un climat où cette même température se produit chaque année, car il pourrait arriver qu'il résistât parfaitement, si la durée du froid et les circonstances du dégel n'étaient pas les mêmes que dans le premier cas.

Les gelées qui ont lieu à une époque avancée de l'année sont toujours les plus funestes aux végétaux : d'abord, parce que la sève, déjà en mouvement, remplit tous les organes, et ensuite parce qu'un réchauffement rapide succède généralement, pendant le jour, au froid de la nuit. Les variations brusques de température, les dégels subits, sont du reste les conditions les plus dangereuses pour les végétaux. Aussi, voit-on souvent, dans le Midi, les plantes périr par un froid peu intense suivi d'un beau soleil, tandis que les mêmes végétaux résistent parfaitement dans les climats du Nord à une gelée beaucoup plus forte suivie de pluie, d'un dégel lent et d'une température encore assez basse.

La température la plus basse de l'année a lieu, en moyenne, vers le 15 janvier, et la plus élevée vers le 15 juillet. Mais entre ces deux points extrêmes, eux-mêmes assez variables, la température ne croît pas d'une manière continue pour décroître ensuite avec la même régularité. Une foule de circonstances locales ou accidentelles produisent de nombreuses irrégularités dans la succession des températures, et une série de maxima et de minima relatifs très différente d'une année à l'autre. L'époque de la floraison des plantes et de la maturation de leurs fruits suit avec assez de régularité les variations de la chaleur des saisons. Tout le monde remarque, en effet, que les récoltes se font beaucoup plus tôt les années chaudes que les années froides. Cette observation, en quelque sorte banale, a conduit les physiciens et les agronomes à se demander s'il ne serait pas vrai que chaque plante exige pour son entier développement une certaine somme de degrés de chaleur, en relation avec sa nature même. Les observations faites jusqu'à présent tendent à confirmer cette hypothèse, et les faits allégués d'abord pour l'infirmer, analysés avec plus de soin, lui apportent au contraire une remarquable confirmation. Le blé, qui a été plus particulièrement étudié au point de vue que l'on vient d'indiquer, commence à végéter d'une manière sensible quand la température moyenne atteint + 6°; si l'on ajoute les degrés de la température journalière moyenne depuis ce moment jusqu'à celui de la récolte, on trouve une somme de 1604° à Orange et de 1943° à Paris. Mais si au lieu d'ajouter les températures moyennes de l'air, on additionne les températures moyennes solaires, on arrive à des résultats un peu différents et beaucoup plus concordants, savoir : 2432° pour Paris et 2468° pour Orange; c'est donc toujours sur les températures solaires moyennes qu'il convient d'établir les calculs analogues aux précédents. Les résultats, pour devenir comparables dans des lieux dont les latitudes sont très différentes, exigent du reste une correction qu'il convient d'indiquer. A Lyngen, par exemple, à 70 degrés de latitude boréale, on obtient, dans les terrains abrités, des récoltes de blé qui germe, se développe et mûrit en soixante-douze jours. La somme des températures moyennes atmosphériques est pendant ce temps de 675°, et la somme des degrés de chaleur solaire de 907°, en tout 1582°. Ce chiffre est de beaucoup inférieur à celui que nous avons indiqué comme nécessaire à la maturation du blé en France. Mais si l'on remarque que la lumière est nécessaire à la végétation, que le soleil est presque toujours sur l'horizon à Lyngen pendant la période du développement du blé, tandis qu'il n'en est pas de même à Orange ou à Paris, on se rendra compte de cette différence. Cette explication est du reste complétement vérifiée par un calcul très simple. En retranchant de la somme des températures solaires moyennes à Orange les sommes des températures atmosphériques nocturnes, on obtient le nombre 1652°, aussi rapproché qu'il est possible de le désirer, avec les observations imparfaites que l'on possède, du nombre 1582, obtenu pour Lyngen. En résumé, le blé ne peut se développer et fructifier qu'autant que la somme des températures moyennes de la terre au soleil, pendant le temps où la végétation de cette plante est possible, s'élève, pendant le jour, à 1600° environ.

La somme des degrés de température nécessaire au développement des plantes est très variable avec les espèces. Ainsi le maïs exige 4,000 degrés environ de chaleur solaire moyenne en France, tandis que le blé, comme on l'a vu (la chaleur nocturne non déduite), n'en demande que 2,400 environ.

Nous ne terminerons pas ce que nous voulons dire ici sur les températures sans indiquer combien on peut simplifier, au moyen de figures, la représentation des observations météorologiques. Un seul exemple suffira pour le faire comprendre. Nous avons représenté, figure 4, les courbes des températures mensuelles résultant de la moyenne d'un grand nombre d'années d'observations faites à Strasbourg, Paris, Peissemberg, Orange, Chiswick, Helston et Dunino. Ce simple dessin, dont l'inspection suffit pour faire comprendre la construction, est la traduction matérielle de trois ou quatre pages de tableaux numériques, et fournit à l'œil tous les renseignements qu'une étude attentive permettrait seule de saisir dans des colonnes de chiffres.

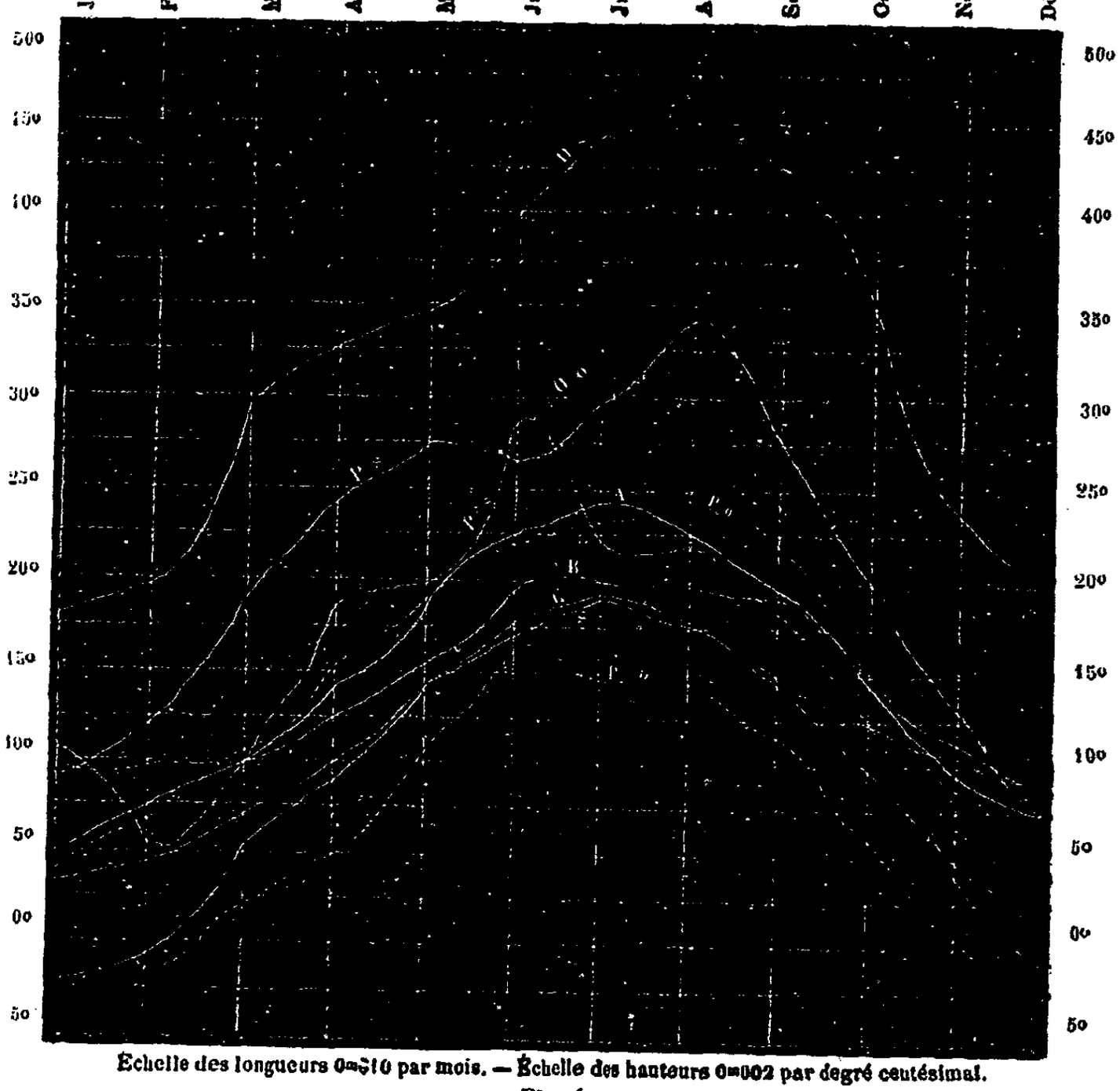
La courbe S représente la suite des températures moyennes mensuelles à Strasbourg, de 1806 à 1820.

Les courbes A,B,C indiquent les températures moyennes observées à Chiswich, Helstone et Dunino.

Les lignes Po, Ps.oO, O.o, indiquent les températures moyennes observées à l'ombre, à Paris, Peissemberg et Orange. Les lignes P.S, Ps.S, O.*s*, indiquent au contraire les résultats des observations faites au soleil dans les mêmes localités. Ces deux systèmes de lignes permettent d'apprécier clairement ce que nous avons dit de l'influence solaire. Les ordonnées des courbes qui nous occupent sont les moyennes d'observations faites à Paris de 1838 à 1842, à Orange de 1836 à 1842, et à Peissemberg en 1786.

On a dû supprimer dans cette figure, pour ne point trop la compliquer, trois courbes destinées à montrer les différences qui existent entre les moyennes des températures *maxima* et *minima* des différents mois de l'année, ainsi que deux courbes indiquant les variations qui se manifestent, entre les températures mensuelles moyennes, d'une année à l'autre.

Il est d'ailleurs inutile d'observer que, faute d'espace, on a dû réduire beaucoup trop l'échelle des mois et même celles des températures. Il convient, en pratique, de prendre pour échelle des longueurs horizontales autant de millimètres par jour que l'on a besoin de consigner d'observations dans cet intervalle. Les papiers quadrillés, que l'on trouve à très bas prix



Echelle des longueurs 0m,010 par mois. — Échelle des hauteurs 0m,002 par degré centésimal.

Fig. 4.

dans le commerce, permettent de former facilement des tableaux analogues à ceux dont la figure offre un croquis réduit.

Ces tableaux, faciles à dresser par tous les observateurs, fourniraient, s'ils étaient plus nombreux, des renseignements on ne peut plus utiles pour la météorologie et la détermination des climats agricoles. Nous ne citerons qu'un seul exemple de leur application. Supposons que l'on ait la courbe des températures solaires moyennes de chaque jour dans une localité déterminée, et qu'il s'agisse de savoir si la culture du blé est possible dans cette localité. Il suffira, pour répondre à cette question, si les unités ont été convenablement choisies, de tracer une ligne horizontale à 6° au-dessus de la ligne 0°, de mener les ordonnées passant par les points où cette horizontale coupe la courbe des températures, et de s'assurer que l'aire comprise entre ces ordonnées, la courbe et la ligne 0° est supérieure à 1,600 unités de surface. On pourrait, au moyen de la même courbe, déterminer, *à priori*, l'époque de la maturité, le nombre possible de récoltes annuelles, etc.; mais il est inutile d'insister davantage sur ces applications, qui sont beaucoup plus théoriques que pratiques, le temps que la météorologie agricole ne sera pas plus riche d'observations bien faites qu'elle ne l'est aujourd'hui.

II. LUMIÈRE, ÉLECTRICITÉ.

La *lumière*, ou plutôt les rayons chimiques qui l'accompagnent, est indispensable, comme on l'a déjà dit, au développement complet de nos plantes ordinaires. C'est seulement sous l'action de cet agent que se produisent les réactions chimiques auxquelles les plantes doivent leur accroissement, et particulièrement celles qui leur procurent le carbone existant dans leurs tissus. Les végétaux privés de lumière s'étiolent, leurs tiges blanchissent et s'allongent, sans acquérir de solidité et sans produire de graines. Une expérience remarquable de M. de Gasparin établit d'une manière bien nette l'influence de la lumière directe sur la végétation. Cet observateur a choisi trois mûriers aussi semblables que possible; mais très diversement exposés à la lumière, puisque le premier recevait le soleil toute la journée, que le second n'y était exposé qu'une partie du jour, et que le troisième était constamment à l'ombre. Il a desséché un même poids de feuilles de ces trois arbres, et il a reconnu que les feuilles du premier renfermaient 45 p. 100 de matière solide, que

AGRICULTURE.

celles du second en contenaient 36 p. 100, et celles du dernier, enfin, 27 p. 100 seulement.

La nature et la composition de la lumière, au point de vue de ses effets sur la végétation, ont du reste été fort peu étudiées. L'observation démontre que l'état de nébulosité plus ou moins habituelle du ciel exerce sur les plantes, et surtout sur les fleurs et les fruits, une action très prononcée; quelques expériences, peu nombreuses il est vrai, faites avec des verres colorés de diverses manières, établissent aussi que toutes les parties du spectre solaire n'agissent pas de la même manière sur les végétaux. Il y a une série de travaux importants à entreprendre dans cette voie; mais on est forcé de reconnaître que, jusqu'à présent, il n'existe pas sur ce sujet de données bien précises, ni de renseignements d'un intérêt pratique.

L'*électricité* atmosphérique, comme la lumière, joue dans la nature un rôle des plus importants, et exerce sur la végétation une influence qui ne paraît pas douteuse; mais cet agent est encore trop peu connu, au point de vue qui nous occupe, pour que son étude puisse nous offrir un intérêt pratique. Nous ne nous arrêterons donc pas davantage à l'examen des phénomènes électriques qu'à celui des phénomènes lumineux, et nous passerons immédiatement à l'exposition des principaux faits physiques que présente l'air atmosphérique.

III. PRESSION DE L'AIR.

La *pression* de l'air à la surface de la terre s'observe à l'aide du baromètre. Cet instrument, que tout le monde connaît, est l'appareil météorologique le plus habituellement employé par les cultivateurs, en raison des services qu'il peut rendre en fournissant des indications sur la probabilité de la pluie. Le baromètre à cadran ne donne que des indications très imparfaites; l'emploi ne saurait en être recommandé. Un bon baromètre à cuvette ordinaire convient parfaitement pour les besoins usuels. Pour les observations plus précises, on se sert souvent du baromètre à syphon de M. Gay-Lussac, qui fournit des indications fort exactes, et dont le transport ne présente aucune difficulté.

Les observations barométriques se font, à l'Observatoire de Paris, à neuf heures du matin, à midi, à trois heures et à neuf heures du soir. L'observation de midi donne la moyenne du mois et de l'année. Les trois autres observations servent à déterminer les variations *horaires*.

La pression moyenne du baromètre à Paris, déduite de vingt années d'observations, est de $0^m,756$. Les variations horaires sont assez faibles, et ne s'élèvent qu'à quelques dixièmes de millimètre. En moyenne, dans notre climat, la hauteur barométrique atteint son maximum vers neuf heures du matin, et son minimum vers trois heures du soir.

On remarque, en général, qu'un abaissement du baromètre est un indice de pluie, et que son élévation est au contraire un pronostic de beau temps. Il ne faut pas, comme le font certaines personnes, ajouter une confiance absolue à ces indications générales. Un phénomène naturel est la résultante de trop de circonstances différentes pour qu'il soit possible de le prévoir par l'observation d'un seul instrument; mais il est certain que, dans chaque localité, l'examen attentif, prolongé pendant plusieurs années, de la marche d'un baromètre, combinée avec l'étude des vents et de quelques autres phénomènes, conduit aisément à prévoir, avec une grande probabilité, quelques jours d'avance, la chute de la pluie. On ne saurait donc engager trop vivement les agriculteurs à noter chaque jour, à midi, la hauteur du baromètre, et à enregistrer aussi chaque jour de pluie. La construction de tableaux analogues à celui de la fig. 4 permet de comparer facilement de longues périodes d'observations, et évite la peine d'écrire les hauteurs barométriques en chiffres, puisqu'il suffit d'un simple point marqué sur la ligne verticale du jour, à la hauteur convenable.

M. Prévost a reconnu, par un grand nombre d'expériences, qu'à Genève, sur cent pluies initiales, c'est-à-dire succédant à plusieurs jours de beau temps, il y en avait quatre-vingt-cinq précédées d'un abaissement de $0^m,00015$ au moins. A Alais, en 1812, on a trouvé que soixante-neuf pluies sur cent avaient été annoncées par un abaissement du baromètre. D'un autre côté, il résulte, d'une longue série d'observations faites à Montmorency, que les probabilités de pluie ou de neige correspondant à diverses hauteurs du baromètres sont les suivantes :

Hauteur du baromètre.		Probabilité de pluie.	Probabilité de neige.
m.	m.		
0,728 à	0,738	0,70	0,22
0,738	0,742	0,58	0,04
0,742	0,751	0,46	0,04
0,751	0,760	0,19	0,01
0,760	0,769	0,08	0,00
0,770	0,774	0,00	0,00

Enfin, d'après M. de Gasparin, vingt-sept années d'observations, de 1813 à 1842, ont conduit, à Orange, aux résultats suivants :

	Pluies avec le baromètre plus bas que la moyenne.	plus haut que la moyenne.	Ces nombres sont entre eux comme :
Décembre. . . .	150	42	100 : 28
Janvier. . . .	162	49	100 : 30
Février. . . .	138	55	100 : 40
Mars.	153	39	100 : 25
Avril.	199	49	100 : 25
Mai.	203	67	100 : 38
Juin.	135	52	100 : 38
Juillet.	100	42	100 : 42
Août.	118	50	100 : 42
Septembre. . . .	162	50	100 : 31
Octobre. . . .	211	58	100 : 27
Novembre. . . .	194	54	100 : 28

Il paraît que l'on pourrait tirer de l'observation attentive des variations horaires du baromètre des pronostics plus certains encore que ceux qui sont fournis par ses mouvements généraux. Mais ce genre d'observation exige des instruments trop précis et des soins trop délicats pour que nous nous en occupions ici.

Les variations de la pression atmosphérique ne paraissent pas exercer par elles-mêmes d'action bien directe sur la végétation, mais ce que l'on vient de dire sur les pronostics tirés du baromètre, suffit pour indiquer l'intérêt que présente l'observation de cet instrument.

IV. DES VENTS.

La fréquence et la force des vents se placent au premier rang parmi les éléments caractéristiques d'un climat. Les végétaux sont fortement modifiés par ces mouvements de l'air. On peut dire d'une manière générale que les vents modérés, en renouvelant l'air et en imprimant aux plantes une certaine agitation, compatible avec leur élasticité propre, sont favorables à la végétation. Mais les vents secs, ou régnant avec trop de force ou de continuité dans une direction déterminée, fatiguent les plantes, et leur impriment des caractères spéciaux que tout le monde a pu remarquer. Les arbres plantés au bord de la mer, par

exemple, offrent un aspect *rabougri* tout à fait caractéristique : la tête s'incline du côté opposé au vent, les branches s'allongent dans ce sens et les racines s'accroissent et prennent, dans la direction opposée, un développement tout à fait anormal. L'étude de la direction des vents régnants doit précéder l'établissement des plantations ou constructions faites pour abriter certaines parties d'un domaine ou d'une contrée, comme on le fait dans quelques parties de la Belgique et en France, dans les dunes des bords de l'Océan.

La direction des vents s'observe au moyen de girouettes plus ou moins perfectionnées; et, leur vitesse, autre élément non moins important, à l'aide d'anémomètres à compteurs, sur lesquels nous n'avons pas à insister ici.

La France, considérée d'une manière générale, appartient à la grande zone du vent du sud-ouest; mais une foule de circonstances locales, la présence de montagnes, de grandes masses d'eau, etc., modifient dans chaque localité la direction habituelle, les caractères et les propriétés des vents. Nous avons réuni dans le tableau ci-dessous quelques-uns des chiffres donnés par M. Martins, pour la fréquence relative des différents vents dans plusieurs points de la France. Ces renseignements pourront servir de terme de comparaison aux personnes qui voudraient faire des observations de cette nature.

AGRICULTURE.

Le baromètre est affecté par la direction des vents ; il est généralement plus haut pendant les vents de l'est ou du nord que pendant les vents du sud ou de l'ouest. On doit tenir compte de cette observation quand on emploie comme pronostics les indications barométriques.

V. HYGROMÉTRIE, ÉVAPORATION ET PLUIE.

L'air renferme toujours une plus ou moins forte proportion de vapeur d'eau. La détermination de cette quantité de vapeur, et des lois que suit sa distribution dans les différents climats, aux diverses époques de l'année, constitue ce qu'on désigne d'une manière générale sous le nom *d'hygrométrie*. Les instruments employés par les physiciens, pour déterminer le degré d'humidité de l'air, sont, jusqu'à présent, ou trop peu précis ou d'un emploi trop délicat, pour que cette partie importante de la météorologie ait été convenablement étudiée. Cette lacune est d'autant plus regrettable que l'humidité de l'air exerce sur la végétation une action des plus directes, et qu'il suffirait, sans doute, de quelques bonnes séries d'observations sur ce point pour éclairer beaucoup de phénomènes encore fort obscurs. L'un des hygromètres les plus exacts est celui de M. Regnault, mais il ne peut être employé avec succès que par des

LOCALITÉS.	N.	N.-E.	E.	S.-E.	S.	S.-O.	O.	N.-O.
Strasbourg.	97	237	58	87	268	120	39	94
Mulhouse.	112	199	84	184	184	265	11	11
Nancy.	32	65	24	8	53	70	70	24
Paris.	127	106	64	65	173	181	190	94
Bruxelles.	63	164	71	46	104	285	181	86
Abbeville.	85	175	82	85	87	205	128	153
La Chapelle (près Dieppe). . .	36	41	23	31	37	93	48	52
Denainvilliers (près Pithiviers).	181	193	40	11	221	311	13	30
Bourges.	44	34	36	34	35	58	97	74
Poitiers.	54,3	32,3	45,9	2,4	81,9	46,1	84,5	17,6
La Rochelle.	94	270	57	31	104	274	89	81
Toulouse.	77	25	38	295	31	56	161	317
Lyon.	334	45	77	51	179	48	98	168
Mâcon.	243	49	28	8	290	39	300	43
Alais.	118	17	6	10	51	16	8	22
Nîmes.	22	88	24,	19	73	12	17	111
Montpellier.	20	124	84	186	124	11	186	262
Toulon.	7	45	40	46	9	28	34	144
Bastia.	60	102	57	176	65	163	76	34

Il existe, dans chaque localité, une relation très intime entre la direction du vent et les probabilités de pluie. Le vent peut déterminer la chute de la pluie dans deux conditions différentes. Quand un courant d'air chaud passe au dessus d'un grand amas d'eau, il entraîne une plus ou moins grande quantité de vapeur, qui se dépose à l'état de pluie, si la masse d'air arrive dans une contrée dont l'air soit à une température suffisamment basse. Un vent froid, au contraire, arrivant dans une contrée dont l'air plus échauffé renferme une quantité de vapeur d'eau un peu considérable, peut également y déterminer la chute de la pluie; on pourra donc, dans chaque pays, reconnaître d'avance les vents pluvieux, en tenant compte, d'une part de la position des grands amas d'eau qui peuvent fournir aux vents chauds des réservoirs de vapeur, et, d'autre part, de la position des hautes montagnes, ou autres causes de refroidissement, qui peuvent abaisser la température des masses d'air en mouvement.

observateurs exercés. L'hygromètre à cheveu est d'un prix trop élevé pour la plupart des cultivateurs, qui le remplacent par les hygromètres communs, composés d'une corde de boyau, dont la torsion met en mouvement le capuchon ou le bras d'une petite figure en carton peint. Ces instruments ne sont nullement comparables entre eux, mais il est certain qu'ils indiquent les variations du degré d'humidité atmosphérique, et qu'ils peuvent ainsi, jusqu'à un certain point, donner quelques renseignements sur les probabilités de pluie. Leur observation, combinée avec celles des vents et de quelques autres apparences physiques, peut donner, avec une longue habitude, d'assez bons pronostics, ce qui explique le grand nombre d'appareils de cette espèce que l'on rencontre dans les campagnes.

L'*évaporation* qui a lieu à la surface de l'eau ou de la terre humide est liée directement au degré de sécheresse et à la température de l'air, à l'intensité du vent, à tous les phénomènes, en un mot, qui intéres-

AGRICULTURE.

sent la culture. La connaissance exacte de ce phénomène est indispensable aux calculs relatifs à l'établissement des réservoirs et des opérations de dessèchement. Les appareils d'observation sont malheureusement encore assez imparfaits et les expériences des physiciens très peu nombreuses. L'évaporation s'observe au moyen d'un vase rectangulaire en métal, d'une section donnée, rempli d'eau dans laquelle plonge un thermomètre. On pèse chaque jour le vase, ou l'on mesure, à l'aide d'une vis micrométrique, l'abaissement du niveau du liquide. Quand le vent est un peu fort, il produit, à la surface du vase, de petites vagues et entraîne mécaniquement, à l'état liquide, une certaine quantité d'eau. Il est nécessaire de retrancher la quantité d'eau ainsi entraînée de la perte totale pour avoir le volume d'eau réellement vaporisé. L'un des moyens les plus convenables pour atteindre ce but consiste à placer autour du bord du vase un cadre garni de papier peint à la colle en couleur claire. Chaque gouttelette d'eau en tombant sur ce papier y produit une tache plus ou moins grande. En comptant chaque jour les taches produites, on peut, jusqu'à un certain point, à l'aide d'expériences préalables, se rendre compte de la quantité d'eau entraînée mécaniquement. L'étude de l'évaporation produite à la surface de la terre humide se fait à l'aide d'un vase analogue à celui dont on vient de parler, mais rempli de terre, percé de trous et enfoncé dans le sol jusque près de ses bords. La dessiccation naturelle d'un terrain est, du reste, un phénomène complexe qui ne se produit pas seulement par l'évaporation de la surface. La capillarité et la nature du sous-sol y interviennent pour une forte part. La meilleure marche à suivre, pour étudier les variations d'humidité du sol, consisterait à prendre chaque jour, à la même profondeur, dans un même champ, un échantillon de terre, à le dessécher et à peser la perte qu'il éprouverait par cette opération. Les indications précédentes suffisent pour faire comprendre les instruments à employer pour l'étude agricole du phénomène de l'évaporation. On trouvera dans le chapitre suivant le résumé des données pratiques obtenues par différents observateurs et employées par les ingénieurs dans les calculs relatifs aux irrigations et aux dessèchements.

La *pluie* a été beaucoup mieux étudiée que les deux phénomènes précédents, auxquels elle se rattache cependant de la manière la plus directe. Les données que l'on possède sur les quantités de pluie qui tombent annuellement sont cependant loin d'être complètes, et leur importance pour les opérations agricoles est telle qu'il paraît utile d'entrer dans quelques détails sur les moyens d'observation de cet élément essentiel de météorologie pratique.

Les instruments qui servent à mesurer les quantités d'eau qui tombent en une année à la surface de la terre se nomment udomètres ou pluviomètres. Ces instruments se composent ordinairement d'un vase en métal, communiquant avec un entonnoir terminé par une partie cylindrique d'une section déterminée. Le vase en métal, ou réservoir, porte, à sa partie inférieure, un robinet au moyen duquel on recueille l'eau, après chaque jour de pluie, dans un vase gradué de telle sorte que le volume recueilli fasse connaître *l'épaisseur* de la couche d'eau tombée dans l'entonnoir. Les appareils de cette espèce convenablement établis donnent, entre les mains d'observateurs attentifs et consciencieux, d'excellents résultats. Mais ces instruments ne fournissent aucun moyen de vérification, et confiés à des agents subalternes leurs indications ne pourraient inspirer aucune confiance.

J'ai fait construire, pour remédier à l'inconvénient que l'on vient de signaler, le pluviomètre totaliseur représenté par la fig. 5 et dont voici la description :

A, entonnoir en cuivre ou en zinc verni, garni à sa partie supérieure d'une bague en laiton tournée formant la circonférence d'un cercle de quatre décimètres carrés de surface.

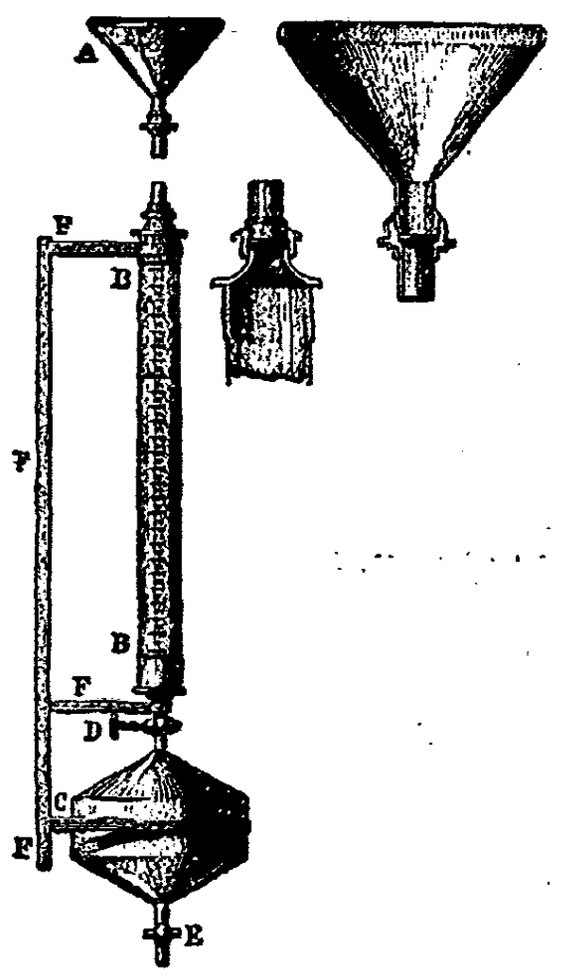


Fig. 5.

BB, tube en verre gradué en centilitres. Les deux extrémités de ce tube sont mastiquées dans des viroles en laiton.

L'entonnoir A et le tube B communiquent par un tube en plomb ou en caoutchouc vulcanisé, quand la disposition des lieux oblige à séparer ces deux parties de l'appareil.

C, réservoir en cuivre ou en zinc.

D, robinet servant à établir la communication entre le réservoir C et le tube gradué BB.

E, robinet placé à la partie inférieure du réservoir C. Ce robinet ne peut être manœuvré qu'à l'aide d'une clef qui doit rester entre les mains de la personne qui dirige et surveille les observations.

FFF, support en bois de l'instrument. Ce support se fixe contre un mur, ou un poteau vertical, au moyen d'anneaux dont il est garni.

L'entonnoir A doit être placé sur le toit de la maison ou de la guérite destinée à servir d'observatoire, les autres parties du pluviomètre sont disposées à l'intérieur.

La queue de l'entonnoir et la virole supérieure du tube BB sont garnies de bagues de raccordement, comme l'indique la coupe de l'entonnoir et de son raccord, qui rendent facile la pose du tuyau de raccordement de ces deux parties de l'appareil.

L'emploi de l'instrument que l'on vient de décrire est extrêmement simple. Le robinet D étant fermé, l'eau reçue par l'entonnoir s'accumule dans le tube gradué BB. Les chiffres inscrits sur ce tube, d'après les dimensions et graduations adoptées, indiquent en *quarts* de *millimètres* la hauteur de la couche d'eau tombée. L'agent chargé des observations inscrira chaque jour le résultat de sa lecture, et, aussitôt après cette opération, il fera tomber l'eau du tube gradué dans le réservoir, en ouvrant le robinet D, qu'il refer-

mera soigneusement aussitôt après l'écoulement complet de l'eau du tube gradué dans le réservoir.

La personne qui surveille les observations mesurera, à des intervalles plus ou moins éloignés, l'eau du réservoir, en ouvrant avec sa clef le robinet E et en recevant dans une éprouvette en verre graduée le liquide accumulé depuis sa dernière observation. Le nombre de centilitres d'eau ainsi recueillis exprimera en quarts de millimètre la hauteur de la couche d'eau tombée dans l'intervalle considéré, hauteur qui devra se trouver sensiblement égale à la somme des hauteurs inscrites dans la même période par l'agent chargé des observations journalières. Cette vérification, toujours facile à faire et ne demandant que quelques minutes par mois, constitue le perfectionnement apporté au pluviomètre dont il s'agit. Elle permet de confier les observations aux agents les plus inférieurs, et rend presque impossibles les erreurs que la négligence ou l'oubli introduisent trop souvent dans les observations météorologiques, de sorte qu'un même observateur principal peut surveiller un grand nombre de pluviomètres distribués sur les différents points d'un bassin.

On a souvent cherché à construire des pluviomètres inscrivant eux-mêmes les quantités d'eau tombées, au moyen de compteurs et de dispositions mécaniques plus ou moins compliquées. Les instruments de cette espèce, connus jusqu'à présent, ne peuvent fournir aucune indication précise.

Flaugergues a fait établir un pluviomètre indiquant de lui-même les quantités de pluie tombées par chaque vent : il suffit, pour atteindre ce résultat, de placer au-dessous de l'entonnoir un ajutage mobile, communiquant avec une girouette et versant l'eau dans un vase divisé en 8 compartiments répondant aux vents principaux. Cette disposition n'est pas généralement employée, elle ne paraît pas présenter d'utilité assez réelle pour compenser la complication qu'elle introduit dans l'appareil.

Après avoir fait connaître les instruments propres à mesurer les quantités d'eau de pluie, passons à l'étude de ce phénomène lui-même.

C'est la pluie, en général, qui distribue aux plantes l'humidité dont elles ont besoin; on conçoit par cela seul l'importance agricole de ses effets. La répartition des pluies et leur abondance dans les différentes saisons de l'année sont un des principaux éléments de la fertilité des terrains et l'une des causes les plus réelles de l'aspect général de l'agriculture d'un pays, on ne saurait donc rassembler avec trop de soin les données que fournissent sous ce rapport les observations météorologiques.

Les pluies sont très inégalement réparties dans les différentes parties de la France, soit que l'on considère la quantité absolue d'eau tombée, soit que l'on tienne compte seulement du nombre annuel de jours de pluie, et de leur distribution dans différentes saisons. Dans les contrées où il pleut souvent, chaque pluie est peu abondante, elle pénètre uniformément la terre et entretient les végétaux dans un état continuel d'humidité et de fraîcheur. Ces contrées conviennent surtout à la culture des fourrages et à l'élève des bestiaux. Dans les pays où les pluies sont peu fréquentes, et le volume d'eau tombé cependant considérable, les pluies sont torrentielles, ravagent les cultures dans les terrains en pente, noient le sol dans les parties basses et le laissent ensuite se dessécher complétement par l'action prolongée d'un temps sec et d'une chaleur élevée. L'automne, dans la plus grande partie de la France, est la saison de l'année dans laquelle il tombe le plus d'eau; dans les Vosges et dans une partie du bassin de la Seine, l'été se place sous ce rapport au premier rang.

Nous avons réuni, dans le tableau (A), placé plus loin, les principaux renseignements recueillis en France et dans quelques parties de l'Europe au sujet des quantités d'eau tombées annuellement et de leur répartition dans les différentes saisons de l'année. Tous ces chiffres ne présentent pas assurément le même degré de certitude, mais leur ensemble offre une image assez fidèle du phénomène considéré dans sa généralité. Le tableau (A) présente seulement la répartition des pluies par saisons : l'hiver comprenant les mois de décembre, janvier et février; le printemps, mars, avril et mai, et ainsi de suite.

Les nombres inscrits dans le tableau (A) sont des moyennes résultant d'observations faites pendant un plus ou moins grand nombre d'années. Mais il ne faut pas oublier que les quantités d'eau tombées annuellement oscillent entre des limites fort étendues, comme le prouvent les faits suivants qu'il serait facile de multiplier : il est tombé à Metz, en 1831, $0^m,738$ d'eau et $0^m,416$ seulement en 1826. A Joyeuse, en 1827, l'épaisseur de la couche d'eau tombée était de $2^m,197$, et n'était que de $0^m,893$, en 1825. A Marseille, en 1839, il est tombé $0^m,906$ d'eau, et en 1832, $0^m,339$ seulement. Le tableau suivant pourra donner une idée de la différence qui existe entre les années sous le rapport de la quantité d'eau tombée.

ANNÉES.	HAUTEURS D'EAU.		
	PARIS cour de l'Observat.	STRASBOURG.	MARSEILLE.
	m.	m.	m.
1821	0,55	0,742	»
1822	0,48	0,675	»
1823	0,52	0,677	0,402
1824	0,65	0,942	0,413
1825	0,52	0,665	0,432
1826	0,47	0,582	0,536
1827	0,58	0,747	0,620
1828	0,63	0,631	0,484
1829	0,59	0,754	0,637
1830	0,64	0,678	0,304

Des variations plus marquées encore se présentent d'une année à l'autre quand on compare les quantités d'eau tombées dans les mois correspondants. Pour indiquer ces variations, sans agrandir outre mesure le tableau de la page suivante, nous y avons réuni seulement les quantités mensuelles d'eau tombée, pendant les cinq dernières années dans la cour de l'Observatoire de Paris et celles recueillies dans le Rhinlande. Les premiers chiffres sont extraits des tableaux publiés chaque mois dans les comptes rendus de l'Institut, et les autres d'un mémoire couronné par l'Académie de Rotterdam.

Il nous a paru utile d'insister plus qu'on ne le fait ordinairement sur ces variations de la distribution et des quantités de pluie. On verra plus loin l'importance de cet ordre de faits dans la rédaction des projets de dessèchement et de construction de réservoirs.

Les quantités d'eau tombées en un jour méritent aussi de fixer l'attention des agriculteurs et des ingénieurs; elles varient depuis une couche à peine sensible jusqu'à des hauteurs vraiment extraordinaires. Ainsi, sans parler des pluies torrentielles des tropiques, ni de l'averse tout à fait extraordinaire observée à Gênes, en 1822, et pendant laquelle il tomba $0^m,82$ d'eau, on a vu tomber à Joyeuse, le 9 août 1807, $0^m,25$ d'eau, et le 9 octobre 1827, en 22 heures $0^m,794$. A Marseille, un orage produisit $0^m,325$ de hauteur

AGRICULTURE.

MOIS.	HAUTEURS D'EAU TOMBÉE à Paris, en 1846.	1847.	1848.	1849.	1850.	dans le Rhinlande, en 1837.	1838.	1839.	1840.	1841.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Janvier.	0,077	0,047	0,027	0,054	0,050	0,045	»	0,028	0,024	0,023
Février.	0,020	0,036	0,046	0,018	0,031	0,023	»	0,023	0,012	0,008
Mars.	0,053	0,022	0,055	0,031	0,020	0,010	0,020	0,010	0,008	0,009
Avril.	0,074	0,045	0,100	0,062	0,057	0,018	0,020	0,009	0,001	0,015
Mai.	0,042	0,031	0,021	0,066	0,061	0,025	0,019	0,009	0,037	0,021
Juin.	0,038	0,027	0,064	0,087	0,024	0,014	0,031	0,023	0,016	0,024
Juillet.	0,023	0,114	0,053	0,074	0,044	0,022	0,038	0,015	0,036	0,074
Août.	0,086	0,048	0,112	0,028	0,158	0,021	0,043	0,027	0,024	0,039
Septembre. . . .	0,067	0,028	0,020	0,084	0,033	0,027	0,021	0,031	0,055	0,031
Octobre.	0,087	0,038	0,053	0,047	0,062	0,035	0,048	0,009	0,036	0,098
Novembre. . . .	0,028	0,028	0,038	0,065	0,050	0,060	0,021	0,031	0,039	0,048
Décembre. . . .	0,057	0,033	0,042	0,033	0,049	0,031	0,010	0,033	0,007	0,057
Totaux. . . .	0,652	0,497	0,631	0,649	0,638	0,301	0,271	0,248	0,295	0,447

d'eau ; à Trèbes, en 1772, on observa une pluie qui répondait à 0m,490 d'eau en 24 heures. Enfin, à Pau, on a recueilli en 2'30" une couche d'eau de 0m,048.

Il serait difficile, dans les grands travaux, de se mettre en garde contre ces circonstances exceptionnelles, à moins de dépenses extraordinaires. Mais les personnes qui font des observations pluviométriques doivent noter soigneusement les hauteurs d'eau tombées pendant les jours de grandes pluies assez fréquentes pour qu'il importe de se préserver des dangereux effets qu'elles pourraient produire dans les travaux de dessèchement.

On a remarqué, dans tous les observatoires, que les udomètres placés à la surface du sol recevaient plus d'eau que ceux qui se trouvaient élevés à une certaine hauteur. La quantité d'eau recueillie dans l'udomètre le plus élevé étant représentée par 1, les quantités reçues dans l'instrument le moins élevé sont représentées :

A Paris, pour une différence de niveau de			23m, par	1,13
A Copenhague,	—	—	32	1,27
A Manchester,	—	—	25	1,60
A York,	—	—	53	1,72
A Pavie,	—	—	44	1,04

Les rapports précédents varient, du reste, d'une saison à l'autre. Ces faits, encore mal expliqués, pourraient faire supposer que la quantité de pluie est moindre dans les lieux élevés que dans les plaines. Il n'en est rien cependant. Tous les faits connus tendent au contraire à établir, qu'à moins de circonstances exceptionnelles, la quantité d'eau qui tombe annuellement augmente avec l'altitude des points que l'on considère. Les faits suivants viennent à l'appui de cette opinion.

Il tombe annuellement, au mont Saint-Bernard, 1m,5129 d'eau, tandis que dans les villes placées au pied de cette montagne une longue suite d'observations ont donné les résultats suivants :

	m.
Milan.	0,9665
Berne.	1,1387
Genève.	0,7527

Le même accroissement s'observe quand on remonte les vallées des grands fleuves. Nous trouvons en effet :

Vallée du Danube.

	Hauteurs d'eau tombée annuellement. m.
Bude.	0,424
Vienne.	0,492
Ratisbonne.	0,570
Ulm.	0,684
Genkingen.	1,544

Vallée du Pô.

	m.
Venise.	0,835
Padoue.	0,860
Milan.	0,966
Turin.	0,954

Vallée du Rhin.

	m.
Middlebourg.	0,655
Haguenau.	0,677
Strasbourg.	0,684
Zurich.	0,870
Berne.	1,139

Les exceptions à cette règle que présentent Viviers, dans la vallée du Rhône, et Mâcon dans celle de la Saône, sont facilement expliquées par la position de ces deux villes.

L'augmentation de la quantité annuelle de pluie, en approchant des montagnes, a été constatée par un assez grand nombre d'observateurs. A Saint-Rambert (Ain), sur les premiers échelons de la montagne, il tombe annuellement 1m,590 d'eau ; à Monciat (Saône-et-Loire), à un kilomètre de la montagne cette quantité se réduit à 1m,450 ; à Bourg (Ain), dix kilomètres plus loin, il ne tombe plus que 1m,250 ; à Mâcon, la hauteur annuelle de pluie n'est plus que de 0m,840, et se réduit enfin à 0m,800 à Oullins (Rhône), dans les coteaux de l'Isère. Miller, dans le Cumberland, à l'est des montagnes, a fait des observations analogues : il a trouvé qu'il est tombé, en 1845, 1m,244 d'eau à Whitehaven, 3m,148 à Gotesgoth, et enfin

(A) Tableau de la répartition des pluies, par saisons, dans diverses localités.

LIEUX D'OBSERVATION.	HIVER.		PRINTEMPS.		ÉTÉ.		AUTOMNE.		TOTAUX.		OBSERVATIONS ANNÉES d'après lesquelles on a établi la moyenne.
	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	
	m.		m.		m.		m.		m		
Strasbourg. . . .	0,11347	23	0,15924	29	0,22013	33	0,17541	30	0,66825	115	1806-1820
— . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,68520	»	1806-1834
Zurich.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,8701	»	» »
Berne.	0,2232	26,2	0,2383	34,8	0,4087	42	0,2687	37,6	1,1389	140,6	» »
Haguenau. . . .	0,127	37	0,143	43	0,189	44	0,219	49	0,678	173	1780-1784
Mulhouse. . . .	0,146	35	0,191	45	0,220	40	0,197	44	0,754	164	1777-1784
Metz.	0,11416	»	0,12689	»	0,19267	»	0,15101	»	0,58473	149	1825-1834
Nancy.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,5685	114	1782-1820
Genève	0,1542	23,5	0,1598	25,6	0,2193	25,7	0,2247	28,4	0,758	103,2	1801-1834
Lausanne. . . .	0,1737	»	0,1889	»	0,3400	»	0,2755	»	0,9784	»	8 ans
Vévey.	»	»	»	«	»	»	»	»	1,183	»	» »
Paris (cour de l'Observatoire.). . . .	0,1164	34	0,14076	35	0,17189	36	0,13445	37	0,5635	142	1764-1827 1806-1826 [1]
Montmorency. . .	0,1408	38	0,1540	36	0,2279	37	0,1975	36	0,6902	147	» »
Bruxelles (pluie et neige).	0,1543	»	0,1528	»	0,1922	»	0,2006	»	0,7000	176	1833-1842
Delft.	0,1550	»	0,0976	»	0,2334	»	0,2773	»	0,7633	»	2 ans
Lille.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,5740	169	1777-1784
Cambrai.	0,05549	»	0,08235	»	0,14960	»	0,13430	»	0,42174	122	1777-1784
Laon.	0,1572	42	0,1402	42	0,2034	42	0,1683	38	0,6691	164	» »
Châlons-s.-Marne.	0,0810	23	0,0928	34	0,1200	24	0,1093	28	0,4031	106	1825 et 1827-1829
Chartres.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,544	139	1777-1784
Denainvilliers (près Pithiviers). . . .	0,1052	»	0,0990	»	0,1526	»	0,1239	»	0,4807	115	1748-1778
Auxerre.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,628	»	1767-1772
Pont-le-Voy. . . .	0,2072	»	0,2010	»	0,2223	»	0,3056	»	0,9361	»	1837-1843
Bourges.	0,0925	»	0,0925	»	0,1624	»	0,1692	»	0,5166	101	19 ans
Tours.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,5655	»	» »
Angers.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,520	»	3 ans
Nantes.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,714	»	1834-1837
Poitiers.	0,1467	»	0,1343	»	0,1250	»	0,1746	»	0,5806	»	1778-1818
La Rochelle. . . .	0,175	37	0,132	33	0,126	31	0,223	38	0,656	139	50 ans
Saint-Maurice-le-Girard (Vendée).	0,2078	34	0,0677	34	0,1232	32	0,2274	34	0,6261	134	1776-1785
Bordeaux.	0,18205	»	0,14076	»	0,15859	»	0,17640	»	0,6578	150	1714-1770 et 1776-1784
Landes.	»	»	»	»	»	»	»	»	1,000	»	» »
Espalais.	0,1255	»	0,1448	»	0,1408	»	0,1947	»	0,6058	»	1833-1843
Marmande. . . .	0,1805	»	0,2241	»	0,1531	»	0,2047	»	0,7624	»	1838-1843
Toulouse. . . .	0,1007	34,7	0,1924	36,5	0,1221	21,7	0,1458	39,7	0,5610	132,6	1839-1842
Pau.	0,287	»	0,322	»	0,151	»	0,325	»	1,085	125	1837-1842 [2]
Aurillac.	0,2413	»	0,2689	»	0,2796	»	0,3603	»	1,1501	»	» »
Lyon.	0,1308	24,4	0,1846	33	0,2263	27	0,2346	34,6	0,7763	119	1765-1780
Dijon.	0,123	28	0,138	29	0,160	25	0,250	36	0,671	118	1777-1785 1838-1842
—	»	»	»	»	»	»	»	»	0,6787	»	1763-1785 - 1838-1842
Berzé-la-Ville, à 13 kilomètres de Mâcon.	0,1645	42,6	0,2070	43,7	0,2395	35,2	0,2334	38,3	0,8444	159,8	1820-1835
Mâcon.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,846	128	16 ans
Gray.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	» »
Bourg.	0,24336	»	0,28856	»	0,28640	»	0,35380	»	1,17242	»	9 ans
Pontarlier. . . .	0,2397	35	0,2315	33	0,2448	36	0,2891	34	1,0054	135	» »
Joyeuse.	0,28401		0,30296	»	0,20912	»	0,52155	»	1,3176	97,5	1804-1829

[1] Pour le nombre des jours de pluie. — [2] 89 mois d'observations.

Tableau de la répartition des pluies par saisons, dans diverses localités.

(Suite.)

LIEUX D'OBSERVATION.	HIVER.		PRINTEMPS.		ÉTÉ.		AUTOMNE.		TOTAUX.		OBSERVATIONS ANNÉES d'après lesquelles on a établi la moyenne.
	Hauteur d'eau tombée	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	
	m.		m.		m.		m.		m.		
Lons-le-Saulnier. .	0,2348	35	0,2204	34	0,3129	31	0,2528	30	1,0209	130	6 ans
Viviers.	0,1785	25,6	0,2371	25,4	0,2430	18,2	0,2414	28,8	0,9000	98	1778-1847
Marseille.	0,1328	17	0,1185	17	0,0551	8	0,2056	17	0,5120	59	1772-1845
Alais.	0,22940	»	0,23574	»	0,14469	»	0,38424	»	0,99107	68	1802-1837
Orange.	0,1489	21	0,1738	24,6	0,1106	18,5	0,3048	26,8	0,7384	90,9	30 ans
Arles.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,423	»	1806-1815 et 1829-1833
--	»	»	»	»	»	»	»	»	0,6108	107,7	5 ans
Nimes.	0,1435	»	0,1544	»	0,0893	»	0,2561	»	0,6433	42	17 ans
Avignon.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,5688	»	1805-1029
Montpellier. . . .	0,2327	»	0,1830	»	0,1055	»	0,3032	»	0,8244	67	1767-1792
—	»	»	»	»	»	»	»	»	0,7697	»	1767-1802 et 1806-1847
Carcassonne. . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,728	51	» »
Castelnaudary. . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,6655	»	» »
Béziers.	0,1318	»	0,1464	»	0,0503	»	0,1398	»	0,4383	»	» »
Arquettes.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,6429	»	» »
Hyères.	0,2670	»	0,1426	»	0,0417	»	0,2952	»	0,7465	40	1824-1833
Toulon.	0,1462	10	0,1179	9	0,0448	9	0,2068	16	0,5157	44	1749-1784

ANGLETERRE.

1° COMTÉS DE L'OUEST.

(Nombres admis dans les ouvrages anglais les plus récents.)

Helston (comté de Cornwall). . . .	0,309	51	0,180	33	0,199	27	0,279	35	0,967	146
Stroud (comté de Gloucester). . . .	0,197	38	0,190	37	0,197	40	0,228	42	0,812	157
Liverpool (comté de Lancashire).	0,184	»	0,157	»	0,248	»	0,274	»	0,863	»
Rothesay (comté de Bute).	0,264	»	0,182	»	0,214	»	0,349	»	0,979	157
Stromness (comté de Orkney. . . .	0,326	57	0,129	36	0,208	44	0,370	48	1,033	185
Moyennes. . .	0,256	49	0,167	35	0,213	37	0,295	42	0,931	164

2° COMTÉS DE L'EST ET DU CENTRE.

Thwaite (comté de Suffolk).	0,146	41	0,124	27	0,146	38	0,169	43	0,585	149
Chiswick (comté de Middlesex). .	0,148	48	0,121	43	0,169	44	0,187	43	0,625	178
Highfied-House (c. de Nottingham).	0,148	55	0,174	48	0,148	37	0,162	37	0,632	177
Dunino (Fife). . .	0,142	34	0,162	32	0,235	37	0,243	35	0,782	135
Kinfauns (Perth).	0,142	35	0,108	30	0,129	38	0,225	44	0,604	147
Moyennes. . .	0,145	42	0,138	36	0,166	39	0,197	40	0,646	156

3m,866 à Seathwaite. Dans cette dernière localité on a recueilli 1m,167 de pluie dans les seuls mois de novembre et de décembre.

On voit, d'après tout ce qui précède, combien il est nécessaire de multiplier les observations pluviométriques, pour arriver à des résultats approchés sur la quantité totale d'eau qui tombe dans un bassin, puisque cette quantité varie d'un point à un autre par une foule de circonstances locales. On comprend, à plus forte raison, l'impossibilité où l'on est, quant à présent, de calculer avec quelque exactitude la hauteur annuelle moyenne de la pluie tombée dans une contrée. Aussi, voyons-nous les auteurs donner à cet égard les chiffres les plus discordants : M. Puvis admet que la hauteur moyenne de la pluie qui tombe annuellement en France est de 1m,00 au moins; M. de Gasparin l'évalue à peu près à 0m,750; M. Martins évalue cette hauteur à 0m,681, répartis de la manière suivante par saison et par climat :

CLIMATS.	QUANTITÉ moyenne annuelle.	QUANTITÉ RELATIVE. Hiver	Printemps.	Été.	Automne	NOMBRE de jours de pluie.
	m.					
Vosgien...	0,669	19	23	31	27	137
Séquanien..	0,548	21	22	30	27	140
Girondin. .	0,586	25	21	23	34	130
Rhôdanien.	0,946	20	24	23	34	107
Méditerran.	0,651	25	24	11	41	53
Moyennes..	0,681	22	23	23	33	113

Sans aucun doute, les deux derniers nombres sont beaucoup plus approchés de la vérité que le premier, mais il serait cependant impossible de leur accorder une confiance absolue.

Nous nous sommes arrêtés assez longuement à l'étude de la pluie. L'importance de ce phénomène rendait indispensables les développements dans lesquels nous sommes entrés, et nous regrettons même que l'espace ne nous permette pas ici une discussion approfondie des faits que nous avons réunis.

Il resterait, pour compléter l'examen des météores aqueux, à parler des brouillards, des nuages, de la neige, de la rosée, de la grêle, etc. Le cadre restreint dans lequel nous sommes renfermés ne nous permet pas de nous en occuper. Ces différents phénomènes exercent, il est vrai, sur l'agriculture une action très puissante, tantôt favorable, tantôt désastreuse; mais leur étude est encore trop imparfaite, et les observations recueillies jusqu'à présent sont trop peu nombreuses pour fournir des conclusions un peu générales, ou d'un véritable intérêt pratique.

On a indiqué, en parlant des vents, de la pression de l'air, etc., les *pronostics* que l'on peut tirer de ces phénomènes au sujet de la pluie. L'examen de plusieurs ordres de faits différents permet également de prévoir, avec plus ou moins de probabilité, le retour ou la cessation du beau temps. Ces divers pronostics, qu'il serait peu philosophique de dédaigner sans examen, ne présentent cependant pas de caractères assez positifs, ni assez généraux pour que nous croyions utile de nous y arrêter. C'est aux hommes éclairés, dans chaque localité, de recueillir les opinions les plus accréditées parmi les habitants de la campagne, de les soumettre à l'épreuve d'observations prolongées, et de s'assurer ainsi du fondement qu'elles peuvent avoir et du degré de confiance qu'il convient de leur accorder. Il arrivera souvent que l'on trouvera une origine sérieuse et une valeur réelle à des croyances qu'un examen superficiel ferait classer parmi les préjugés et rejeter avec dédain. Les travaux de Wells sur la rosée, la notice de M. Arago sur la lune rousse, et quelques autres écrits que nous pourrions citer, suffisent pour encourager dans cette voie les agronomes observateurs.

CHAPITRE III.

AMÉNAGEMENT DES EAUX AU POINT DE VUE AGRICOLE.

Dessécher et assainir les terrains envahis par les eaux et dépourvus d'écoulement; préserver le sol des ravages des inondations; procurer, en tout temps, aux terres cultivées, le degré d'humidité le plus convenable au développement des végétaux utiles; telles sont les opérations comprises sous le titre général d'aménagement des eaux au point de vue agricole.

Tous les hommes éclairés reconnaissent aujourd'hui l'importance pratique des travaux d'irrigation, de dessèchement ou d'assainissement; il serait superflu d'insister sur ce point. Les faits particuliers que nous aurons occasion de citer dans les paragraphes suivants et les chiffres réunis dans ce chapitre, sont d'ailleurs les arguments les plus positifs à présenter à cet égard.

L'aménagement des eaux au point de vue agricole, considéré dans toute sa généralité, comprend l'exécution de travaux très nombreux et très variés. On décrira minutieusement ceux que tous les cultivateurs, avec un peu de soin et d'attention, peuvent entreprendre et diriger eux-mêmes avec succès. Mais on sera forcé par l'espace de passer plus rapidement sur les grandes opérations qui exigent le concours de capitaux considérables et de constructeurs expérimentés.

L'intérêt qui s'attache aujourd'hui à cette importante partie de l'art agricole explique, du reste, l'étendue relativement considérable de l'espace que nous lui consacrons ici.

L'eau si utile, si indispensable même à l'agriculture, est souvent aussi l'un de ses plus terribles ennemis. Les eaux stagnantes qui imbibent ou submergent les terres s'opposent plus ou moins complétement à leur mise en culture, et tout le monde connaît les ravages causés par les inondations et les corrosions des rives de la mer, des fleuves et des rivières. Avant de chercher à utiliser les eaux, il convient d'apprendre à se défendre de leurs dangereux effets : les premières sections de ce chapitre seront donc consacrées aux assainissements, aux dessèchements et aux travaux de défense des rives, et les suivantes aux irrigations et à quelques remarques sur les questions générales que soulève l'aménagement des eaux au point de vue agricole.

On trouvera d'ailleurs au mot *hydraulique* l'explication de toutes les formules relatives au mouvement des eaux dont nous devrons faire usage pour déterminer le tracé, les sections, etc., des canaux, vannes et autres ouvrages nécessaires aux irrigations et aux dessèchements.

Première section. — Assainissement, drainage.

Le mot *drainage* est employé en Angleterre pour désigner toutes les opérations dont le but est l'égouttement, l'assainissement et le desséchement, dans un but agricole ou autre, depuis la construction de toute espèce d'égouts de villes ou de maisons particulières, jusqu'aux plus vastes entreprises de desséchements de lacs et de marais. L'extension donnée et les perfec-

tionnements apportés depuis quelques années, dans le Royaume-Uni, à l'assainissement des terres cultivées (drainage of lands, agricultural drainage), ont appelé d'une manière toute particulière sur ce genre de travaux l'attention des cultivateurs et ont fait généralement adopter, en France, pour les désigner, l'expression employée en Angleterre. Nous nous conformerons en partie à cette habitude déjà consacrée par l'usage, en précisant cependant un peu plus qu'on ne le fait habituellement le sens que nous donnerons aux mots *assainissement* et *drainage*. Nous appliquerons le premier à l'égouttage des terres effectué au moyen de rigoles *ouvertes*, et, pour éviter toute confusion, nous nous servirons du second et de ses dérivés, pour indiquer les assainissements opérés au moyen de rigoles *couvertes*, bien que depuis fort longtemps l'emploi de ces rigoles, exécutées de diverses manières, soit parfaitement connu et appliqué dans plusieurs parties de la France sous les noms de *pierrées*, de *couloirs*, etc.

Tous les agriculteurs connaissent les inconvénients des terrains trop humides, c'est-à-dire des terres retenant en toute saison plus de 20 à 22 p. 100 d'eau. Les opérations d'assainissement et de drainage ont pour but de faire cesser ces inconvénients, c'est assez dire leur importance et le nombre de localités où elles seraient nécessaires. L'humidité surabondante qui existe dans beaucoup de terres cultivables est due à un certain nombre de circonstances différentes qu'il n'est pas utile d'énumérer ici. En exposant les méthodes à suivre pour l'assainissement, on fera connaître les cas où chacune d'elles est applicable, et, par cela même, les différents ordres de causes qui produisent un degré excessif d'humidité.

I. CURAGE DES COURS D'EAU.

Nous plaçons en tête des opérations d'assainissement le curage des cours d'eau naturels. Ce sont, en effet, les colateurs auxquels doivent aboutir les différentes rigoles d'égouttement de la vallée. Et, d'un autre côté, l'expérience nous a montré l'utilité de ces travaux pris en eux-mêmes, travaux trop souvent négligés et sur lesquels il importe d'autant plus d'appeler sans cesse l'attention que l'autorité administrative possède dès à présent tous les pouvoirs nécessaires pour en assurer l'exécution. Les lois des 12 et 20 août 1790 et du 14 floréal an XI imposent, en effet, aux préfets le devoir d'assurer le libre écoulement des eaux des rivières et ruisseaux non navigables ni flottables, et leur fournissent le moyen de subvenir aux dépenses des travaux nécessaires pour atteindre ce but.

L'encombrement du lit d'un ruisseau par les herbes qui y croissent ou les terres qui s'y déposent, suffit souvent pour s'opposer à l'écoulement de l'eau et transformer en marécages, sur une plus ou moins grande étendue, tout le fond d'une vallée. Le curage, et quelquefois le faucardement seul du ruisseau, font disparaître ce fâcheux état de choses. Le curage à vif d'un ruisseau est en lui-même une opération très facile, mais qui exige cependant une certaine attention pour être exécutée de la manière la plus économique et la plus satisfaisante. Il convient de profiter de l'opération du curage pour opérer le redressement du lit du cours d'eau, supprimer les coudes brusques et les sinuosités qui, en allongeant le parcours, réduisent la pente par mètre. Avant de commencer les travaux, quand il s'agit d'un ruisseau de quelque importance, il faut toujours lever un profil en long très exact du cours d'eau et une série de profils en travers. A cet effet, on enfonce sur la rive du ruisseau une série de forts piquets en bois numérotés et distants de 20 à 100 mètres les uns des autres. On fait un nivellement exact sur la tête de ces piquets, on lève un profil en travers du lit au droit de chacun d'eux et on le rapporte sur le papier à une échelle déterminée, 0,005 par exemple. On trace sur les profils ainsi dessinés la forme actuelle du lit, et celle que l'on veut lui donner. Ces profils servent à calculer les volumes des terrassements à effectuer et à dresser l'estimation de la dépense à faire. La section projetée ne doit pas, en général, rester la même dans toute l'étendue du cours du ruisseau : elle doit varier d'un point à un autre, en raison de la pente, de manière à assurer toujours un même débit à l'eau. Les différentes sections se calculent au moyen de l'une des formules qui seront indiquées plus loin en parlant des canaux de desséchement ou d'irrigation. Cette remarque permet souvent de diminuer notablement le cube des terres à remuer. On adopte habituellement, pour la section du lit du cours d'eau, un plafond horizontal et deux berges présentant une inclinaison variant de 1 à 2 de base pour 1 de hauteur. Il serait peut-être préférable de donner au fond du ruisseau la forme courbe qu'il tend à prendre naturellement.

Le curage d'un ruisseau doit se faire en remontant de l'aval à l'amont. On se débarrasse ainsi plus facilement des eaux affluentes. Les vases et les terres extraites du lit sont jetées sur les rives par les ouvriers curcurs. Ces terres forment presque toujours un bon amendement que les propriétaires riverains s'empressent de répandre sur leurs champs. S'ils ne le faisaient pas, on devrait faire enlever ces terres par des ouvriers spéciaux, car les espèces de digues que les produits du curage formeraient, en se desséchant sur les berges du ruisseau, présenteraient presque toujours dans la suite des inconvénients plus ou moins graves.

Les bourrelets, dont on vient de parler, produits par les résidus des curages déposés le long des rives des cours d'eau, ont quelquefois une véritable utilité en formant de petites digues qui protégent les terres contre les faibles crues du printemps. On doit alors les conserver et les entretenir avec soin ; mais pour qu'elles ne produisent aucun effet nuisible en s'opposant en temps ordinaire à l'égouttement des champs voisins, il faut les couper de place en place et garnir les ouvertures ainsi formées de petits clapets que l'on ferme seulement pendant les crues et que l'on laisse ouverts quand les eaux du ruisseau sont rentrées dans leur lit ordinaire.

On trouvera dans la dernière section de ce chapitre l'indication des principales dispositions des lois relatives au curage des cours d'eau non navigables ni flottables.

II. RIGOLES D'ASSAINISSEMENT OUVERTES.

Les sections des rigoles d'assainissement ouvertes varient avec le volume d'eau dont elles doivent assurer l'écoulement. Ces rigoles, dans certains cas, sont de véritables canaux de desséchement dont on étudiera plus loin le mode de tracé et d'exécution, et dans lesquels se réunissent les eaux d'un plus ou moins grand nombre de rigoles de petites dimensions. Ce sont ces dernières seulement qu'il s'agit d'examiner ici.

Les rigoles ouvertes présentent un assez grand nombre d'inconvénients inhérents à leur nature même. Elles occupent une plus ou moins grande partie du terrain, elles opposent à la culture de véritables obstacles, elles exigent un entretien continuel et n'atteignent que d'une manière imparfaite le but proposé, puisqu'elles n'enlèvent, en général, que les eaux de la surface du sol qui s'écoulent en entraînant une partie des principes fertilisants de la terre et des fumiers. Mais la facilité de leur exécution et les services qu'elles peuvent rendre dans un grand nombre de circonstances, quand elles sont convenablement disposées, doivent appeler sur elles l'attention sérieuse des cultivateurs

La *section* des petites rigoles d'assainissement présente habituellement un fond plat et deux talus plus ou moins inclinés. On donne quelquefois au fond de la rigole une forme courbe, et on abat les bords en pente douce pour les raccorder avec la surface du sol et diminuer l'étendue enlevée à la culture. Les rigoles, surtout dans les terrains faciles, peuvent être ouvertes à la charrue et terminées à la bêche. On les exécute souvent à l'aide seulement de ce dernier instrument; le travail est alors plus parfait, mais ordinairement un peu plus coûteux.

Le *tracé* des petites rigoles d'assainissement ne présente, en général, aucune difficulté; la disposition du sol et les habitudes locales le déterminent facilement dans chaque cas particulier. Les plus petites rigoles se réunissent en plus ou moins grand nombre dans des rigoles un peu plus importantes, et celles-ci, à leur tour, versent leurs eaux dans une rigole d'un ordre plus élevé, ou bien dans les fossés, canaux ou ruisseaux qui doivent leur livrer passage. Le raccordement de deux rigoles doit, autant que possible, se faire sous un angle aigu pour que les vitesses de l'eau ne se contrarient pas au point de convergence. Il convient que le fond d'une rigole soit de quelques centimètres en contre-bas de celui des rigoles dont elle reçoit les eaux. La pente des rigoles est souvent fixée par celle du terrain lui-même; elle peut, sans inconvénient, être presque nulle pour les plus petites rigoles, quand leur longueur est peu considérable.

L'égouttement des terres labourables, gênées par la stagnation des eaux, se fait au moyen de rigoles ménagées entre les planches labourées auxquelles on a soin de conserver un certain bombement. Ces raies profondes sont coupées, de distance en distance, par une rigole plus importante, tracée dans une direction perpendiculaire ou inclinée à la leur, qui traverse toutes les planches et conduit les eaux dans le fossé général d'écoulement. Ces diverses rigoles sont ouvertes à la charrue et les raccordements faits à la bêche. Les plaines de la Romagne et du Boulonais offrent les exemples les plus remarquables que nous connaissions d'assainissements de cette espèce. La pente générale du pays est extrêmement faible, elle n'atteint pas $0^m,002$ par mètre et rend nécessaires, par conséquent, des dispositions toutes particulières qui conviendraient, du reste, à tous les pays plats et qu'il sera utile de décrire en peu de mots.

Les champs sont partagés en compartiments (fig. 6)

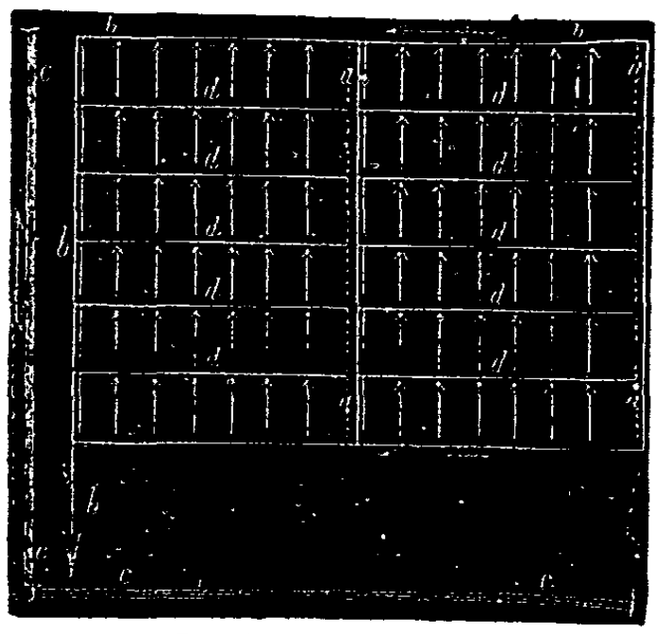


Fig. 6 (éch. 0,0002).

de 152 mètres de largeur sur 228 mètres de longueur environ. Ces compartiments sont séparés les uns des

autres par des chemins d'exploitation herbés au milieu desquels se trouve creusé un fossé permanent d'écoulement *aa* qui débouche dans d'autres fossés *bb* communiquant eux-mêmes avec la rigole provinciale d'écoulement *c*. Les chemins d'exploitation sont établis dans toute leur étendue à $0^m,20$ ou $0^m,24$ en contre-bas de l'ensemble des planches et faciliteraient déjà beaucoup leur égouttement; mais d'autres fossés d'écoulement *dd*, également établis à demeure, espacés de 38 en 38 mètres à peu près, communiquent avec les premier et complètent les travaux fixes d'assainissement. Ce dernières rigoles sont établies entre les planches labourées, et quand l'ensemencement est terminé, on ouvr enfin de petites saignées, indiquées par des flèches communiquant avec les fossés *d*. La communicatio des fossés *d* avec les fossés *a* a lieu sous le chemin d'exploitation au moyen de petits aqueducs grossièrement construits avec quelques briques.

Les frais de curage et d'entretien des différentes rigoles sont peu considérables; les dépenses d'établissement des parties permanentes du système d'assainissement que l'on vient de décrire peuvent s'évaluer par hectare de la manière suivante, en supposant, pour simplifier le calcul, que la journée de terrassier soit de 1 fr.

Nivellement général du sol par l'enlèvement des parties proéminentes et le comblement des parties déprimées.	40 fr.
Creusement de la rigole principale et du chemin d'exploitation.	8
Ouvertures des rigoles secondaires et construction de l'aqueduc.	12
Portion du canal d'écoulement à la charge de chaque hectare.	4
Total.	64 fr.

Il est souvent nécessaire, dans les pays humides à sol peu perméable, d'assainir, par une série de rigoles ouvertes, les terrains en pente et les collines destinés à la pâture des troupeaux. On y parvient en ouvrant, comme l'indique la fig. 7, une série de petites rigoles *rr* à peu près horizontales, communiquant avec une rigole plus importante R, tracée suivant une ligne de plus grande pente du terrain et destinée à conduire les eaux dans une rigole d'un ordre plus élevé ou dans un canal général de décharge. Ce genre d'assainissement très usité en Écosse et dans les comtés du nord de l'Angleterre, où l'on s'occupe particulièrement de l'élève du bétail, y a rendu les plus grands services, et paraît, jusqu'à présent, le meilleur moyen de préserver les troupeaux de moutons de la pourriture qui les décime si fréquemment, ce qui fait donner aux rigoles dont nous parlons le nom de *rigoles à moutons* (sheep drain).

L'espacement des rigoles horizontales dépend de la nature du sol et de l'abondance des eaux. On est quelquefois obligé de les placer à quelques mètres les unes des autres, mais, en général, on peut les établir à d'assez grandes distances.

On commence par creuser les rigoles principales d'écoulement et on termine par les rigoles horizontales. Les petites rigoles d'égouttement dont nous nous occupons ont $0^m,15$ ou $0^m,20$ de largeur au fond, des talus inclinés à 45°, et $0^m,20$ à $0^m,30$ de profondeur moyenne; on peut les ouvrir à la charrue et les terminer à la bêche. Mais il est généralement préférable de les exécuter entièrement avec ce dernier instrument. La terre extraite est rejetée contre le bord, du côté le plus bas du terrain (fig. 8); quelquefois on laisse un petit intervalle entre le bourrelet de terre et l'arête de la rigole pour que la terre ne retombe pas dans celle-ci. Dans les terrains très résistants ou recouverts d'un gazon très touffu, on trace la rigole avec une forte et lourde bêche,

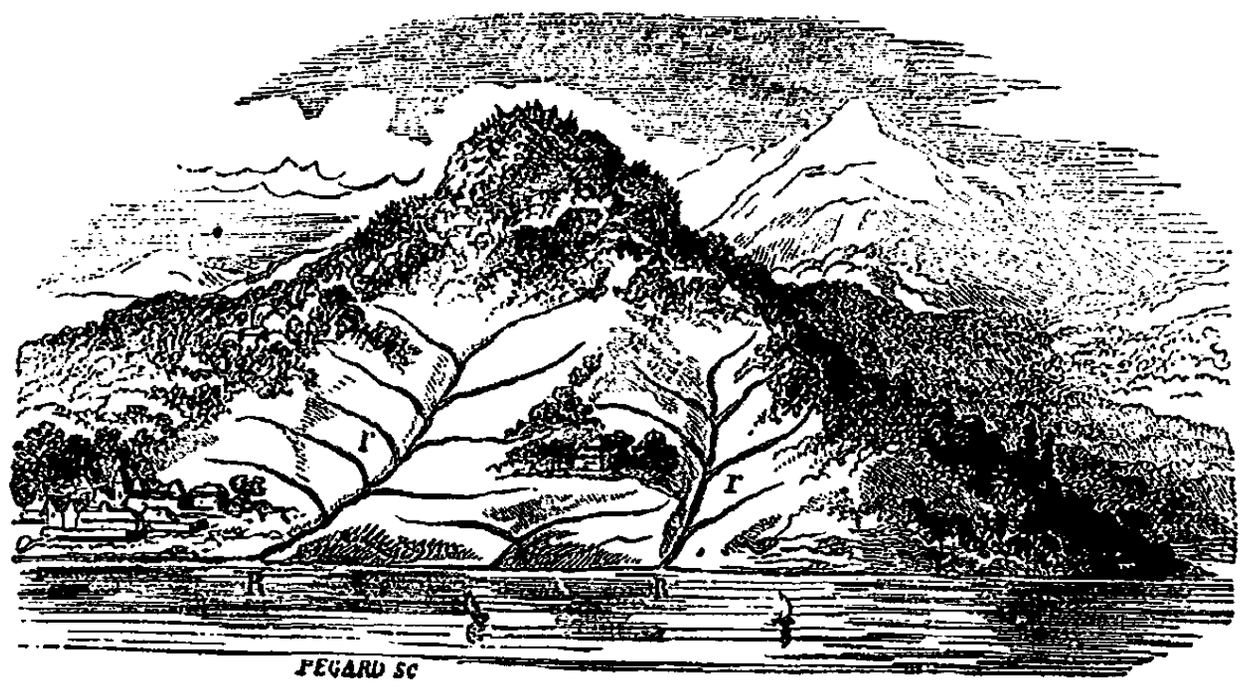


Fig. 7.

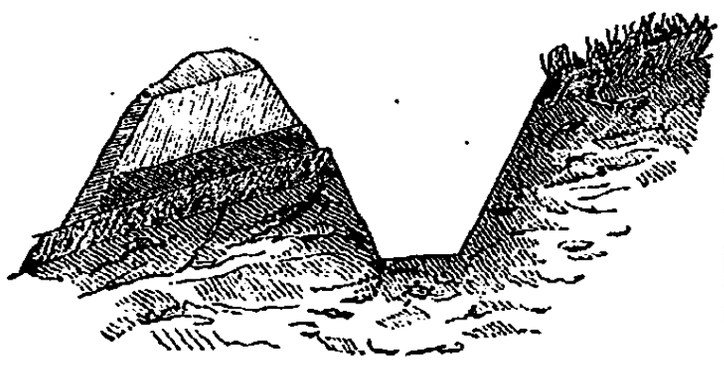


Fig. 8.

bien acérée, en forme de langue de bœuf (fig. 9) et dont le manche est terminé par une poignée horizontale. Lorsque la rigole est bien tracée sur une assez grande longueur, on divise la terre en mottes d'une certaine largeur, perpendiculairement à la direction du tracé, et un second ouvrier arrache ces mottes et les dépose sur le côté au moyen d'une espèce de griffe (figure 10). On termine le travail avec une bêche ordinaire.

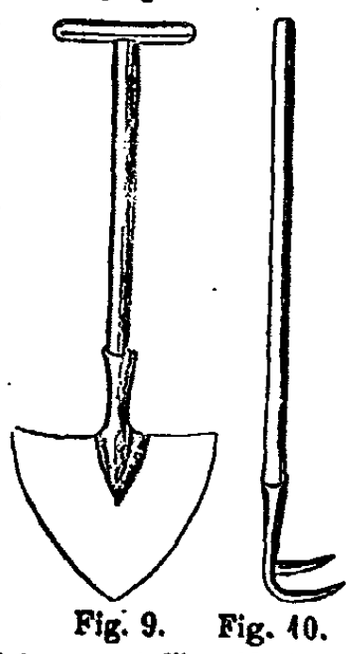


Fig. 9.

Fig. 10.

Ces rigoles exécutées par des ouvriers exercés peuvent coûter de 2 à 4 cent. le mètre courant.

Un grand nombre de terrains en pente, surtout dans le centre de la France, sont entretenus dans un état constant d'humidité surabondante, par les suintements qui se produisent aux points d'affleurement avec le sol de couches perméables aquifères (fig. 11), comprises entre des couches imperméables plus ou moins épaisses. Les terrains de cette espèce sont facilement assainis en ouvrant de petites rigoles à pentes faibles, attaquant un peu le sol imperméable comme l'indique la figure en *c*, et suivant la ligne d'affleurement des couches perméables.

Le cas précédent n'est pas le seul où la présence d'une couche aquifère sous le sol cultivable transforme celui-ci en terrain plus ou moins marécageux. Mais toutes les fois que la disposition des lieux permet de procurer aux eaux un écoulement complet, on comprend qu'il est très facile, au moyen de saignées coupant la couche perméable, de dériver en quelque sorte les eaux qui la traversent, et de s'opposer ainsi à leur action nuisible On voit, d'après cela, sans qu'il soit nécessaire d'entrer dans l'examen de divers cas particuliers, sur lesquels on reviendra plus loin (voyez *Drainage des sources*),

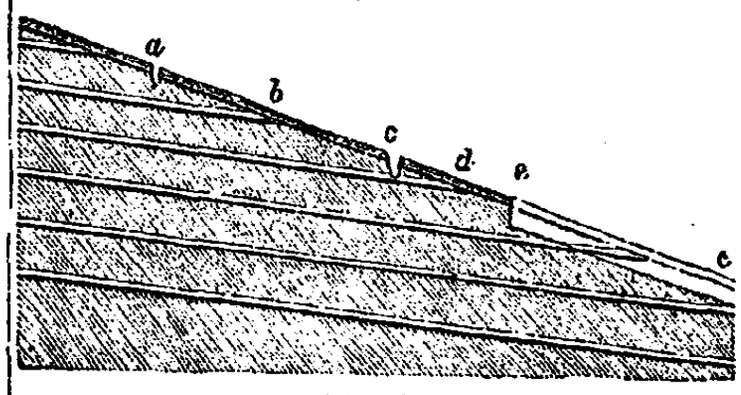


Fig. 11.

combien il importe, avant d'entreprendre des travaux d'assainissement de l'espèce de ceux dont il s'agit en ce moment, de reconnaître avec exactitude la position de la nappe perméable par rapport à la surface du sol. Cette reconnaissance s'exécute facilement au moyen d'une petite sonde à main, ou de quelques coups de bêche si la profondeur à explorer est très peu considérable. Dans les travaux d'une certaine importance il convient de conserver la trace de ces études préliminaires, de dresser un véritable plan topographique du sol et du sous-sol. Ce plan sert à étudier et à tracer de la manière la plus convenable la position des différentes rigoles. Voici comment on peut procéder à son exécution : on détermine sur le sol, au moyen du niveau, une série de points appartenant à des courbes horizontales équidistantes, et l'on dessine le plus exactement possible, au moyen de jalons, la position de ces lignes. On trace alors un certain nombre de lignes de plus grande pente qui sont, comme on sait, perpendiculaires aux premières. On enfonce un piquet aux différents points d'intersection des deux séries de lignes dont on vient de parler ; on rapporte la position de ces piquets sur un plan des lieux à grande échelle, et on inscrit sur ce plan les résultats de chacun des sondages faits auprès de ces piquets. Il n'est pas indispensable de tracer, comme on vient de l'indiquer, les lignes horizontales et de plus grande pente du terrain donné. On peut se borner à tracer une série de lignes perpendiculaires les unes aux autres, à en faire le nivellement, à les rappor-

ter sur le plan, avec l'indication des résultats des sondages exécutés à leurs points d'intersection. Mais les personnes habituées au maniement des instruments et à l'étude des plans préféreront suivre la première méthode. Les plans du cadastre, à l'échelle de 0,0001 à 0,001, sont très-convenables pour rapporter les différentes opérations dont on vient de parler.

III. ASSAINISSEMENT AU MOYEN DE RIGOLES COUVERTES, OU DRAINAGE.

Nous avons passé rapidement sur l'assainissement des terres au moyen de rigoles ouvertes ; la simplicité des travaux de cette espèce et la connaissance que les cultivateurs possèdent en général des méthodes les plus convenables pour leur exécution, nous dispensaient d'insister longuement sur ce sujet. Il n'en est pas de même des opérations dont nous allons maintenant nous occuper.

L'assainissement au moyen de rigoles couvertes, exige une exécution des plus soignées, sans laquelle le succès est impossible.

Ces procédés ne sont connus en France que depuis peu d'années, et il arrive encore souvent que le propriétaire est obligé de former des ouvriers et des contre-maîtres.

On comprend par conséquent la nécessité d'expliquer ici avec détails les procédés d'exécution, et de faire connaître aussi complétement que possible les principes sur lesquels repose leur application.

L'assainissement des terrains, au moyen de rigoles couvertes, s'exécute généralement aujourd'hui, en posant au fond de tranchées de $1^m,0$ environ de profondeur, des tuyaux de terre cuite que l'on recouvre avec la terre extraite de cette même tranchée. Ce procédé très simple et fort économique n'est employé que depuis peu d'années, et diverses méthodes le remplacent encore aujourd'hui dans certaines circonstances.

Il convient, avant d'entrer dans l'examen détaillé de ces différentes manières d'opérer, d'indiquer d'abord d'une manière rapide l'histoire des procédés d'assainissement à l'aide de rigoles couvertes. Cette étude préliminaire aura le double avantage de préciser autant que possible ce qui constitue l'importance des moyens actuels, et de fournir sur l'ensemble de la méthode des notions générales qui faciliteront l'intelligence des explications étendues qui seront données plus loin.

1. *Historique.*

L'art d'assainir les terres au moyen de rigoles couvertes se perd dans la nuit des temps. Comme tous les arts utiles, il est probable que ses progrès auront été si lents et si graduellement amenés, que chacun d'eux aura passé pour ainsi dire inaperçu, et sans laisser à son auteur le mérite de sa découverte. Ce qu'il y a de certain, c'est que les Romains connaissaient l'art d'assainir les terres, et qu'ils le pratiquaient sur une grande échelle. Tous leurs écrivains agricoles le signalent, et donnent même sur l'exécution des travaux des préceptes très judicieux, soit que ces procédés d'assainissement aient été employés d'abord par les Romains eux-mêmes, soit qu'ils en aient appris l'usage de peuples plus anciennement civilisés. Il est probable que leurs armées victorieuses et leurs colonies en enseignèrent l'usage dans les différentes parties du monde, et que c'est à leur exemple que furent établis les travaux de cette espèce, dont on rencontre encore de nombreux vestiges, et dont l'origine nous est maintenant inconnue.

Les anciens employaient pour la formation de leurs rigoles souterraines d'assainissement, des pierres, des branches, et même de la paille Voici comment Columelle décrit ce travail : « ..... S'il est humide (le sol), il faudra faire des fossés pour le dessécher, et donner de l'écoulement aux eaux. Nous connaissons deux espèces de fossés : ceux qui sont cachés et ceux qui sont larges et ouverts..... D'un autre côté, on fera pour les fossés cachés des tranchées de trois pieds de profondeur que l'on remplira jusqu'à moitié de petites pierres ou de gravier pur, et l'on recouvrira le tout avec la terre tirée du fossé. Si l'on n'a ni pierre ni gravier, on formera, au moyen de branches liées ensemble, des câbles auxquels on donnera la grosseur et la capacité du fond du canal, et qu'on disposera de manière à remplir exactement ce vide. Lorsque les câbles seront bien enfoncés dans le fond du canal, on les recouvrira de feuilles de cyprès, de pin, ou de tout autre arbre qu'on comprimera fortement, après avoir couvert le tout avec la terre tirée du fossé ; aux deux extrémités on posera en forme de contre-fort, comme cela se pratique pour les petits ponts, deux grosses pierres qui en porteront une troisième, le tout pour consolider les bords du fossé, et favoriser l'entrée et l'écoulement des eaux (1). »

Les mêmes matériaux, employés à peu près de la même manière, ont été utilisés de tout temps, et sont encore aujourd'hui mis en œuvre d'une manière analogue dans beaucoup de parties de la France, pour atteindre le même but. Cependant nous ne connaissons aucun ancien auteur agricole français qui se soit spécialement occupé de ce sujet et qui l'ait traité avec les développements nécessaires, de sorte que l'histoire de l'emploi en France des rigoles d'assainissement couvertes se réduit à très peu de chose, bien qu'assez répandu, nous le répétons, et indiqué par l'abbé Rozier et par d'autres auteurs, comme une pratique très connue et d'un emploi fort répandu. L'Angleterre, au contraire, possède plusieurs traités anciens et spéciaux, sur les procédés d'assainissement, qui permettent de suivre assez facilement la marche progressive de cet art, maintenant si répandu dans le Royaume-Uni.

L'ouvrage anglais le plus ancien sur le drainage agricole paraît être celui du capitaine Walter Blight, dont la troisième édition fut imprimée en 1652. Cet ouvrage, remarquable à beaucoup d'égards, et dans lequel on trouve, au sujet de la misère générale des travailleurs et des moyens d'y remédier, des idées très justes d'économie sociale ; idées que suggèrent toujours les temps de révolution, mais que le calme fait trop vite oublier, ne contient pas de simples détails d'exécution des travaux, les préceptes s'appuient presque toujours sur une saine théorie qui n'a guère été perfectionnée depuis cette époque. Encore aujourd'hui, on ne peut mieux faire que de répéter avec W. Blight, que nous traduisons littéralement : « Quant à ta tranchée de drainage, tu dois la faire assez profonde pour qu'elle aille au fond de l'eau froide qui suinte et croupit.—Un yard, ou quatre pieds de profondeur, si tu veux drainer à ta satisfaction. Et de nouveau, arrivé au fond où repose la source suintante, tu dois aller plus profond d'un fer de bêche, quelque profond qu'il soit déjà, si tu veux drainer ta terre à souhait..... Mais pour ces tranchées ordinaires que l'on fait souvent à un pied ou deux, je dis que c'est une grande folie et du travail perdu que je désire éviter au lecteur » Ces préceptes si justes de Blight semblent s'être peu répandus, car maintenant encore il faut les reproduire et les soutenir, tant est lente la diffusion et la mise en pratique des idées justes, même les plus simples.

A la fin du siècle dernier, Elkington, fermier du Warwickshire, esprit judicieux et observateur infatigable, s'occupa d'une manière toute particulière de l'assainis-

(1) *Collection des auteurs latins*, publiée par M. Nisard. — *Les agronomes latins*, page 195.

sement des terrains infestés de sources. Les succès remarquables qu'il obtint d'une pratique intelligente et expérimentée attirèrent sur lui l'attention du parlement. Des récompenses importantes lui furent accordées. Ce fut le premier pas dans la voie des encouragements au drainage, que le gouvernement anglais distribue maintenant sur une si grande échelle. Mais les procédés d'Elkington n'étaient pas assez généraux, ils exigeaient, par cela même, une habileté qu'une longue expérience pouvait seule donner, et ne s'appliquaient qu'à certains sols d'une constitution spéciale.

Cependant l'emploi de drains couverts, plus ou moins profonds, et formés de paille, de branchages et même de briques ou de tuiles, recommandés depuis si longtemps, se répandait peu à peu en Angleterre et en Écosse, par les soins de propriétaires riches et intelligents, lorsque que Smith de Deanston, au commencement de ce siècle, exposa ses vues sur le drainage, et fit connaître sous une forme systématique les procédés propres à débarrasser à la fois le sol des eaux de source et des eaux de pluie. La méthode de M. Smith, souvent désignée sous le nom de Drainage de Deanston, consistait à ouvrir des rigoles assez rapprochées, de 0m,60 à 0m,75 de profondeur, destinées à recevoir les eaux de pluie, filtrant à travers les couches superficielles du sol, à arrêter et à recueillir les eaux de source, sourdant des couches inférieures. Dans les premiers temps de ses travaux, M. Smith garnissait de pierres cassées le fond de ses rigoles, et achevait de les remplir avec la terre qui en avait été extraite. La simplicité et la généralité de ce mode d'opération vulgarisèrent rapidement son emploi, et appelèrent sur lui l'attention publique. Smith, en ramenant à des formules simples et générales les préceptes du drainage profond, et en défendant avec un zèle infatigable la pratique de ses procédés, a puissamment concouru à l'extension que les travaux de drainage ont reçue en Angleterre; son nom restera certainement parmi ceux des hommes les plus utiles à l'agriculture de son pays, bien qu'il n'ait peut-être pas compris assez tôt les avantages de rigoles plus profondes que celles qu'il construisait.

Dans ces dernières années, plusieurs ingénieurs anglais, à la tête desquels se place sans contredit M. Parkes, ont puissamment concouru à l'extension et aux perfectionnements des travaux de drainage. Ils ont soutenu les avantages des tranchées profondes, et ont singulièrement simplifié les procédés d'exécution des travaux. Mais on doit reconnaître que la transformation et l'importance actuelles de l'art du drainage sont principalement dues à l'emploi des briques et des tuiles creuses, et surtout à l'invention et aux perfectionnements rapides des machines à fabriquer les *tuyaux* de drainage.

Il y a déjà plus de quarante ans que diverses personnes, qui bien certainement n'avaient point connaissance de leurs essais respectifs, placèrent des tuyaux au fond de leurs tranchées d'assainissement. Mais cette pratique était à peine connue, et lorsqu'on parla accidentellement de tuyaux de drainage, à la Société royale d'agriculture de Londres, en 1843, cette communication ne fit aucune impression. On ne s'en occupa que quelques mois plus tard, lorsque J. Read présenta divers spécimens de tuyaux à l'exposition agricole de Derby. Une médaille d'or fut accordée à l'exposant, sur le rapport de M. Parkes, qui comprit toute la valeur de ces essais, et qui n'a cessé, depuis cette époque, de concourir plus ou moins directement aux améliorations et aux perfectionnements de tout genre qui se sont succédé sans interruption. Les explications qui vont suivre feront comprendre toute l'importance de ces perfectionnements, et montreront que de l'emploi de ces tuyaux datent en grande partie la généralisation et l'intérêt pratique des procédés de drainage

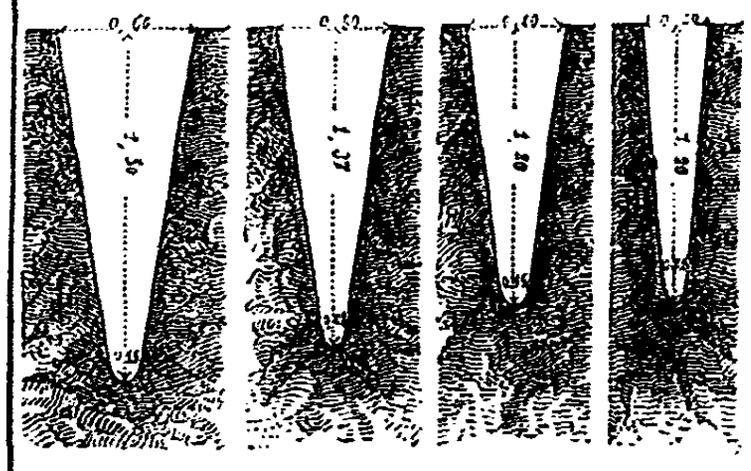
2. *Des différents modes d'exécution des canaux de drainage.*

On croit devoir exposer d'abord avec détails le mode de construction des canaux de drainage; il serait difficile, avant cette première étude, de faire bien comprendre leur manière d'agir et les résultats à attendre de leur action. Les frais d'établissement des ouvrages de cette nature et leurs résultats économiques ne seront d'ailleurs exposés qu'à la fin de la présente section.

Les rigoles d'assainissement couvertes, ou drains, peuvent s'exécuter de plusieurs manières différentes, entre lesquelles les circonstances locales, le prix de la main d'œuvre, ou celui des matériaux, permettent, en général, de choisir sans difficulté. Les drains garnis de tuyaux de terre sont maintenant, comme on l'a déjà dit, les plus fréquemment employés. On s'occupera d'abord de leur établissement, et l'on indiquera ensuite quelques autres méthodes de construction recommandées à différentes époques, et qui peuvent être avantageusement employées dans quelques circonstances particulières.

1. *Drains garnis de tuyaux de terre.* Quel que soit le mode de remplissage ou de garniture d'un drain, l'ouverture de la tranchée est la première opération à exécuter.

La profondeur de ces tranchées dans les travaux récemment exécutés varie, en général, de 0m,90 à 1m,50. Elles ont de 0m,40 à 0m,70 de largeur au sommet, et seulement 0m,06 à 0m,07 au fond, quand il s'agit de drains secondaires, et 0m,20 environ pour les drains principaux. Les fig. 10 à 13 donnent le profil exact de tran-



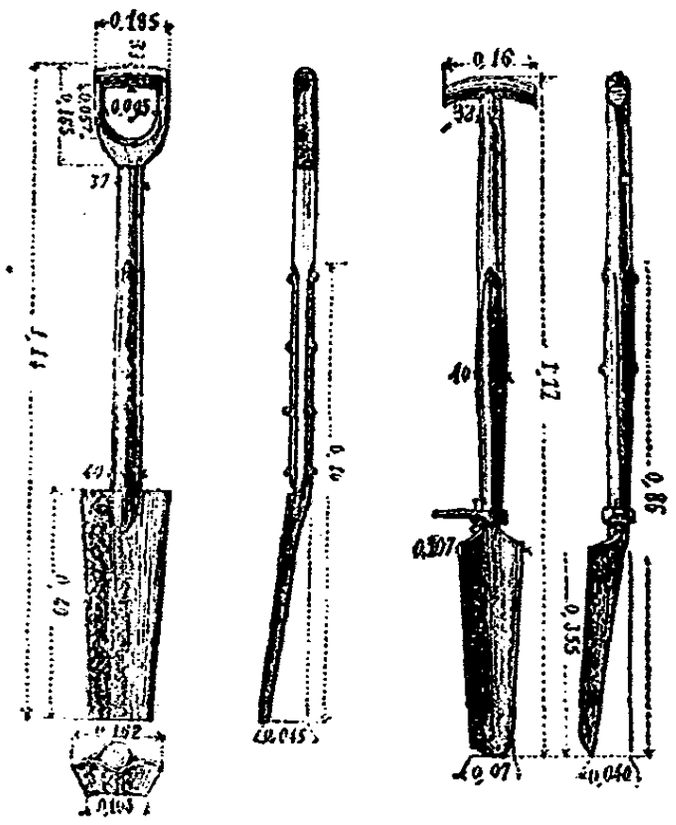
Tranchée de drainage. Échelle de 0m,02 pour 1m.

Fig. 10. Fig. 11 Fig. 12. Fig. 13.

chées de différentes dimensions. La largeur des tranchées n'a rien d'absolu. Elle dépend en grande partie de l'habitude et de l'adresse des ouvriers terrassiers qui les exécutent; il faut réduire autant que possible cette largeur, pour diminuer le cube des terrassements par mètre courant. L'ouverture au sommet et l'inclinaison des talus sont calculées de manière que l'ouvrier puisse descendre et se tenir facilement dans la tranchée, à 0m,60 ou 0m80 au-dessus de son fond, afin de pouvoir, de ce point, atteindre avec ses outils à la profondeur adoptée.

L'ouverture des tranchées n'offre aucune difficulté dans les terrains ne renfermant pas de corps assez durs pour résister aux instruments ordinaires, et cependant assez compactes pour se maintenir sans éboulement pendant quelques jours. On commence par indiquer la direction de la tranchée à ouvrir au moyen de piquets et de jalons. On trace ensuite sa largeur, au moyen d'une bêche analogue à celle représentée par la fig. 9, et en se guidant avec un cordeau de 10 à 25 mètres de longueur. Lorsque le sol est garni d'un gazon très-épais ou de nombreuses racines de bruyère ou autres,

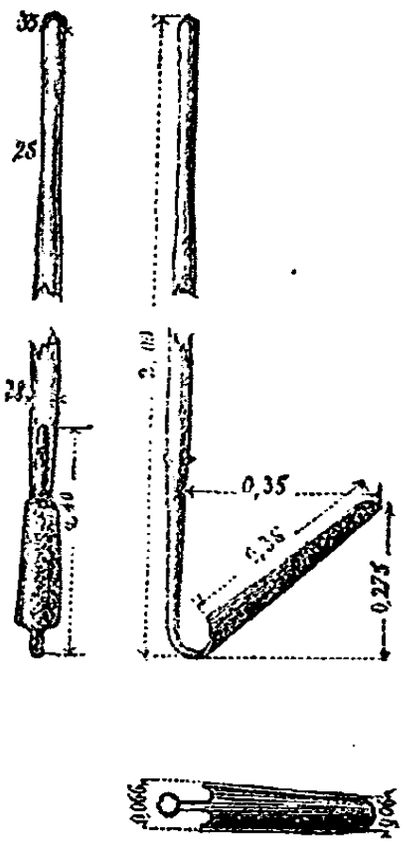
la bêche dont on vient de parler peut être avantageusement remplacée par une espèce de hache. Les instruments employés pour achever de creuser les tranchées ainsi tracées sur le sol sont extrêmement simples. Ce sont (fig. 15, 16, 17 et 18) des bêches en fer bien aciéré, seulement emmanchées et garnies de fortes poignées pour en rendre le maniement plus facile.



Bêches de drainage. Échelle de 0m,5 pour 1m.

Fig. 15. Fig. 16. Fig. 17. Fig. 18.

La drague (fig. 19 à 21) sert à curer et à unir le fond de la tranchée avant la pose des tuyaux. Ces



Drague de drainage. Échelle de 0m,05 pour 1m.

Fig. 19. Fig. 20. Fig. 21.

instruments sont d'autant moins nécessaires que le travail a été mieux fait à la bêche. On emploie aussi

quelquefois, pour régulariser le fond des tranchées, une espèce de dame en fer, de forme cylindrique. On doit autant que possible éviter l'emploi de ce moyen, qui augmente la dépense sans avantage réel.

On emploie en général, pour régulariser le fond de tranchées de drainage ouvertes au louchet et préparer l'emplacement des tuyaux, les écopes à long manche manœuvrées du bord de la tranchée, dont on vient de parler. L'emploi de ces instruments exige, pour donner de bons résultats, des ouvriers adroits et extrêmement soigneux. L'opération est toujours assez longue et occasionne, par conséquent, une dépense notable.

M. Marc a cherché à rendre à la fois cette partie essentielle des travaux de drainage plus rapide et plus parfaite, plus facile et plus économique. L'appareil qu'il a construit semble, en effet, réaliser une véritable amélioration sur les moyens ordinairement employés pour le même objet.

L'instrument imaginé par M. Marc se compose d'une barre de fer méplat de 3m,00 environ de longueur et de 0m,10 de hauteur, sur 0m,01 d'épaisseur, garnie, près de ses extrémités, de deux lames d'acier de forme demi-cylindrique, du diamètre des tuyaux que l'on emploie, taillées en biseau et légèrement inclinées sur la direction de la barre. A la partie antérieure de la barre de fer est fixé à l'aide d'une charnière en fer un levier coudé, dont l'extrémité supporte une cheville et un bout de chaîne pour recevoir la barre d'attelage sur laquelle s'exerce le tirage. L'ouvrier qui conduit la machine la dirige, et règle son action en saisissant d'une main l'extrémité du levier coudé et de l'autre main une poignée que l'on fixe à la hauteur convenable, avec une vis de pression, sur la tige verticale soudée à l'extrémité postérieure de la grande barre.

La manœuvre de cet instrument est extrêmement facile. Deux, trois ou quatre hommes, selon la résistance du terrain, tirent en marchant de chaque côté de la tranchée, sur une longue perche passée dans l'anneau de tirage, tandis que le chef ouvrier, en appuyant plus ou moins sur la poignée et sur le levier, règle l'entrure des petits socs. L'outil fonctionne ainsi au fond de la tranchée comme une longue et étroite varlope de menuisier, et rabote le fond en lui donnant exactement la forme régulière et demi-cylindrique des tuyaux que l'on doit y placer.

Deux ou trois passages, au plus, de l'instrument suffisent pour dresser le fond d'une tranchée ouverte dans une terre argileuse de bonne consistance. Des ouvriers armés d'écopes enlèvent les fragments de terre détachés par chaque passage de la machine.

L'instrument imaginé par M. Marc fonctionne parfaitement dans les argiles les plus dures. Il peut encore agir lorsque le sol renferme quelques gros graviers, mais il est évident qu'il ne saurait être employé dans des terres mêlées de pierres volumineuses ou dans un sol détrempé par les pluies ou par des sources. Il faudrait, dans ces circonstances difficiles et heureusement exceptionnelles, renoncer à son emploi et recourir à l'usage des outils habituels.

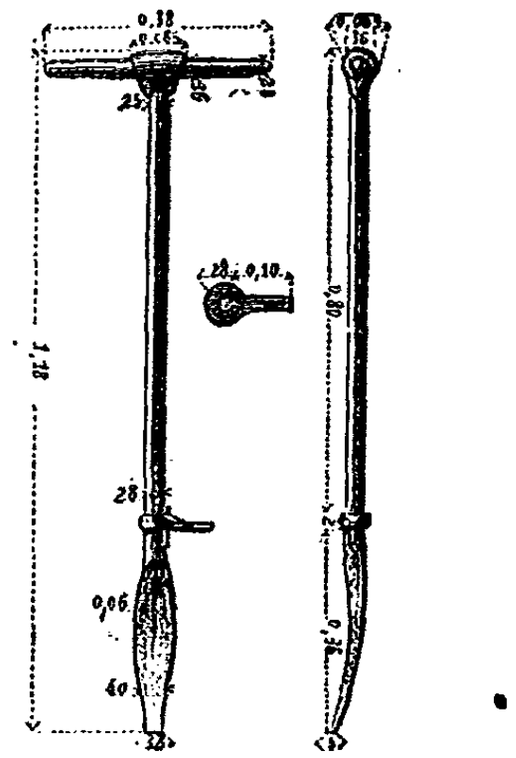
Dans des conditions ordinaires, un atelier composé d'un chef ouvrier pour conduire la machine, de trois hommes pour la tirer et de deux ouvriers pour enlever les terres détachées, pouvait facilement dresser par jour 2,000 mètres courants de tranchées. En évaluant à 2 fr. 75, en moyenne, la journée de chaque ouvrier, on voit que l'atelier représente une dépense quotidienne de 16 fr. 50, ce qui fait revenir cette opération à 0 fr. 008 environ, c'est-à-dire moins de 1 centime le mètre courant.

Le travail est mieux fait que par les procédés ordinaires; la dépense pour cette partie de l'opération se trouve reduite à la moitié des prix habituels, et

la pose des tuyaux est rendue plus facile et plus parfaite.

L'instrument que l'on vient de décrire est donc appelé à rendre de véritables services à la pratique du drainage; il permet d'exécuter une des parties les plus délicates de l'opération avec plus de perfection et à plus bas prix qu'on ne peut le faire avec les outils employés jusqu'à présent. Il est à désirer que l'emploi s'en répande. M. Marc vend son instrument une soixantaine de francs.

Quand le sol est assez dur pour résister à l'action des instruments précédents, on a recours à l'emploi de la pioche, ou du pic à pédale (fig. 22).



Pic à pédale français. Échelle de 0m,05 pour 1m.

Fig. 22.

On doit toujours commencer l'ouverture des tranchées de drains par leur partie inférieure, afin que les eaux que l'on pourrait rencontrer, ou celles provenant des pluies survenues pendant la durée des travaux, puissent constamment s'écouler, sans gêner ou interrompre les ouvriers. La nature du sol que l'on rencontre, l'importance des ouvrages à exécuter et les ressources dont on dispose, peuvent modifier jusqu'à un certain point l'organisation des chantiers. Mais, en général, quand aucune circonstance particulière ne s'y oppose, on partage les ouvriers en brigades de trois hommes. Le premier trace le travail, enlève la couche de terre végétale, et la dépose sur l'un des côtés de la tranchée, pendant que les deux autres achèvent de la creuser. Quand on est obligé d'employer la pioche ou le pic, l'un des hommes emploie ces instruments, tandis que l'autre déblaie les terres ainsi fouillées et régale le fond et les faces latérales de l'ouvrage. Si on peut se borner à l'emploi des bêches, les deux ouvriers opèrent à une petite distance l'un de l'autre; le premier continuant le travail commencé par le chef de brigade, et le second terminant l'approfondissage et le régalage de la tranchée.

Dans les terres meubles qui menacent de s'ébouler avant qu'on ait pu poser les tuyaux, on est quelquefois obligé de boiser les tranchées au moyen de planches (fig. 23) appuyées contre leurs parois et maintenues par quelques morceaux de bois formant arcs-boutants.

Aussitôt après l'ouverture de la tranchée, il faut soigneusement vérifier ses dimensions. On y parvient

facilement en essayant d'y introduire un petit gabarit (fig. 24), formé de trois règles solidement fixées les unes aux autres. Il vaut mieux faire faire autant de ces gabarits que l'on a de types de sections de drainage, que d'avoir un seul gabarit formé de pièces mobiles, toujours sujettes à se déranger.

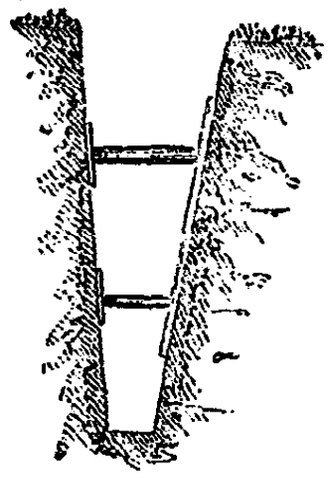


Fig. 23.

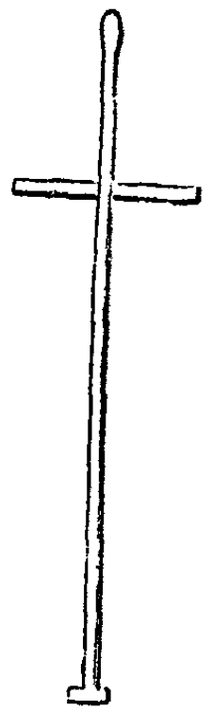


Fig. 24.

L'uniformité de la pente du fond des tranchées est plus importante encore que celle de leur profil transversal. Elle doit être l'objet d'un examen attentif. On la vérifie du reste partiellement au moyen d'une nivelette, analogue à celle des paveurs (fig. 25), dont on

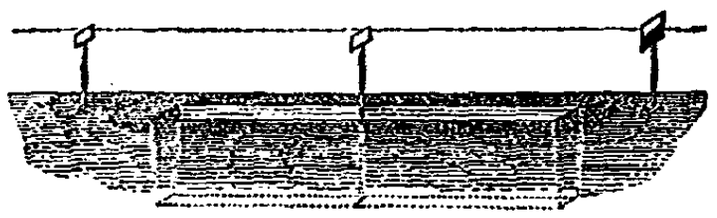


Fig. 25.

pose le pied de place en place sur le fond du drain, en s'assurant que dans toutes ces positions sa partie supérieure affleure toujours la ligne de visée guidée par deux autres nivelettes fixées et posées à une hauteur convenable, au moyen d'un niveau, ou de repères déterminés d'avance au moment du tracé des lignes de drains.

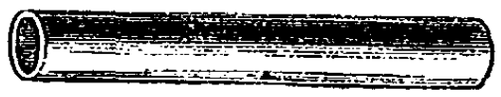
Les points de repère des lignes de drains se déterminent à l'aide des procédés ordinaires de nivellement. On peut employer avec avantage un niveau à pinnules et à bulle d'air, véritable niveau de Chézy, ne donnant pas les pentes. Cet instrument, facile à manier et plus précis que le niveau d'eau, ne coûte pas plus cher que lui chez les opticiens de Paris.

Quant aux vérifications partielles de la pente des drains, on peut les effectuer au moyen d'un grand niveau de maçon dont la base a 2 mètres à 2m,50 de longueur, et dont le fil est remplacé par une espèce de pendule muni d'un index, qui parcourt un arc de cercle sur lequel sont tracées les positions répondant à différentes inclinaisons données.

On indiquera plus loin le prix de revient des tranchées, en parlant de l'ensemble de la dépense d'une entreprise de drainage, ainsi que quelques machines qui ont été proposées pour remplacer le travail des ouvriers terrassiers. Ce qui précède suffit pour faire comprendre la marche la plus habituellement suivie. Il nous reste à parler des tuyaux en terre, de leur fabrication et de leur pose.

Forme des tuyaux. Les tuyaux de drainage à peu près exclusivement employés aujourd'hui sont en terre

cuite (fig. 26). Ils ont de 0m,30 à 0m,40 de longueur; leur diamètre intérieur varie de 0m,030 à 0m,20, suivant le volume d'eau dont ils doivent assurer l'écoulement; leur épaisseur est de 0m,01 environ. Les extrémités des tuyaux sont engagées dans des colliers, également en terre cuite, de 0m,07 à 0m,10 de longueur, dont le diamètre est tel que le tuyau entre facilement dans le collier (fig. 27). On a quelquefois proposé



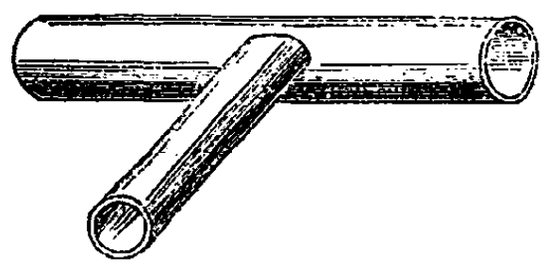
Tuyau cylindrique en terre cuite.
Fig. 26.

Assemblage de tuyaux avec un manchon.
Fig. 27.

d'employer des colliers criblés de trous, pour rendre plus facile l'introduction de l'eau dans le tube de terre. Cette disposition, qui augmentait le prix des colliers, et diminuait leur solidité, a été reconnue inutile et même nuisible; l'eau trouve bien assez d'issues entre les joints imparfaits des tuyaux. Ces ouvertures, plus larges, placées surtout à la partie supérieure d'un tuyau, ne peuvent que faciliter l'introduction des corps solides et concourir ainsi à la dégradation de l'ouvrage.

L'emploi de colliers n'est pas indispensable, mais il ne doit jamais être négligé dans les travaux exécutés dans des conditions difficiles. Les propriétaires qui ne peuvent surveiller eux-mêmes leurs travaux d'une manière continue devront toujours employer les colliers, parce qu'ils rendent les malfaçons à peu près impossibles.

Le raccordement de deux lignes de drains s'effectue au moyen d'une ouverture circulaire pratiquée dans le plus gros tuyau, et dans laquelle pénètre le plus petit (fig. 28). Ces tuyaux percés d'une ouverture se fabri-



Raccordement de deux lignes de tuyaux.
Fig. 28.

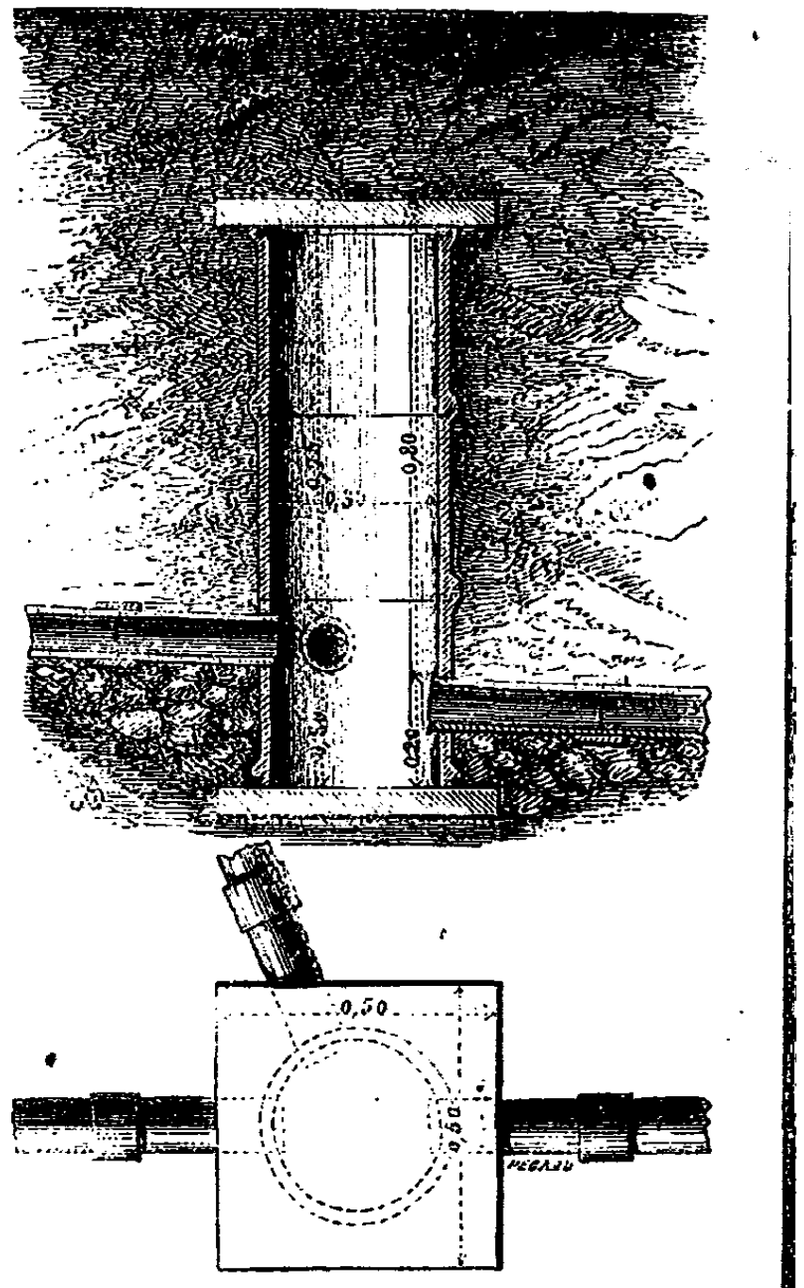
quent très-simplement et ne coûtent que un tiers environ en sus du prix des tuyaux ordinaires de même dimension.

Il convient d'établir de place en place, sur les lignes de drains de quelque importance, de petits regards. On les construit (fig. 29) au moyen d'un bout de gros tuyau percé de deux ouvertures en regard l'une de l'autre, dans lesquelles débouchent les drains. Ce tuyau est placé verticalement et repose sur une tuile plate. On ferme son ouverture supérieure avec une motte de gazon, une tuile ou une pierre plate, et on la recouvre de terre, en ayant soin de conserver quelque point de repère pour en faciliter la recherche.

On a beaucoup varié la forme des tuyaux en terre cuite. Nous devons indiquer quelques-unes des dispositions essayées, bien que reconnues maintenant inférieures à la précédente, ne serait-ce que pour éviter

AGRICULTURE.

aux fabricants de renouveler des tentatives dont l'expérience a démontré les inconvénients.



Élévation et plan d'un regard. Échelle de 0m,05 sur 1m.
Fig. 29.

L'une des formes de tuyaux les plus satisfaisantes en apparence est celle indiquée par la figure 30*a*. La

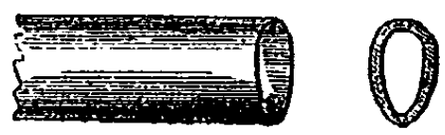


Fig. 30*a*.

section de ces tuyaux est ovoïde. L'eau s'y rassemble mieux que dans les tuyaux cylindriques et y conserve, même en petite quantité, une certaine vitesse qui peut s'opposer à la formation de dépôts dans l'intérieur des conduits. Mais ces tuyaux sont plus difficiles à poser que les tuyaux ronds, ils ont moins d'assiette au fond de la tranchée et se dérangent plus facilement. Pour éviter ce dernier inconvénient, on a proposé de ménager au tuyau un empatement (fig. 30*b*)

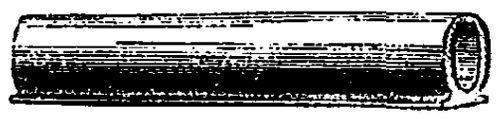


Fig. 30*b*.

en conservant au vide la section précédente; mais les tuyaux ainsi construits sont plus lourds et d'un prix

plus élevé que les tuyaux cylindriques qui conservent ainsi sur ces derniers une véritable supériorité. Nous en dirons autant des tuyaux à section de fer à cheval et de plusieurs autres formes plus ou moins analogues aux précédentes, et dont il est inutile de donner les croquis.

Pour éviter l'emploi des manchons et rendre plus complétement solidaires les uns des autres les conduits de drains, on a proposé de terminer leurs extrémités contiguës, quelle que soit d'ailleurs leur section, par des lignes courbes s'enchevêtrant l'une dans l'autre (*fig.* 31).

Fig. 31.

La fabrication de ces tuyaux ne présente pas de difficulté particulière et n'exige qu'une légère modification dans la partie des machines destinée au coupage des tubes; mais cette disposition, évidemment inutile quand on emploie des manchons de raccordement, ne saurait les remplacer et ne doit dès lors être signalée que pour montrer ses inconvénients. Nous en dirons autant des tuyaux garnis de languettes à leurs extrémités, et, en général, de toutes les tentatives faites pour modifier la disposition indiquée en premier lieu, qui paraît être le dernier degré de simplicité qu'il soit possible d'obtenir. Les tuyaux coniques, s'emboîtant les uns dans les autres, ne peuvent se fabriquer que par des procédés coûteux et ne mériteraient dès lors aucune attention, quand bien même ils présenteraient quelques avantages que la pratique n'a nullement fait reconnaître.

Fabrication des tuyaux de drainage. — Les tuyaux de drainage se fabriquent à la machine. Un volume ne suffirait assurément pas pour expliquer les nombreux appareils destinés à cet usage et inventés depuis que le drainage a pris un si grand développement. Nous nous bornerons à signaler seulement quelques-uns de ces appareils.

La fabrication des tuyaux de drainage est une annexe de l'art du briquetier, traité dans le dictionnaire; quelques mots suffiront par conséquent pour faire comprendre la question à ceux de nos lecteurs qui auront pris connaissance de l'article *Brique* (voyez ce mot).

Choix et préparation de l'argile. — Toutes les bonnes argiles à tuiles, bien purgées de pierres et de corps étrangers, conviennent à la fabrication des tuyaux de drainage. Les meilleures sont celles qui se déforment le moins au feu et fournissent après la cuisson les matières les plus dures et les plus sonores. La préparation de la terre pour les tuyaux de drainage est la même, en principe, que pour les tuiles; elle doit seulement être faite avec plus de soin encore; l'expulsion des pierres doit être surtout l'objet d'une attention particulière. On emploie habituellement pour cette première opération un tonneau broyeur (voyez *Brique* et *Mortier*)

mis en mouvement par un ou deux chevaux. Cet appareil donne des résultats très-bons et beaucoup plus économiques que la préparation à bras; il est à peu près exclusivement employé dans les fabriques de tuyaux de drainage.

Machines à fabriquer les tuyaux de drainage. — Toutes les machines à tuyaux de drainage peuvent se partager en deux classes : les machines à action continue et les machines à action intermittente ou à pistons. Nous décrirons avec quelques détails une machine de chacun de ces systèmes, et nous nous bornerons à indiquer quelques-unes de celles qui se rapportent à ces deux types principaux.

(A) *Machines à action continue.* — Nous nous occupons d'abord des machines de cette espèce.

La machine d'Ainslie appartient à la catégorie dont il s'agit. Elle est maintenant parfaitement exécutée dans les ateliers de M. Laurent; elle est employée par quelques fabricants de tuyaux de drainage, mais ne laisse pas de présenter des inconvénients.

Cette machine (*fig.* 32) se compose de deux cylindres en fonte tournant en sens contraire. Ces deux cylindres forment l'un des côtés d'un coffre prismatique, dans la face opposée duquel sont ménagées des ouvertures annulaires présentant la section des tuyaux que l'on veut fabriquer. Nous appellerons ces ouvertures les *filières*. La pâte argileuse est déposée sur une toile sans fin placée en avant des deux cylindres et poussée entre les cylindres par un ouvrier. Les cylindres en tournant entraînent la terre argileuse et la compriment assez fortement, dans la boîte dont on a parlé, pour la forcer à passer à travers les filières et à se modeler en tuyaux. Ces tuyaux, en sortant de la filière, sont reçus par une toile sans fin très-mobile, que l'on voit à droite de la figure, et sur laquelle ils s'étendent sans se déformer. Pour couper les tuyaux de longueur voulue on emploie un fil métallique porté par un châssis auquel on imprime un mouvement convenable, à l'aide d'une manivelle. Le mouvement du fil doit être combiné de telle sorte que le tuyau, malgré son mouvement de translation, soit coupé bien carrément. Ce

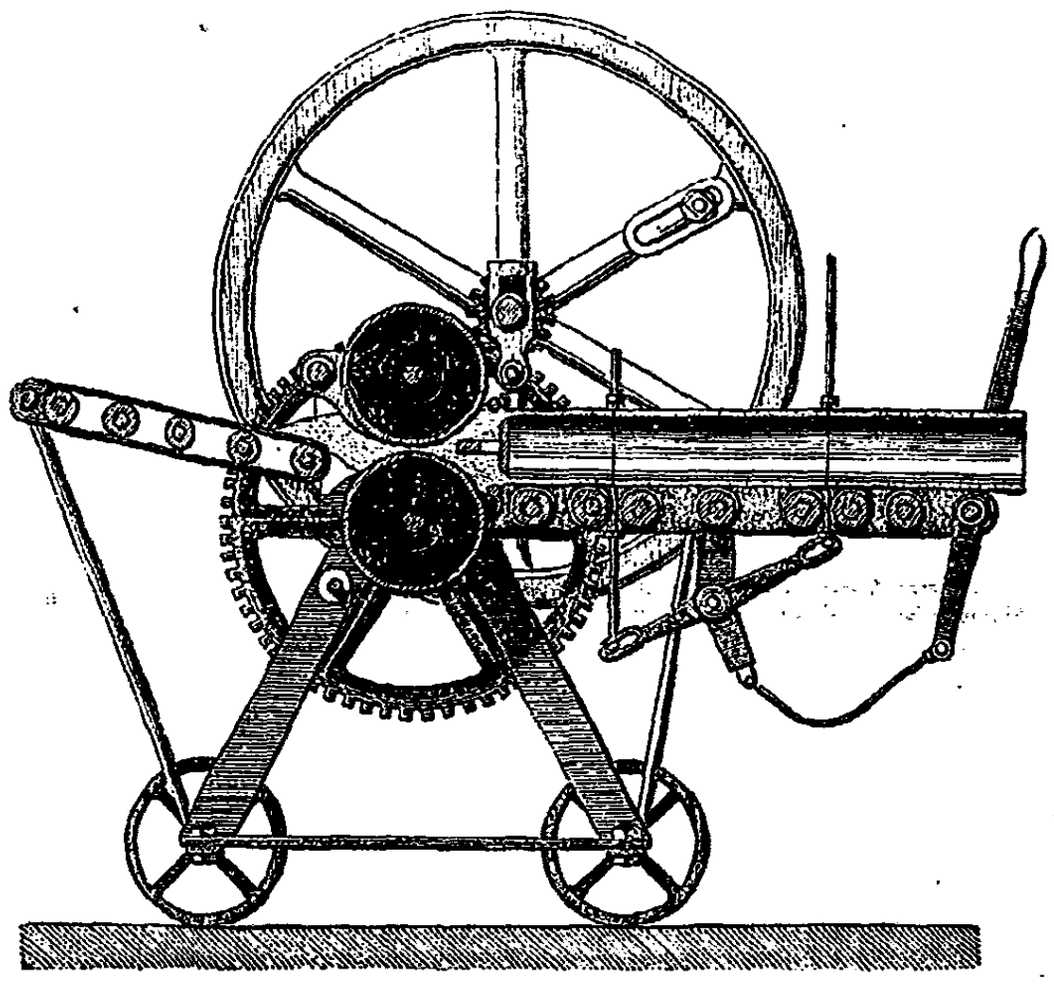


Fig. 32.

AGRICULTURE.

résultat est d'ailleurs assez facile à obtenir, et les tuyaux bien fabriqués sont coupés avec une netteté parfaite.

La machine d'Ainslie est habituellement servie par quatre hommes et trois ou quatre enfants. Deux ouvriers tournent alternativement la manivelle, un autre fournit l'argile aux cylindres, et le dernier coupe les tuyaux et les enlève de la toile sans fin pour les déposer à côté de lui. Les enfants apportent la terre que l'ouvrier dirige vers les cylindres, et portent au séchoir les tuyaux fabriqués.

La machine d'Ainslie peut fournir par jour 1,800 à 2,200 mètres de tuyaux de la dimension indiquée. Elle coûte, prise chez M. Laurent, 750 fr.

Parmi les machines à tuyaux à action continue, nous citerons entre autres celles de M. Franklin, que M. Brethon, mécanicien à Tours, exécute d'une manière très-satisfaisante. Cette machine (*fig.* 33) est mise en mouvement par un cheval attelé à un manége ou par une machine à vapeur, ou par une roue hydraulique. Elle se compose d'un cylindre en fonte dans lequel se meut un arbre vertical armé de couteaux hélicoïdaux. Le même appareil malaxe la terre, l'épure en la faisant passer à travers un crible et la façonne en tuyaux en la faisant passer à travers des filières placées à droite et à gauche, au bas du cylindre. Ces machines conviennent bien aux fabriques

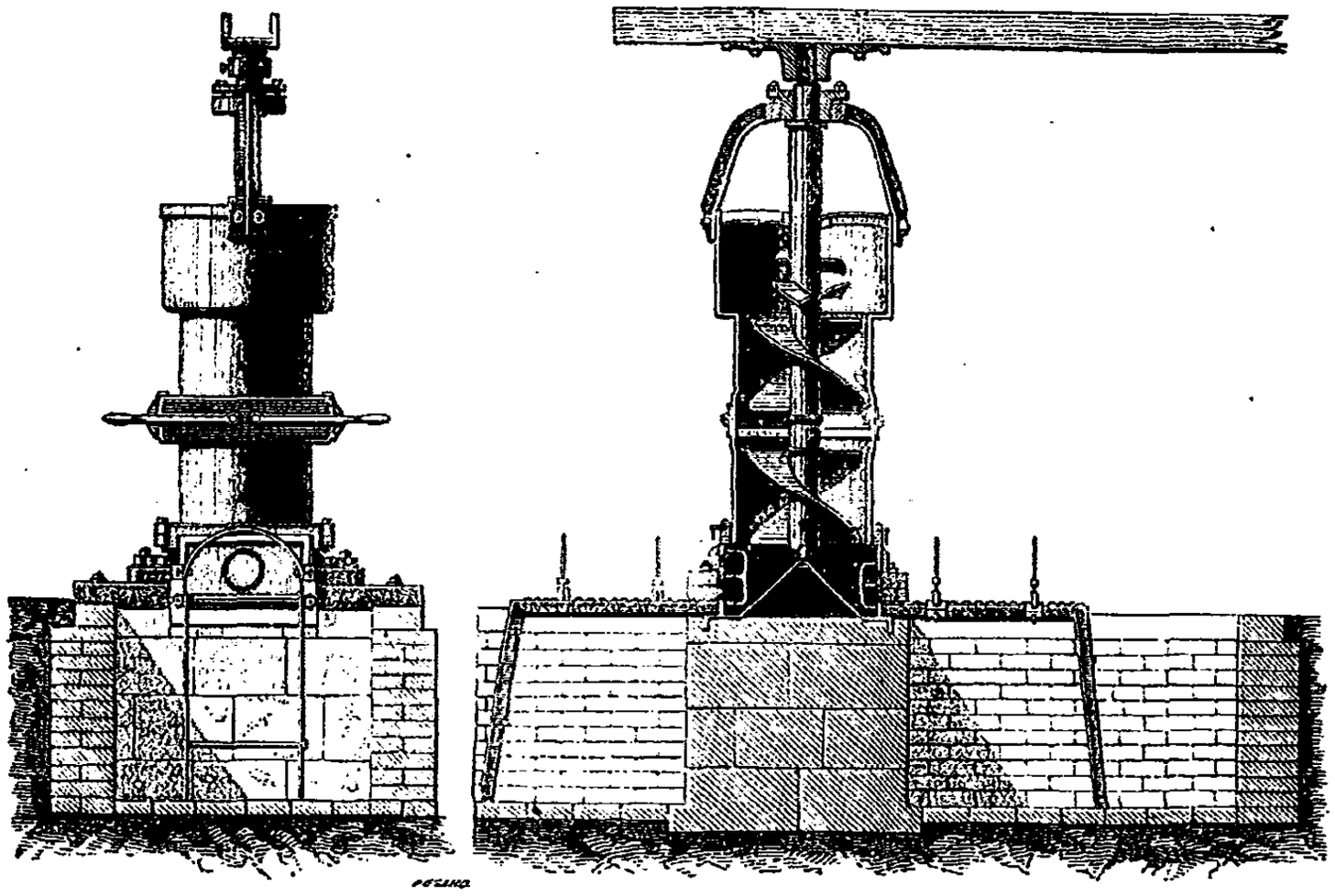


Fig. 33. Élévation de face et coupe de la machine Brethon.

d'une certaine importance, qui possèdent un moteur.

(B) *Machines à action discontinue.* — Toutes les machines de cette classe sont établies sur le même prin-

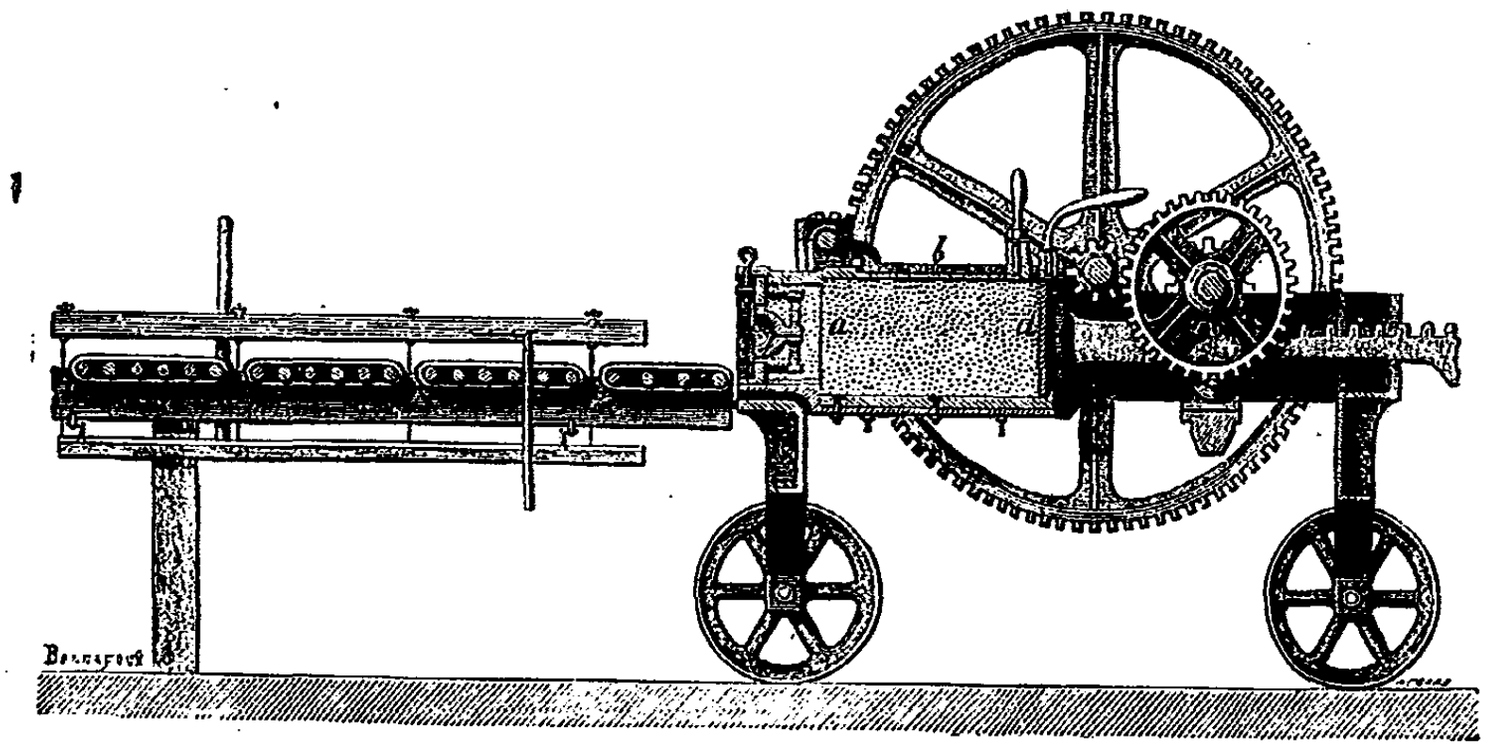


Fig. 34. Coupe en long d'une machine à tuyaux de drainage à simple effet.

AGRICULTURE.

cipe : la compression, au moyen d'un piston, de l'argile molle renfermée dans une capacité garnie de filières à tuyaux.

La figure 33 représente la coupe d'une machine de cette espèce. La terre corroyée est déposée en gros pains dans une caisse prismatique *a a* qui se ferme par un couvercle à charnière *b*. La face antérieure de la machine est formée d'une filière, appareil que représente à une plus grande échelle la figure 35.

Lorsque le piston *c* (*fig.* 34) est mis en mouvement par l'action des roues dentées, engrenant avec la crémaillère qui forme sa tige, il comprime la terre dans la caisse qui la renferme, et la force à sortir, sous forme de tube continu, à travers les espaces annulaires que présentent les filières.

Les tubes, en sortant des filières, sont reçus par les toiles sans fin que portent les cylindres mobiles *e e* (*fig.* 35). Quand les tuyaux occupent la longueur entière de ces toiles sans fin, on les coupe de longueur convenable, à l'aide des fils d'un appareil particulier dont le dessin montre assez bien la disposition.

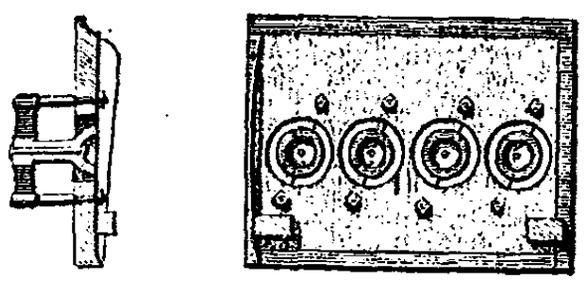


Fig. 35. Élévation et coupe d'une filière.

Les machines à piston, comme celle qui est représentée figure 34, sont intermittentes, mais elles présentent différentes dispositions utiles à mentionner.

L'appareil de la fig. 34 a été construit par M. Laurent, qui fabrique d'ailleurs presque tous les systèmes de machine à tuyaux, il pèse 500 kilog. environ et coûte 550 à 600 francs. Cette machine est simple, facile à déplacer et très-convenable pour les petits fabricants.

On construit des machines basées sur le même principe, mais garnies de deux caisses opposées et de deux pistons placés aux deux bouts de la tige de la crémaillère. Grâce à cette disposition, l'une des caisses se trouve toujours prête à recevoir de la terre quand l'autre est vidée et cesse de produire des tuyaux. On gagne ainsi tout le temps perdu, dans la machine à simple effet, pendant que l'on ramène le piston en arrière après avoir transformé en tuyaux le contenu de la caisse. Mais on perd encore le temps nécessaire au remplissage de la caisse.

Les machines à simple et à double effet sont ordinairement manœuvrées à bras. Cependant, quand ces dernières sont de grandes dimensions, on peut, avec avantage, les mettre en mouvement avec un moteur. A cet effet, M. Whitehead remplace la manivelle par un embrayage à poulie fort bien disposé. Cet embrayage se compose d'une poulie folle, séparant deux poulies motrices dont l'une fait marcher les pistons dans un sens, tandis que l'autre les fait agir en sens contraire. A la fin de chaque course de piston, un décliquetage amène la courroie motrice sur la poulie folle; on remplit la caisse de terre et on ramène la courroie sur la poulie qui donne le mouvement dans le sens voulu. Cette machine est d'un fort bon usage dans les fabriques d'une certaine importance.

Pour éviter, en partie, la perte de temps qui a lieu dans le remplissage des caisses, M. Schlosser a eu l'idée de substituer aux caisses fixes rectangulaires en fonte des machines ordinaires, des boisseaux cylindriques en tôle, qui ne sont que posés sur le bâti de la machine (*fig.* 36). Chaque appareil est accompagné de trois boisseaux. L'un d'eux fournit des tuyaux, et le piston se retire de celui qui vient de travailler, tandis qu'un ouvrier remplit le troisième boisseau séparé momentanément de l'appareil. Aussitôt que les pistons arrivent au bout de la course, on enlève le boisseau vide, dont le piston est sorti, on met en place le boisseau plein et on tourne en sens convenable, pour transformer en tuyaux la terre qu'il renferme. La manœuvre de l'enlèvement et de la mise en place des boisseaux est très-rapide, et les temps perdus se réduisent à fort peu de chose. Cette machine

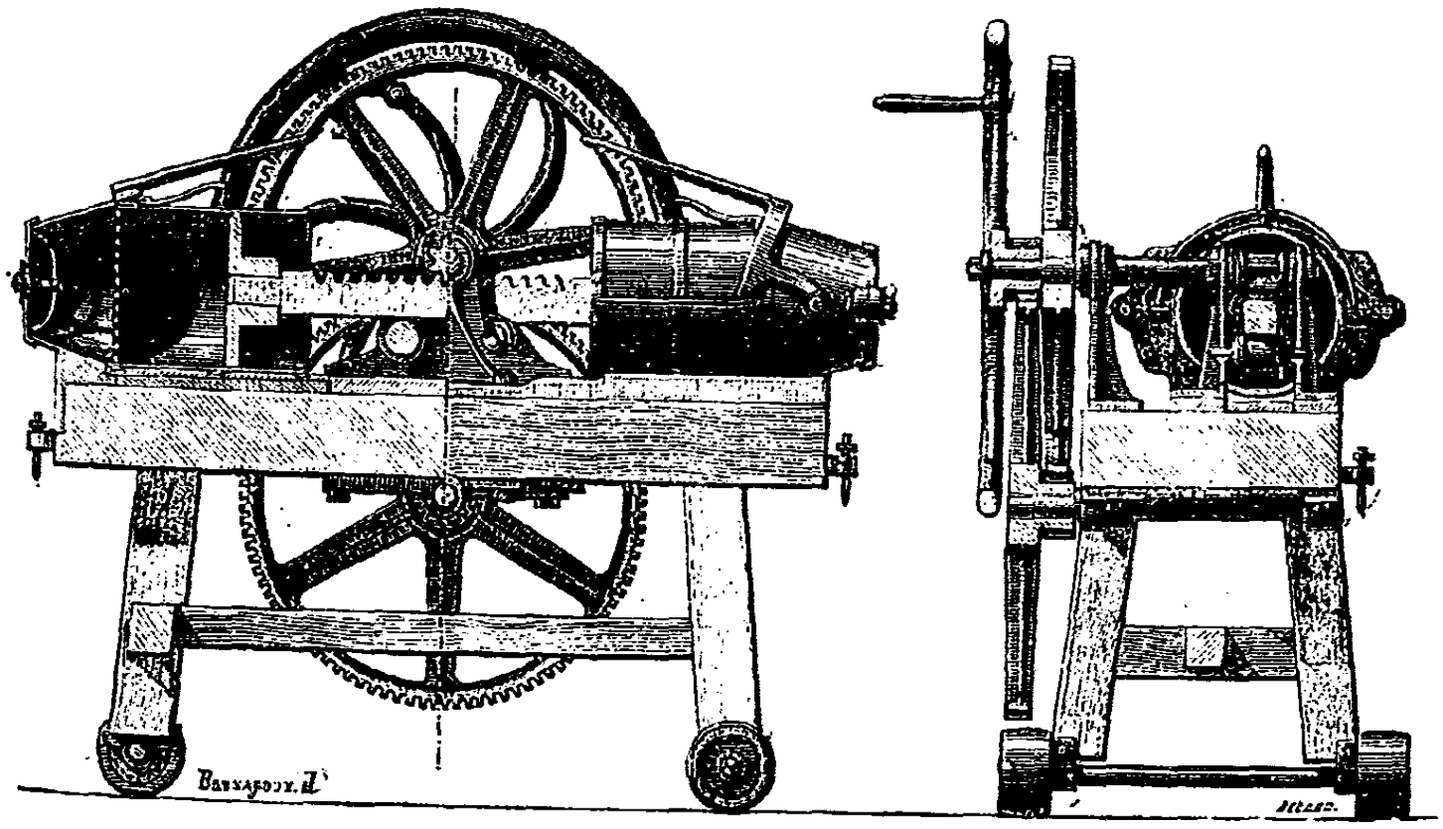


Fig. 36

AGRICULTURE.

pèse 600 kilog. et coûte de 650 à 700 fr. Elle est une des plus répandues en France.

L'effort nécessaire à la fabrication des tuyaux diffère beaucoup d'une machine à l'autre. Il résulte d'un très-grand nombre d'expériences que j'ai dû faire sur des machines de différents constructeurs, que la quantité de travail nécessaire à la fabrication d'un kilogramme de tuyaux frais, avec la même terre, varie de 20 à 120 kilogrammètres. Cette énorme différence ne tient pas seulement, comme on pourrait le croire, au frottement plus ou moins grand des organes de transmission. Elle dépend surtout du rapport des sections des ouvertures à celle du piston. Une disposition particulière des expériences m'a permis de mesurer avec exactitude la pression exercée sur la terre, et, par conséquent, d'éliminer toutes les résistances extérieures, toujours difficiles à estimer, et qui compliquent les résultats des essais ordinaires. Il serait trop long de reproduire ici ce travail, il suffisait d'indiquer aux constructeurs l'un des points sur lesquels doit particulièrement se porter leur attention.

Les tuyaux frais, au sortir de la machine, renferment en général de 27 à 33 p. 100 d'eau. Après le séchage, au moment de l'enfournement, ils n'en renferment plus que de 9 à 12 p. 100.

La cuisson de 1000 tuyaux de 0m,35 de diamètre intérieur et de 0m,33 de longueur consomme habituellement de 80 à 158 kilogrammes de houille.

Le poids des tuyaux est très-variable. A titre de renseignement, on donne dans le tableau précédent quelques résultats moyens de pesées faites sur les produits de nombreuses tuileries françaises et étrangères.

Séchage des tuyaux. — Quelle que soit la machine employée, les tuyaux, en sortant de l'appareil qui les moule et les coupe de longueur, sont enlevés par des enfants qui les soulèvent en introduisant, dans leur intérieur, des baguettes de diamètre convenable réunies en forme de râtelier, au nombre de deux, trois ou quatre sur un même manche, et les transportent aux séchoirs : ce sont de simples hangars semblables à ceux de nos tuileries, et sous lesquels on dispose les tuyaux à plat sur des étagères en planches horizontales, *fig.* 37.

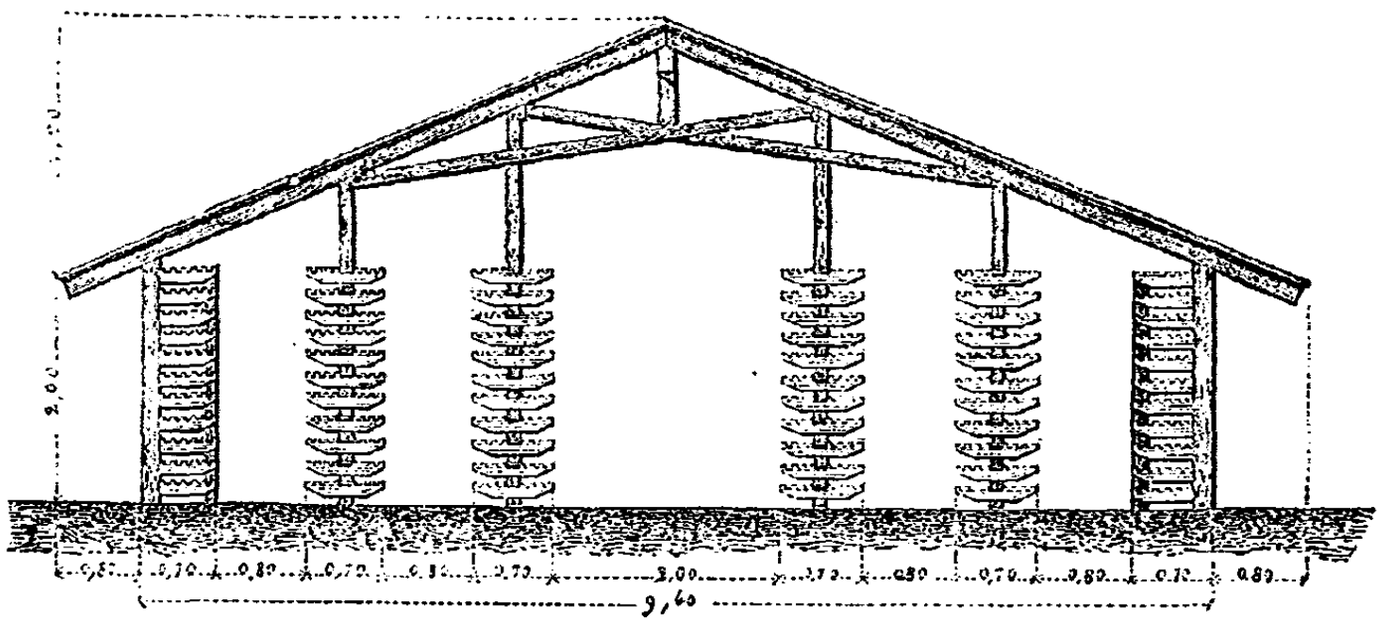


Fig. 37.

Plusieurs constructeurs ont imaginé des machines pour fabriquer des tuyaux avec un emboîtement à l'une de leurs extrémités, afin d'éviter l'emploi des manchons. La solution de ce problème n'a qu'un intérêt pratique assez secondaire, et, jusqu'à présent, le prix de revient des tuyaux augmente dans une forte proportion.

N° d'ordre.	DIAMÈTRE intérieur.	DIAMÈTRE extérieur.	LONGUEUR	POIDS de mille tuyaux secs.	Observations.
	m.	m.	m.	k.	
1	0,027	0,0430	0,320	424	Trop minces.
2	0,028	0,0450	0,320	552	
3	0,031	0,0500	0,320	686	
2	0,031	0,0500	0,330	720	
3	0,035	0,0545	0,308	740	
4	0,039	0,0590	0,345	998	
5	0,040	0,0610	0,308	1002	
6	0,054	0,0745	0,315	1098	
7	0,057	0,080	0,302	1342	
8	0,097	0,128	0,302	3200	
9	0,132	0,167	0,302	4880	
10	0,185	0,231	0,302	8800	

On retourne de temps en temps les tuyaux on les changeant de place, et lorsque la dessiccation est fortement avancée, on les fait rouler un à un, par des enfants, sur une pierre unie pour les régulariser et faire disparaître les déformations qui se produisent quelquefois pendant le séchage, surtout quand l'argile était un peu trop molle. Ce roulement des tuyaux, avant le dernier séchage et la mise au feu, est regardé comme fort important par les praticiens soigneux.

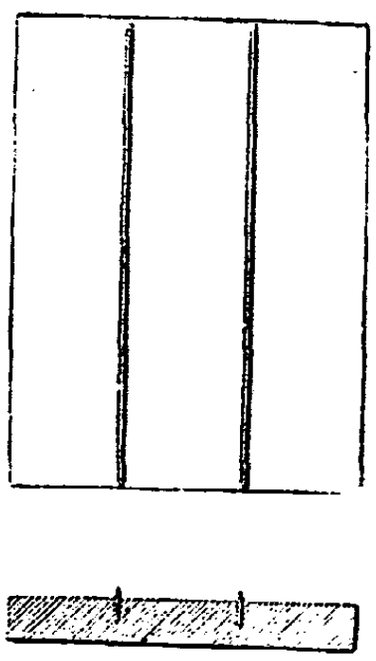


Fig. 37 *a* (éch. 0,01).

Fabrication des colliers et tuyaux de raccordement. — Les colliers se fabriquent d'une manière très-simple : on prépare des tubes d'un diamètre convenable, et à peu près de la longueur ordinaire, et, quand ils sont en partie séchés, on les roule sur une planche rectangulaire (*fig.* 37) garnie de trois lames d'acier faisant une saillie égale à la moitié environ de l'épaisseur du tuyau, et espacées entre elles de la longueur que l'on veut

donner au collier. Le tuyau se trouve ainsi partagé en tronçons qui n'ont plus entre eux qu'une assez faible adhérence. On termine le séchage et on cuit, comme les autres, les tuyaux ainsi préparés. Après le défournement, il suffit d'un coup sec, donné à faux, pour séparer les tronçons du tuyau, et obtenir les colliers.

Les ouvertures circulaires ou latérales, que doivent présenter les tuyaux destinés à former des regards ou des raccordements d'une ligne de drains avec une ligne d'un ordre plus élevé, sont exécutées à la main sur les tuyaux à moitié desséchés, par des enfants munis d'un compas grossier ou d'un patron, et d'un petit couteau avec lequel ils coupent la terre argileuse.

Cuisson. Tous les fours à tuile peuvent servir à la

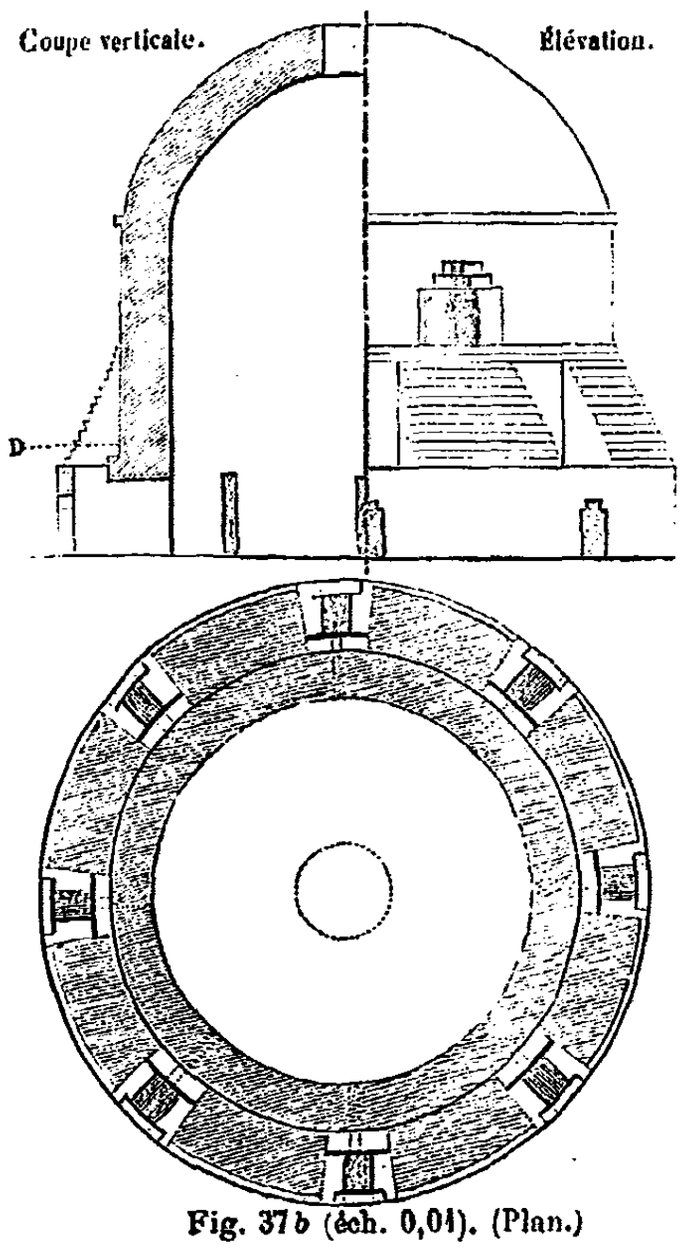


Fig. 37 *b* (éch. 0,01). (Plan.)

cuisson des tuyaux de drainage. On dispose les tuyaux verticalement les uns à côté des autres. Quand on cuit en même temps, ce qui a presque toujours lieu, des tuyaux de grosseurs différentes, on introduit les plus petits dans les plus gros, pour ménager la place et s'opposer à l'irrégularité que produiraient, dans le tirage, des canaux entièrement libres et d'un trop fort diamètre.

Les fabricants spéciaux de tuyaux de drainage emploient généralement dans les établissements d'importance moyenne un four en coupole, dont la fig. 37 *b* indique suffisamment la disposition. Le combustible est placé sur les allandiers disposés à la circonférence de la base du fourneau. Le fourneau est en briques communes garni intérieurement d'une chemise en argile réfractaire. Quelques fourneaux sont même entièrement en terre et construits d'une manière analogue aux ouvrages en pisé.

On peut cuire à la fois dans un four de cette espèce 30 à 35 mille tuyaux de 0m,045 de diamètre, disposés verticalement les uns au-dessus des autres. La cuisson dure 33 à 34 heures, et consomme 4 tonnes environ de houille de qualité moyenne. On défourne 24 heures après l'extinction du feu, en démolissant les cloisons légères établies après l'enfournement dans les portes ménagées dans les côtés du four.

Le prix de revient de la fabrication des tuyaux est, on le conçoit, extrêmement variable. Voici, à peu près, les limites entre lesquelles varient, dans les circonstances ordinaires, les prix élémentaires de cette fabrication pour 1,000 tuyaux de 0m,35 de diamètre intérieur et de 0m,33 de longueur, déchets compris.

	fr.	fr.
Achat, extraction et transport de la terre à pied d'œuvre.	0,15 à	2,00
Trempage, malaxage, épuration, mélange	0,40	1,80
Façon.	1,00	1,50
Roulage.	0,15	0,30
Soins de séchage.	0,30	0,50
Enfournement.	0,75	1,55
Soins de cuisson.	0,50	1,00
Combustible.	4,00	10,00
Frais généraux.	1,55	3,45
Total.	8,80	22,10

Pose des tuyaux au fond des tranchées. Aussitôt après l'achèvement de la tranchée et la vérification de son profil transversal et de sa pente longitudinale, on s'occupe de la pose des tuyaux. Cette opération exige beaucoup de soin; elle doit être confiée à un ouvrier exercé et constamment surveillée par le directeur du travail.

Quand on emploie des colliers, les tuyaux s'y engagent et sont ainsi maintenus à la suite les uns des autres. On cale les tuyaux et leurs colliers au fond de la tranchée au moyen de quelques petites pierres, ou de simples mottes de terre soigneusement appliquées et un peu pilonnées, sur lesquelles on jette la terre extraite de la tranchée et déposée sur un de ses côtés. Lorsqu'on n'emploie pas de colliers, on met les tuyaux bout à bout, aussi exactement que possible; on les assujettit à leur point de raccordement au moyen de quelques tessons provenant de tuyaux cassés ou de tuiles, par-dessus lesquels on tasse fortement une motte de terre aussi grasse que possible, et l'on termine le remplissage comme dans le premier cas. Inutile d'ajouter que ce mode de pose est plus délicat que le premier, qu'il demande plus de temps et d'adresse, et qu'il ne peut jamais offrir autant de garanties.

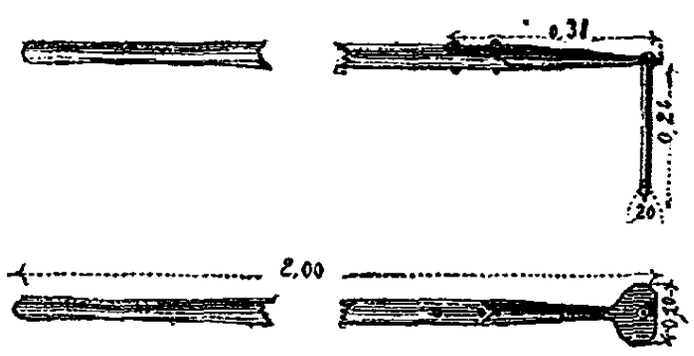


Fig. 38. Broche à poser les tuyaux sans colliers.

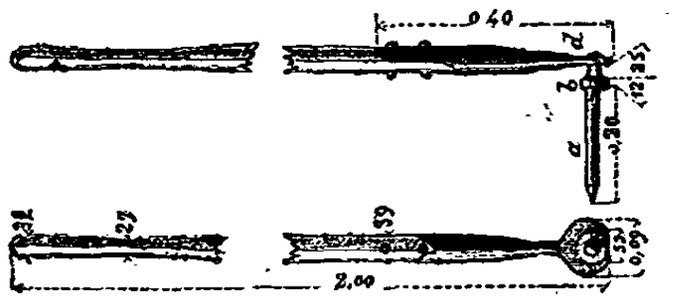


Fig. 38 *a*. Broche à poser les tuyaux avec collier.

Pour déposer au fond des tranchées étroites et pro-

fondes les tuyaux de terre, on emploie un des instruments représentés par les figures 38 et 38*a*. L'ouvrier le tient par le manche en bois et introduit dans le tuyau la tige placée à l'extrémité ; il enlève ainsi le tuyau et le dépose à la place qu'il doit occuper. Cet outil est surtout précieux pour poser les tuyaux à colliers. La tige *a*, fig. 38*a* entre dans le tuyau qui vient s'appuyer contre l'épaulement *b*. La longueur *bd* est égale à la moitié de celle du collier ; son diamètre est supérieur au diamètre intérieur du tuyau et inférieur à celui du collier ; de sorte qu'on maintient ainsi le tuyau et le collier dans la position relative qu'ils doivent occuper, et qu'il est facile d'introduire l'extrémité libre du tuyau dans le collier précédent, déjà déposé de la même manière au fond de la tranchée.

Les tuyaux sont déposés à l'avance, par des enfants, le long de la tranchée. On les y apporte sur des brouettes ou sur de petites civières garnies de deux planches verticales pour empêcher les tubes de rouler.

2. *Des différents genres de drains non garnis de tuyaux de terre.* Les drains avec tuyaux en terre cuite, garnis de colliers, sont aujourd'hui, nous ne saurions assez le répéter, généralement adoptés. On ne les remplace que dans des circonstances spéciales et exceptionnelles par d'autres natures de conduits que nous devons décrire maintenant, ne serait-ce que pour éviter à quelques agriculteurs de les employer sur la foi de certains ouvrages, reproduction d'anciens livres, et qui les présentent à tort comme étant encore aujourd'hui d'un emploi étendu.

Drains avec tuiles courbes et solles plates. L'emploi de tuiles creuses, posées au fond de la tranchée de drainage sur une solle plate (fig. 39), était déjà un véritable per-

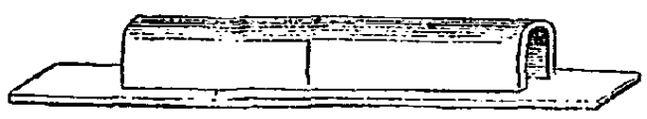


Fig. 39.

fectionnement sur la plupart des méthodes antérieurement employées. Mais les tuyaux d'une seule pièce remplacent évidemment avec avantage ces pièces séparées et beaucoup plus fragiles qu'eux. Cependant on peut encore avoir l'occasion d'employer les tuiles creuses, soit pour épuiser d'anciens approvisionnements, soit pour faire des essais de drainage dans des localités où les tuiles seraient un objet de fabrication courante, et dès lors peu coûteuses, et où l'on ne voudrait pas, avant d'être éclairé sur les résultats du drainage, faire les frais d'établissement d'une fabrication de tuyaux. Il est dès lors nécessaire d'entrer dans quelques détails au sujet de l'emploi de cette nature de matériaux.

Les tranchées destinées à recevoir des conduits en tuiles courbes ne diffèrent pas, quant à la profondeur, de celles qui doivent être garnies de tuyaux ; seulement leur largeur au fond doit être un peu plus considérable, pour que la tuile plate y entre librement et y prenne complétement son assiette.

La longueur des tuiles plates est quelquefois égale à celle des tuiles courbes ; mais il vaut mieux que ces dernières ne soient que le tiers de la longueur de la solle, comme l'indique la figure, afin que chaque solle porte deux tuiles entières. Dans tous les cas on place les tuiles et les solles à joints croisés. Quand les solles sont soigneusement posées et mises en contact entre elles et avec le terrain, on place les tuiles courbes. Il convient de les entourer de manière à garnir le fond du drain avec de la paille ou des gazons, ou toutes autres matières filamenteuses, pour empêcher la terre et le gravier de s'introduire dans le canal, à travers les

AGRICULTURE.

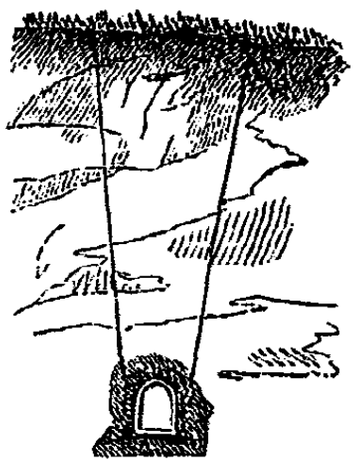


Fig. 40

joints si nombreux et toujours imparfaits qui existent entre les différentes parties du canal. On tasse soigneusement les premières couches de terre sur le tuyau et on achève de le remplir comme de coutume. La figure 40 représente la coupe d'un drain ainsi garni.

Le raccordement de deux lignes de drains a lieu au moyen de tuiles échancrées (fig. 41) les drains principaux sont formés de deux

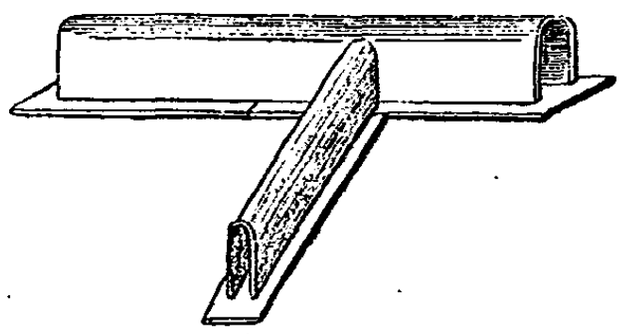


Fig. 41

tuiles courbes, séparées par une solle plate, ou de trois tuiles courbes placées l'une près de l'autre (fig. 42).

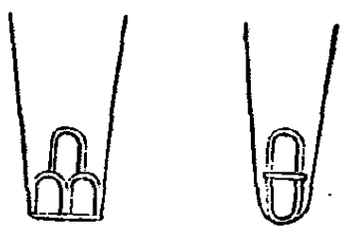


Fig. 42.

La fabrication des tuiles courbes peut se faire au moyen des machines à tuyaux, en remplaçant les filières circulaires par de simples plaques percées d'une ouverture en *U*, ou bien sans machines, comme les tuiles faîtières ordinaires. Toute l'attention de l'ouvrier doit se porter sur la partie courbe qui est sujette à se briser, par suite de la fatigue qu'éprouve la terre courbée trop brusquement ou dans un état de sécheresse trop avancée.

Quelques agriculteurs, trompés par l'apparence de dureté et de résistance de la terre du fond de la tranchée, ou séduits par l'espoir d'une fausse économie, ont voulu supprimer les solles plates sous les tuiles courbes, ou ne placer ces espèces de semelles que sous les joints des tuiles courbes. Ces différents modes d'opération ne donnent que de très mauvais résultats. Les argiles les plus dures, sous l'action de l'air et de l'eau, se délitent et se détrempent rapidement, la tuile courbe s'enfonce dans le terrain et le tuyau est bientôt complétement détruit ou bouché.

Drains en pierre. Les drains de cette espèce sont formés de petits matériaux jetés pêle-mêle au fond de la tranchée, ou bien présentent de véritables petits canaux plus ou moins artistement disposés pour utiliser les pierres dont on dispose. Cette dernière forme ne saurait en général être recommandée. L'arrangement des pierres présente de la difficulté, l'ouvrage se détériore rapidement et le canal sert de refuge aux taupes et à d'autres animaux nuisibles qui accélèrent encore sa destruction. La fig. 43 représente une des dispositions les plus ordinaires de ces sortes de pierrées, que nous ne signalons ici qu'en passant à cause de la rareté des circonstances où il convient de les employer. Il en est tout autrement des drains rem-

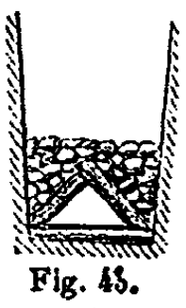


Fig. 43.

plis de petites pierres jetées au hasard, que l'on pourrait appeler drains *à pierres perdues;* fortement recommandés par Smith, ils ont été employés sur une immense échelle, ont rendu de très grands services et doivent encore être préférés dans certaines circonstances particulières que nous indiquerons. Il convient d'étudier avec soin tous les détails de leur construction.

Les tranchées remplies de pierres cassées, de gros graviers ou de galets, doivent avoir environ 0m,18 de largeur au fond et présenter, à 0m,38 au-dessus de ce fond, limite à laquelle s'arrête la couche de pierres, une ouverture de 0m,23. La profondeur de la tranchée, toutes choses égales d'ailleurs, doit être un peu plus considérable que celle qui est nécessaire pour les drains à tuyaux. L'exécution de ces tranchées ne présente d'ailleurs aucune particularité remarquable.

Quand on peut se procurer des cailloux bien propres ou des galets d'une grosseur convenable ces matériaux doivent être préférés. A défaut de cailloux de cette espèce on emploie des pierres parfaitement purgées de terre et cassées de manière que les plus grosses puissent passer dans un anneau de 0m,076 de diamètre. De plus gros matériaux pourraient tomber au fond de la tranchée et y former, de place en place, de véritables barrages. Les petits matériaux d'ailleurs remplissent plus également l'espace, soutiennent mieux les parois de la tranchée et s'opposent plus efficacement aux ravages des taupes et des rats d'eau. Le cassage des pierres ne doit pas se faire sur les bords des drains, mais bien dans des chantiers spéciaux d'où on apporte les pierres, au moyen de charrettes, et mieux de camions à bras, quand la distance est assez peu considérable. Le derrière des charrettes ou camions qui servent au transport des pierres doit être garni d'une planche à rebord, disposée comme l'indique la fig. 44, pour arrêter les pierres

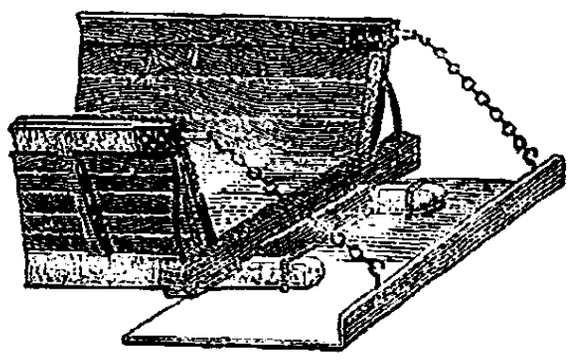


Fig. 44

qui pourraient se répandre sur le sol quand on les extrait avec une pelle de l'intérieur de la voiture.

Dans les travaux soigneusement exécutés on ne se borne pas à jeter pêle-mêle les pierres dans le drain ; on leur fait subir un triage et un dernier nettoyage au moyen d'un double crible d'une forme particulière, représenté par la fig. 45. Ce crible est supporté par quatre montants verticaux de 1m,50 de hauteur, environ, fixés aux côtés d'une brouette ordinaire. On peut changer l'inclinaison du crible au moyen des vis qui le fixent au châssis. Le plan du crible supérieur est prolongé par le fond d'une auge en planche, assez longue pour arriver un peu au delà du bord de la tranchée à remplir. La planche verticale *a*, fixée aux côtés prolongés du crible, a pour but de forcer les pierres, qui roulent sur le plan incliné de l'appareil, à tomber verticalement au fond de la tranchée sans aller choquer et dégrader la face latérale. Cette planche doit venir s'appuyer contre le bord de la tranchée opposé à celui où se trouve la brouette. Au-dessous du crible dont on vient de parler, existe un second crible plus fin débouchant dans la brouette; il retient les petites pierres qui ont traversé le premier crible, les jette dans la

brouette et laisse passer la terre et les poussières mêlées aux pierres. Ces impuretés tombent sur le sol. L'écartement des fils du crible supérieur varie de 0m,040 à 0m,050, et celui des fils du crible inférieur de 0m,040 à 0m,045.

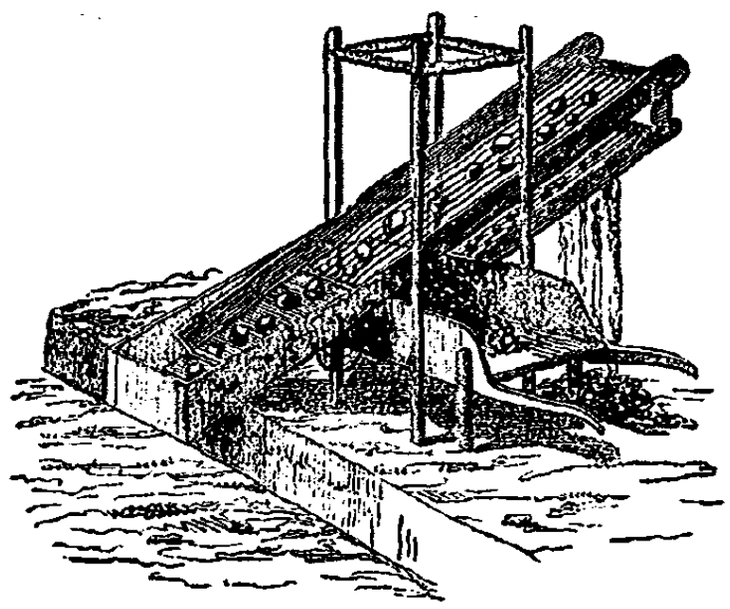


Fig. 45.

L'emploi de l'instrument précédent est extrêmement simple. Les pierres prises à la pelle dans le camion dont on a déjà parlé sont versées (et non jetées) sur la partie supérieure de l'appareil, que l'on garnit de tôle pour éviter la trop prompte usure du bois par le choc réitéré de la pelle en fer. Les pierres les plus grosses tombent au fond du drain et les plus petites dans la brouette. Quand les pierres sont arrivées dans la tranchée à la hauteur voulue, on déplace un peu la brouette et on continue le remplissage. On régularise alors sur une petite longueur avec un rateau la surface de l'empierrement, on jette dessus les plus petites pierres recueillies dans la brouette et on continue ainsi jusqu'à l'extrémité de la tranchée. On pilonne l'empierrement avec une espèce de dame ou bois pour le tasser et rendre la surface aussi compacte que possible, et enfin on remplit le drain avec la terre qui en avait été extraite. La fig. 46 représente la coupe en travers d'un drain de 1m,10 de profondeur ainsi exécuté.

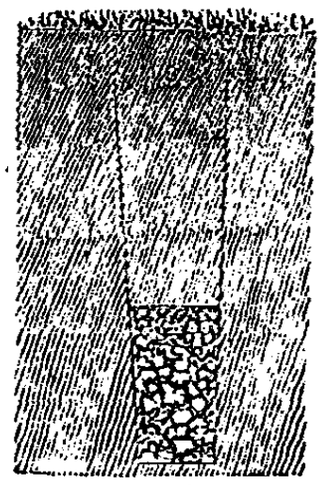


Fig. 46.

Deux hommes occupés, le premier, à décharger les tombereaux, le second, à manœuvrer le crible, à égaliser l'empierrement et à le damer, emploient par heure de travail de 2m. cube,50 à 3m. cube,00 de pierre. Ce résultat, observé dans une expérience faite très en grand, n'a pu être obtenu qu'avec d'excellents ouvriers; il permet cependant d'apprécier approximativement la dépense de cette partie de l'opération.

On conseille quelquefois de mettre des gazons fortement tassés au-dessus de l'empierrement, disposé comme on vient de le dire. Cette méthode paraît vicieuse, puisque le gazon, en se décomposant, amène un détritus très fin qui s'introduit facilement dans les pierres, et produit ainsi l'effet auquel on voulait s'opposer. Il vaut mieux couvrir seulement l'empierrement de gravier ou de sable et le pilonner avec soin, ainsi que la première couche de terre.

Considérés en eux-mêmes, les drains empierrés sont, sous beaucoup de rapports, inférieurs aux drains à tuyaux. Ils sont, en général, plus coûteux que ces

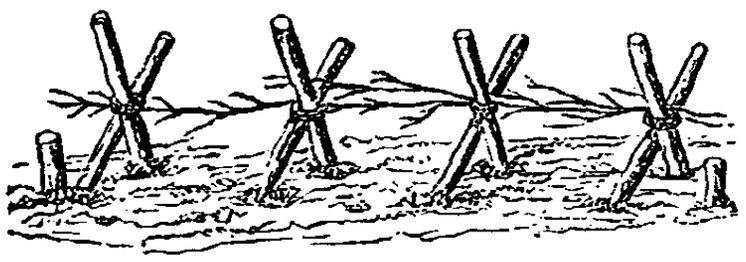
derniers, exigent plus de main-d'œuvre et des précautions plus minutieuses d'exécution. Ils doivent être moins durables, et enfin causent à la terre beaucoup plus de dommages pendant leur exécution, en raison des transports considérables qu'ils exigent et de la plus grande section des tranchées. Les drains en empierrement ne paraissent donc devoir être adoptés maintenant que dans un terrain qu'il faut épierrer. On évite des frais de transport quelquefois considérables, et des pertes de terrain, en jetant dans les drains les produits de l'épierrement. Ces avantages peuvent compenser ce que la méthode en elle-même offre de peu satisfaisant.

Drains garnis de fascines. Les coulisses garnies de cordes en paille, de branchages ou de fascines, déjà employées par les peuples de l'antiquité, comme on l'a vu au commencement de cette section, sont encore très répandues dans plusieurs parties de la France, de l'Angleterre, et paraissent même assez appréciées en Allemagne. Le peu de durée des matériaux de cette espèce, qui ne sauraient résister plus de six ou huit ans dans des sols humides, doit les faire rejeter par tous les agriculteurs éclairés. On ne doit y recourir que dans des cas de pénurie extrême, lorsque les pierres et les matériaux argileux sont également rares et coûteux. Voici, du reste, comment on exécute, quand on est forcé d'y avoir recours, les ouvrages de cette espèce.

Les drains garnis de fascines, par le fait même de leur peu de durée, ne sauraient être poussés aux profondeurs considérables que nous avons indiquées comme les plus convenables pour un bon drainage; on ne leur donne guère plus de 0m,55 à 0m,75 de profondeur. Leur forme varie avec les localités. Quelquefois leur section transversale est un simple trapèze dont le fond est garni de fascines posées sur le sol ou supportées de distance en distance par des croisillons en bois. Dans d'autres circonstances on ménage un double épaulement, sur lequel repose la fascine qui sert alors seulement à recouvrir la petite rigole pratiquée au-dessous d'elle. Dans tous les cas, et quelle que soit la disposition adoptée qui peut, comme on le conçoit, varier à l'infini, on place au-dessus des fascines des branchages légers ou des gazons, si on peut s'en procurer, et on tasse fortement au-dessus les premières couches de terre.

On fabrique les fascines sur un métier (fig. 47) formé de trois ou quatre croix en bois, enfoncées de

Fig. 47.



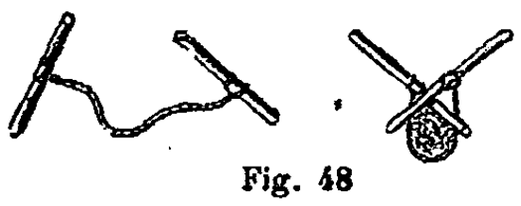


Fig. 48

0m,90 environ dans la terre, et s'élevant à 0m,60 au-dessus du sol. Ces croisillons sont espacés de 0m,60 à 1m,20 les uns des autres, et formés de rondins de 0m,15 à 0m,20 de diamètre. On les charge de la quantité de branches nécessaires à la fabrication d'un saucisson, et pendant qu'un ouvrier serre fortement ce fagot avec une corde nouée à deux bâtons (fig. 48), un autre

AGRICULTURE.

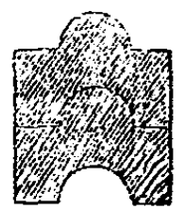
ouvrier les lie avec une hart de bois flexible, préalablement passée à la flamme pour lui donner plus de souplesse.

Tuyaux de drainage en sapin. Le bois de pin, dans un terrain fortement humide, peut se conserver fort longtemps; aussi a-t-on proposé de s'en servir pour faire des tuyaux de drainage de différentes formes. M. Scot de Craigmuie construit ces tuyaux avec quatre planches de 0m,025 d'épaisseur, clouées ensemble et formant un canal rectangulaire de 0m,05 de côté intérieurement, et de 0m,10 extérieurement. Les planches sont percées de trous pour faciliter l'introduction de l'eau. M. J. Fowler a construit des machines pour fabriquer, d'une seule pièce, des tuyaux de cette espèce. Le bois est débité, à la scie circulaire, en parallélipipèdes rectangulaires de 0m,38 de longueur et de 0m,065 de côté. Un chariot mobile sur un banc de tour incliné reçoit ces pièces de bois, et les présente à une mèche mue par le tour, qui les fore dans toute leur longueur. Une dernière machine tourne les extrémités de manière qu'elles puissent s'engager les unes dans les autres. Les tuyaux sont d'ailleurs, comme les précédents, percés de trous, ou sciés suivant une de leurs arêtes, pour donner passage à l'eau. Avant l'emploi, on les passe dans un bain de créosote impure pour augmenter leur durée. M. Fowler introduit ses tuyaux dans le sol, à la suite du soc d'une charrue-taupe, perfectionnée par lui, et d'ailleurs analogue à celle qui sera décrite plus loin.

Dans les circonstances ordinaires les tuyaux de bois sont plus coûteux que les tuyaux de terre; cependant ils pourraient avantageusement lutter avec eux dans quelques pays où les bois sont sans valeur, et où de nombreuses chutes d'eau pourraient fournir le moteur nécessaire à la fabrication, qui est tellement simple qu'elle peut être entièrement confiée à des enfants. Nous avons dû dès lors indiquer cette espèce de tuyaux.

Drains avec conduits en tourbe. Dans le drainage des terrains tourbeux et marécageux, on emploie avec succès, et souvent avec une grande économie, des tuyaux

Fig. 50



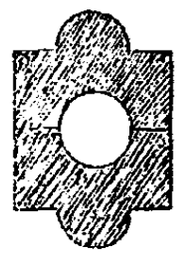


Fig. 49.

exécutés avec la tourbe elle-même. Ces tuyaux sont formés de deux parties superposées (fig. 49), laissant entre elles un vide de forme circulaire dans lequel l'eau s'écoule. Les deux parties qui composent ainsi le tuyau sont parfaitement égales et se découpent dans la masse tourbeuse au moyen d'un louchet (fig 50) d'une forme particulière, qui produit d'un seul coup la disposition voulue. Un ouvrier exercé fait deux à trois mille prismes par jour. Les morceaux de tourbe ainsi taillés sont fortement desséchés au soleil avant l'emploi. Ils présentent alors, quand la ma-

tière première est de bonne qualité, une grande résistance, et sont parfaitement propres à l'emploi qui leur est destiné. Ces tubes en tourbe sont du reste placés au fond d'une tranchée ordinaire que l'on remplit comme de coutume. Les drains en tourbes sont d'autant plus utiles dans le dessèchement des marécages, qu'il n'existe en général ni argile ni pierres à proximité de cette classe de terrains, dont l'assainissement deviendrait impossible sans l'emploi de cette méthode particulière.

On adopte quelquefois, dans le drainage des terrains tourbeux, une autre disposition qui peut également donner de bons résultats. On ménage au-dessus de la rigole étroite qui termine le drain deux épaulements, sur lesquels on rejette la surface placée en dessous, la première motte enlevée de la tranchée, par-dessus laquelle on replace les deux mottes de la seconde tranche de terrain. La fig. 51 indique cette disposition, qui exige une grande précision, rendue d'ailleurs assez facile par la nature même des terrains auxquels s'applique cette méthode. On a quelquefois conseillé cette disposition dans les terrains ordinaires, mais elle n'est pas de nature à présenter de bons résultats.

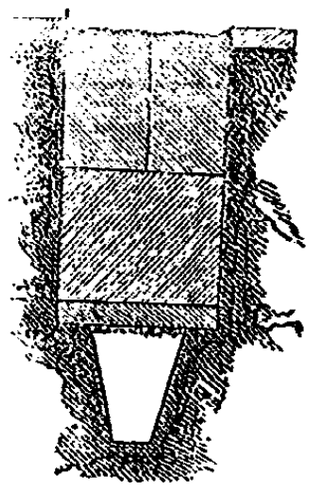


Fig. 51.

Drains sans tuyaux. On a souvent essayé dans les terres fortes, et surtout dans les argiles très compactes, de construire des drains sans aucune espèce de tuyaux, en utilisant seulement la résistance propre des terres de cette nature. Les travaux de drainage de cette espèce ne peuvent évidemment présenter, en général, aucune garantie de durée, aussi ne les indiquerons-nous ici que pour mettre nos lecteurs en garde contre les éloges qu'on en a faits à différentes époques et les réclames bruyantes de certains inventeurs.

Fig. 53.

convenable au travail, l'éperon latéral étant parallèle à la direction du drain, on le retire et on lui fait faire un demi-tour sur lui-même en le [illegible] arrière de la longueur de l'éperon, puis on l'enfonce de nouveau de la même quantité que la première fois. Cette double opération détache sur ses quatre faces un prisme d'argile parfaitement régulier et facile à enlever. Enfin, on termine la tranchée avec une espèce d'écope analogue à celle représentée fig. 20. Quand la tranchée est terminée sur une certaine longueur, et que, grâce aux précautions indiquées, le fond présente une régularité complète, on pose dans cette tranchée une espèce de chapelet formé de quatre ou six pièces de bois de 0m,30 environ de longueur, de 0m,15 de hauteur sur 0m,05 d'épaisseur à la base et 0m,06 au sommet (fig. 54). Ces morceaux de bois sont réunis les uns aux autres par des lames de tôle engagées dans des traits de scie, de manière que l'ensemble forme une barre un peu flexible terminée par une forte chaîne. Ce mandrin doit remplir très exactement le fond de la tranchée. On jette dessus la terre la plus compacte, et on la pilonne très fortement par couches successives, jusqu'à ce que la tranchée soit en partie remplie. On passe alors le dernier anneau de la chaîne dans un fort levier enfoncé dans la terre, et au moyen duquel on tire en avant le mandrin de la moitié de sa longueur environ. On pilonne de nouvelle terre sur la portion revenue au jour, et on continue de cette façon jusqu'à ce que le drain soit complétement

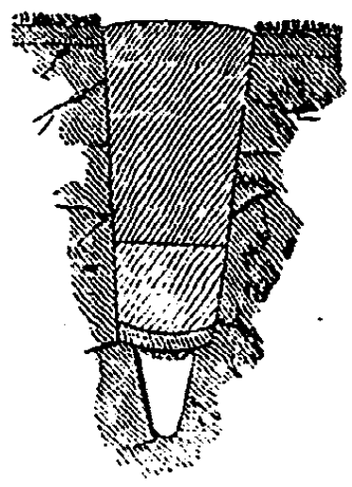


Fig. 52.

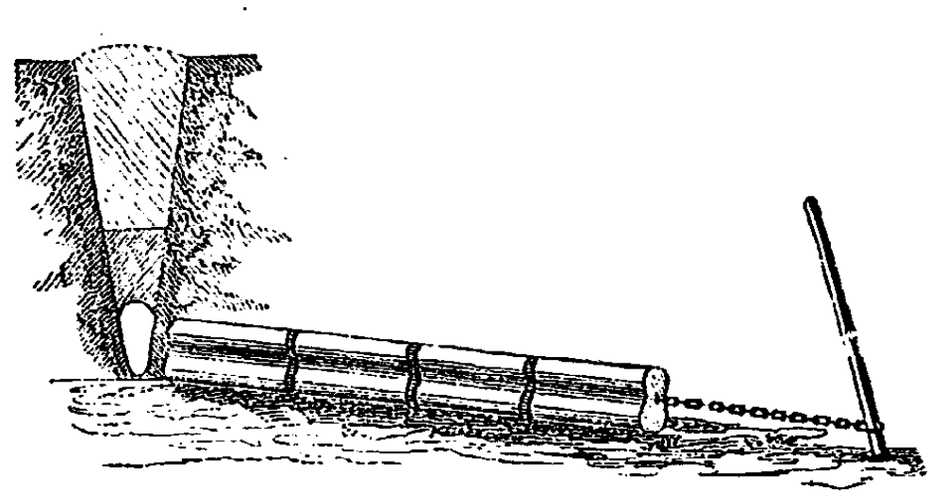


Fig. 54.

Les drains en gazon (fig. 52) ne diffèrent des précédents qu'en ce que les faces de la tranchée sont inclinées au lieu d'être verticales. La motte de gazon enlevée du sol est chassée de force, jusqu'à ce qu'elle vienne poser sur les épaulements qui doivent la maintenir au fond du drain, que l'on achève d'ailleurs de remplir de terre pilonnée.

On peut encore faire des drains au moyen de mandrins ou noyaux, sur lesquels on pilonne la terre et que l'on enlève successivement. Voici comment s'exécute ce travail : on ouvre la tranchée comme de coutume jusqu'à ce qu'elle soit à 0m,15 ou 0m,20 de sa profondeur définitive et on la termine avec une espèce de bêche à pédale (fig. 53). On enfonce d'abord cet instrument à la profondeur voulue et sous l'angle le plus

formé dans toute sa longueur, le noyau de bois laissant libre derrière lui le canal dont il occupait la place pendant le pilonnage de la terre. Ce mode de construction exige, comme on le voit, beaucoup de main-d'œuvre, des ouvriers adroits et très consciencieux, puisque les malfaçons, si funestes dans ce cas, sont à peu près impossibles à reconnaître, et revient, en définitive, au moins aussi cher que les drains à tuyaux en terre dans les conditions normales. Il ne saurait donc être recommandé que dans des circonstances très exceptionnelles.

Drains en coulée de taupes. La dépense considérable de main-d'œuvre, nécessitée par l'ouverture des drains, a porté à chercher à les remplacer par de simples rigoles pratiquées dans le sol au moyen d'un instrument désigné, en raison de son mode d'opération, sous le nom

de *charrue-taupe*. On a varié de mille manières cet instrument sans en obtenir jusqu'à présent de résultat satisfaisant. La partie essentielle de toutes les modifications proposées est toujours un coutre extrêmement fort, terminé à sa partie inférieure par une pièce conique en fer ou en fonte. Ce cône pénètre dans le sol et laisse derrière lui un vide que la terre ne remplit pas, si elle est suffisamment compacte. La mise en mouvement des machines de cette espèce exige une force considérable. On les manœuvre au moyen d'un cabestan à manége conduit par deux ou trois chevaux, et fixé à l'extrémité de la ligne de drain à ouvrir. On reconnaît facilement, en calculant l'effort nécessaire à la manœuvre de ces charrues telles qu'on les construit, qu'elles ne peuvent donner que des résultats assez médiocres. Les travaux qu'elles servent à exécuter sont toujours peu satisfaisants et leur prix de revient très élevé, quand on tient compte de la valeur considérable de l'outillage et de sa prompte détérioration.

Charrues de drainage. Beaucoup de fermiers et la plupart des constructeurs d'instruments agricoles ont cherché à établir des machines propres à ouvrir mécaniquement les tranchées de drainage. Les essais de toutes natures faits jusqu'à présent n'ont point fourni de résultats satisfaisants.

Les appareils les plus parfaits ne peuvent fonctionner que dans les terrains très-homogènes et tout à fait privés de pierres.

Nous ne reproduirons aucune des charrues, dragues circulaires et autres mécanismes proposés en si grand nombre pour les travaux de cette espèce.

Les mécanismes qui paraissent avoir le plus approché de la solution agissent en comprimant fortement la terre qui entoure les tuyaux et en rendant difficile, par conséquent, le fendellement du sol qui assure le succès du drainage.

3. *Profondeur, écartement et tracé des drains.*

On a indiqué, en parlant des différents modes d'établissement des tranchées de drainage, les profondeurs qu'il convient en général de leur donner; mais il reste à justifier ces indications et à faire connaître les circonstances qui peuvent conduire à s'écarter plus ou moins notablement des dimensions habituellement adoptées. Cette discussion nous conduira naturellement à l'examen de l'écartement et du tracé des lignes de drains.

Profondeur. Peu de questions de l'art agricole ont donné lieu à de plus longues et de plus vives discussions que celle de la profondeur des drains. Emportés par l'ardeur de la polémique, des esprits également justes et des praticiens également distingués, en sont arrivés à indiquer comme des règles invariables des profondeurs différentes, hors desquelles chaque école soutenait qu'il n'y avait pas de succès possible. Les faits, également incontestables et allégués de part et d'autre, sont venus prouver que des méthodes fort diverses pouvaient cependant réussir. On a donc reconnu qu'il n'existait pas de règles empiriques et générales; peu à peu les défenseurs des divers systèmes se sont rapprochés et maintenant on est arrivé, sinon à une pratique commune, au moins à poser certaines limites entre lesquelles on fait varier la profondeur des drains en raison de la nature du sol et de la forme du terrain.

La porosité du sol, l'action que le drainage lui-même exercera sur lui, sa nature en un mot, influent évidemment sur la profondeur à donner aux drains qu'un praticien exercé ne fixera jamais qu'après un examen attentif; mais les exigences de la culture permettent de fixer la profondeur minimum qu'il est possible de donner aux drains. Cette limite inférieure

peut se déterminer par les considérations suivantes. Les labours profonds peuvent atteindre 0m,25 à 0m,30; la partie supérieure du conduit de drainage, quel que soit son mode de construction, pour être complétement à l'abri de l'attaque des instruments, doit se trouver à 8 ou 10 centimètres au-dessous de la profondeur qu'ils atteignent; de sorte que dans aucun cas on ne doit mettre le dessus des conduits à moins de 0m,40 au-dessous de la surface du sol. Il serait même imprudent de s'arrêter à cette limite, car ce serait s'interdire à jamais les défoncements poussés à 0m,50 au-dessous du fond des sillons. En ajoutant à cette distance de 0m,50 l'épaisseur de la couche préservatrice, qui doit toujours exister au-dessus des conduits de drainage, et en tenant compte des dépressions naturelles ou artificielles de certaines parties du sol, on voit qu'on ne saurait, sans imprévoyance, établir la partie supérieure des conduits à moins de 0m,60 à 0m,70 en contre-bas de la surface du sol.

Une autre considération conduit à une seconde limite peu différente de la précédente : les racines des plantes cultivées ne doivent pas, en effet, atteindre les tuyaux de drainage. Or, elles ne descendent pas, en général, à 0m,60, de sorte que les tuyaux, abstraction faite de tout autre motif, pourraient sans inconvénient se placer à cette dernière profondeur. Enfin, l'eau n'arrive aux tuyaux de drainage qu'en vertu de l'action de la pesanteur, et par conséquent la surface de la nappe doit s'élever, à partir du tuyau, suivant une certaine inclinaison, d'autant plus prononcée que le sol offre plus de résistance au mouvement du liquide; de sorte que pour obtenir la profondeur minimum de la partie supérieure du canal de drainage, il faudrait ajouter aux chiffres précédents une hauteur dépendant et de la nature du sol et de l'écartement des drains.

Stéphens, par des considérations analogues aux précédentes, établit de la manière suivante, pour différents terrains, la profondeur minimum de la partie supérieure du canal de drainage au-dessous de la surface du sol.

	Sous-sols		
	Poreux.	Friable.	Argileux.
	m.	m.	m.
Profondeur du labour ordinaire..	0,178	0,178	0,178
Profondeur d'un défoncement de sous-sol. . . .	0,406	0,406	0,406
Épaisseur de la terre sur les matériaux de remplissage de la tranchée.	0,076	0,076	0,076
Hauteur des tuiles et soles.	0,152	0,152	0,152
Hauteur nécessaire à l'écoulement.	0,025	0,254	0,457
Profondeur des drains.	0,837	1,066	1,269

Il faudrait réduire ces chiffres de 0m,10 environ si on employait des tuyaux cylindriques au lieu de tuiles creuses, et les augmenter au contraire de 0m,16 à 0m,20 pour des drains *empierrés*.

Il ne suffirait pas de fixer comme on vient de le faire la plus petite profondeur des drains, il faut encore déterminer la profondeur la plus convenable à leur donner pour qu'ils enlèvent toute l'eau surabondante, et abaissent en même temps assez le plan de l'eau stagnante pour qu'elle ne puisse pas remonter jusqu'aux racines, ou même à la surface du sol, par l'action de la capillarité. Une profondeur de 0m,90 à 1m,20 suffit, comme nous l'avons déjà dit, pour atteindre dans les cas ordinaires ce double but. Mais cette indication générale serait insuffisante dans certaines circonstances particulières qu'il convient maintenant d'examiner.

Quand on opère dans un sol poreux, avec sous-sol

AGRICULTURE.

saturé d'eau, parce qu'il repose sur une couche imperméable, il faut autant que possible pousser la tranchée à une profondeur suffisante pour poser le tuyau sur la couche imperméable elle-même. Dans les sols très poreux, en effet, il est démontré que l'action d'un drain s'étend d'autant plus loin que sa profondeur est plus considérable.

Il arrive fréquemment dans les sols argileux qu'il existe à une certaine distance de la surface une couche aquifère composée de matériaux très poreux. Si cette couche n'est pas à plus de 1m,50 ou 1m,80 de la surface elle sera un excellent auxiliaire du drainage, car en poussant jusqu'à cette couche un moindre nombre de drains que cela ne serait nécessaire en général, cette couche fournira un vaste déchargeoir des eaux de toute la surface. Dans le drainage des tourbières peu profondes il faut toujours pousser les canaux jusqu'au terrain solide, car la tourbe forme une très mauvaise fondation de conduits de drainage.

On doit toujours, du reste, avant d'entreprendre une opération de drainage, ouvrir dans chaque champ une ou deux tranchées d'essai poussées à des profondeurs successivement croissantes. On les étudie attentivement pendant quelque temps, pour se rendre compte de la stratification du sol, de la manière dont l'eau se réunit dans chaque partie, etc., et on conclut facilement de ces observations la profondeur qu'il convient d'adopter d'une manière définitive, pour que les tranchées à ouvrir produisent le plus grand effet utile possible avec la moindre dépense relative.

De tout ce qui précède il résulte que la profondeur des tranchées doit varier dans chaque cas particulier. Les drains, dans un sol poreux, seront profonds et largement espacés, parce que l'eau y arrivera de toutes parts, et que plus ils seront profonds plus ils neutraliseront la capillarité du sol. Dans les sols d'argile les drains n'ont pas seulement à enlever l'eau, ils doivent encore concourir à entretenir la porosité artificielle du sol, au moyen de laquelle l'eau arrive jusqu'à eux. Ils ne pourront produire cette action s'ils sont placés à une profondeur où ne puisse s'étendre le retrait du sol. On ne doit pas perdre de vue que cette action de retrait n'est pas partout également prononcée et qu'elle se manifeste d'autant plus, toutes choses égales d'ailleurs, que la température est plus élevée et la saison plus sèche. Le peu d'effet de drains ouverts dans l'argile, la première année après leur établissement, surtout si le temps a été humide, indique assez la justesse de cette remarque.

En résumé, dans les cas ordinaires, on peut admettre que la profondeur des drains doit être comprise entre 0m,90 et 1m,20, mais il faut toujours la déterminer par des observations préliminaires faites avec soin.

Écartement des drains. Les opinions n'ont pas été moins différentes au sujet de l'écartement des drains qu'à l'égard de leur profondeur. D'un côté, M. Smith disait : Dans les terres fortes et compactes, ou dans les argiles sableuses, l'écartement des drains ne doit pas dépasser 3m,00 à 4m,5. Dans les terres plus légères, avec sous-sol poreux, une distance de 5m,50 à 7m,30 sera convenable; enfin, dans les sous-sols très poreux, on pourra conserver une distance entre les drains de 12m,20.

D'un autre côté, M. Parkes affirmait que des drains de 1m,80 de profondeur pouvaient être écartés de 7m,30 à 20m,10.

Les chiffres de M. Smith sont en général trop faibles; l'écartement des drains, comme leur profondeur, dépend d'une foule de circonstances locales qu'il faut soigneusement étudier avant de prendre un parti. Parmi ces circonstances, l'une des plus importantes est la nature du sous-sol. Quand il est poreux ou qu'il repose sur une couche perméable dont les drains puissent enlever les eaux, les tranchées peuvent être éloignées et profondes. Dans le cas contraire, il convient de les rapprocher davantage.

La porosité du sol *avant* le drainage n'est pas seule à considérer; certains sols se fendillent facilement par l'action des travaux et acquièrent une porosité artificielle équivalente à la porosité naturelle.

Le climat exerce aussi une grande influence sur les résultats d'une opération de drainage. Le fendillement du sol, qui lui donne la porosité artificielle dont il a besoin, est d'autant plus prononcé et s'étend d'autant plus loin, toutes choses égales d'ailleurs, que la température est plus élevée et le temps plus sec. Les effets d'un été sur un sol drainé seront bien plus sensibles dans le Midi que dans le Nord.

Les natures de sols sur lesquelles le drainage agit peut-être le moins sont certaines argiles mêlées de cailloux roulés, qui se rencontrent particulièrement dans les formations carbonifères. Elles n'éprouvent point ce retrait particulier qui donne aux argiles ordinaires leur porosité artificielle, et elles sont quelquefois si imperméables, qu'on les trouve sèches à quelques pieds de profondeur quand la surface est en bouillie. Un défoncement profond doit toujours accompagner le drainage dans les sols de cette espèce.

Le fendillement des masses argileuses a lieu de proche en proche, en s'éloignant du drain par l'écoulement successif de l'eau et le dessèchement progressif de la masse. La présence d'une source ou d'une couche aquifère qui maintient le terrain auprès du drain dans un état permanent d'humidité, s'oppose quelquefois complétement à cet effet et paralyse ainsi tout le bien que l'on pouvait espérer de l'exécution des travaux.

La largeur habituelle des planches de labour dans le pays où l'on opère influe, dans certaines limites, sur l'écartement des lignes de drains, surtout quand ils sont dirigés dans le sens même du labour; on s'arrange alors, autant que possible, pour que cet écartement soit égal à un nombre exact de fois la largeur des billons, et l'on profite pour ouvrir les tranchées de la dépression produite par le labour. Du reste, dans les terres bien drainées, on abandonne presque toujours le labour en billons pour le labour à plat.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur les questions relatives à la profondeur et à l'écartement des drains. Les partisans des divers systèmes ont cherché à les faire prévaloir par une foule de considérations qu'il serait inutile et beaucoup trop long de reproduire, après avoir indiqué, comme nous l'avons fait, les dispositions le plus généralement adoptées aujourd'hui et les considérations qui doivent influer sur la fixation de la profondeur ou de l'écartement des lignes de tranchées. Nous ajouterons seulement qu'il existe évidemment une relation entre la profondeur et l'écartement des drains, mais qu'il est impossible, dans l'état actuel des connaissances acquises, d'exprimer mathématiquement cette relation. La question se complique d'un trop grand nombre d'éléments différents pour qu'il soit possible d'établir par des considérations purement géométriques, comme un auteur français a prétendu le faire il y a quelque temps, une formule digne d'être prise en considération par les praticiens.

Pente des drains. La facilité avec laquelle l'eau s'écoule dans les tuyaux en poterie permet de leur donner une pente longitudinale beaucoup plus faible que celle qui est nécessaire aux drains empierrés. Une pente de 2 millimètres par mètre suffit, à la rigueur, pour les files de tuyaux; elle ne doit pas être inférieure à 5 ou 6 millimètres au moins dans les autres conduits. D'un autre côté, il faut éviter de donner aux drains une pente assez considérable pour que la vitesse de l'eau puisse dégrader les matériaux employés à la construc-

AGRICULTURE.

tion. Quand la pente du terrain est assez forte pour que cette circonstance se présente, on partage chaque conduit en sections à faible déclivité raccordées par des chutes. Dans cette circonstance et dans quelques autres, on est donc obligé de faire communiquer entre elles deux lignes de conduits établies à des niveaux différents. Le raccordement peut s'établir au moyen de tuyaux inclinés à 45°, et solidement fixés à leurs extrémités dans un petit massif en pierrailles ou en maçonnerie. Quand la différence de niveau à racheter est un peu considérable, ou quand il s'agit de maîtres-drains destinés à donner passage à un volume d'eau considérable, la méthode précédente n'offrirait peut-être pas assez de garantie. Le raccordement s'exécute alors en briques posées à redans les unes sur les autres et formant une sorte d'escalier. Pour de très petits drains, on pourrait se borner à faire un puisard rempli de pierres cassées; le conduit supérieur communiquerait avec la partie supérieure et le conduit inférieur avec le fond du puisard.

Tracé et direction des drains. La pesanteur est la force qui détermine l'écoulement de l'eau à travers les canaux capillaires naturels ou artificiels du massif de terre sur lequel doit agir un drain. Le tracé des lignes de tranchées doit donc, avant tout, favoriser autant que possible l'action de cette force.

Lorsque le sol est sensiblement horizontal, la direction des drains est en elle-même assez peu importante. Il est indifférent qu'ils soient parallèles, perpendiculaires ou obliques à la direction des sillons; leur disposition dépend alors de la position des canaux de décharge et des moyens d'écoulement dont on dispose.

Mais quand le terrain est incliné, d'autres considérations influent sur la position des drains. Si la pente est très faible, on comprend que pour assurer l'écoulement de l'eau dans les tuyaux il faut les diriger suivant la ligne de plus grande pente. Plusieurs raisons conduisent, du reste, à adopter la même règle pour toutes les inclinaisons du sol. Le canal placé au fond d'une tranchée dirigée suivant la ligne de plus grande pente, se trouve en effet symétriquement placé par rapport à la surface, et fait sentir son action, dans un terrain homogène, à égale distance à droite et à gauche. Il n'en est pas de même quand le tracé s'écarte de la ligne de plus grande pente. Le drain agit alors entièrement du côté où le terrain s'élève, mais son action se trouve plus ou moins réduite du côté où le terrain descend, et peut même s'arrêter presque complétement, comme il est facile de s'en convaincre à l'aide d'un dessin très simple, quand le drain est perpendiculaire à la ligne de plus grande pente et que le sol présente une déclivité très prononcée. Dans ce cas extrême, pour que les drains [illegible] deux systèmes, l'un perpendiculaire et l'autre parallèle à la ligne de plus grande pente, pussent produire le même effet d'assainissement, il faudrait donc que les premiers soient moitié plus rapprochés que les seconds. Si, par exemple, dans un terrain donné, un drain fait sentir son action à une distance de 5 mètres, il faudra placer à cette distance les unes des autres les lignes de drains perpendiculaires à la ligne de plus grande pente, qui n'agissent que par une de leurs faces, tandis qu'on pourra laisser un intervalle de 10 mètres entre les drains parallèles à cette ligne, puisque chacun d'eux assainit une largeur de 5 mètres sur chacune de ses rives.

Une autre observation, moins générale que la précédente, mais cependant d'une application assez fréquente, indique qu'il convient de diriger les lignes de drains suivant la plus grande pente du terrain à assainir. Il existe, en effet, dans beaucoup de terrains, des veines plus perméables que l'ensemble de la terre, et qui, sans fournir de véritables sources, dénotent leur présence par de petits suintements. Ces couches aquifères affleurent généralement la surface du sol, suivant des lignes à peu près horizontales, changent son aspect et lui donnent souvent les plus mauvaises qualités. Or, il arrivera nécessairement que des drains perpendiculaires à la ligne de plus grande pente, quel que soit d'ailleurs le soin apporté dans le choix de leur emplacement, ou ne rencontreront pas, comme en *a* (voyez ci-dessus fig. 11), cette ligne d'eau, qui viendra dès lors percer le sol en *b*, ou bien, poussés à la profondeur normale comme en *c*, ils ne couperont qu'en partie la veine d'eau, et alors la plus grande partie de ce liquide passera sous le drain et viendra affleurer le sol en *d*. Si au contraire on trace les drains parallèlement à la ligne de plus grande pente, comme on le voit de *e* en *e'*, ils rencontreront toutes les veines d'eau à un niveau inférieur à celui des anciens affleurements, et recueilleront successivement leurs produits, pour les conduire vers le canal de décharge.

Quelques tranchées d'essai ouvertes en différents points de la terre à drainer, comme on l'a déjà recommandé, permettront de déterminer facilement, en tenant compte des observations précédentes, la profondeur et l'écartement des drains; il ne restera plus qu'à fixer la position des canaux de décharge et celle des drains principaux.

Les nivellements généraux effectués sur le champ tout entier et sur les fossés et rigoles qui peuvent servir à l'écoulement de ses eaux, feront connaître les points où l'on devra amener les bouches des drains principaux.

Les petits drains peuvent se tracer d'une manière très simple, en général, et qui ne présente quelques difficultés que dans certains cas particuliers. Cette méthode consiste à décomposer le champ à drainer en plusieurs parties planes et à tracer parallèlement les uns aux autres, à la distance reconnue nécessaire et suivant la ligne de plus grande pente de chacune de ces parties planes, les drains de dernier ordre. Quand la direction des sillons coïncide avec celle que nous venons d'indiquer, il convient de profiter des dépressions du terrain pour y établir les tranchées. On diminue ainsi un peu le cube des terrassements à exécuter; mais cette considération ne doit pas en faire négliger de plus importantes.

Les drains de dernier ordre ayant 0m,030 à 0m,035 de diamètre ne doivent pas avoir plus de 250 à 350 mètres de longueur. On les fait déboucher dans les drains principaux ou sous-principaux, et non pas directement dans le canal de décharge. Les mauvaises herbes, les impuretés de toutes sortes et les animaux peuvent en effet obstruer facilement quelques-unes des extrémités des drains; il convient donc de les réduire à un petit nombre, plus facile à entretenir et à surveiller. Ces drains principaux sont établis à 0m,05 ou 0m,07 plus bas que les drains dont ils reçoivent les eaux; ceux-ci doivent se raccorder à angle aigu avec les premiers au moyen de petites courbes dirigées dans le sens du canal. Il convient d'éviter la rencontre de deux lignes de drains, vis-à-vis l'une de l'autre, dans le même drain principal. Il est nécessaire d'établir un drain principal de 0m,04 à 0m,08 de diamètre pour recevoir le produit des petits drains de 2 ou 4 hectares, sauf à réunir plusieurs de ces drains principaux dans un maître-drain, qui fait alors fonction de conduite et mène les eaux dans le canal de décharge. Les drains principaux et les maîtres-drains sont établis dans les thalwegs du terrain.

Quelques exemples rendront parfaitement claires les indications précédentes relatives au tracé des drains.

Les fig. 62 et 63 représentent les plans des drains établis sur des terrains de différentes formes. Les lignes ponctuées, sur la première figure, sont les horizontales du terrain; on voit que les drains de dernier

AGRICULTURE.

ordre, représentés par les traits fins *aa*, sont perpendiculaires à cette direction, c'est-à-dire parallèles aux lignes de plus grande pente. Ces drains viennent se réunir aux drains plus importants B, qui versent à leur tour les eaux dans le drain principal ou dans le canal de décharge. Les lignes ponctuées n'ont pas été tracées sur la fig. 56. Mais il est facile de les rétablir par la pensée : elles sont en effet perpendiculaires aux petits drains *a* qui se réunissent, comme dans l'exemple précédent, dans les drains principaux B.

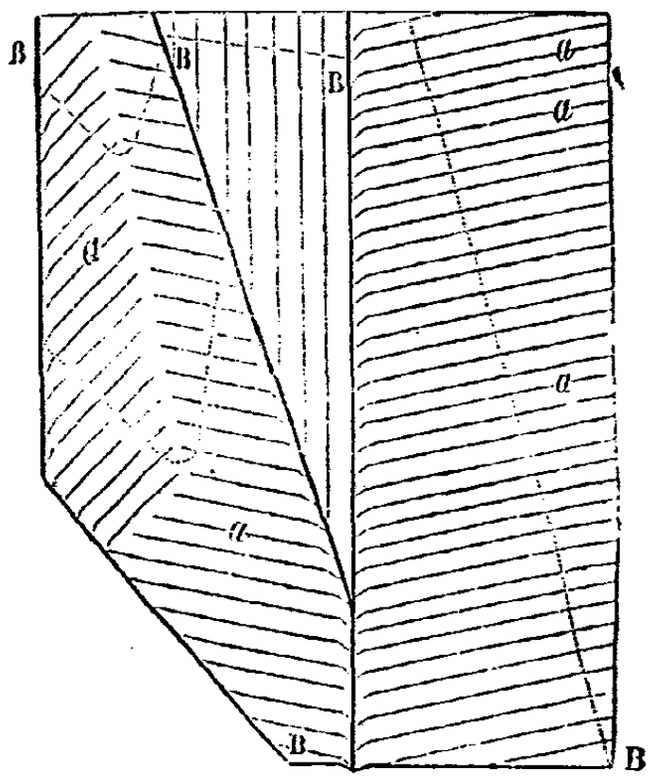


Fig. 55.

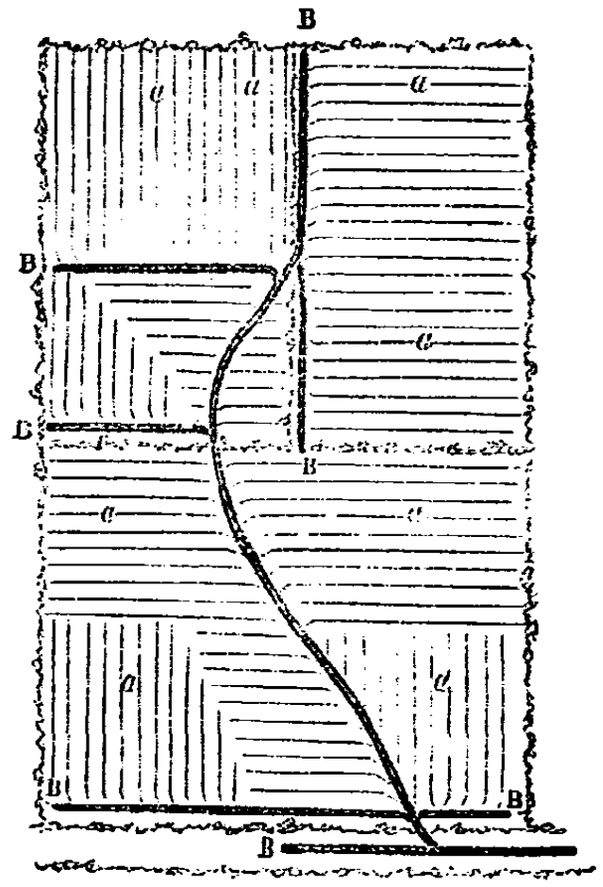


Fig. 56.

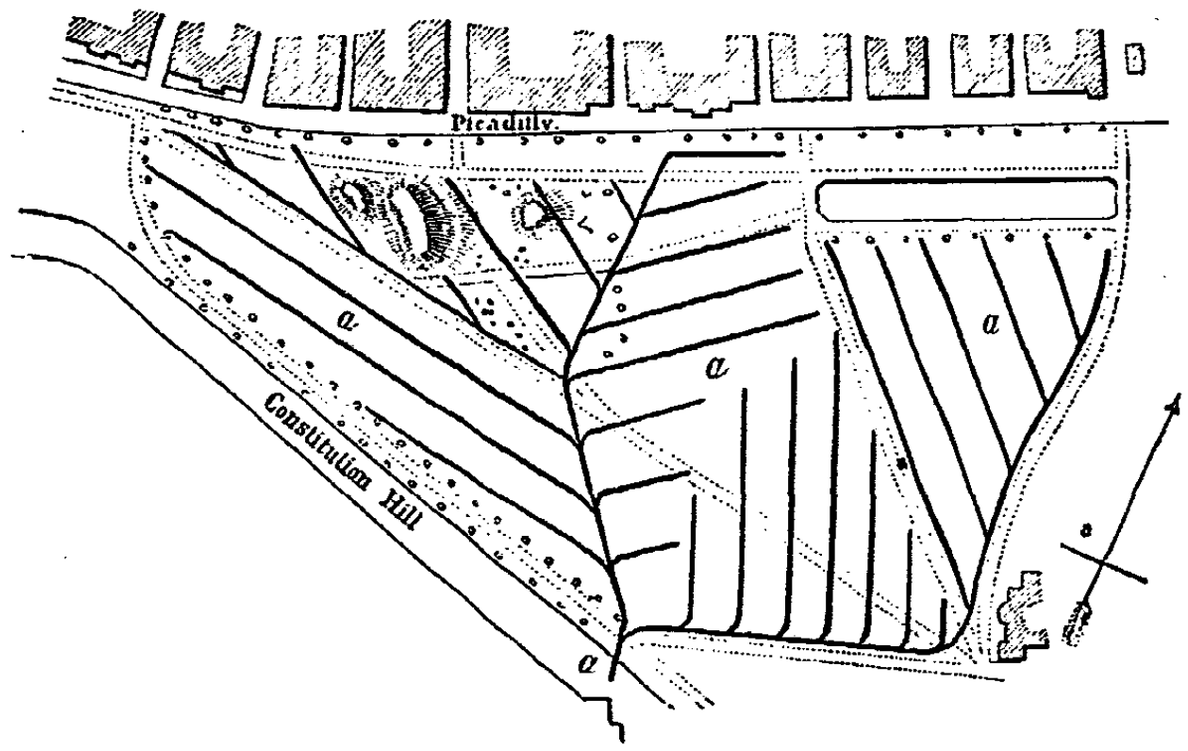


Fig. 57.

La figure 57 *a* offre un exemple de drainage emprunté à la ferme de Crèvecœur. L'eau de drainage d'une partie du terrain situé au-dessus du chemin alimente l'abreuvoir de la cour de la ferme ; le puits *b* de la ferme est également alimenté par l'eau de drainage conduite par le tuyau *ab* ; l'eau en excès sort par le tuyau *bc*, qui sert de trop-plein. Un regard placé en *a* permettrait, au besoin, d'empêcher les eaux de se rendre dans le puits *b* et les dirigerait en ligne droite vers le drain général d'écoulement.

Les dispositions générales du drainage de l'ancien étang de Chevrier (département du Cher) sont représentées par la figure 57 *b*.

Les eaux recueillies par les lignes de drains sont amenées dans le canal principal de décharge, qui traverse cette pièce sur une longueur de 1,200 mètres environ. Les points marqués de croix + indiquent l'emplacement de *drainages verticaux*.

Une partie des eaux de source étaient incrustantes et ont nécessité la construction de regards d'une forme particulière.

Les lignes ponctuées ..... sont des drains de défense

contre les racines des peupliers qui bordent l'ancienne digue de l'étang.

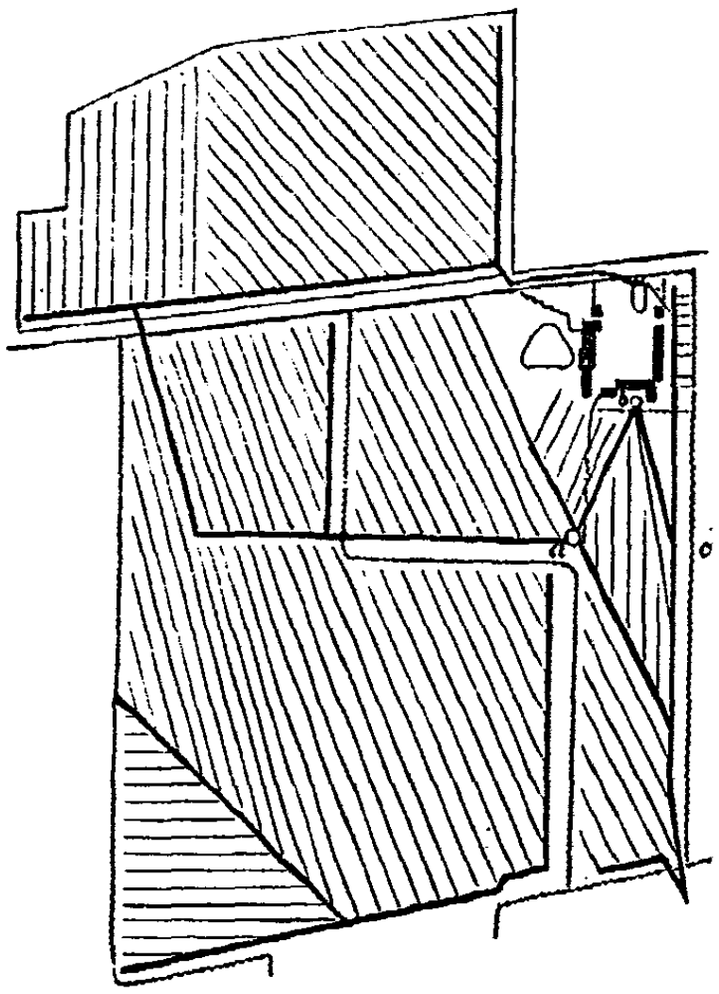


Fig. 57*a*. Plan de drainage.

Ce terrain, de 60 hectares environ, est presque horizontal : la pente d'une partie des drains n'excède pas 0m002 par mètre, et n'a pu être obtenue qu'en augmentant leur profondeur de l'origine à l'extrémité.

La fig. 57 indique la direction des lignes de drains *a a* projetées pour l'assainissement de la belle promenade de Green-Park, à Londres. Les drains de dernier ordre seront espacés de 15 à 20 mètres. On n'en a représenté que la moitié environ pour ne pas surcharger la figure.

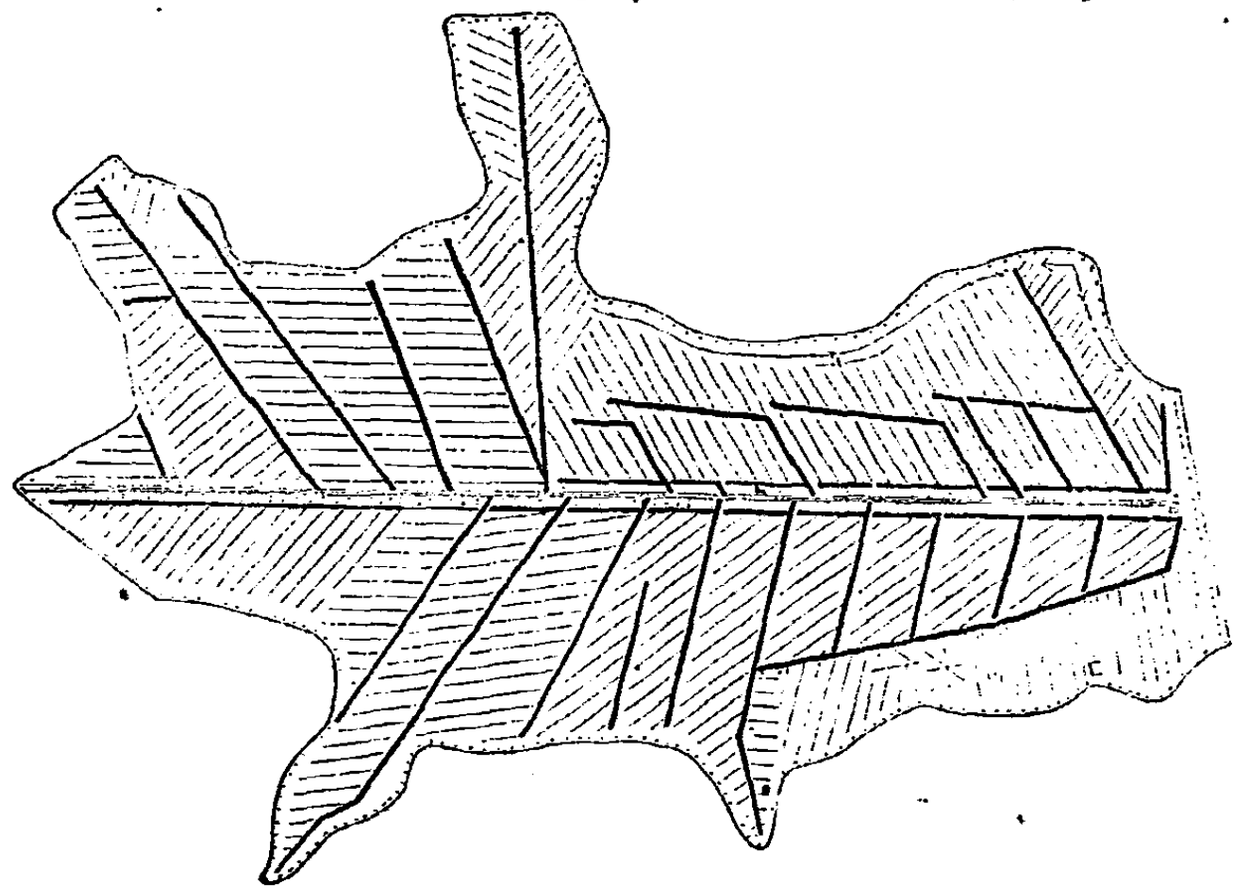


Fig. 57*b*. Plan de drainage.

4. *Du drainage des sources.*

L'eau en excès qui existe dans un terrain peut avoir deux origines différentes : la pluie tombée à la surface de ce terrain et les sources de fond qui peuvent y exister. Tout ce qui précède s'applique plutôt au drainage des terres où l'eau de source ne joue qu'un rôle secondaire, qu'à celles où les eaux de cette nature sont prépondérantes. Il reste à faire connaître la marche à suivre dans ce dernier cas, beaucoup moins fréquent que le premier, et à décrire les procédés particuliers d'assainissement des terres criblées de sources abondantes.

Les sources, comme on sait, doivent leur origine à certaines dispositions de la croûte terrestre, qui permettent à l'eau tombée sur des sols poreux de s'écouler à travers les fissures naturelles du terrain, et de venir ensuite se faire jour à de plus ou moins grandes distances de leur point de départ. Les dispositions relatives des couches perméables ou imperméables, qui donnent naissance aux sources et aux terrains mouillés ou marécageux qu'elles produisent, varient à l'infini. C'est par une longue et attentive observation de ce genre de phénomènes que l'on peut arriver à la détermination des procédés d'assainissement les plus appropriés à chaque cas particulier. Une longue expérience et un tact spécial ont conduit Elkington, comme on l'a déjà dit, à une habileté dans ce genre de travaux qui n'a pas été dépassée. Il serait impossible de poser des règles générales et absolues à l'égard des procédés à adopter pour combattre les effets nuisibles des eaux de source. Quelques exemples suffiront pour faire comprendre l'esprit de la méthode à suivre ; son application est du reste assez rare, ce qui la rend beaucoup moins importante que celle qui s'applique aux terrains simplement imbibés d'eau en excès.

Supposons, d'abord, qu'il s'agisse d'assainir un terrain formé par un sol imperméable *g*, sous lequel, comme

AGRICULTURE.

l'indique la coupe (fig. 58) viennent s'engager les couches d'un sol perméable *f* recouvert d'une terre absorbante *e*. L'eau tombée sur ce dernier terrain pénétrera dans son intérieur et viendra s'accumuler dans la partie perméable de la masse sous le sol imperméable, à travers lequel se feront jour de place en place des sources permanentes *c*, qui transformeront le terrain en marais sur une plus ou moins grande étendue. Puis, quand ces sources ne pourront point débiter toute l'eau qui arrivera dans le sol poreux, le niveau s'élèvera et de fausses sources jailliront dans les points *d*. Il pourra même arriver que, sous l'action d'une forte pression, d'autres fausses sources se fassent jour temporairement au-dessous même des sources permanentes *e*. La distinction entre les sources permanentes c, qu'Elkington appelle maîtresses sources, et les sources temporaires est excessivement importante et doit être faite avec le plus grand soin. On conçoit, en effet, que si

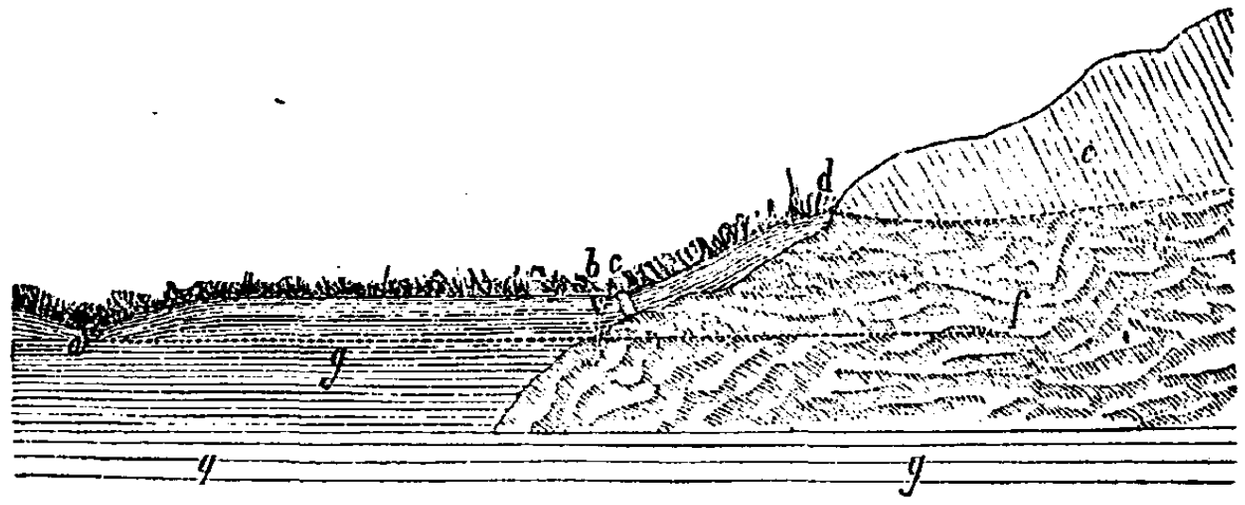


Fig. 58.

l'on pousse une tranchée de drainage au sein même des sources permanentes, on obtiendra tout le résultat désiré, tandis que l'on ferait des dépenses presque inutiles si on ne pénétrait que dans les sources passagères. Cela posé, dans le cas actuel, le meilleur mode d'assainissement consiste évidemment à tracer un drain principal en *b*, à le mettre en communication par un sondage ou un puits avec la couche perméable, et enfin à conduire les eaux recueillies dans toute la longueur de ce drain, par un conduit convenable, jusque dans la rigole de décharge *a*. Par ce moyen, l'eau ne pouvant pas s'élever au delà du niveau du fond du drain *b*, les sources temporaires *d*, et permanentes *c*, seraient supprimées, aussi bien que les sources passagères produites au-dessous de *c* par des sous-pressions trop considérables.

Prenons pour second exemple le cas suivant : le fond des vallées, dans les pays ondulés, est souvent formé de terre végétale peu perméable comprise entre deux collines de sable, comme l'indique la coupe figure 59. L'eau déborde alors aux points *a* et *b* et transforme en marécage tout l'espace compris entre ces

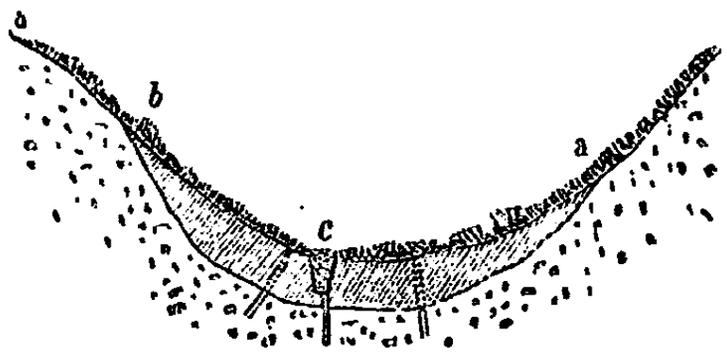


Fig. 59.

deux points. Ce qu'il y a de mieux à faire en pareil cas est souvent d'ouvrir un drain dans le thalweg en *c* et de le mettre en communication avec le sous-sol perméable. L'eau remonte, s'écoule par le drain, et cesse de produire à la surface du sol les dégâts qu'elle y causait.

Dans les deux exemples précédents, l'eau remonte par les trous de sonde ou les puits qui mettent en communication le sous-sol perméable avec le drain. Mais il arrive aussi quelquefois que la couche imperméable sur laquelle repose la veine aquifère elle-même ne présente qu'une assez faible épaisseur, et qu'elle s'étend à son tour sur des bancs absorbants. Dans ce dernier cas, on peut donner une issue naturelle aux eaux nuisibles, sans avoir besoin de s'occuper de l'établissement de canaux de décharge, en perçant par un sondage ou un puits cette seconde couche imperméable, et mettant ainsi en communication la première couche aquifère avec une couche absorbante.

On vient de donner quelques exemples d'applications du principe des méthodes d'Elkington ; indiquons maintenant le mode d'établissement des communications à ouvrir entre les drains et les parties poreuses.

Quand la profondeur de la couche perméable au-dessous du sol à assainir n'excède pas 3 mètres, il convient habituellement de pousser le drain jusqu'à cette profondeur, soit qu'on le remplisse de pierres, soit qu'on emploie des tuyaux en poterie, et alors on rentre dans l'application des moyens ordinaires. Mais lorsque la couche perméable se trouve au-dessous du sol, à une profondeur telle qu'il serait impossible de l'atteindre sans une dépense trop considérable, on se borne à ouvrir de distance en distance et à côté du drain lui-même, creusé à la profondeur habituelle, des puits ou des trous de sondage que l'on pousse jusqu'à la rencontre de la couche aquifère.

La disposition de ces puits est extrêmement simple ; ils sont rectangulaires ou cylindriques, et d'une largeur seulement suffisante pour permettre à un ouvrier d'y travailler sans trop de gêne. On les remplit de pierres cassées jusqu'à la hauteur de celles employées à la construction du drain lui-même, ou bien jusqu'à quelques décimètres au-dessus du tuyau de terre qui sert de conduit, quand on adopte ce mode de construction. La figure 60 représente la coupe d'un puits semblable à celui que l'on vient de décrire, faite perpendiculairement à la direction du drain auquel il appartient.

Lorsque la profondeur du puits devrait excéder 4m,0 à 4m,5, on le remplace par un simple forage exécuté avec la sonde à main (voyez SONDAGE), placé à côté du drain, comme le représente la figure 61. On a indiqué dans cette figure un drain à pierres sèches, destiné à conduire un volume d'eau considérable. Cette disposition, rarement employée maintenant, méritait

cependant d'être indiquée. Il est bien entendu, d'ailleurs, que les trous de sonde s'appliquent également à toute autre espèce de drains.

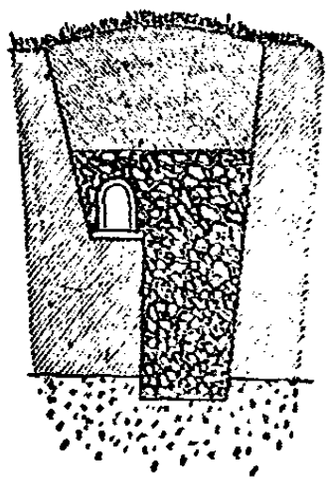


Fig. 60.

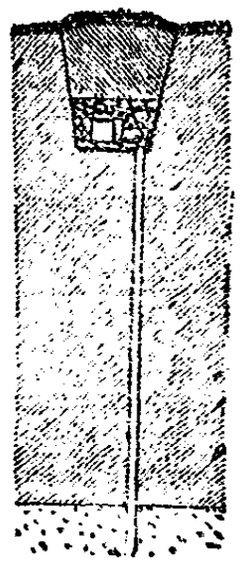


Fig. 61.

Pour le drainage des terrains bourbeux et criblés de sources, j'emploie un procédé différent des précédents, désigné sous le nom de drainage vertical. L'économie qu'il procure, son succès dans des terrains complétement détrempés où tout autre travail serait impossible, le rendent précieux dans un grand nombre de circonstances.

On ouvre, comme de coutume, une tranchée de drainage et on la prolonge à travers les parties les plus bourbeuses du terrain. Si cela est nécessaire, on ouvre quelques autres tranchées partant du centre du terrain bourbeux, et prolongées en patte d'oie jusqu'à une certaine distance de leur origine, comme l'indique la fig. 60 *a*.

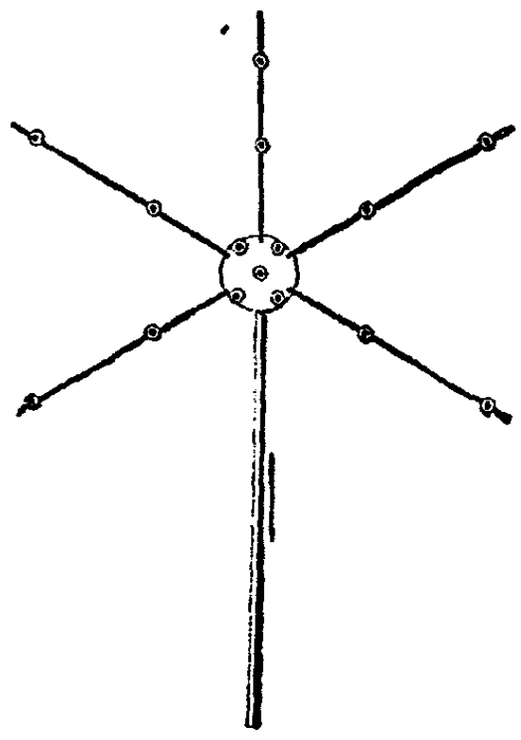


Fig. 60 *a*.
Plan d'un drainage vertical.

On prépare ensuite des tuyaux ordinaires, et on les entre librement et à joints croisés dans des tuyaux d'un numéro immédiatement supérieur, qui forment, pour les premiers, des manchons de même longueur qu'eux : il suffit, pour cela, de commencer par un demi-tuyau. On a soin, comme le montre la figure, d'échancrer les tuyaux pour rendre facile l'introduction de l'eau extérieure dans l'intérieur de ces tuyaux.

AGRICULTURE.

On fait passer dans la file de tuyaux ainsi préparés une tige de fer rond de 0m,015 à 0m,025 de diamètre, ou bien, suivant les cas, une tige de bois, d'un diamètre inférieur de 5 à 6 millimètres à celui des tuyaux.

On enfonce l'extrémité inférieure de cette tige de bois ou de fer dans un cône en bois dur (fig. 61 *b*), ferrée à la pointe si le terrain est résistant. Cette espèce de sabot a 0m,01 de diamètre de plus environ que celui du tuyau extérieur. Il n'est que très-légèrement réuni à la tige cylindrique, pour que l'on puisse séparer ces deux pièces l'une de l'autre sans éprouver une forte résistance en les tirant en sens opposé.

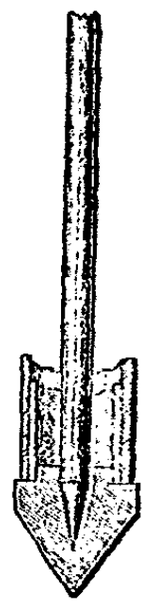


Fig. 61 *b*.
Enfonçage des drains verticaux.

Les choses ainsi disposées, on enfonce verticalement, au fond des tranchées ouvertes à l'avance, les tuyaux précédés du sabot. Si le terrain est très-bourbeux, comme celui de certains prés à bouillons, la colonne s'enfonce, pour ainsi dire, par l'action seule de son poids. Si le terrain est plus résistant, on la fait descendre en frappant sur le sommet de la tige de bois ou de fer dont on a parlé. Dans le cas où le terrain serait plus dur encore, et où l'on ne pourrait faire descendre la colonne de tuyaux par ce moyen, on préparerait leur emplacement avec un petit pieu en bois dur, saboté en fer à la pointe, et fretté à sa tête comme comme un pilotis, que l'on enfoncerait à la masse ou avec un petit mouton, et que l'on arracherait ensuite. Enfin on aurait recours à la sonde dans les terrains où l'on rencontrerait de grosses pierres isolées, ou des couches minces trop dures pour céder à l'action du pieu ferré.

Lorsque la colonne de tuyaux est mise en place, quelle que soit la méthode employée, on soulève la tige qui traverse les tuyaux ; elle se sépare du sabot, qui reste sous la colonne de tubes, et peut être ramenée à l'extérieur pour servir à d'autres opérations.

La tête des tuyaux ainsi placés est entourée de quelques pierres formant enrochement, et s'introduit, comme on le voit en A, fig. 61 *c*, dans le tuyau horizontal du drain, percé, à cet effet, d'une ouverture circulaire, comme pour un raccordement ordinaire.

Quand l'abondance des eaux oblige à placer plusieurs tuyaux verticaux les uns à côté des autres (figures 61 *c* et 61 *d*), on peut les recouvrir, comme l'indique la fig. 61 *d*, par une espèce de voûte en pierres sèches formant l'origine du drain de décharge.

La disposition des tranchées, en plan, varie nécessairement avec la disposition des lieux ; mais il est bien rare que quelques tuyaux groupés au centre même du terrain bourbeux ne suffisent pas à son assainissement. Des tuyaux verticaux placés dans un drain à 8 ou 10 mètres les uns des autres enlèvent déjà un énorme volume d'eau.

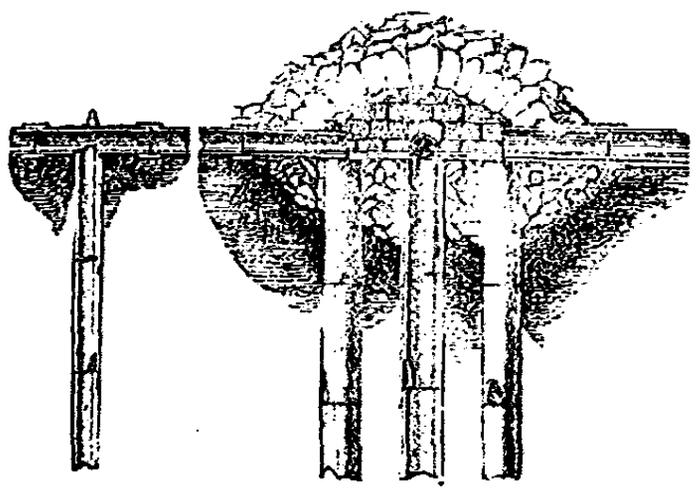
Quand on a placé des tuyaux verticaux dans un terrain, il convient, avant de recouvrir le drain de décharge, d'attendre que le régime des eaux soit bien établi, afin de proportionner le diamètre, ou le mode de construction du drain, au volume d'eau à débiter.

La longueur des colonnes de tuyaux dépend nécessairement de la nature du sol où l'on opère. On les enfonce autant que le permet la résistance du terrain ; souvent on atteint des profondeurs de 4, 5 et 7 mètres

et plus, qui, ajoutées à la profondeur de la tranchée, placent l'extrémité inférieure du tuyau à 8 ou 9 mètres au-dessous du sol. Chacun de ces tuyaux fonctionne, sur toute sa longueur, comme un drain ordinaire. On opère donc ainsi un drainage vertical d'une très-puissante action sur les eaux remontantes, ou sur les eaux descendantes, si l'on atteint une couche absorbante; ce qui, du reste, arrive assez rarement.

Fig. 61 *c*.

Coupe d'un drainage vertical.



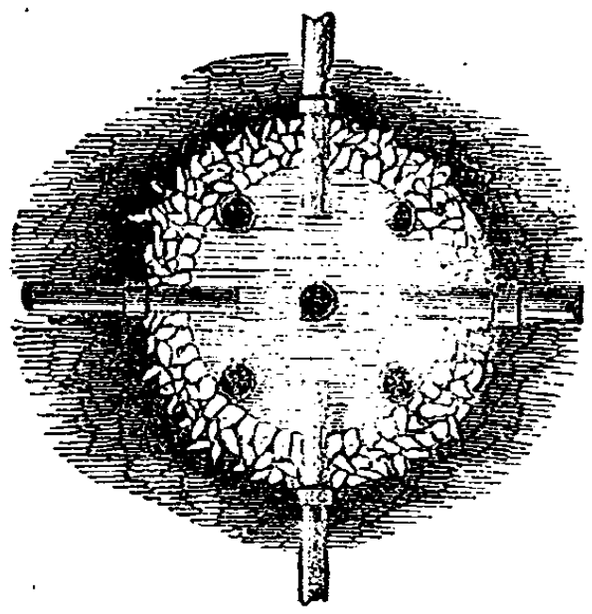


Fig. 61 *d*.

Plan d'un drainage vertical au niveau du tuyau d'écoulement.

L'espace ne nous permet pas d'entrer dans de plus longs détails sur le drainage des sources. On voit que la méthode se réduit à fournir aux eaux de cette espèce un écoulement régulier et assuré qui les empêche de se rendre en différents points du sol, de se répandre à sa surface et d'imprégner sa masse entière.

Le drainage des sources, comme on l'a déjà dit, se présente moins souvent que celui des eaux de pluie; cependant les eaux de source entrent souvent pour une plus ou moins forte proportion dans la masse des eaux surabondantes d'un terrain, et il est peu d'opérations de drainage un peu étendues où on ne rencontre pas l'occasion d'appliquer quelques-unes des méthodes précédentes. Le drainage d'Elkington, en un mot, est un auxiliaire souvent précieux des méthodes ordinaires et méritait par conséquent d'être signalé.

5. *Volume d'eau entraîné par les drains.*

Nous ne pouvons donner aucune règle générale sur la quantité d'eau de source à enlever d'un terrain

AGRICULTURE.

donné. Ce volume d'eau varie d'un lieu à un autre, et l'expérience seule peut le faire connaître dans chaque cas particulier. Mais l'eau de pluie, dont on a bien plus souvent à combattre les fâcheux effets dans les terres lourdes et compactes, a été l'objet d'études nombreuses qui fournissent déjà quelques renseignements intéressants.

On a donné précédemment (chap. II, 3e section, II) des renseignements étendus sur la quantité annuelle de pluie dans différentes localités; il est inutile de rappeler ces données, auxquelles le lecteur se reportera. Mais toute l'eau de pluie n'est pas entraînée par les drains, une forte proportion disparaît par l'évaporation, l'action de la végétation, et quelquefois par l'écoulement superficiel. Les expériences directes permettent seules de déterminer la quantité d'eau qui traverse le sol pour atteindre les drains.

Les expériences sur la quantité d'eau entraînée par les drains sont malheureusement encore peu nombreuses, mais elles sont faciles à faire, et on peut espérer qu'elles se multiplieront de plus en plus, car aucune donnée ne serait plus utile pour l'étude théorique et pratique du drainage.

Plusieurs méthodes peuvent être employées pour évaluer le volume d'eau que débite une bouche de drainage. On peut disposer sous cette bouche un compteur à eau à bascule, dont on relève de temps en temps les indications, ou bien dont on enregistre électriquement les mouvements dans le cabinet même de l'observateur. Mais ces appareils sont coûteux, assez fragiles et d'une installation un peu difficile. Il est donc préférable de se servir de la petite jauge (fig. 60 *e*) que j'emploie

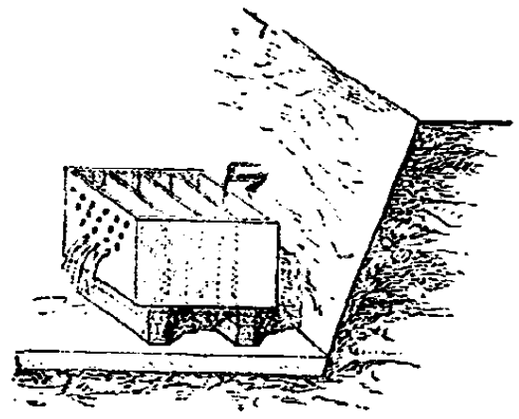


Fig. 60 *e*.

Jauge de drainage.

pour cet objet. Cet instrument se compose d'une caisse rectangulaire en fer-blanc ou en cuivre dans laquelle tombe l'eau du drain. Sa face antérieure est percée d'une série de trous disposés en échiquier et par lignes un peu inclinées comme l'indique la figure. Deux ou trois cloisons verticales établies dans la boîte amortissent le choc de l'eau et donnent à l'écoulement une grande régularité. Avant de mettre la jauge en place on fait quelques expériences pour déterminer exactement le débit répondant à l'écoulement de divers nombre de trous. Il suffit donc de compter trois ou quatre fois par jour le nombre de trous qui donnent de l'eau pour calculer avec une exactitude suffisante le débit de la bouche. Ces observations très-simples, qui n'exigent aucune écriture, peuvent être confiées à un ouvrier quelconque, pourvu qu'il soit attentif et consciencieux. Ce petit appareil, que l'on trouve maintenant chez les principaux fabricants d'instruments de physique, peut d'ailleurs être construit pour quelques francs, par tous les ferblantiers.

A défaut de tout appareil de jaugeage, on peut encore noter le temps nécessaire pour remplir un vase d'une capacité connue. Mais cette expérience

exige l'emploi d'une montre à secondes, la présence de deux personnes autant que possible, une certaine habitude, et donne avec beaucoup plus de peine des résultats dont l'exactitude est souvent inférieure à celle que l'on peut attendre de l'instrument précédent.

Lorsqu'on observe les volumes d'eau qui s'écoulent d'un champ drainé, on doit placer à une petite distance un pluviomètre pour connaître la quantité d'eau de pluie versée sur le sol.

L'eau qui tombe sur un sol drainé, se partage en trois parties. La première s'écoule par les drains, la seconde s'évapore et retourne dans l'atmosphère. La troisième enfin, dans certains terrains, s'infiltre dans les couches profondes du sol sans pénétrer dans les tuyaux.

Si on rend nulle l'infiltration de l'eau dans le sous-sol, comme l'ont fait à l'aide d'appareils particuliers quelques observateurs, la différence de l'eau tombée et de l'eau entraînée par les drains représente l'eau évaporée à la surface du sol.

Si au contraire on opère dans des conditions pratiques, il faut évaluer le volume d'eau évaporé par le sol, celui entraîné par les drains, retrancher la somme de ces deux quantités d'eau, du volume de l'eau de pluie et en déduire, par différence, le volume infiltré dans les couches profondes. Ce dernier mode d'expérimentation, qui serait le plus important, n'a pas encore été appliqué, à ma connaissance, d'une manière complétement satisfaisante, et l'on ne peut donner ici que des résultats moins complets mais qui seraient déjà fort intéressants pour la pratique, s'ils étaient plus multipliés.

M. Dickinson a fait, dans un autre but, une longue série d'observations pour déterminer le rapport de l'eau enlevée par évaporation à l'eau qui s'infiltre dans le sol. Il s'est servi à cet effet d'un pluviomètre ordinaire, qui lui fournissait la hauteur totale d'eau tombée, et d'une jauge de Dalton pour évaluer la quantité d'eau infiltrée. La différence entre ces deux nombres était portée par l'auteur que nous citons au compte de l'évaporation.

La jauge de Dalton, dont il s'agit, est un cylindre en métal de 0m,30 de diamètre et de 0m,91 de profondeur, fermé par un crible fin à sa partie inférieure, et terminé par un réservoir disposé de manière à mesurer l'eau qui s'y accumulait. Le cylindre, rempli de la terre même du champ où l'on opérait, était enfoncé dans le sol de manière que sa base supérieure affleurât la surface.

Le tableau suivant résume les expériences de M. Dickinson, faites au moyen de l'instrument précédent :

ANNÉES.	Pluie.	Évaporation.	Filtration.	RAPPORT de la filtration à la pluie.
	m.	m.	m.	m.
1836	0,787	0,339	0,448	0,57
1837	0,536	0,359	0,177	0,33
1838	0,560	0,344	0,216	0,39
1839	0,794	0,416	0,378	0,48
1840	0,547	0,337	0,210	0,38
1841	0,815	0,455	0,360	0,44
1842	0,671	0,372	0,299	0,44
1843	0,672	0,467	0,205	0,30
Moyennes..	0,673	0,386	0,287	0,42

Les nombres obtenus par Dalton lui-même sont assez différents des précédents, comme on le voit ci-dessous.

ANNÉES.	Pluie.	Évaporation.	Filtration.	RAPPORT de la filtration à la pluie.
	m.	m.	m.	m.
1796	0,778	0,603	0,175	0,22
1797	0,985	0,706	0,279	0,28
1798	0,794	0,606	0,188	0,24
Moyennes..	0,852	0,638	0,214	0,25

Mais les deux séries d'observations s'accordent sous un certain rapport, c'est que toute l'eau tombée pendant le mois de février est absorbée, ainsi que l'indiquent les chiffres moyens suivants :

Observateurs.	Février.			RAPPORT de la filtration à la pluie.
	Pluie.	Évaporation.	Filtration.	
	m.	m.	m.	m.
Dalton...	0,046	0,013	0,031	0,72
Dickinson.	0,050	0,015	0,035	0,70

Au contraire, pendant les mois de juin. juillet, août et septembre, la filtration est presque nulle et l'eau s'évapore presque entièrement. Voici la moyenne des observations faites par les deux auteurs que nous citons :

Observateurs.	Juin, juillet, août et septembre			RAPPORT de la filtration à la pluie.
	Moyenne de la pluie.	Moyenne de l'évaporation.	Moyenne de la filtration.	
	m.	m.	m.	m.
Dalton...	0,342	0,320	0,022	0,06
Dickinson.	0,243	0,231	0,012	0,05

M. Ch. Charnock a fait des expériences analogues à celles de Dalton, mais plus complètes, en ce sens qu'il a également mesuré l'évaporation. Voici les résultats obtenus :

	1842.	1846.
	m	m
Hauteur d'eau tombée.	0,663	0,638
Hauteur d'eau filtrée à travers le sol.	0,115	0,171
Hauteur d'eau évaporée d'un sol drainé.	0,548	0,467
Hauteur d'eau évaporée d'un sol saturé.	0,762	0,845
Hauteur d'eau évaporée dans un vase exposé au vent et au soleil. . .	0,854	0,881

Les expériences précédentes laissent, on le conçoit, beaucoup à désirer, en raison du mode même d'observation ; il convenait cependant de les citer comme indication. Des recherches plus pratiques sont dues à M. Milne.

Il a recueilli pendant dix mois, de juin 1848 à avril 1849, l'eau débitée par les drains d'une certaine étendue de terrain. Il a trouvé que la masse d'eau obtenue pendant l'intervalle précité était de 522mc,28 par hectare, répondant à une couche d'eau uniforme

de 0m,052228 seulement d'épaisseur. Les expériences de Dalton indiquaient, pour une période semblable, une couche de 0m,169159, et celles de Dickinson une couche de 0m,27636.

On comprend, du reste, que la nature du terrain influe notablement sur sa propriété filtrante; cependant les résultats de M. Milne montrent qu'il serait peu sage d'accorder à la jauge de Dalton une confiance trop absolue.

Dans une expérience faite dans la terre des Hauts-Noirs en Sologne, M. Delacroix a trouvé que la hauteur d'eau tombée en 1856 étant de 0m,734, la hauteur d'eau écoulée était de 0m,427; rapport 0m,48. En 1857, la hauteur d'eau tombée a été de 0m,453 et la hauteur d'eau écoulée de 0m,219, rapport 0m,44.

Le rapport de l'eau tombée à l'eau écoulée varie donc d'une année à l'autre, par suite des conditions météorologiques et surtout suivant la distribution des pluies dans les différents mois et leur ordre de succession.

Voici enfin les résultats d'expériences que j'ai pu faire aux environ de Meulan.

La pièce soumise aux observations avait une étendue de 1 hect. 226. Le sol était argileux et assez fort, le sous-sol était plus perméable. Cette pièce, louée à plusieurs cultivateurs, était labourée et produisait des récoltes de différentes sortes, céréales, racines et chardon à foulon. Les volumes de pluie tombée et d'eau écoulée par mois, ramenés à la surface d'un hectare sont réunis dans le tableau suivant :

MOIS ET ANNÉES.	EAU de pluie tombée.	EAU écoulée par les drains.	RAPPORT de l'eau écoulée à l'eau tombée.
1855.			
	me.	me.	
Mars.....	347.2	67.5	0,194
Avril.....	100.5	20.0	0,199
Mai.....	663.0	55.4	0,085
Juin.....	365.0	2.1	0,005
Juillet.....	555.0	0.0	0,000
Août.....	210.0	0.0	0,000
Septembre.....	103.7	0.0	0,000
Octobre.....	537.5	0.7	0,001
Novembre.....	137.5	40.9	0,297
Décembre.....	130.0	56.1	0.431
Totaux.....	3149.4	242.7	0,077
1856.			
	me.	me.	
Janvier.....	373.8	84.7	0,226
Février.....	97.5	34.8	0,356
Mars.....	127.5	44.9	0,352
Avril.....	455.0	34.2	0,075
Mai.....	1281.3	60.8	0.047
Juin.....	456.3	113.1	0,247
Juillet.....	62.5	0.0	0,000
Août.....	632.0	0.0	0,000
Septembre.....	873.0	0.0	0,000
Octobre.....	112.5	0.0	0,000
Novembre.....	606.3	12.6	0,020
Décembre.....	511.3	27.4	0,053
Totaux.....	5589.0	412.5	0,073

Une autre pièce, peu éloignée de la précédente, cultivée d'une manière analogue, mais recevant, je crois, un peu d'eau des terrains supérieurs, a donné les résultats consignés dans le tableau ci-après :

MOIS ET ANNÉES.	EAU de pluie tombée.	EAU écoulée par les drains.	RAPPORT de l'eau écoulée à l'eau tombée.
1856.			
	me.	me.	
Janvier.....	373.8	87.7	0,234
Février.....	97.5	45.3	0,464
Mars.....	127.5	73.0	0,572
Avril.....	455.0	39.5	0,086
Mai.....	1281.3	104.3	0,081
Juin.....	456.3	173.1	0,379
Juillet.....	62.5	0.0	0,000
Août.....	632.0	0.0	0,000
Septembre.....	873.0	0.0	0,000
Octobre.....	112.5	0.0	0,000
Novembre.....	606.3	17.3	0,028
Décembre.....	511.3	93.5	0,182
Totaux.....	5589.0	633.7	0,113
1857.			
	me.	me.	
Janvier.....	473.5	409.0	0,863
Février.....	97.5	72.9	0,747
Mars.....	430.0	112.0	0,260
Avril.....	555.0	146.4	0,263
Mai.....	345.0	0.3	0,001
Juin.....	644.8	0 0	0,000
Juillet.....	135.0	0.0	0,000
Août.....	442.5	0.0	0,000
Septembre.....	921.2	0.0	0,000
Octobre.....	362.5	0.0	0,000
Novembre.....	117.5	0.0	0,000
Décembre.....	143.8	0.0	0,000
Totaux.....	4668.3	740.6	0,158

D'après ces chiffres, la moyenne des rapports de l'eau écoulée par les drains à l'eau tombée a été de 0m,077 pour la première pièce pendant les dix derniers mois de 1855, et de 0m,073 pour l'année 1856. Dans la seconde pièce ce rapport a été 0m,143 en 1856, et 0m,158 en 1857.

Mais les moyennes sont le résultat de chiffres mensuels très-différents les uns des autres. Ainsi, tandis qu'en janvier 1857, les drains ont écoulé plus de 86 p. 100 de l'eau tombée sur la seconde pièce, ils n'ont point coulé pendant les mois d'été pour des volumes d'eau tombés plus considérables que ceux fournis par la pluie en janvier.

Si l'on étudie attentivement le livre d'observations journalières dont les tableaux précédents ne sont que le résumé succinct, ou mieux encore si l'on examine les courbes indiquant les volumes d'eau tombée et écoulée par jour, que l'espace ne permet pas de reproduire ici, on se rend facilement compte de ces différences.

Lorsque la terre est sèche au moment d'une pluie, l'eau est retenue par le sol et ne s'écoule pas par les drains. Au contraire, si le sol est déjà très-mouillé, l'addition d'une quantité d'eau même assez faible peut déterminer l'écoulement. En un mot, pour

les pluies initiales le rapport de l'eau écoulée à l'eau tombée est nul ou très-faible; et pour les pluies non initiales ce rapport est d'autant plus grand que l'évaporation et l'absorption souterraine ont été moindres depuis la pluie précédente.

La répartition des pluies et des sécheresses exerce donc sur le rapport que nous considérons une influence beaucoup plus grande que l'abondance même de ces pluies.

Un drainage ne commence pas à couler avant que le terrain qui le recouvre ne renferme une certaine masse d'eau, déterminée par son hygroscopicité, c'est-à-dire par sa nature propre, et dont la mesure est un des éléments les plus utiles à connaître pour caractériser un sol arable.

Les courbes des eaux tombées et écoulées par le drainage, fournissent un autre renseignement d'un grand intérêt pratique, c'est le temps qui s'écoule entre la pluie qui détermine l'écoulement et le commencement de cet écoulement. Ce temps est variable avec la nature du sol, et pour un même sol avec son degré d'humidité au commencement de la pluie, en général il varie de six heures à quarante-huit heures. Plus le sol est rétentif et plus l'écoulement d'un drainage est prolongé et régulier, mais chaque période isolée d'écoulement présente toujours un maximum ordinairement moins éloigné de l'origine de l'écoulement que de sa fin, la courbe d'écoulement s'élève plus rapidement qu'elle ne s'abaisse.

En résumé, si l'on considère une longue période de temps, il résulte des expériences que l'on vient de rapporter et de plusieurs autres trop longues à citer, que le rapport des eaux écoulées par les drains aux eaux de pluies tombées à la surface des terres peut varier, comme limites extrêmes, de 0m,05 à 0m,80.

La position de la nappe d'eau souterraine dans les terrains drainés dépend de la nature du sol, comme il est facile de le prévoir et comme l'ont vérifié d'ailleurs plusieurs observateurs. La surface de cette nappe d'eau présente une forme convexe dont les points les plus élevés se trouvent au milieu de l'intervol des drains. Les expériences de cette nature sont faciles à faire; on enfonce des tubes verticalement dans le sol, suivant des directions perpendiculaires à celle des lignes de drains, et l'on relève chaque jour la hauteur de l'eau dans ces tubes. Il résulte de diverses observations que la pente moyenne de la nappe d'eau vers les drains varie de 0m,008 à 0m,430 par mètre suivant la nature plus ou moins retentive du sol. Cette pente varie du reste dans le même terrain avec la plus ou moins grande quantité d'eau restant à écouler; c'est-à-dire qu'elle atteint son maximum peu après le commencement de l'écoulement, puisqu'elle diminue successivement avec l'intensité de l'écoulement lui-même, et se confond enfin sensiblement avec l'horizontale quand les eaux cessent de sortir par les bouches des drains. — La discussion attentive d'observations de cette espèce donnerait, sur le jeu des eaux à l'intérieur des terres, des renseignements pratiques fort intéressants.

Du reste, s'il est impossible, quant à présent, de fixer *a priori* la quantité d'eau qui traversera un sol donné dans un temps déterminé, et par conséquent de fixer scientifiquement le diamètre minimum d'un drain destiné à l'assainissement d'une surface connue, on peut au moins facilement démontrer que les plus petits tuyaux adoptés dans la pratique sont capables d'écouler, à moins de circonstances tout à fait exceptionnelles, non-seulement la quantité d'eau qui arrive jusqu'à eux, mais encore la masse entière de pluie qui peut tomber sur la surface qu'ils doivent assainir. Ainsi, par exemple, on reconnait facilement par le calcul qu'un tuyau de drainage de 0m,03 de diamètre, de 100 mètres de longueur, et ayant seulement 0,003 de pente, destiné à desservir une zône de 15 mètres de largeur, pourrait débiter, en quarante heures seulement, toute l'eau versée sur la surface à laquelle s'étend son action, par un orage qui donnerait près de 0m,05 de hauteur d'eau, ce qui répond à une pluie très rare dans nos climats.

Néanmoins, il ne faudrait pas croire, comme l'affirment quelques personnes, que les tuyaux de drainage sont toujours trop larges et que l'on ne saurait assez réduire leur diamètre. Indépendamment en effet de la facilité avec laquelle de trop petits tuyaux peuvent s'engorger, on a vu des drains couler à gueule bée, ce qui indiquait qu'ils ne pouvaient débiter assez vite toute l'eau qui leur arrivait. Ce dernier fait est du reste assez rare, et toutes les expériences faites jusqu'à présent établissent, comme le raisonnement, que dans les circonstances ordinaires des tuyaux de 0m,03 à 0m,04 de diamètre intérieur suffisent parfaitement quand la largeur et l'écartement des lignes n'excèdent pas les limites que nous avons indiquées dans les articles précédents.

6. *Effets et théorie du drainage.*

Tous les agriculteurs connaissent les inconvénients d'un sol imbibé d'eau stagnante, et comprennent l'intérêt que l'on a, sous tous les rapports, à donner à cette eau surabondante un moyen régulier d'écoulement, sans cependant produire une dessiccation complète, aussi funeste qu'une trop grande humidité; mais quelques explications sont nécessaires pour faire concevoir comment le drainage des terres peut atteindre ce double but, et pour répondre à quelques objections qui se présentent tout d'abord à l'esprit, quand on étudie pour la première fois les procédés de l'art du drainage. Les expériences sont encore peu nombreuses, et la théorie laisse encore beaucoup de faits sans explication. Cet état d'imperfection de la science rendrait nécessaires de longs développements qui ne sauraient trouver place ici; on se bornera aux points les plus importants.

On a vu que la germination des graines exige, pour se produire de la manière la plus satisfaisante, une certaine température et le concours de l'air et d'une humidité convenable. Les mêmes conditions sont nécessaires au développement des racines et à l'exercice des fonctions nutritives de la plante entière. Examinons donc d'abord comment la constitution même du sol, considérée seulement au point de vue physique, se prête à la réalisation de ces conditions et le rôle que l'eau peut jouer dans le phénomène, indépendamment de son action chimique.

Considéré en général, le sol arable se compose de particules plus ou moins grosses, depuis les pierres et les graviers jusqu'à la poussière la plus impalpable. Ces diverses particules, en raison de leur variété de forme et de grosseur, ne sauraient être en contact intime, de sorte qu'il existe entre elles une série de vides communiquant les uns avec les autres et formant de véritables canaux non interrompus. Mais examinées isolément, les diverses particules qui composent la terre sont elles-mêmes plus ou moins poreuses, de sorte que dans un terrain donné existent toujours deux séries de petites cavités, les unes *intérieures* aux particules constituantes du sol, les autres *extérieures* à ces particules et produites par l'ensemble des vides laissés entre elles. Les fig. 62, 63 et 64, sans être l'image exacte, mais amplifiée, d'une terre donnée, aideront cependant à saisir notre explication, et permettront de concevoir le rôle de l'eau dans ces différents ordres de cavités. Si le sol est parfaitement sec (fig. 62), tous les pores intérieurs des particules et les vides formant canaux

AGRICULTURE.

laissés entre elles, sont naturellement remplis d'air. La graine, ou les racines des plantes, sont parfaitement approvisionnées de ce gaz, mais tout à fait privées d'eau. Dans la figure suivante, au contraire, les pores et les canaux sont remplis d'eau, indiquée par la teinte noire, qui a pris la place de l'air. Le sol est *très mouillé*, et les plantes aquatiques pourraient seules y prospérer. Dans la fig. 64, l'eau n'existe plus que dans les pores et les canaux sont remplis d'air. La graine se trouve alors dans les conditions les plus favorables; elle est en contact à la fois avec l'air et avec l'eau ; le sol est alors *humide*, mais il n'est pas *mouillé;* c'est l'état le plus favorable à la végétation, la terre paraît alors imbibée d'eau, mais elle s'écrase sans faire pâte entre les mains.

La fig. 65 permet de comprendre un autre état du sol, malheureusement trop fréquent : après une grande pluie, ou par toute autre circonstance, les particules du terrain se sont agglomérées les unes aux autres et forment des mottes plus ou moins volumineuses. Les pores de ces mottes contiennent de l'eau, mais les canaux sont oblitérés et l'air ne peut plus traverser la masse. L'eau elle-même est en quelque sorte devenue inutile, puisque les racines ne peuvent pénétrer ces mottes, qui ne diffèrent de la pierre que parce qu'elles contiennent de l'eau. La pulvérisation de la terre par les opérations mécaniques de la culture fait cesser ce fâcheux état de choses, et l'on conçoit dès lors, sous le rapport seulement qui nous occupe, toute l'importance, pour la végétation, d'une parfaite division du sol par les opérations de labourage et autres dont il sera question plus loin (chapitre IV).

La considération abstraite de ces quatre états du sol permet de se rendre assez nettement compte d'un certain nombre de phénomènes. En y réfléchissant, on comprend, par exemple, que du rapport des pores aux canaux résultent la plupart des différences physiques constatées dans les propriétés des sols, par rapport à l'eau. Cherchons à tirer de ces considérations quelques conclusions pratiques

Fig. 64.

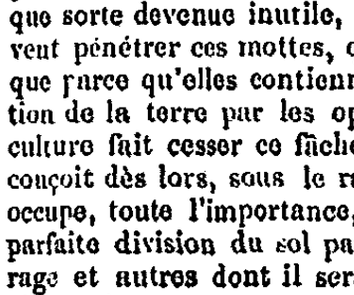


Fig. 63

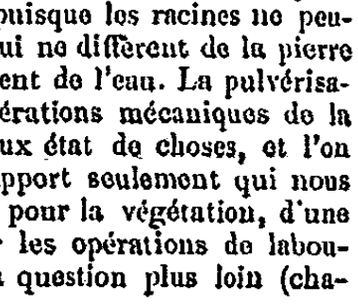


Fig. 62

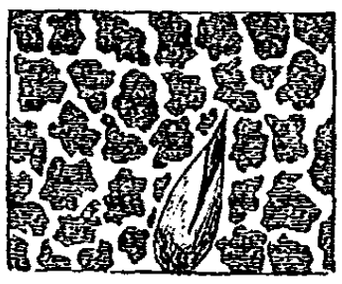


Fig. 65.

Le premier cas est celui de l'extrême sécheresse; il n'y a pas à l'examiner maintenant. Si l'on ajoute de l'eau à un sol dans cet état, elle pénétrera dans les canaux, et de là, par suite de l'attraction capillaire, dans les pores. De sorte que si le liquide n'arrive qu'en proportion convenable, les canaux se videront d'eau et se rempliront d'air, et on aura le sol humide de la fig. 64. Si, au contraire, l'eau arrive en excès, après avoir rempli les pores, elle remplira les canaux et la terre sera mouillée (fig. 63); c'est l'état des terres non drainées, soit artificiellement, soit naturellement par leur position sur un sous-sol perméable.

Cela posé, l'action, sur un terrain mouillé, d'une tranchée garnie d'un tuyau d'écoulement est facile à concevoir : l'eau contenue dans les canaux ou fissures du sol, sollicitée par l'action de la pesanteur, s'écoulera dans le drain par ces canaux eux-mêmes, tandis que l'eau des pores, retenue par une action capillaire énergique, n'obéira point à l'action de la pesanteur et restera dans le sol; de sorte que le drainage peut empêcher une terre d'être mouillée sans lui ôter sa fraîcheur.

On peut se rendre compte, d'après ce qui précède, de la hauteur à laquelle le plan d'eau, dans les canaux capillaires du sol, s'arrêtera dans un champ drainé. Il est clair, en effet, que le niveau de cette eau stagnante sera supérieur à celui du drain d'une quantité égale à la surélévation produite par la force capillaire, et que cette hauteur s'accroît, en s'éloignant du drain, d'une quantité égale à la pente nécessaire pour assurer l'écoulement de l'eau dans les fissures, eu égard au frottement qu'elles opposent au mouvement du liquide.

Les deux fig. 66 et 67 feront mieux concevoir qu'une longue explication la différence qui existe entre un champ drainé et celui qui ne l'est pas. Dans ce dernier (fig. 66), le plan d'eau est assez élevé pour gêner le

Fig. 66.

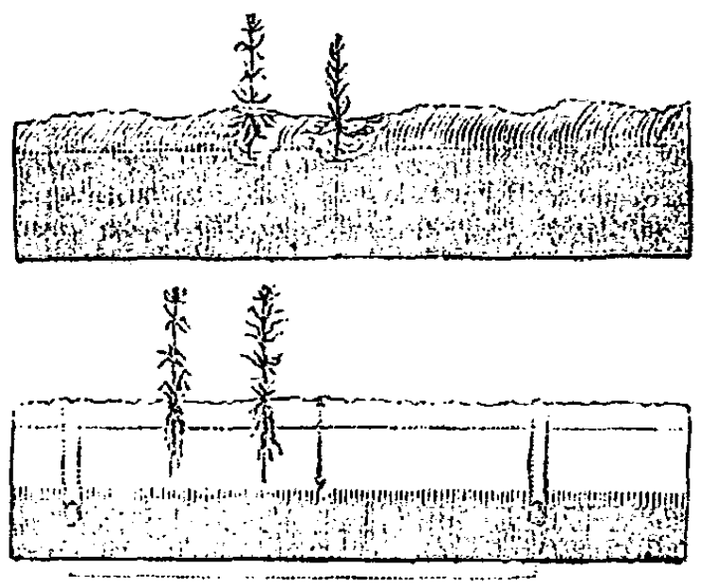


Fig. 67.

développement des racines des végétaux et facilite, par l'ascension capillaire du liquide, une évaporation rapide, et, par suite, un refroidissement notable à la surface du sol. Dans le terrain drainé, au contraire (fig. 67), le plan de l'eau stagnante et celui de l'eau élevée par capillarité sont assez abaissés pour que les inconvénients précédents ne se produisent pas, et que les racines puissent prendre tout leur développement.

Dans tous les terrains sujets à souffrir d'un excès d'eau, même passager, le drainage rendra donc cet immense service de faciliter la division du sol, par les labours ou autrement, en empêchant la terre de garder l'excès d'eau qui la transforme en pâte, et fait que l'action des instruments de culture, bien loin d'accroître la perméabilité du terrain, ne sert qu'à le transformer en mottes plus compactes et plus dures. Ces mottes se gercent par le desséchement et se divisent en fragments plus ou moins volumineux, mais incapables d'absorber l'humidité atmosphérique, et forment pendant l'été des sols brûlés. Le drainage, destiné à enlever l'excès d'eau, assure donc aussi, jusqu'à un certain point, l'humidité des terres.

AGRICULTURE.

On se demande souvent comment des canaux placés à une grande profondeur sous des sols argileux, compactes et imperméables, peuvent recevoir les eaux qui tombent à la surface; comment, en un mot, de pareils terrains acquièrent par le drainage une porosité relative qui paraissait opposée à leur constitution. La nature même de l'argile explique ce résultat. Quand cette espèce de terre est humide, elle forme une masse homogène compacte; mais quand elle se dessèche, elle se fendille d'elle-même, et les fissures produites, communiquant les unes avec les autres, se ramifient en tous sens et donnent à la terre une véritable porosité. Or, quand on ouvre une tranchée dans une masse argileuse et que l'on place des tuyaux ou des pierres dans cette tranchée, l'argile, qui forme les parois du conduit, se trouve en contact avec l'air, se dessèche partiellement et se fendille jusqu'à une certaine profondeur. L'action ainsi commencée s'étend ensuite de proche en proche, à une plus ou moins grande distance, dans toute la masse, chaque fissure déterminant l'assèchement des parties qu'elle avoisine et déterminant la formation de nouvelles fissures. La marche progressive de cette action de fendillement se manifeste clairement par l'accroissement successif du produit de l'écoulement des drains pendant les premiers mois, et quelquefois même pendant les premières années de leur formation, aussi bien que par les modifications et l'amélioration continue de la nature du sol.

L'accroissement de porosité du sol et son assainissement sont les résultats immédiats de l'opération du drainage; mais de ces premiers résultats découlent d'importantes conséquences et des phénomènes consécutifs non moins intéressants, au point de vue physique et chimique de la végétation.

L'évaporation de l'eau à la surface du terrain abaisse considérablement sa température, par l'absorption de la chaleur latente nécessaire à la vaporisation. La formation d'un seul kilogramme de vapeur enlève assez de chaleur à 250 kil. de terre pour abaisser de 5° leur température. D'un autre côté, pendant la plus grande partie de l'année, la température de l'eau de pluie au moment de sa chute, ou au moins après avoir traversé la couche la plus superficielle du terrain, est supérieure à la température moyenne de la masse du sol arable. On comprend dès lors qu'en diminuant l'évaporation à la surface et en obligeant l'eau de pluie à pénétrer profondément dans le sol aussitôt après sa chute, on augmente la température de ce sol, et de la chaleur que lui communique l'eau et de celle que lui aurait enlevée l'évaporation. Or, c'est là précisément le double effet que produit le drainage, puisque, d'une part, les canaux d'assèchement attirant à eux, aspirant en quelque sorte, l'eau de la masse terreuse obligent l'eau de pluie à la traverser rapidement, et que, d'un autre côté, en abaissant le niveau de l'eau stagnante à une profondeur supérieure à l'ascension capillaire, il diminue dans une forte proportion l'évaporation produite à la surface. Ce ne sont point là, du reste, de simples inductions théoriques : des expériences rigoureuses et l'ensemble des phénomènes agricoles établissent d'une manière positive l'élévation de température du sol produite par le drainage. Quelques faits suffiront pour fixer sur ce point l'attention.

Nous citerons d'abord, sans rappeler les expériences de M. Charnock, déjà mentionnées, quelques essais scientifiques de M. Parkes, exécutés dans un marais tourbeux nommé le *Red-Moss*. Le terrain était parfaitement découvert, de sorte que rien ne pouvait troubler les observations; il n'existait d'ailleurs aucune eau de source de nature à modifier la température du sous-sol. Toutes les précautions, en un mot, semblaient avoir été prises pour assurer l'exactitude des résultats; malheureusement les expériences ont été peu nombreuses. M. Parkes les résume de la manière suivante : La température du sol naturel non drainé était de 7°,7, depuis 0m,30 jusqu'à 0m,76 de profondeur. Le thermomètre, enfoncé à 0m,18, a constamment marqué 8°,3. Le thermomètre, enfoncé à 0m,78 dans la terre drainée, marqua jusqu'à 9°,0 et semblait encore s'élever; le thermomètre, enfoncé à 0m,18, s'éleva à 18°,8 après un orage, indiquant ainsi un excès de 9°,8 sur l'autre thermomètre; et, sur trente-cinq observations, il a donné une surélévation de 5°,6. Le détail des observations de M. Parkes établit, du reste, un autre fait non moins important, ce sont les variations énormes de température qui ont lieu d'une époque à l'autre dans un terrain drainé.

M. Modden évalue à 6° 1/2 la différence moyenne de température entre deux sols semblables, l'un drainé et l'autre ne l'étant pas. Cette différence répond à une altitude de 594 mètres environ.

Des effets physiques du drainage que l'on vient d'indiquer découlent, au point de vue chimique, d'autres avantages : l'eau de pluie contient toujours de l'air, de l'acide carbonique et de l'ammoniaque en dissolution. Ces divers agents exercent une action que l'on a déjà exposée, soit en concourant directement à l'alimentation végétale, soit en facilitant la désagrégation des éléments du sol et les amenant à l'état soluble, qui les rend assimilables par les organes des végétaux; de sorte que le drainage, en amenant la terre à l'état de sécheresse convenable au développement des racines, leur fournit en même temps l'accroissement de nourriture que leur refuse un sol impénétrable aux gaz et constamment imbibé d'eau stagnante. En résumé, les opérations de drainage produisent le rapide écoulement de l'eau de pluie à travers le sol devenu poreux, et elles abaissent le plan d'eau stagnante à la profondeur la plus convenable pour le succès des diverses cultures. De ces deux premiers faits résulte un accroissement notable de la chaleur du sol, et un accroissement énorme de sa fertilité par l'introduction des gaz et des substances les plus nécessaires au développement de toutes les récoltes. Quelques exemples authentiques, choisis entre mille, de résultats obtenus en grand suffiront pour établir la réalité de ces assertions.

De fortes argiles d'Écosse, citées par M. Smith, où les navets ne réussissaient jamais et où les pommes de terre manquaient souvent, produisent maintenant régulièrement ces deux récoltes, que l'on fait alterner avec la culture du froment. Dans les terres fortes et marécageuses du nord de l'Écosse, on ne parvenait presque jamais à recueillir les récoltes, et la nielle faisait de tels ravages que l'on renonçait à la culture des céréales. Dans les terres drainées cette maladie disparaît, et les récoltes se font sans difficulté. M. Neilson possédait un champ où il ne pouvait obtenir plus de trois tonnes de navets par an; ce terrain drainé en fournit maintenant plus de vingt-sept.

Le drainage exerce sur le climat des contrées où il est exécuté sur une échelle un peu considérable les résultats les plus avantageux. Ainsi la ferme de Deanston, de 200 acres, sur laquelle M. Smith fit ses premiers essais, était très fréquemment plongée dans les brouillards les plus épais. Ces phénomènes locaux ont disparu et on ne souffre plus que des brouillards qui s'étendent sur tout le pays.

Un terrain marécageux existait autrefois près de Birkenhead; tous les soirs il était couvert d'un brouillard des plus épais, un drainage profond, poussé à 2m,13 de profondeur, a fait disparaître ces brouillards. La valeur de ce terrain situé près de cette intéressante cité, appelée depuis quelques années à un si prodigieux développement, a plus que *quadruplé* de valeur par cette opération.

Les épidémies qui attaquaient périodiquement les

races ovines et bovines sur un grand nombre de fermes disparaissent rapidement par l'effet du drainage. C'est un des résultats les plus constants de cette opération, que l'on applique maintenant dans ce seul but à tous les prés et terrains où l'on élève des animaux rares ou précieux. La santé des hommes éprouve ces mêmes effets bienfaisants du drainage des champs sur une certaine étendue. Dans beaucoup de localités, le nombre des fièvres intermittentes et autres maladies de même espèce a été réduit, en un an, dans le rapport de 100 à 16.

Les arbres forestiers se développent beaucoup mieux sur les terres drainées que sur celles qui ne le sont pas. Les arbres à fruit surtout éprouvent de cette opération un avantage considérable.

On trouvera plus loin, sur les résultats financiers du drainage, quelques renseignements qui nous dispensent de multiplier davantage les exemples des avantages généraux qu'il procure.

7. *Résultats financiers des travaux de drainage.*

Prix des travaux. Le prix des opérations de cette nature doit évidemment varier avec une foule de circonstances, et il est impossible de répondre, par un seul chiffre, à cette question si fréquemment répétée : quelle est la dépense nécessaire pour drainer un hectare de terre?

On dira seulement que le prix du drainage varie aujourd'hui en France de 160 à 300 fr. par hectare. Le prix doit toujours être réglé, avec les entrepreneurs, au mètre courant de drain, sans quoi en écartant les lignes outre mesure ils diminueraient la dépense et pourraient compromettre le résultat de l'opération.

Bénéfices produits par le drainage. On estime comme résultat moyen et général que les sommes dépensées en travaux de drainage rapportent 10 pour 100 net, sans tenir compte des facilités que donne à la culture un sol assaini, de l'accroissement de la salubrité, etc. Cette estimation est plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité. On sait d'ailleurs que beaucoup de fermiers acceptent avec empressement de payer 5 p. 100 et plus d'intérêt pour les sommes dépensées en drainage par les propriétaires, ce qu'ils ne feraient pas si les travaux ne devaient leur rapporter bien au delà de cet intérêt. Les exemples de fermiers qui drainent leurs terres à leur compte, ou moyennant une faible subvention, quoique jouissant seulement d'un bail assez court, ne sont pas rares.

L'estimation de 10 pour 100 d'intérêt de la dépense est de beaucoup au-dessous de la vérité pour les terres de bonne qualité convenablement traitées : elle n'est trop forte que pour quelques terres médiocres. Dans beaucoup de cas, les dépenses faites en drainage rapportent jusqu'à 25 pour 100. Ces énormes bénéfices cessent du reste d'étonner quand on tient compte des avantages de toutes sortes qui résultent d'un bon drainage sur une terre qui en a besoin. La facilité seule de labourer plus à loisir, pendant une plus grande partie de l'année, permet de réduire le nombre de chevaux nécessaire à la culture.

Les estimations officielles portent à 30 pour 100 de la dépense, en moyenne, la plus-value annuelle des travaux.

Depuis la publication de cet article dans la deuxième édition de cet ouvrage, il a été drainé en France environ 120,000 hectares de terrains, moyennant une dépense évaluée à 35 millions environ. Ces travaux se multiplient tous les jours davantage, et il n'est plus douteux maintenant que le drainage ne s'étende avec le temps à plusieurs millions d'hectares dans notre pays.

Législation. Une loi du 10 juin 1854 donne aux propriétaires le droit de faire passer au besoin leurs drains dans les propriétés voisines moyennant une indemnité. L'application de cette loi ne présente aucune difficulté, et les arrangements nécessaires se font presque toujours à l'amiable.

Deux autres lois, des 17 juillet 1856 et 28 mai 1858 autorisent le gouvernement à prêter aux particuliers, pour des travaux de drainage. Le montant du prêt est remboursé en vingt-cinq années, intérêt et amortissement compris, moyennant une annuité de 6,4 p. 100. Rien de plus simple, en pratique, que la marche à suivre pour réaliser un prêt pour le drainage. (Voir nos INSTRUCTIONS SUR LE DRAINAGE.)

En résumé, la pratique de la loi sur les prêts pour le drainage ne présente pas les difficutés et les complications dont on s'est effrayé lors de son apparition. Elle serait certainement susceptible d'améliorations considérables, mais telle qu'elle est, les propriétaires, les syndicats et les communes peuvent retirer de son application de très-grands avantages.

Deuxième section. — Desséchements.

On rencontre sur différents points du globe des contrées quelquefois très-étendues, soit constamment, soit périodiquement recouvertes d'eau, qu'il est possible, par des travaux de dessèchement convenablement dirigés, de transformer en terres cultivables, souvent d'une grande valeur.

Les travaux nécessaires aux desséchements d'une grande importance présentent de sérieuses difficultés. Ils se compliquent presque toujours de questions contentieuses et administratives les plus complexes, et exigent à la fois le concours de la science du jurisconsulte et de toutes les ressources de l'art de l'ingénieur. Il ne saurait être question dans cet article d'exposer en détail tout ce qui se rapporte au problème compliqué des desséchements. On essayera seulement d'indiquer l'esprit des méthodes à employer. Quelques exemples choisis avec soin compléteront d'ailleurs les explications générales.

Les marais proprement dits occupent en France une étendue que l'on évalue à 600,000 hectares au moins. Les départements qui en possèdent le plus sont la Charente, les Deux Sèvres, les Bouches-du-Rhône, etc.

Mais on en rencontre aussi de fort étendus dans d'autres parties de la France, et bien peu de départements en sont complétement débarrassés.

La variété des lieux où se trouvent des marais indique assez la diversité des causes auxquelles on doit attribuer l'état de ces terrains. L'examen attentif de ces causes doit précéder toute étude de dessèchement, car il indique presque toujours la nature des procédé à adopter pour faire cesser l'état de choses auquel il faut remédier. Les développements donnés dans le cours de cette section permettront d'apprécier l'importance de cette opération, sur laquelle nous appelons particulièrement l'attention de nos lecteurs.

I. ÉTUDES PRÉALABLES A TOUTE OPÉRATION DE DESSÉCHEMENT.

Dessécher un marais, c'est le débarrasser des eaux qui séjournent à sa surface et donner un écoulement régulier à celles qui y arrivent. Les marais, considérés d'une manière générale, peuvent se partager en deux grandes classes.

La première comprend les marais où la disposition des lieux est telle qu'il existe un point inférieur par lequel le liquide peut trouver une issue permanente ou périodique; le problème consiste alors dans la détermination des emplacements, pentes et sections des canaux émissaires.

La seconde se compose des marais dont la surface,

étant inférieure à tous les points environnants, forme une cuvette d'où le liquide ne s'échappe que lorsqu'il est arrivé à une hauteur déterminée. On ne peut l'extraire, dans ce cas, qu'au moyen de machines d'épuisement ou de puits absorbants.

Certains marais appartiennent à la fois aux deux grandes divisions précédentes, c'est-à-dire qu'ils sont en partie desséchables par écoulement, et que l'opération ne peut se terminer qu'à l'aide des machines. Le dessèchement des marais de cette espèce nécessite l'emploi des méthodes applicables aux deux premiers cas, qu'il est dès lors indispensable d'étudier successivement.

Dans tous les travaux de dessèchement, sauf les cas particuliers où des circonstances étrangères à l'opération elle-même obligeraient de déroger à la marche générale, on doit se proposer :

1° D'éloigner de la surface des marais les affluents extérieurs;

2° De purger cette surface elle-même des eaux en excès : ou au moyen de rigoles d'assèchement conduisant les eaux qui s'y rassemblent au point de sortie : ou en expulsant les eaux de la cuvette au moyen d'une force motrice quelconque, dont on conserverait tout ou partie pour chasser les eaux d'orage que l'évaporation et les infiltrations n'absorberaient pas assez vite lorsque la cuvette aurait été une première fois vidée.

Pour le calcul des différents éléments de ces travaux, il faut s'être rendu compte :

1° De l'étendue du bassin du marais et des bassins secondaires qui y aboutissent;

2° De la quantité de pluie qui tombe dans l'année, dans les diverses saisons, et de celle qui peut tomber au maximum dans un jour donné;

3° De la proportion suivant laquelle cette eau se répartit dans les divers bassins entre l'évaporation, l'infiltration dans le sol, et l'écoulement à la surface, ainsi que du temps nécessaire à cet écoulement;

4° Du débit des sources et des cours d'eau pérennes, soit à leur étiage, soit pendant leurs plus grandes crues, et de la détermination du volume d'eau que peuvent fournir pour un jour d'orage les lits habituellement à sec.

Détermination de l'étendue des bassins. On peut définir le périmètre d'un bassin, l'ensemble des points à partir desquels l'eau qui tombe sur un plateau peut couler indifféremment dans ce bassin ou le bassin voisin. La ligne du périmètre se détermine par des points principaux qu'on reconnaît immédiatement sur le terrain, lorsque les plateaux voisins sont peu étendus et à pentes assez fortes, ou au moyen des nivellements transversaux des faîtes. Le point de la courbe de nivellement où la tangente est horizontale est celui qu'on cherche. En réunissant sur une carte ces emplacements par des lignes, on a le contour et par conséquent la superficie du bassin. Les cartes topographiques faites avec soin font immédiatement connaître les lignes de faîte dont il s'agit ici. On sait que les positions des lignes de faîte et de thalweg obéissent à des lois générales assez simples dont la connaissance, inutile à rappeler maintenant, facilite singulièrement les études sur le terrain.

Il importe d'ailleurs de remarquer ici que les eaux qui tombent à la surface d'un bassin ne sont pas toujours les seules qui y arrivent : à l'affleurement des couches perméables il peut en effet jaillir des sources provenant des eaux d'infiltration, venues de bien plus loin que les limites apparentes du périmètre. Ainsi, dans son travail sur les marais Pontins, M. de Prony annonce qu'en comparant le volume d'eau pluviale qui devient courante dans ce bassin, et doit s'échapper annuellement par l'émissaire unique qui lui donne passage, avec le volume total du liquide effectivement

débité par cet émissaire, il a reconnu que celui-ci était à peu près le double du premier. Il en conclut naturellement que les sources débitent une quantité considérable d'eau venant des infiltrations produites dans les bassins voisins, et amenées dans celui des marais par la déclivité de la couche imperméable qui s'étend beaucoup au-delà de la crête des versants extérieurs.

De la quantité et de la répartition des eaux de pluie dans l'année. On a réuni dans le chapitre II, troisième section, un grand nombre de documents relatifs à ce sujet; il serait inutile de les reproduire ici. Mais il ne suffit pas de connaître la masse générale d'eau qui peut tomber en une saison, il faut tenir compte de la valeur des grandes pluies ordinaires. Pour se mettre à l'abri de toutes les pluies d'orage, dans toutes les circonstances possibles, il faudrait évidemment établir les calculs en tenant compte de la plus grande hauteur d'eau tombée en douze heures. Mais on arriverait ainsi à des travaux d'une importance trop considérable, et il suffit de baser les évaluations, comme on le verra plus loin, sur la hauteur d'eau tombée pendant un orage d'intensité moyenne. Ainsi, pour ne citer en ce moment qu'un seul exemple, bien qu'on ait observé à Rome des orages versant à la surface du sol une couche d'eau de $0^m,12$ d'épaisseur, M. de Prony a calculé les débouchés des différents émissaires des marais Pontins, en admettant que la hauteur d'eau tombée pendant un orage resterait comprise entre $0^m,04$ et $0^m,07$.

De la proportion suivant laquelle l'eau des pluies se répartit dans les divers bassins entre l'évaporation, l'infiltration dans le sol et l'écoulement à la surface. Les eaux qui tombent à la surface du sol se partagent en trois parties. La première est enlevée par l'évaporation ou la végétation; la seconde pénètre dans le sol par infiltration à une plus ou moins grande profondeur, et forme quelquefois, à la surface des couches imperméables, les nappes aquifères qui alimentent les sources situées plus loin à un niveau inférieur; la troisième coule à la surface, et, par différentes rigoles, va rejoindre, dans un temps assez court, les ruisseaux qui se déchargent dans le marais.

On comprend quelle importance aurait, pour la question qui nous occupe, la détermination de la proportion suivant laquelle l'eau tombée se divise entre ces trois destinations. Malheureusement, il est impossible d'avoir à ce sujet des données générales et précises, et on est obligé, pour chaque cas particulier, d'avoir égard aux diverses circonstances locales, et d'évaluer cette répartition en tenant compte, le mieux qu'on peut, de ce qui a quelque influence sur elle.

L'état de la surface du sol et la composition géologique de ses couches supérieures sont évidemment les éléments les plus importants de cette détermination. Sur un sol boisé et couvert d'herbes, l'infiltration est généralement considérable, parce que l'eau préservée du vent et du soleil, et retenue par les plantes entre lesquelles elle s'introduit ne peut ni s'évaporer ni couler facilement à la surface. Sur un terrain découvert, au contraire, l'infiltration, toutes choses égales d'ailleurs, sera relativement peu considérable, et la plus grande partie du liquide s'écoulera pour aller gagner les thalwegs des ruisseaux, ou sera enlevée par l'évaporation que favorise alors l'action du vent et du soleil. Entre ces deux cas extrêmes, celui d'une surface couverte d'herbes où l'infiltration est prépondérante, et celui d'une surface aride et imperméable où elle est presque nulle, se placent naturellement une foule d'états intermédiaires qui font varier à l'infini les rapports des quantités d'eau enlevée par écoulement, par infiltration ou par évaporation. Mais l'état de la surface n'est pas le seul élément de la question : la nature du sol et du sous-sol, sa perméabilité plus ou moins

grande exercent aussi une influence capitale sur l'écoulement de l'eau. Il est donc impossible de déterminer d'avance, et par une règle générale, le rapport des quantités d'eau tombées, évaporées et infiltrées; ce rapport varie d'un lieu à l'autre et ne peut être déterminé, dans chaque cas particulier, que par une longue série d'observations. Les résultats suivants montreront les différences qui existent à cet égard.

M. de Prony estime que, dans le bassin des marais Pontins, la quantité annuelle d'eau perdue par l'évaporation est égale aux 0m,094 de celle qui tombe. Ainsi, la moyenne d'un grand nombre d'années d'observations donnant 0m,805 pour la hauteur d'eau tombée annuellement, M. de Prony admettrait que la hauteur de l'eau, pouvant passer dans les canaux, sera de 0,724. Cependant les observations faites à Rome, sous le même climat, donnent 2m,362 pour la couche d'eau évaporée dans l'année, en dehors de l'influence de l'action solaire.

Pour justifier la différence de ces chiffres qui paraît établie arbitrairement, cet auteur fait observer que l'évaporation constatée dans les observatoires doit être bien plus considérable que l'évaporation effective sur des terrains bas, ombragés et abrités des vents; que la surface exposée à l'évaporation sur les marais, au lieu d'être constante, comme dans les observatoires, est très variable, et qu'elle est à son *minimum* lorsque la cause évaporatrice est à son *maximum*, et réciproquement.

Cette proportion « estimée d'après divers rapprochements qui portent sur des détails trop minutieux pour les rapporter » n'a pas d'ailleurs, dans sa pensée, besoin d'être rigoureusement établie, car il ajoute : « L'objet de cette évaluation est d'avoir un des éléments du calcul qui donne la balance de la recette et de la dépense à l'époque où le desséchement sera opéré et où les eaux, coulant dans des canaux réguliers, ne stagneront plus dans la campagne, le système de ces canaux devant être établi de manière à débiter l'eau que reçoit annuellement le bassin général, moins celle qui est enlevée par l'évaporation ou perdue par les infiltrations. Cette considération simplifie beaucoup le problème, et même une erreur dans sa solution ainsi envisagée ne tire pas à conséquence si elle est en moins, vu que la seule conséquence qui puisse en résulter est une légère augmentation dans la capacité des canaux. »

On a déjà donné, en parlant du drainage, quelques renseignements sur ce sujet; ils seront complétés par ceux que l'on trouvera dans la section suivante, à l'article des réservoirs d'irrigation. En réunissant ces diverses données, on se formera une idée assez nette de ce sujet.

L'absorption de l'eau par les terres exerce, sur la question qui nous occupe, une influence bien plus grande que l'évaporation. On ne possède pas sur ce sujet de résultats positifs, et on ne peut dès lors se laisser guider que par des analogies plus ou moins éloignées. M. de Prony, dans son projet de desséchement des marais Pontins, estime que l'eau absorbée par le sol du bassin de ces marais est égale à un tiers de celle qui tombe, et que cette quantité d'eau s'élève à un demi dans le bassin des marais d'Arles. Cette proportion doit évidemment varier avec la hauteur d'eau tombée.

En comparant le débit total annuel de la Seine au volume d'eau qui tombe sur le bassin de cette rivière et de ses affluents, on arrive au rapport 2/7. De sorte que 5/7 de l'eau tombée sont enlevés par l'absorption ou l'évaporation.

Le débit moyen annuel du Rhône est de 54,236 millions de mètres cubes, ou de 1,718 mètres cubes par seconde. La surface totale du bassin principal et des affluents de ce fleuve est de 927 myriamètres carrés. Le débit moyen annuel est égal aux 0,58 environ de la quantité d'eau tombée sur cette surface.

M. Vallès a fixé, par une discussion très complète de la question, cette proportion à 4/7 pour le bassin du lac de Grandlieu (Loire-Inférieure), de sorte qu'en admettant que l'épaisseur de la couche d'eau tombée pendant un orage d'intensité moyenne soit, dans cette localité, de 0m,04 en 24 heures, il y aura une couche de 0m,023 d'épaisseur absorbée, et une autre couche de 0m,017 seulement coulera sur le sol. Ces rapports dépendent évidemment de la nature du sol et de sa pente. Nous ne saurions assez répéter que les chiffres que nous citons n'ont rien d'absolu, mais semblent être compris, comme première approximation, dans une partie de la France, entre 4/7 et 5/7.

Ces renseignements sont d'ailleurs complétés par les données fournies ci-dessus (1re section) et par celles de la section suivante.

Du débit des sources et des cours d'eau par année, soit à leur étiage, soit pendant les plus grandes crues, et de la détermination du volume d'eau que peuvent fournir pour un jour d'orage les lits habituellement à sec. Le jaugeage des sources et des cours d'eau permanents s'effectue sans difficulté par les méthodes ordinaires de l'hydraulique (voyez ce mot), c'est-à-dire en formant un déversoir pour les très petits cours d'eau, et en employant, pour ceux d'une plus grande importance, soit le moulinet de Woltman, soit la méthode des flotteurs.

Mais la détermination du volume d'eau que peuvent fournir, après un jour d'orage, les lits des torrents ordinairement desséchés, ou les crues des cours d'eau permanents, présente plus de difficulté; voici la marche suivie pour arriver approximativement à cette détermination.

Désignons par a la surface du bassin, par h l'épaisseur de la tranche d'eau qui peut tomber en un jour d'orage sur la surface de ce bassin, et par $\frac{1}{n}$ le coefficient d'absorption, ou le rapport de l'eau perdue par infiltration à l'eau tombée. Soit enfin t, le temps en secondes employé par l'eau qui coule à la surface, pour s'accumuler en masses capables de produire des effets nuisibles. Il est évident que $\frac{n-1}{n} ah$ sera le volume d'eau coulant par jour, et $\frac{n-1}{nt} ah$ celui qui devra s'écouler par seconde par l'émissaire dont la section, pour satisfaire à cette condition, sera dès lors facile à calculer. Il paraîtrait naturel de prendre pour h la valeur de la plus forte pluie observée. Mais ce *maximum* est presque toujours énorme par rapport à la moyenne des *maxima* des pluies d'orage, et conduirait à donner aux canaux des dimensions très considérables et très coûteuses qui n'auraient d'utilité que pour un jour exceptionnel dans le courant d'un grand nombre d'années. Aussi les auteurs se sont-ils généralement accordés à s'arrêter pour h à la moyenne des *maxima*.

Ainsi dans les marais Pontins, quoique dans les observations faites à Rome une pluie d'orage tombée le 6 avril 1797 ait donné une hauteur d'eau de 0m.426, M. de Prony, dans son projet de desséchement, adopte-t-il pour h la hauteur de 0m,06.

Pour les marais d'Arles, bien qu'il soit tombé à Marseille, le 15 septembre 1772, en quatorze heures, une hauteur d'eau de 0m,325, et à Arles, le 4 octobre 1806, pendant douze heures, un prisme de 0m,193 d'épaisseur, le même auteur admet pour h une hauteur de 0m,09.

Enfin M. Vallès, dans son projet de desséchement du lac de Grandlieu, dans la Loire-Inférieure, fait $h = 0^m,04$, quoiqu'un orage de quatre heures ait donné

à Nantes un prisme d'eau de 0m,217, et à Vatou un prisme de 0m,338.

La quantité t varie avec la conformation des lieux, leurs pentes plus ou moins abruptes, leur surface plus ou moins lisse, etc. Elle a été évaluée à 212,000 secondes pour les marais Pontins, à 691,200 secondes pour les marais d'Arles, et à 680,400 pour le lac de Grandlieu.

Enfin, la quantité $\frac{1}{n}$ dépend de la nature plus ou moins absorbante du sol. Et même, pour un terrain donné, elle doit varier avec l'état de siccité, de culture, de température où ce terrain se trouve chaque jour d'orage; cependant, pour s'arrêter à un chiffre, dans les exemples cités plus haut, on a admis pour $\frac{1}{n}$ les valeurs $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{7}$.

Il semble assez naturel d'admettre que dans deux bassins dont les pentes seraient sensiblement les mêmes, les nombres de secondes nécessaires à l'accumulation des eaux seront en raison inverse des hauteurs d'eau s'écoulant à la surface, et proportionnels à la longueur du principal cours d'eau du bassin. De sorte qu'en désignant par t', a', h', n' des quantités analogues à t, a, h, n, et par l et l' les longueurs des cours d'eau principaux des bassins considérés, on aurait :

$$\frac{t}{t'} = \frac{l}{l'} \frac{\frac{n'-1}{n'} a'h'}{\frac{n-1}{n} a h},$$

équation dont on pourrait tirer t' si toutes les autres quantités étaient déterminées. Si les pentes des bassins étaient sensiblement différentes, cette formule cesserait d'être applicable. Il faudrait la remplacer par une autre trop compliquée pour être indiquée ici.

Après avoir évalué, par les considérations précédentes, l'étendue du bassin, la hauteur d'eau qui tombe annuellement ou pendant un jour d'orage sur ce bassin, la proportion de cette eau qui est absorbée par le sol ou entraînée par l'évaporation, et enfin le volume des sources et des eaux pérennes ou autres qui y affluent, on a, comme on va le voir, tous les éléments nécessaires à la rédaction des projets de dessèchement, dont nous allons maintenant nous occuper.

II. Travaux de dessèchement.

Canaux de ceinture. Quand il s'agit d'un marais que l'on ne peut dessécher qu'au moyen de machines, il est évident qu'il est indispensable de commencer par détourner de la surface du marais toutes les eaux extérieures, qui sans cela continueraient à y affluer, et ne pourraient en être extraites que par des procédés coûteux : dans les autres cas, cette obligation peut paraître moins nécessaire, puisque l'écoulement de ces eaux peut avoir lieu par le même point que celui des eaux du bassin lui-même. Cependant, plusieurs raisons portent en général à déverser les affluents extérieurs dans des canaux de ceinture situés en dehors du périmètre des marais.

D'abord la cause première de la formation des marais est généralement la difficulté d'écoulement due au peu de pente que présente la surface; imposer aux émissaires qui doivent la purger l'obligation de recevoir le volume total des eaux, c'est nécessairement les exposer aux mêmes causes qui ont produit l'état de choses qu'il s'agit de détruire.

Ensuite les bassins extérieurs présentent toujours des pentes bien plus considérables que le marais lui-même; les affluents arrivés à celui-ci tendent donc à y perdre considérablement de leur vitesse, à y déposer les matériaux qu'ils charrient, et, par conséquent, à y créer des atterrissements qui détruiraient promptement le régime régulier qu'on tend à établir.

Pour empêcher les crues de ces affluents de déborder sur les terres rendues à la culture, il faudrait les contenir dans des digues souvent fort élevées, qui feraient obstacle à l'établissement régulier des canaux d'assèchement proprement dits, ou leur creuser des lits larges et profonds sujets à de fréquents curages, et dont la construction serait très coûteuse.

D'autre part, en rassemblant les eaux du dehors dans des canaux extérieurs, dont il est facile, par conséquent, de maintenir le niveau au-dessus de la surface du marais, on se donne le moyen de les utiliser pour l'irrigation des nouvelles cultures; ce qui est souvent nécessaire, soit pour dessaler les terrains conquis sur la mer, soit pour communiquer au sol une fertilité qu'il ne pourrait avoir sans le secours de ce puissant moyen de fécondation. L'irrigation, en un mot, est dans beaucoup de cas le complément nécessaire d'un desséchement, et l'on doit, dès l'origine, prendre les mesures convenables pour que ce double but soit simultanément atteint.

Quels que soient, en résumé, la nature du marais à dessécher, et les procédés ultérieurs à employer pour cette opération, il convient donc, à moins de circonstances toutes spéciales, d'arrêter, dans des canaux de ceinture, toutes les eaux extérieures affluant dans le marais. Le tracé de ces canaux de ceinture résulte de la disposition des lieux. On doit chercher à déterminer leurs directions de manière à utiliser les lits déjà existants, et, dans tous les cas, à réduire autant que possible la dépense, tout en assurant la bonne exécution des travaux. Le tracé de ces canaux détermine, en général, leurs pentes en long, qui doivent être aussi fortes que possible, pour éviter les atterrissements, sans dépasser cependant les limites nécessaires à la conservation des ouvrages et les niveaux imposés par les besoins de l'irrigation ou d'autres services. Les pentes et le tracé étant déterminés par les considérations précédentes, la section de ces émissaires est facile à fixer, puisqu'il suffit d'introduire dans la formule ordinaire du débit (voyez HYDRAULIQUE) les quantités d'eau qu'ils doivent débiter par seconde dans les circonstances les plus défavorables. Ce volume d'eau se décompose en deux autres: celui des sources et des cours d'eau permanents déterminé par expérience, et que nous désignerons par p, et celui des eaux d'orages roulant à la surface du sol, égale, comme on l'a vu précédemment, à $\frac{n-1}{n\,t} ah = q$. Si l'on pose, pour abréger $p+q=Q$, on aura pour déterminer la section du canal émissaire en un point où sa pente sera I par mètre, les relations

$$Q = \omega u$$

$$\frac{\omega}{\chi} I = A u + b u^2,$$

dans lesquelles :

u est la vitesse moyenne du liquide par seconde;
ω la section du canal;
χ le périmètre mouillé;
$a = 0{,}000024$;
$b = 0{,}000366$.

La quantité χ dépend de la forme de la section adoptée et peut se déterminer dans chaque cas particulier sans difficulté, de sorte que ces équations renferment tous les éléments nécessaires à la solution du problème.

La forme généralement adoptée pour la section d'un

canal est un trapèze dont les bases parallèles sont horizontales et dont les côtés ont une inclinaison qui dépend de la tenue des terres qui forment la berge. Cette inclinaison varie ordinairement entre 1 et 3 de base pour 1 de hauteur.

Quand il y a une différence très-notable entre le débit à l'étiage et le débit pendant les crues ou les pluies d'orage accidentelles, comme il y a intérêt à rassembler les eaux d'étiage dans un lit où elles puissent conserver une hauteur suffisante pour avoir un écoulement facile, on évase seulement à la partie supérieure le lit préparé pour l'étiage. De sorte que le profil de la section présente deux trapèzes superposés; l'excès de la base inférieur et du grand sur la base supérieure du petit, forme deux banquettes qui ne sont atteintes par les eaux qu'au moment des crues.

Dailleurs, comme on ne calcule les débouchés que pour les crues produites par les orages d'intensité moyenne, il peut arriver que les canaux soient insuffisants dans le cas d'orages extraordinaires; si l'inondation qui doit en résulter ne peut occasionner, d'après la disposition des lieux, que de faibles dommages, on ne tient pas compte de cette prévision. Dans le cas contraire, on peut établir à droite et à gauche, et à une certaine distance de l'axe du canal, des digues formant un nouveau lit majeur destiné à contenir ces débordements accidentels.

La nature et la forme des terrains à traverser doivent avoir une grande influence sur le choix de l'emplacement des canaux. Il faut éviter avec soin de les faire passer sur les parties tremblantes et présentant une grande profondeur de vase, qu'on rencontre fréquemment aux approches ou dans l'enceinte des marais sur des terrains spongieux ou compressibles, à travers des roches qui en rendraient l'ouverture extrêmement coûteuse, etc.; d'un autre côté, l'établissement des pentes convenables impose des conditions nouvelles qui doivent se coordonner avec les précédentes.

On connaît les cotes du point de départ et celles du point d'arrivée de chaque canal; on sait donc la hauteur de chute qu'on doit racheter par les pentes; celles que l'on adopte sont déterminées par la vitesse qu'on peut ou qu'on veut admettre. A l'époque des crues ou des orages, la plupart des affluents arrivent dans les canaux chargés de matières en suspension qu'ils laissent retomber en tout ou en partie, suivant que leur vitesse disparaît ou diminue; il est donc très important, pour éviter les atterrissements, que la vitesse des eaux, après leur arrivée dans les canaux, soit constante, ou même croissante jusqu'à leur sortie.

Il paraîtrait naturel, pour satisfaire à cette condition et à celle d'un débit plus rapide des eaux, de réunir les deux points extrêmes par la ligne la plus directe, lorsque la disposition des lieux s'y prête; mais il est d'autres considérations qui imposent à la vitesse qu'on doit admettre une limite supérieure.

Il faut éviter que la vitesse de l'eau, au fond des canaux, devienne assez grande pour dégrader leurs lits. On a dressé le tableau suivant des limites supérieures de la vitesse que l'eau peut prendre dans les canaux, selon la nature de leur fond, sans les dégrader.

Nature du fond.	Limites de la vitesse. au fond.	moyenne.
	m.	m.
Terres détrempées, brunes. . . .	0,076	0,104
Argiles tendres.	0,152	0,202
Sables.	0,305	0,406
Graviers.	0,609	0,810
Cailloux.	0,614	0,817
Pierres cassées, silex.	1,220	1,623
Cailloux agglom., schistes tendres.	1,520	2,021
Roches en couches.	1,830	2,434
Roches dures.	3,050	4,060

On peut donc dire que dans la plupart des cas la vitesse se trouve limitée entre 0m,80 et 1 mètre par seconde; du reste, dans cette limite le limon et le sable fin tenus en suspension ne se déposent pas, et on peut toujours s'arranger de manière que les matières plus grossières s'arrêtent avant l'entrée de l'eau dans les canaux.

Desséchement du marais proprement dit. Le canal de ceinture, en arrêtant, pour les conduire au dehors, toutes les eaux qui se dirigeaient dans le marais, réduit autant que possible la tâche du desséchcur, puisqu'il ne reste plus qu'à se débarrasser des eaux de pluie qui tombent directement sur le marais et des sources qui peuvent y déboucher. Les procédés, pour cette dernière partie de l'opération, dépendent de la position des lieux. Si la surface du marais est inférieure à celles de toutes les masses d'eau environnantes, il faut avoir recours aux machines d'épuisement; si au contraire elle est assez élevée pour que les eaux puissent couler au dehors, il suffit d'ouvrir des canaux convenablement disposés pour leur donner passage.

I. *Desséchements à l'aide de canaux d'écoulement.* Ce premier cas se divise lui-même en deux autres : celui où l'écoulement dans les canaux peut être permanent, et celui où il est intermittent, ce qui a lieu dans les marais dont les canaux débouchent dans l'Océan ou dans les fleuves à marées.

On examinera successivement dans ce qui va suivre ces deux classes de desséchements.

(a). Marais dont l'écoulement par les canaux émissaires peut être permanent.

Pour donner un écoulement aux eaux qui naissent ou tombent à la surface proprement dite du marais, on établit d'abord un canal central, dirigé, sauf la légère variation que peut rendre obligatoire l'état des lieux, suivant l'axe principal d'écoulement. On désigne ainsi le lieu des points où tendent à se rassembler les eaux pluviales tombant sur toute l'étendue du marais. Cet axe se détermine facilement au moyen des nivellements généraux du terrain.

On doit, comme on l'a déjà dit, éviter en général de faire arriver dans ce canal les eaux pérennes; cependant il convient de se ménager le moyen d'y introduire, en temps de sécheresse, un volume d'eau vive suffisant pour entraîner les eaux croupissantes et s'opposer aux atterrissements.

On amène les eaux dans le canal principal, tracé comme on vient de le dire, par des fossés auxiliaires placés entre eux, et par rapport au canal central, à des distances telles que l'eau tombant sur un point quelconque du marais ait toujours un récipient inférieur où elle puisse arriver avant que son mouvement soit éteint par les obstacles qu'elle rencontre sur cette surface. Le tracé de ces fossés ne comporte d'autre loi générale que l'obligation de présenter une pente suivie depuis leur origine jusqu'à leur embouchure dans le canal central. Leur direction doit être inclinée sur celle du canal central de telle sorte que les lignes de plus grande pente des surfaces qui aboutissent au thalweg général soient coupées par plusieurs fossés à la fois.

Enfin d'autres rigoles intermédiaires et d'une dimension moins considérable s'embranchent sur ces fossés et complètent l'ensemble des moyens d'assèchement de la surface.

Les dimensions du canal central qu'il est important de déterminer, *à priori*, dans les différents points de son parcours, se déduisent de la double condition de fournir un écoulement suffisant pour les pluies d'orage maxima, sans amener de débordement, et de ne laisser aux eaux ordinaires qu'un lit assez retréci pour qu'elles

y conservent toujours une vitesse qui ne permette pas les envasements et la stagnation.

On détermine, comme pour les canaux de ceinture, les quantités d'eau à écouler dans un temps donné, la pente dont on peut disposer et la vitesse qu'on doit admettre; la section peut donc se déterminer par des formules analogues à celles que nous avons déjà données.

La section du canal principal d'écoulement doit presque toujours présenter, comme celle des canaux de ceinture, un lit mineur pour les basses eaux, un lit majeur pour les grandes eaux, et une double ligne de digues dans les points où les grandes eaux extraordinaires pourraient produire des inconvénients sérieux.

Dans tous les cas il est indispensable d'établir, le long des canaux, des fossés de ceinture destinés à recevoir les eaux affluentes des terrains voisins, à les laisser déposer et à les amener, après leur éclaircissement, dans le canal principal, par des ouvertures ménagées à cet effet.

Si le tracé le plus convenable a une longueur moindre que le développement nécessité par l'établissement des pentes, on rachète la perte de hauteur due à ce raccourcissement du parcours par une ou plusieurs chutes qu'on dispose à son gré, en ayant soin seulement de ne pas les faire trop considérables et trop rapprochées, pour éviter, d'une part, les dégradations qui accompagnent la chute d'une masse considérable d'eau, et, d'autre part, la destruction des pentes qui tendrait à se produire par les dénivellations qui accompagnent les crues dans les biefs trop courts.

Les desséchements exécutés dans les circonstances dont il s'agit maintenant exigent surtout des travaux de terrassement, mais ne nécessitent aucun ouvrage d'art d'une nature particulière ou offrant des difficultés exceptionnelles. Quand les canaux sont navigables ils doivent présenter des écluses avec pertuis accolés; quand, au contraire, ils ne doivent servir qu'au desséchement, des pertuis ou chutes, pour racheter les pentes trop fortes, sont les seuls travaux spéciaux qu'ils nécessitent. Les ponts et ponceaux établis sur les canaux et rigoles pour assurer les communications, ne diffèrent en rien des travaux du même genre exécutés dans d'autres circonstances.

Beaucoup de marais appartenant à la catégorie qui nous occupe maintenant sont produits par les barrages des usines hydrauliques établies sur les cours d'eau. Quand on ne peut pas faire abaisser le niveau du bief qui produit l'inondation plus ou moins permanente des terrains riverains, on ne peut se débarrasser des eaux que par une véritable opération de desséchement. Les travaux sont quelquefois trop coûteux pour qu'il soit possible de les exécuter avec avantage; mais dans certaines circonstances, quand la nature du sol et la disposition des lieux le permettent, on peut, par des travaux très simples, se débarrasser des eaux nuisibles. Il suffit d'ouvrir parallèllement et à une certaine distance du bief un fossé dont les terres servent à former une digue de défense, et à faire communiquer ce fossé par un aqueduc syphon établi dans la chaussée du moulin, ou autrement, avec le bief d'aval de l'usine. Quand les terres sont peu perméables, le travail que nous venons d'indiquer réussit très bien et permet souvent d'assainir, avec une faible dépense, une grande étendue de terrain.

Parmi les nombreux marais desséchés que nous pourrions citer en France, nous nous bornerons à dire quelques mots du marais des Baux, dont les travaux ont été récemment terminés conformément aux projets dressés par M. Poulle.

Le marais des Baux est situé dans le département

des Bouches-du-Rhône. Sa surface avant le desséchement se composait de :

	hect.
Prés palustres.	190,00
Marais fauchés.	360,00
Marais bourbeux.	961,80
Etangs.	312,98
	1824,78

La surface du bassin, dont il fallait écouler les eaux, était de 24,466 hectares y compris celle du marais lui-même. La disposition des lieux n'a point permis d'établir de canal de ceinture. Le canal principal reçoit, par conséquent, toutes les eaux qui arrivent au marais. Il communique avec les étangs et débouche dans le deuxième bief du canal d'Arles à Bouc; il a 7 mètres de largeur au plafond, et peut débiter 17 à 18 mètres cubes d'eau par seconde. Des rigoles secondaires et des fossés d'assainissement complètent le desséchement. On a calculé qu'il pourrait arriver dans le marais jusqu'à 50 mètres cubes d'eau par seconde, en temps d'orage. Ces eaux extraordinaires s'accumulent dans deux grands étangs qui ne seront pas desséchés et dont la capacité est de plus de 4 millions de mètres cubes, et s'écouleront ensuite peu à peu par le canal principal.

La dépense totale du desséchement, y compris les frais de conduite des travaux, et les intérêts des sommes avancées pendant l'opération, s'est élevée à 4,208,772 fr. La plus-value, fixée à 1,000 fr. par hectare pour les prés palustres, à 1,100 fr. pour les marais fauchés et à 1,150 pour les marais bourbeux, s'élève à la somme de 1,559,700 fr.

(b). Marais dont l'écoulement ne peut être permanent. Quand la surface d'un marais à dessécher n'est point sensiblement supérieure au niveau des hautes marées au point où débouche son canal de desséchement, l'écoulement des eaux ne peut plus être permanent, et l'opération se complique de considérations différentes des précédentes et que nous allons maintenant indiquer.

La surface d'un marais à dessécher, quand son niveau est inférieur à celui des hautes marées et supérieur à celui des basses, doit être, avant tout, entourée d'une digue qui la préserve de l'invasion périodique des eaux. Ces digues ne diffèrent pas de celles qui seront décrites dans les paragraphes suivants; il est inutile de s'y arrêter maintenant. Mais les canaux d'écoulement présentent des particularités qu'il est nécessaire d'indiquer, ainsi que le mode de détermination de leur capacité et de leur section.

Les canaux de desséchement dont le niveau est compris entre celui des hautes et des basses marées, au point où ils débouchent, traversent naturellement les digues d'enceinte du marais et se terminent par des ouvrages plus ou moins importants garnis de portes s'ouvrant de dedans en dehors, pour permettre aux eaux du marais de s'écouler pendant la basse mer et pour empêcher la rentrée des eaux extérieures. La construction de ces ouvrages varie suivant l'importance de l'émissaire, depuis les portes d'écluses de la plus grande dimension jusqu'aux vannes ou clapets de quelques décimètres de section. Les clapets que l'on emploie ordinairement sont de simples panneaux en bois garnis de ferrures et pouvant tourner autour d'une charnière située à leur partie supérieure. Ces clapets ferment ordinairement l'ouverture d'aval d'un aqueduc pratiqué dans la digue. Ils cèdent à la pression des eaux intérieures aussitôt que leur niveau dépasse celui des eaux extérieures, et s'appliquent au contraire sous la pression de ces dernières contre les châssis qui les supportent aussitôt que la mer revient à une hauteur

AGRICULTURE.

suffisante. Ces clapets fonctionnent ainsi d'eux-mêmes, mais ils sont sujets à se déranger, et ne se ferment quelquefois pas en temps utile, par suite de l'interposition de corps étrangers. On leur préfère donc, pour les travaux d'une importance moyenne, des vannes à treuil ou à crémaillères, semblables à celles qui seront décrites plus loin (3e section)), et que manœuvrent aux heures convenables des agents responsables et spécialement chargés de ce service. Quant aux portes de flot, elles ne diffèrent pas de celles des canaux ordinaires, et leur installation ne peut être confiée qu'à des constructeurs expérimentés.

Les canaux terminés comme nous venons de l'indiquer, ne peuvent verser leurs eaux que pendant le temps où leur niveau est supérieur à celui des eaux extérieures. La première recherche à faire, dans ce cas, consiste à dresser des tables, ou plutôt à tracer des courbes, indiquant d'une manière précise les différentes hauteurs des eaux extérieures pour chaque instant d'une marée déterminée. Ces tables ou courbes, résultats d'expériences répétées et de calculs assez délicats, indiquent le temps que les portes, vannes ou clapets peuvent rester ouverts chaque jour, et les différences successives de niveau qui existeront entre le plan d'eau du canal de desséchement et celui des eaux extérieures. On possède alors les éléments nécessaires à la détermination, à peu près exacte, du volume d'eau qui pourra s'écouler du canal de desséchement pendant chaque marée, par une ouverture déterminée. Ce volume d'eau doit être égal à celui qui s'est accumulé dans le marais pendant le temps réuni de l'ouverture et de la fermeture des orifices, que l'on peut alors calculer en conséquence.

Le débouché des canaux émissaires du desséchement n'est point la seule considération à faire entrer en ligne de compte dans leur établissement. Non-seulement il faut qu'ils puissent débiter pendant le temps de l'ouverture des portes le volume total d'eau à écouler, mais il faut encore que la capacité des derniers biefs soit telle que l'eau qui s'y réunit pendant le temps de la fermeture des portes puisse y être entièrement contenue et ne déborde pas sur les terrains voisins. On est souvent obligé de construire, près de l'extrémité du canal, un réservoir spécial, pour remplir cette dernière condition; les eaux se réunissent dans ce bassin et en sortent pendant l'ouverture des portes. Ces bassins de réserve permettent, jusqu'à un certain point, de réduire les orifices, parce qu'ils donnent le moyen d'évacuer, au besoin, en plusieurs marées les eaux dont il aurait sans eux fallu se débarrasser en une seule. La capacité de ces bassins régulateurs, si l'on peut s'exprimer ainsi, se détermine toujours assez facilement, dans chaque cas particulier, en tenant compte du volume d'eau qu'ils peuvent accidentellement recevoir.

Les marais dont la surface est comprise entre le niveau des hautes et basses mers sont en France les plus nombreux et les plus importants. Ils s'étendent sur une grande partie du littoral de la Manche et de l'Océan, et occupent quelquefois d'immenses surfaces. Les départements maritimes du sud-ouest ne contiennent pas, à eux seuls, moins de 200,000 hectares de marais de cette espèce. Le département de la Manche, aux environs de Carentan, renferme aussi de vastes pâturages appartenant à cette catégorie de terrains, et justement célèbres par leur valeur absolue et la qualité de leurs produits.

II. *Desséchements à l'aide de machines.* Lorsque la surface des marais est inférieure au niveau de toutes les eaux environnantes, on ne peut parvenir à les dessécher qu'en élevant les eaux, à l'aide de machines, à un niveau supérieur à celui des mers, lacs ou rivières qui peuvent les recevoir. Les perfectionnements continuels des roues et machines à élever l'eau et l'accroissement progressif de la valeur des terres, donnent à ce genre d'opérations un intérêt de plus en plus grand, qui nous oblige à l'étudier avec soin. Un seul ingénieur anglais, M. Glyn, a établi en quelques années dix-sept machines, représentant ensemble une force de 870 chevaux, et destinées au desséchement de plus de 50,000 hectares de marais.

Dans les desséchements par machines, l'établissement des canaux de ceinture est, comme on l'a déjà dit, plus indispensable que dans toutes les autres espèces de travaux de ce genre. Ces canaux s'établissent du reste en suivant les règles précédemment exposées, et sur lesquelles il est inutile de revenir en ce moment.

Le volume total des eaux à évacuer chaque année (abstraction faite des sources qui, du reste, sont très rares dans les marais de ce genre) est égal au produit de la surface du marais multipliée par l'épaisseur annuelle de la couche d'eau de pluie diminuée de l'eau qui s'infiltre dans le sol et de celle qui est enlevée par l'évaporation. La détermination de ces deux dernières quantités est toujours assez incertaine et ne peut se faire que par analogie ; mais comme il vaut toujours mieux se tenir au-dessus qu'au-dessous de la vérité, il convient d'estimer aussi bas que possible ces deux chiffres et de porter ainsi un peu trop haut le volume d'eau à enlever En désignant ce volume, exprimé en mètres cubes, par V, par h la hauteur moyenne à laquelle il faut élever l'eau, la force, en nombre de chevaux nécessaire, au moteur, supposé constamment agissant, serait : $\alpha \frac{1000\,V.h}{75\times 31536000} = \frac{\alpha V h}{2365200}$. En appelant en outre α le rapport du travail moteur au travail utile pour la machine élévatoire que l'on se propose d'employer. Les moteurs n'agissant que périodiquement, il convient d'ailleurs, comme on l'a déjà dit, d'être toujours au-dessus de la vérité dans tous les calculs de cette nature; de sorte que l'on adopte généralement un nombre double ou triple de celui que fournit la formule que l'on vient d'indiquer. Il est bien entendu d'ailleurs que la capacité des canaux, ou des réservoirs y annexés, est suffisante pour recevoir les eaux d'un grand orage et les conserver jusqu'à ce que la machine, par son travail régulier, ait pu les enlever.

La disposition des canaux de desséchement est du reste très simple; les eaux, réunies par des canaux, fossés ou rigoles plus ou moins rapprochés, sont amenées dans un vaste bassin où la machine élévatoire les prend et les élève à la hauteur convenable. La capacité de ces réservoirs, ajoutée à celle des canaux, doit être assez grande pour recueillir toutes les eaux tombées pendant une série de jours pluvieux, en sus de ce que peut enlever à chaque instant la machine d'épuisement, afin que les eaux sortant des canaux n'inondent pas les parties basses des marais. La pente des canaux dans les desséchements de cette espèce peut être plus faible encore que dans tous les autres; leur section se calcule d'ailleurs d'après le volume d'eau qu'ils doivent écouler.

Lorsqu'il existe entre les différents points du marais des différences notables de niveau, on partage la surface en plusieurs zones dont on recueille les eaux dans des bassins situés à des hauteurs inégales, afin de réduire autant que possible, comme on le verra dans les exemples suivants, la hauteur à laquelle il faut élever l'eau.

Les moteurs ordinairement employés pour les desséchements de marais sont les moulins à vent et les machines à vapeur (voyez ces mots). Les machines élévatoires sont des roues à palettes emboîtées dans des coursiers, des vis d'Archimède, et quelquefois diverses espèces de pompes (voyez HYDRAULIQUE, VIS, etc.).

En Hollande, on estime qu'un moulin à vent, avec quatre ailes de 12 à 14 mètres de longueur et de 2 mètres

AGRICULTURE.

de largeur, peut élever 60 mètres cubes d'eau à 1 mètre en une minute. Ils peuvent travailler soixante jours par an environ; mais dans les calculs on compte seulement que chaque moulin élève par an 3 millions de mètres cubes d'eau à 1 mètre.

Quelques exemples éclaireront mieux, du reste, la question des desséchements par épuisement que ne pourraient le faire de plus longues explications.

Moères françaises. Les moères formaient autrefois, aux environs de Dunkerque, un immense lac de plus de 3,000 hectares. Il fut en partie desséché au commencement du dix-septième siècle; mais bientôt après, en 1646, le gouverneur de la ville de Dunkerque, qui était assiégée, fit ouvrir les écluses comme moyen de défense de la place, et tous les travaux, envahis par les eaux, furent en partie détruits. Vers 1780, on entreprit de nouveau de dessécher les moères; la révolution interrompit le travail, qui fut repris en 1802 et terminé bientôt après.

La moère française, dont la surface est de 1,700 à 1,800 hectares, est maintenant entourée d'un canal de ceinture; des canaux de desséchement, tracés perpendiculairement les uns aux autres, sillonnent le marais et conduisent les eaux vers différents points de la circonférence où sont établis deux moulins à vent à roues à palettes échelonnées, et six moulins à vis plus ou moins éloignés les uns des autres.

Les canaux secondaires de desséchement ont environ 1 mètre de largeur moyenne. La section des canaux principaux augmente en approchant des moulins. Leur largeur moyenne est de 5 à,7 mètres. Les vis et les roues à palettes jettent les eaux dans le canal de ceinture, qui débouche lui-même dans un autre canal allant à la mer.

Les moulins à vent ont quatre ailes de 13 mètres de longueur chacune et de 2 mètres de largeur, dont 1m,50 en toile et 0m,50 en planches. Les vis sont à trois filets; elles ont 8 mètres de longueur, 2 mètres de diamètre extérieur; le noyau a 0m,50 de diamètre. La hauteur à laquelle elles élèvent l'eau varie de 1m,70 à 2 mètres, suivant les saisons. Les roues à palettes, quoique d'un grand diamètre, ne peuvent pas élever l'eau à beaucoup plus de 1 mètre, de sorte qu'il faut deux moulins avec roue à palettes pour élever l'eau à la hauteur nécessaire.

Desséchements hollandais. Une grande partie de la Hollande est, comme on sait, au-dessous du niveau de la mer. Ce n'est qu'à force d'art que ces riches contrées ont été conquises sur les eaux, et qu'on peut les défendre contre ce terrible ennemi. C'est dans ce pays qu'il faut étudier les desséchements, nulle part on ne les fait plus simplement et sur une plus grande échelle. D'excellents ouvrages, écrits par les ingénieurs les plus expérimentés, ont rendu classique dans ce pays ce genre de travaux.

Il existait en Hollande, en 1814, pour le service des desséchements, 2,445 moulins à vent de grande dimension, dont 61 à vis et les autres avec roues à palettes. Ces chiffres indiquent assez les immenses services que rendent ces machines.

De toutes les opérations modernes de desséchement, la plus gigantesque est celle du lac de Harlem, qui est terminée depuis 1852.

Le lac de Harlem occupait, au commencement du seizième siècle, moins de 4,000 hectares de superficie. Depuis lors il n'a cessé de s'agrandir avec une effrayante rapidité: en 1641, il occupait déjà une étendue de près de 14,000 hectares, lorsque Jan Adriaanszen Leegwater dressa un projet complet de desséchement auquel il ne fut pas donné suite.

Les envahissements successifs du lac continuaient leurs ravages, lorsque, enfin, par une loi votée le 2 avril 1838, le gouvernement hollandais, après bien des tentatives infructueuses et des projets restés sans résultat, se décida à supprimer de l'intérieur du pays cette plaie dévorante. Les ouvrages furent commencés en 1840 et le sol du lac est aujourd'hui complétement cultivé.

La fig. 68 représente la forme générale du lac de Harlem et de son canal de ceinture destiné à recevoir et à conduire à la mer les eaux que les machines enlèvent du lac, et une partie de celles qui y affluaient autrefois. Ce canal de ceinture forme une voie de grande navigation, dont la fig. 69 indique le profil. Il a 29 mètres au plafond, 45 mètres au niveau du plan horizontal passant par le o de l'échelle d'Amsterdam (plan que nous désignerons, pour abréger, conformément à l'usage hollandais, par A. P.), et 3 mètres de profondeur. Le plafond est, à peu près, à la cote, 3m,90—A. P. La crête de la digue entre le canal et le lac est arrasée à peu près à une hauteur de 2m,20 + A. P.

La profondeur du lac de Harlem varie de 3 à 4 mètres au-dessous de A. P. La cote inférieure des eaux dans les canaux de desséchement, pendant l'été, sera comprise entre 4m,90 et 5m,00 — A. P.

La masse d'eau contenue dans le lac, au commencement du desséchement, était de 700 millions de mètres cubes environ. La plus grande différence entre l'épaisseur de la couche tombée et l'eau évaporée a été en un mois, sur une période de quatre-vingt-dix-huit ans, de 0m,1657; on a ajouté à cette couche d'eau, pour tenir compte des infiltrations possibles à travers les digues, une épaisseur de 0m,0343, de sorte que les machines d'épuisement ont été établies de manière à pouvoir enlever après le desséchement, par mois, un volume d'eau égale à la surface du lac multipliée par 0m,20, c'est-à-dire 181000000 m. c., × 0m,20 = 36200000 mètres cubes d'eau. Le volume total à enlever chaque année, déduction faite de l'évaporation, est estimé à 54845000 mètres cubes.

On a reconnu qu'en raison de l'irrégularité et du peu de durée de leur action, les moulins à vent devaient être remplacés, dans cette grande opération, par des machines à vapeur. Ces machines sont au nombre de trois, comme l'indique le plan (fig. 68), nommées Leegwater, Cruquius et Van Lepeden. La première fait mouvoir 14 pompes, les deux autres chacune 8 d'un plus grand diamètre.

La machine de Leegwater, peu différente des deux autres, a deux cylindres concentriques assis sur la même plaque inférieure et communiquant entre eux par la partie supérieure du plus petit, qui a 0m,037 de hauteur de moins que le plus grand. Le cylindre extérieur a 3m,66 de diamètre, et le cylindre intérieur 2m,140. La course du piston est de 3m,047. Le petit cylindre est alésé intérieurement et extérieurement, pour recevoir un piston intérieur et le piston annulaire qui frotte sur lui et sur le grand cylindre. Le piston du petit cylindre porte une tige de 0m,304 de diamètre, et le piston annulaire quatre tiges traversant, comme la première, le couvercle des cylindres à travers des boîtes à graisse. Ces cinq tiges de piston sont fixées à leur partie supérieure dans une immense masse de fonte. Ce bloc de fonte appuie, par sa face inférieure et par l'intermédiaire de galets en fonte, sur l'extrémité des balanciers qui font mouvoir les pompes.

La machine a cinq chaudières de 9m,14 de longueur chacune, et de 1m,83 de diamètre. Un tube cylindrique de 1m,21 de diamètre traverse cette chaudière dans toute sa longueur. La flamme et les produits de la combustion reviennent sous la chaudière, passent dans sa partie antérieure et vont gagner la cheminée par deux carneaux latéraux. Une chambre à vapeur de 12m,80 de longueur et de 1m,84 de diamètre est placée au-dessus des bouilleurs, perpendiculairement à leur

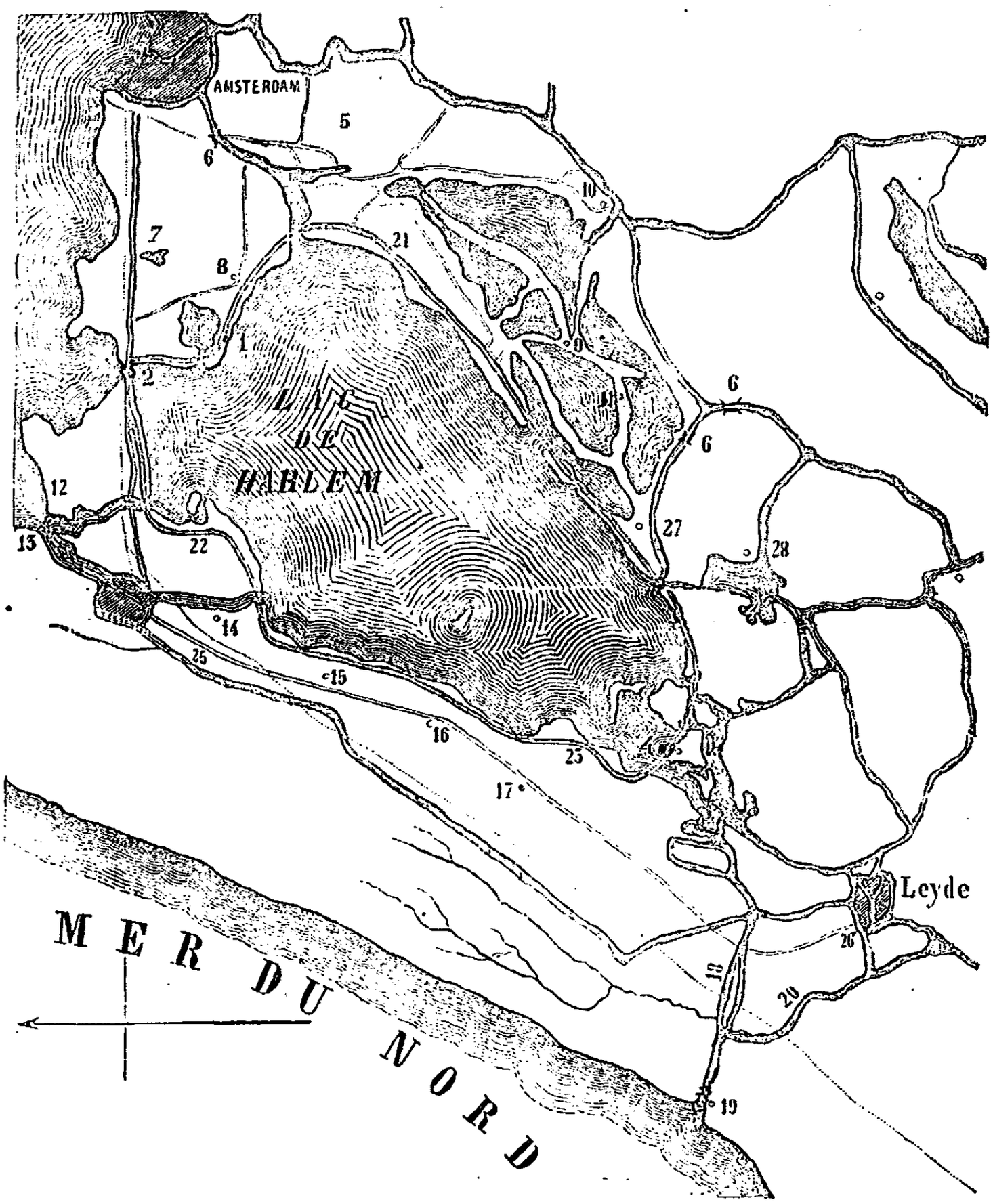


Fig. 68. Dessèchement du lac de Harlem (échelle de 0,000,004)

1, 3, 4 Machines à vapeur.
2 Écluse de Mullwegen.
5, 21 Polders.
6, 6, 6 Écluses.
7 Tool meertje.
8 Staten.
9 Rudelstaart.
10 Vithovorn.
11 Kolslage.
12, 13 Écluse de Spaandam.
14 Heamstede.
15 Bennebroek.
16 Dillegom.
17 Lisse.
18 Canal de dérivation, nouveau.
19 Écluse de Katwyck.
20 Vieux Rhin.
22, 23 Canal de ceinture.
24 Alphen.
25, 26 Route de Leyde à Harlem.
27 Leymuiden.
28 Rhynsonterwonde.

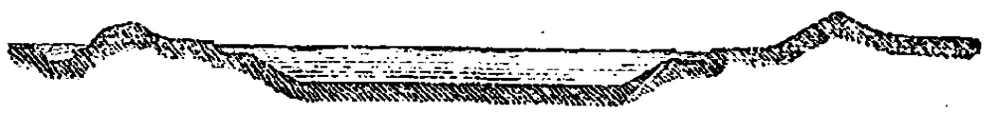


Fig. 69. (0.001).

direction, et peut communiquer avec chacun d'eux. Le tuyau de prise de vapeur a 0m,609 de diamètre. Le volume total occupé par la vapeur, dans les bouilleurs, dans la chambre et dans les conduits, est de plus de 37 mètres cubes ; de sorte qu'on empêche ainsi complétement la machine de primer. La consomma-

AGRICULTURE.

tion de combustible n'est que de 1k,20 par heure et par cheval, quand on marche avec une force de 350 chevaux.

Chaque cylindre occupe le centre d'une tour M, dont la fig. 70 indique le plan. Les balanciers des pompes P oscillent sur des palliers fixés dans des embrasures ménagées dans les murs de la tour. Leurs extrémités opposées à la machine portent des tiges de fer terminées par des chaînes qui soulèvent les pistons des pompes disposées circulairement dans le canal qui enveloppe la tour.

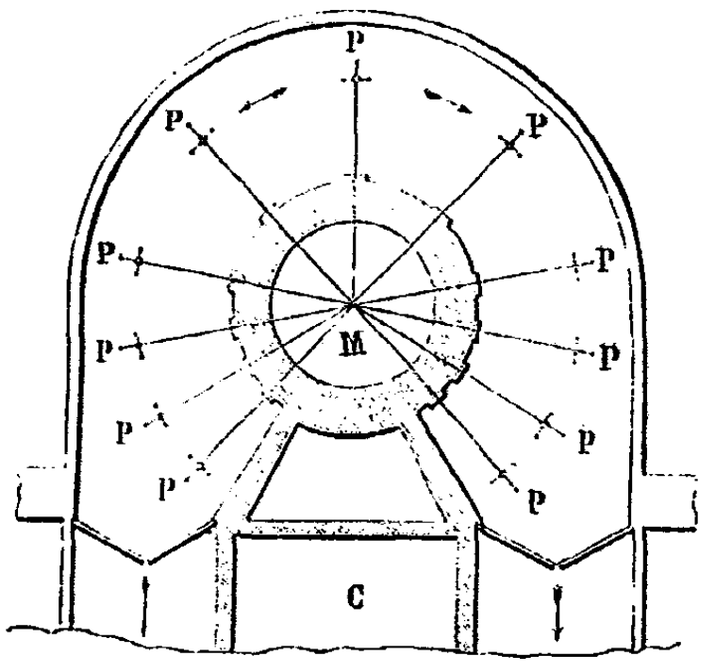


Fig. 70.

P P P Pompes.
M Tour occupée par la machine.
C Bâtiment des chaudières.

La machine y compris les bâtiments et tous les accessoires a coûté 900,000 fr., dont 375,000 pour les bâtiments seulement.

Les pompes de la machine Leegwater ont 4m,60 de diamètre, celles des deux autres machines ont 4m,85. La course de leurs pistons est égale à celle du piston de la machine à vapeur. Les pistons de ces pompes ont une construction fort remarquable (fig. 71 et 72). Ils se

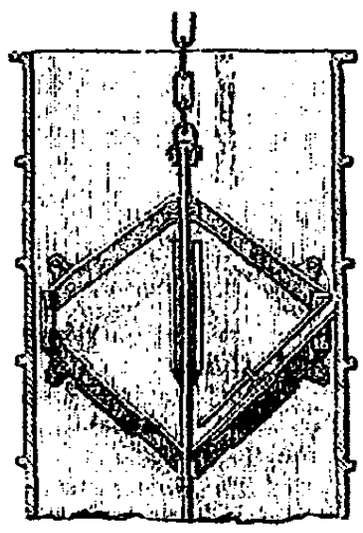


Fig. 71.

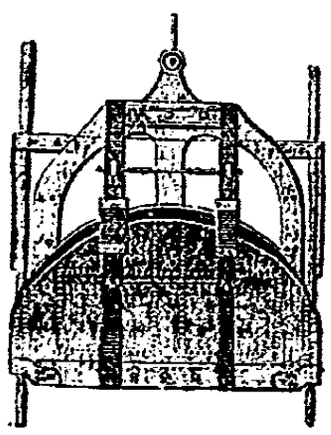


Fig. 72.

composent simplement de deux grandes valves en tôle et en cuir remplissant le corps de pompe pendant la montée du piston, et s'appliquant l'une sur l'autre à la descente.

Dans les pompes de 4m,85, le piston est guidé par deux tiges verticales qui n'existent pas dans celles de 4m,60. Ce genre de piston, très convenable dans des appareils de grand diamètre, ne serait évidemment pas applicable à des petits corps de pompes, où des frites même peu importantes en elles-mêmes, produiraient une forte perte de travail. Les soupapes du fond des pompes sont construites d'une manière analogue aux pistons eux-mêmes.

Le desséchement du lac de Harlem a coûté 23 millions de francs. La valeur actuelle des terres qu'il renferme excède en ce moment 100 millions. Là où les flottes espagnoles et néerlandaises se livraient un combat naval en 1573, on compte aujourd'hui deux communes, quatre églises, huit à dix mille habitants.

Nous donnerons encore un exemple assez remarquable de desséchement, d'autant plus intéressant qu'il se rapproche par son étendue de beaucoup de travaux analogues que l'on pourrait entreprendre en France. C'est celui de Nootdorp, près de La Haye, que vient de terminer M. l'ingénieur Greeve, auteur d'un excellent mémoire sur les desséchements. La fig. 73 in-

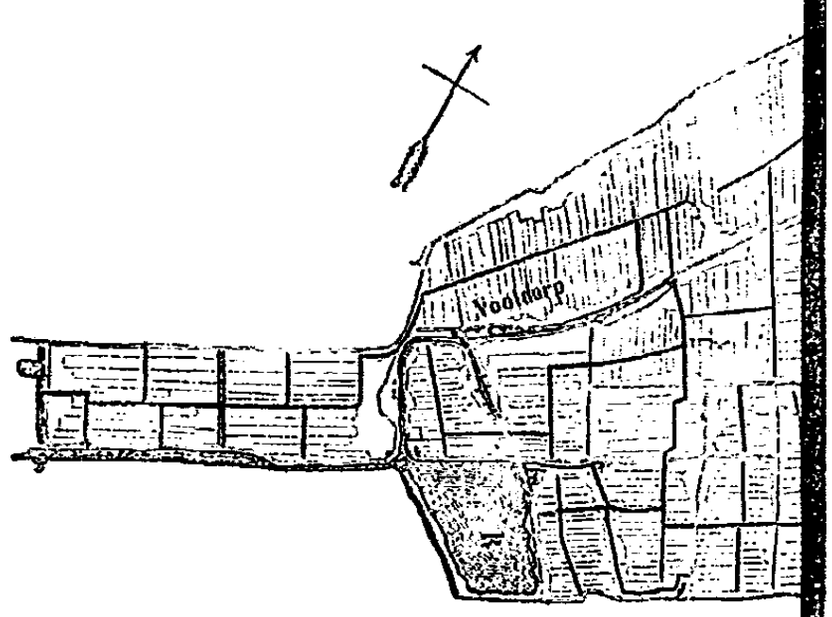


Fig. 73.

dique le plan et le parcellement de ce polder d'une étendue de 1,000 hectares environ.

Le desséchement a été opéré et entretenu par une machine à vapeur et trois moulins à vent.

La machine à vapeur met en mouvement, simultanément ou successivement, deux vis.

La plus basse élève l'eau du niveau de l'étiage des canaux de desséchement au niveau du bassin régulateur R, situé trois mètres plus haut.

Les moulins à vent, ou la deuxième vis de la machine, reprennent l'eau de ce bassin et l'élèvent encore à une hauteur de deux mètres, pour la jeter dans les canaux qui doivent la conduire à la mer.

Si le desséchement du lac de Harlem est la plus gigantesque entreprise de desséchement connue, celui du Zuid-Plas, terminé il y a peu d'années, était une des plus difficiles à entreprendre, à cause de la grande profondeur des eaux qu'on a été obligé d'élever à plus de six mètres.

La fig. 74 représente le plan de ce lac avec l'indication du *parcellement*, c'est-à-dire le tracé des petits fossés qui séparent les champs de terre, reçoivent les eaux et les conduisent aux canaux principaux qui se rendent aux machines. Le Zuid-Plas, comme tous les marais desséchés de Hollande, est entouré d'un canal de ceinture et d'une digue dont les fig. 75 et 76 donnent le profil transversal et indiquent le mode de construction.

Le creusement des fossés d'écoulement est la partie

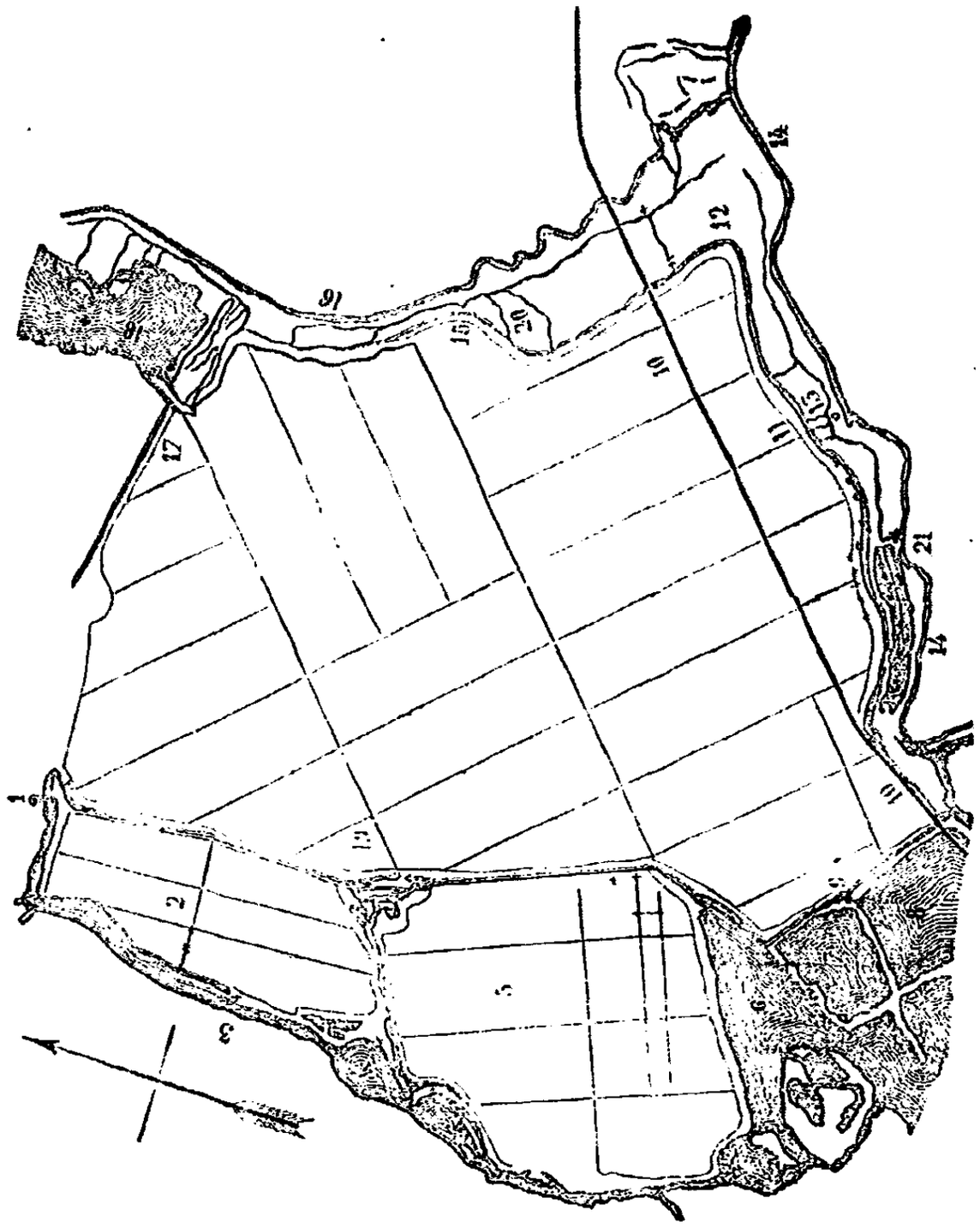


Fig. 74. Zuid-Plas desséché (échelle de 0,00001).

1 Moerkapel.	6 Volle Toppen plas.	12 Brockhurm.	18 Voorafsche, Plass et polder.
2 Tweemans polder.	7-8 Esse plas.	13 Moordrecht.	19 Zevenhuizen.
3 Rivière de Zotte.	9 Nieuwerkerk.	14 Issel, *rivière.*	20 Le Voggie.
4 Laes de Bleiswyeck.	10 Chemin de fer.	16 Gouwe rivière.	xx Moulins.
5 Eendragts polder.	11-15 Canal d'enceinte.	17 Vladinxveen.	

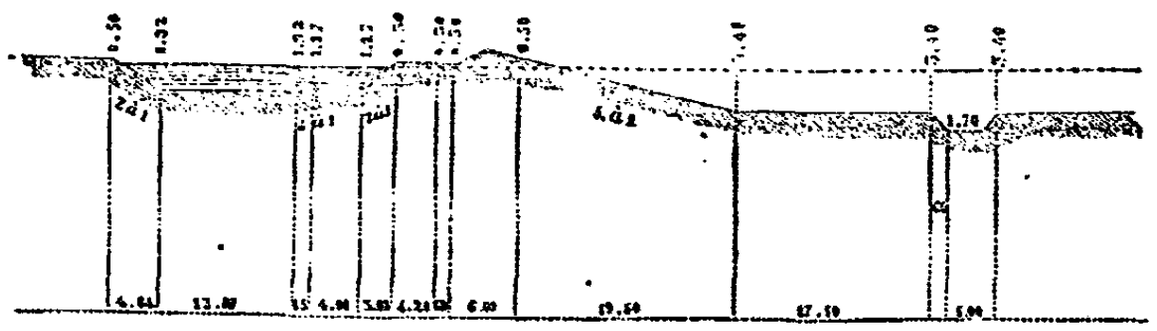


Fig. 75. Profil et canal de ceinture du Zuid-Plas (échelle de 0,001).

Fig. 76. Profil de la digue de défense du Zuid-Plass (échelle de 0,001).

la plus délicate et la plus pénible des desséchements. On l'entreprend aussitôt que les eaux sont à peu près enlevées et que le sol, encore vaseux, peut supporter des ouvriers dont les pieds sont garnis de planches qui les empêchent d'enfoncer dans la terre molle. On sème en même temps du colza qui pousse bien sur les terrains de cette espèce et concourt énergiquement à la consolidation du sol.

Dans les desséchements de l'espèce qui nous occupe, les fossés et canaux de desséchement occupent près de 0,1 de la surface totale.

La surface de Zuid-Plas est de 4,600 hectares environ. La dépense du desséchement s'est élevée à 3 millions.

Desséchements en Angleterre. Depuis vingt ans les machines à vapeur ont presque complétement remplacé les moulins à vent dans les marais de l'Angleterre. Entre Lincoln et Cambridge, il y avait autrefois 700 moulins à vent; il n'en reste pas plus de 200 aujourd'hui. Les machines à vapeur, dans le Lincolnshire, sont au nombre de 70 environ; leur force varie de 40 à 80 chevaux chacune. Elles font, en général, mouvoir des écopes et élèvent l'eau de 4m,83 à 4m,87 et même à 6m,09. L'étendue ainsi desséchée n'est pas de moins de 89,688 hectares.

Parmi les marais desséchés par la vapeur, on peut citer les suivants :

DÉSIGNATION DES MARAIS.	ÉTENDUE.	MACHINES EMPLOYÉES.	
		Nombre	Force.
	hect.		
Deeping-Fen, près Spalding, Lincolnshire.	10100,00	2	80 et 60
Marsh-West-Fen, Cambridgeshire.	1454,40	1	40
Misserton-Moss.	2424,00	1	40
Littleport-Fen, près d'Ely (soixante-quinze moulins à vent étaient autrefois employés dans ce district).	11312,00	2	30 et 40
Middle-Fen (Cambridgeshire).	2828,00	1	60
Waterbeach-Level, entre Ely et Cambridge.	2020,00	1	60
Magdalen-Fen, près Lynn, Norfolk.	1616,00	1	40
March-Fen-District, Cambridge.	1090,80	1	30
Feltwell-Fen, près de Brandon.	969,60	1	20
Soham-Mere, Cambridgeshire (ancien lac).	645,40	1	40

Quand toutes les eaux étrangères sont détournées par un canal de ceinture, il ne reste à la machine à enlever que l'eau de pluie. Dans ces parties de l'Angleterre il en tombe souvent 0m,66 par an. Mais une partie est enlevée par l'évaporation, et les ingénieurs anglais estiment qu'il suffit de pouvoir se débarrasser par mois d'une quantité d'eau répondant à une couche de pluie de 0m,0508, c'est-à-dire de 508 mètres cubes par hectare. Une machine de dix chevaux élèverait cette masse d'eau à 3m,04 de hauteur en 34 minutes 19 secondes, c'est-à-dire qu'une machine de cette force, en faisant seulement vingt journées de douze heures par mois, pourrait dessécher 415 hectares environ. Ce sont à peu près les données pratiques admises dans le Lincolnshire.

La fig. 77 peut donner une idée des écopes à vapeur dont on vient de parler. Elles s'adaptent très bien aux machines à simple effet de Cornouailles, et leur simplicité nous engage à les faire connaître. L'écope a 7m,60 de longueur et 9m,44 de largeur divisée par une cloison verticale et longitudinale en deux parties égales. Une machine de soixante chevaux peut élever dix-sept tonnes d'eau à chaque oscillation; elle dépense 1k,36 par heure et par force de cheval.

AGRICULTURE.

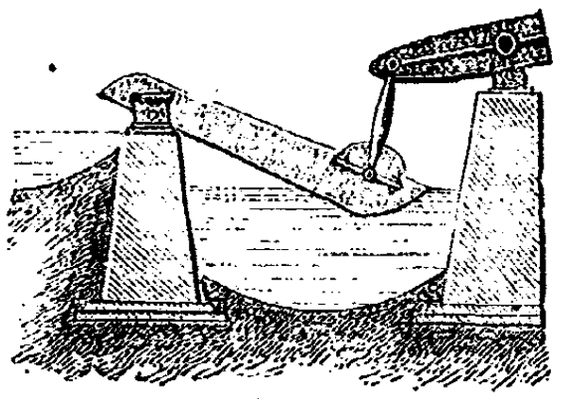


Fig. 77.

III. *Puits forés et puisards absorbants.* Dans tout ce qui précède, on a supposé que l'eau du marais à dessécher pouvait s'écouler par sa pente naturelle à travers un canal, ou devait être enlevée par des procédés mécaniques. Dans certains cas particuliers, quand la couche imperméable du marais repose sur un sol perméable et absorbant, on peut se débarrasser des eaux, sans avoir recours à l'ouverture de canaux ou à l'établissement de machines, en perçant la couche imperméable par un trou de sonde (voyez PUITS ARTÉSIENS, SONDAGE), ou par un véritable puits que l'on remplit ensuite de grosses pierres, et dont on recouvre l'ouverture par un lit de branchages ou autres substances analogues, formant une espèce de filtre, pour retenir les matières terreuses qui obstrueraient rapidement le puisard ou *boitout*. Le marais de l'Archaut, en Gatinais, est un des desséchements les plus importants effectués par cette méthode.

Un puits foré absorbant, établi à Bondy, a débité jusqu'à 133 mètres cubes de liquide en vingt-quatre heures. Plusieurs résultats analogues ont été obtenus par différents sondeurs.

Il existe dans quelques localités, à Cujes par exemple, des *embucs* naturels qui donnent issue aux eaux surabondantes d'un bassin fermé.

Les puisards absorbants doivent être ouverts au point le plus bas du terrain à dessécher, pour que l'eau puisse y arriver au moyen de rigoles disposées à cet effet. Ces puisards ont de 4 à 8 mètres de profondeur et 2 ou 3 mètres de diamètre. On leur donne une forme conique, si le sol n'est pas assez résistant pour se tenir suivant des lignes verticales. Si on ne peut pas pousser assez profondément le puits pour rencontrer la couche absorbante, on fait au centre un trou de sonde dont le tuyau s'élève à une certaine hauteur. L'intervalle compris entre ce tuyau et les parois du trou est rempli de pierres brutes, pour éviter les éboulements, et le tout est recouvert, comme on l'a déjà dit, de pierres plates et de fagots.

AGRICULTURE.

L'inconvénient principal des puisards absorbants est l'impossibilité où l'on est de fixer d'avance le volume d'eau qu'ils pourront absorber, volume du reste presque toujours assez limité, puisque le forage que nous avons cité débiterait à peine, en vingt-quatre heures, le volume d'eau tombé dans le même temps, par une forte pluie, sur un hectare de terrain. Nous n'insisterons pas davantage sur ce moyen de desséchement, dont nous avons déjà indiqué l'usage dans certaines opérations de drainage.

IV. *Colmatages.* Toutes les méthodes indiquées dans ce qui précède, pour le desséchement des marais, reposent sur l'abaissement du plan d'eau au-dessous du niveau du sol. On conçoit que l'on arriverait au même résultat en élevant la surface du terrain lui-même au-dessus du niveau des eaux, par des remblais convenables. Ces remblais, à moins de circonstances tout à fait exceptionnelles, ne peuvent s'exécuter économiquement qu'en faisant déposer, sur les terres à remblayer, les parties solides que les torrents et les rivières à fortes pentes entraînent dans leur cours. Cette opération se nomme colmatage, du mot qui la désigne en Italie, où elle est employée sur une très grande échelle.

On produit aussi des remblaiements de terrains bas, au moyen des eaux troubles chargées de limons très fertiles, que le flot soulève à chaque marée, à l'embouchure de la plupart des rivières qui arrivent à la mer.

Toutes les opérations de colmatage, quelle que soit l'origine des eaux que l'on emploie, consistent à faire arriver les eaux troubles sur le terrain en couche aussi épaisse que possible, à laisser déposer les parties solides, puis à faire écouler les eaux éclaircies, pour recommencer ensuite la même série d'opérations.

Le terrain à colmater est entouré d'une digue, élevée jusqu'à la hauteur à laquelle on peut maintenir les eaux. Cette digue est coupée d'un côté pour recevoir le canal d'amenée, et interrompue, du côté d'aval, par une ouverture garnie de poutrelles. Ces poutrelles forment un barrage provisoire qui communique avec un canal de décharge, et doivent être disposées de telle sorte qu'il soit facile de les enlever successivement pour faire écouler par déversement les eaux éclaircies. Quand on opère sur les côtes avec les eaux soulevées par la marée, les ouvrages sont un peu plus compliqués, et peuvent même prendre une très grande importance s'il s'agit de surfaces considérables. Les digues d'enceinte du terrain sont percées par des aqueducs ou canaux éclusés garnis de vannes et quelquefois de portes d'ébe et de flot, que l'on manœuvre en temps utile pour faire entrer les eaux troubles à marée haute et faire sortir les eaux éclaircies à marée basse.

Lorsque les terres à colmater présentent une très grande étendue ou une pente un peu sensible, on partage la surface, par de petites digues ou bourrelets, en une série de bassins où l'on fait séjourner l'eau. On empêche par cette division la formation des vagues qui s'opposeraient au dépôt, et d'un autre côté on évite de trop grandes inégalités de hauteur d'eau et la surélévation inutile et dispendieuse des digues d'aval.

Quand la profondeur à combler est considérable, on commence, si cela est possible, par y amener des eaux torrentielles chariant des galets et de gros graviers. Ce qui produit le double avantage d'accélérer le remblaiement et de former sous la terre cultivable un sous-sol poreux très convenable.

Quelquefois, pour profiter plus rapidement et successivement des résultats du colmatage, lorsque surtout l'espace à combler offre une assez grande profondeur, on ne répand point, à la fois, les eaux sur toute la surface. On limite, par une digue, une certaine étendue voisine de l'embouchure du canal d'amenée. Lorsque ce premier espace est comblé, on le met en culture, et on prolonge à travers la surface ainsi conquise le canal d'amenée, pour combler de même une certaine étendue limitée à la suite de la première, et ainsi de suite successivement.

Avant d'entreprendre une opération de colmatage, on doit se rendre compte de la quantité de matières solides tenues en suspension dans l'eau, et, quand on opère avec des eaux torrentielles, du nombre de jours de crues par an. La détermination de la quantité totale des matières solides peut s'obtenir en filtrant un peu d'eau à travers un papier sans colle; mais il est plus simple, et peut-être plus conforme aux besoins de la pratique, de se borner à laisser déposer l'eau dans une éprouvette graduée ou tout autre vase, de décanter l'eau arrivée au degré de limpidité dont on devra, plus tard, se contenter, de recueillir et de peser le dépôt.

On possède assez peu de données bien positives sur la quantité de troubles contenues dans les eaux de nos rivières. L'eau de la Durance, en grandes crues, contient $4^k,179$ de matières solides par mètre cube, et $0^k,279$ seulement en moyenne. L'eau du Rhin en renferme, dit-on, 0,02; celle de certaines rivières d'Angleterre, de la Trent, par exemple, jusqu'à 0,08. On ne saurait toutefois garantir l'exactitude de ces derniers chiffres.

Les eaux du Rhône, en 1844, d'après les observations de la commission hydrométrique de Lyon, ont renfermé, au maximum, 493 grammes de dépôt par mètre cube, au minimum 7 grammes, et en moyenne $138^{gr},8$. L'eau de la Saône contient, au plus, $100^{gr},4$ de dépôt par mètre cube; au moins, $8^{gr},4$, et en moyenne 40 grammes.

Des expériences faites sur les eaux de la Meuse, puisées au pont de la Golfe, à Liége, tous les jours du mois de décembre 1849, ont donné les résultats suivants. La plus grande quantité de matières tenues en suspension dans les eaux de la Meuse, marquant alors $3^m,20$ à l'échelle du Pont-des-Arches, a été de $0^{gr},474$ par litre. La plus petite quantité, de $0^{gr},014$. La moyenne du mois a été de $0^{gr},10$, soit 1/10,000 de poids de l'eau. Voici, du reste, les moyennes des résultats répondant à différentes hauteurs d'eau :

HAUTEURS de la MEUSE.	QUANTITÉ de dépôt séché à 100°, par litre d'eau.	NOMBRE de jours d'observation
m. m.	gr.	
1,25 à 1,50	0,0447	4
1,60 à 2,00	0,0499	15
2,10 à 2,50	0,1062	7
2,75 à 2,88	0,1492	2
3,15 à 3,25	0,3795	3

On rappellera ces derniers résultats en parlant des limonages et des irrigations.

Quand on s'est rendu compte de la masse d'eau que l'on pourra introduire sur le terrain, et de sa richesse en matières solides, on peut évaluer le temps nécessaire à l'opération et calculer ses résultats probables. Il ne reste plus alors qu'à établir des digues et les canaux d'amenée et d'évacuation des eaux. La pente des canaux d'amenée doit être suffisante pour que la vitesse de l'eau soit assez forte pour ne pas laisser déposer les matières solides. Cette vitesse doit donc varier de $0^m,10$ à $0^m,80$ et plus, suivant que le torrent ou le cours d'eau charrient des limons fins, des sables ou des graviers.

Les travaux de colmatage, avec des eaux de rivière-

AGRICULTURE.

res, les plus remarquables de France, se rencontrent sur l'Ardèche, la Drôme, l'Hérault et l'Ouvèze. On peut, dans certains points, produire, avec les eaux de cette rivière, des exhaussements de 0m,16 par an. En général, on n'atteint pas, tant s'en faut, cette hauteur pour profiter plusieurs années de suite de ce puissant moyen de fertilisation. Les travaux se rapprochent alors des simples limonages dont nous parlerons plus loin. On estime de 250 à 300 francs par hectare les frais de colmatage exécutés dans des circonstances ordinaires.

On obtient quelquefois indirectement, comme résultat de travaux de navigation, de magnifiques colmatages, résultat naturel de dispositions dont le but primitif et principal n'était pas celui-là. Ainsi, dans les travaux de la Seine maritime, derrière les digues en pierres sèches qui dessinent le chenal, se sont produits, en quelques années, des atterrissements très étendus et qui promettent des terrains d'une grande fertilité.

A la fin d'août 1850, les terrains ainsi colmatés avaient une étendue de plus de 1,400 hectares ainsi distribués :

Rive droite de la Seine:

	hect.
Commune de Villequier. . . .	25,62
— Norville.	131,43
— Saint-Maurice. .	213,83
— Petite-Ville. . .	290,34
— *Id.*	296,78

Rive gauche de la Seine:

	hect.
Commune de Saint-Nicolas. . .	74,15
— Vatteville. . . .	359,25
— d'Aizier.	9,86
— Vieux-Pont. . .	4,98
	1406,24

Quelquefois, quand les localités s'y prêtent, on accélère beaucoup le remblaiement d'un terrain en faisant tomber et en délayant dans les eaux du canal d'amenée les terres des coteaux contre lesquels il s'appuie. Cette opération porte le nom de *terrement*. Les eaux sont alors dérivées par larges coupures sur le sol à terrer. Elles se répandent en couches minces et abandonnent la plus grande partie des terres qu'elles entraînaient. On rend encore plus complet ce dépôt en établissant de place en place, transversalement au courant, des rangées de fascines retenues par des piquets à travers lesquelles l'eau éprouve une espèce de filtration et un ralentissement qui facilite le dépôt. La surface des terres où l'on fait ainsi écouler les eaux ne doit pas présenter une pente de plus de 0m,004 à 0m,005 par mètre, sans quoi le sol se ravinerait et les dépôts ne se formeraient pas.

Le procédé du terrement est fréquemment employé dans certaines parties de l'Allemagne. Cette opération revient de 150 à 400 francs par hectare.

On n'insistera pas davantage ici sur les procédés de colmatage. Ces opérations, par une transition insensible, se transforment en *limonages* qui ne sont que des colmatages par très faibles couches de matières fertilisantes, et que l'on aura l'occasion d'étudier plus loin avec détail au sujet des irrigations.

Troisième section. — Endiguement, défense des rives.

Nous ne mentionnons ici, en quelque sorte, que pour mémoire le sujet qui fait l'objet de cette section. Les grands travaux d'endiguement et de défense des rives des rivières et des fleuves ou des côtes de la mer, ne peuvent être exécutés que par des ingénieurs de profession, avec le concours, ou au moins sous la surveillance active de l'Etat; d'ailleurs, il existe sur cette matière un grand nombre d'ouvrages spéciaux. Les agriculteurs et les propriétaires ne peuvent avoir à s'occuper que des travaux de faible importance exécutés au droit de leurs propriétés, et, en général, sur des torrents ou ruisseaux ni navigables, ni flottables. Ce sont seulement de ces petits ouvrages que nous dirons quelques mots.

Endiguement des ruisseaux. Les petits torrents et les ruisseaux à pente rapide sont sujets à des débordements d'autant plus désastreux que le sol des vallées que traversent ces cours d'eau ont, en général, une assez forte pente, et que les eaux y acquièrent une telle vitesse, qu'elles entraînent les récoltes ou les semences et les fumiers, et quelquefois même la plus grande partie de la couche de terre végétale. Il ne saurait être question, pour le moment, des causes des débordements et des mesures d'ensemble qui pourraient les prévenir ou en atténuer les effets. Le mal existant, le seul moyen pour les propriétaires d'y porter remède consiste à protéger leurs terrains des ravages des eaux par des endiguements économiques convenablement disposés.

Le tracé des digues exige une attention soutenue. Il doit se composer d'alignements droits raccordés par des courbes tangentes de rayons aussi grands que possible. L'ensemble du tracé de la digue doit envelopper la direction générale du ruisseau; mais sans être assujetti à en suivre les coudes brusques et les irrégularités qui produiraient des tourbillons et faciliteraient l'attaque et la destruction des ouvrages. La distance entre les deux digues parallèles tracées de chaque côté du ruisseau dépend de la masse des eaux à écouler. L'espace existant entre le pied de la digue et le bord du ruisseau est occupé par des prairies bien gazonnées pour résister aux affouillements. Les extrémités de la digue doivent être soigneusement enracinées dans le terrain insubmersible. Cette partie de l'ouvrage exige un soin tout spécial pour que les eaux ne tournent pas la digue qu'on leur oppose et ne parviennent pas à la détruire en peu de temps.

Le mode de construction de la digue le plus économique et le plus approprié aux travaux ruraux consiste à l'exécuter en terre ou en graviers, à la revêtir en terre végétale et en gazons, et à planter au sommet une haie d'épines ou d'autres arbustes analogues. Les dimensions des digues dont il s'agit dépendent de leur hauteur. Pour les travaux de l'ordre de ceux dont nous nous occupons, c'est-à-dire pour des digues n'excédant pas 2 à 3 mètres de hauteur, on donne ordinairement 0m,50 à 0m,60 de largeur au sommet, avec un talus incliné de 1,50 ou 2 de base pour 1 de hauteur, du côté des cours d'eau, et incliné à 1 ou 1,50 de base pour 1 de hauteur, du côté des terres. Lorsque l'on peut disposer d'ouvriers soigneux, on remplace avec avantage le talus, du côté du cours d'eau, par une courbe concave qui se raccorde mieux avec le terrain naturel. Voici maintenant comment on procède à l'opération, après avoir arrêté le tracé de la digue, sa hauteur et son profil. On enfonce dans le sol, de 20 mètres en 20 mètres environ, des jalons dont les sommets, élevés à 0m,50 au-dessus des plus hautes eaux, indiquent le tracé de l'arête intérieure du couronnement de l'ouvrage. Au droit de chacun de ces jalons, on enfonce deux piquets qui marquent le pied des talus. Celui de ces piquets qui est du côté de la rivière est placé à une distance du pied du jalon égale à deux fois la hauteur de ce jalon, si on a adopté le rapport de 2 à 1 par le talus de ce côté de la digue. La distance de l'autre piquet au

pied du jalon s'obtient en ajoutant à la largeur au sommet une fois ou une fois et demie la hauteur du jalon lui-même.

Le piquetage ainsi terminé, on commence par enlever les gazons et une partie de la terre végétale sur toute la largeur que doit occuper la digue, en mettant de côté ces matériaux qui serviront à son revêtement. On apporte alors les terres qui doivent former le remblai, et on les pilonne fortement, en les arrosant au besoin, par couches de $0^m,20$ à 0^m30 d'épaisseur, en leur donnant le profil adopté, moins l'épaisseur que doit occuper le revêtement de terre et de gazons. Quand on a du gravier à sa disposition, il est très convenable d'en mettre, au centre de la digue, un noyau enraciné dans le terrain naturel pour s'opposer au passage des taupes dont les ravages sont funestes aux ouvrages de cette espèce. On peut également, pour des travaux très soignés, quand on dispose à la fois de terre franche et de gravier, déposer sur chaque couche de terre une couche de gravier à peu près de même épaisseur et que l'on pilonne jusqu'à ce qu'elle ait pénétré dans la couche de terre. On remet une seconde couche de terre, puis une couche de gravier, et l'on continue ainsi jusqu'à l'achèvement du travail. Dans les travaux difficiles, où l'on ne craint point une légère augmentation de dépense, on peut arroser la terre graveleuse ou le sable avec un lait de chaux, au lieu d'eau pure, avant le pilonnage. On forme ainsi des masses d'une extrême compacité. Quand la digue est formée comme on vient de le dire, on la recouvre de la terre végétale mise de côté, que l'on bat bien également, et enfin on applique les gazons mis d'abord en réserve, ou pris sur les terrains voisins.

Pour éviter de transporter les terres nécessaires à la construction de la digue, on les prend habituellement dans un large fossé ouvert parallèlement à la direction de l'ouvrage, du côté des terres. En donnant à ce fossé une faible profondeur et en le raccordant par une pente douce avec le terrain, on peut le conserver en culture et ne pas perdre la surface qu'il occupe.

La fig. 78 représente la section d'une digue construite

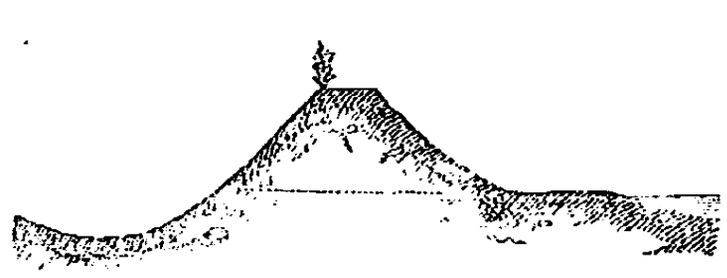


Fig. 78.

comme on vient de le dire. Quand le sol sur lequel on établit une digue est très poreux et que l'on peut craindre que l'eau ne s'infiltre sous la digue, on l'enracine au sol par une tranchée creusée à une certaine profondeur, et que l'on remplit de terres bien pilonnées, comme la digue tout entière.

Si l'on craint une crue avant que les gazons de revêtement n'aient fait prise, on les fixe au moyen de chevilles en branchages enfoncées dans le corps de la digue, ou bien par de grandes perches couchées sur le sol et fixées, de place en place, par des piquets. On peut économiser les gazons en ne les posant pas jointivement, les espaces vides s'herbent assez facilement, quand le temps est convenable, et que l'on a bien battu les mottes de gazon pour les faire taller sur leurs bords.

Il convient de ménager de place en place dans les digues de petites buses en bois, fermées par des clapets, pour permettre l'écoulement au ruisseau des eaux

AGRICULTURE.

de pluie et autres qui pourraient, sans cela, s'accumuler derrière les digues.

Les digues élevées le long des côtes de la mer, pour défendre des inondations les terrains submersibles, sont beaucoup plus fortes que celles dont on vient de parler. Leur sommet doit être arrasé à une assez grande hauteur au-dessus des plus hautes mers, pour que les vagues ne puissent pas le dégrader. L'inclinaison du talus exposé à la mer est extrêmement faible, il est réglé en général à raison de 4 à 6 mètres et même plus de base pour 1 mètre de hauteur. Du côté de la terre, le talus peut n'avoir que 1 mètre 1/2 de base pour 1 mètre de hauteur. Un fossé est creusé à une certaine distance et parallèlement à la digue du côté des terres. Les déblais de ce fossé servent à l'établissement de la digue elle-même.

La fondation de ces digues, quand le terrain n'est point solide, doit être poussée assez profondément pour éviter tout accident. Le mode de construction de l'ouvrage dépend de la nature des matériaux dont on dispose; le corps de la digue est presque toujours en terre ou en gravier, mais la nature des revêtements est extrêmement variable; quelquefois on emploie des pierres disposées en perrés, ou en enrochements, d'autres fois des fascines ou des clayonnages; enfin, dans certaines circonstances, il faut protéger la digue contre les flots et la fortifier de place en place par des épis d'une construction plus ou moins compliquée. L'exécution de ces différents ouvrages est fort difficile; elle exige des précautions multipliées, et ne saurait être confiée qu'à des constructeurs expérimentés. On ne pourrait, du reste, entrer ici dans les développements nécessaires à cet égard sans sortir des limites qui nous sont imposées. Les traités spéciaux de construction peuvent seuls fournir sur cette matière des détails circonstanciés.

Corrosions. Les eaux des ruisseaux torrentiels ne se bornent pas toujours à se répandre en nappes plus ou moins épaisses et plus ou moins rapides sur les terrains qu'elles inondent. Souvent elles corrodent leurs rives, même en basses eaux, et enlèvent successivement à l'agriculture des surfaces plus ou moins considérables. Les rives ainsi attaquées peuvent être défendues au moyen d'enrochements, de perrés, de fascinages, etc. Nous n'indiquerons que les plus simples et les plus économiques des travaux de cette espèce, ceux, en un mot, que les particuliers peuvent avoir à exécuter sur leurs propriétés pour remédier aux corrosions partielles produites par les ruisseaux qui traversent leurs terrains.

On se borne quelquefois à défendre les rives corrodées au moyen d'enrochements jetés à leur pied, ou bien en dressant en pente douce la surface du sol et en la recouvrant d'un perré posé avec soin sur un lit de gravier. Mais ces deux méthodes exigent un entretien continuel et sont trop coûteuses, pour convenir dans les cas ordinaires. Il convient, en général, de se borner à battre au pied et un peu en avant de la rive attaquée une rangée de forts piquets un peu inclinés, entre lesquels on entrelace des clayons; on remblaie l'espace compris entre le clayonnage et la rive en pierrailles ou en terre forte; puis on raccorde par une pente douce, revêtue de gazons, la partie supérieure de ce remblai avec la surface du sol. Si l'action destructive du courant était fort énergique, on pourrait employer un double rang de piquets séparés par un intervalle de $0^m,80$ à 1 mètre, rempli de forts graviers bien tassés. On fait ordinairement les piquets dont on vient de parler en branches de saule, qui reprennent bien dans l'eau, et forment, au bout d'un certain temps, une haie vive très résistante. Les clayons eux-mêmes peuvent s'engager

dans le sol par une de leurs extrémités, et alors tout l'ouvrage, composé de végétaux vivants, acquiert de plus en plus de force. Quand le terrain est un peu dur, il convient de préparer, avec un piquet en fer, les trous des piquets et des clayons pour que la reprise ait lieu plus facilement.

Si la rive corrodée reposait sur un sol pierreux où les piquets ne pourraient pas s'enfoncer, on commencerait par couler au fond de l'eau une couche suffisamment épaisse de fascines chargées de pierre et de gravier, et l'on enfoncerait dans cette masse, facile à pénétrer, les piquets d'un clayonnage analogue aux précédents.

Il n'est pas toujours nécessaire de remblayer l'espace compris entre les clayonnages et le pied des rives attaquées. Il arrive quelquefois que les eaux laissent déposer dans ces espaces fermés les matières qu'elles entraînent pendant les crues, et qu'elles les comblent assez rapidement.

Les travaux dont il vient d'être question, endiguement, défense des rives, etc., ne doivent être exécutés qu'avec beaucoup de précaution, pour ne pas provoquer les plaintes et les réclamations des propriétaires riverains plus ou moins rapprochés.

On ne parlera pas ici des travaux de défense des côtes de la mer; ils exigent, en général, une connaissance approfondie de l'art des constructions et des dépenses très considérables. Les grands travaux de la pointe de Grave et la fixation des dunes se rattachent jusqu'à un certain point aux ouvrages dont il s'agit; mais ils sont confiés aux ingénieurs de l'État, et il serait trop long de les étudier dans cet article.

Quatrième section. — Irrigations.

Les sections précédentes ont été consacrées à l'étude des procédés propres à se préserver des eaux nuisibles; celle-ci aura pour objet l'emploi des eaux utiles à l'agriculture. Les avantages des irrigations sont maintenant assez connus pour qu'il soit inutile de s'y arrêter en commençant. Nous passerons donc immédiatement à l'examen des eaux d'irrigation et des moyens de les employer.

I. QUALITÉS DES EAUX EMPLOYÉES AUX IRRIGATIONS.

L'eau n'agit pas seulement quand elle est de bonne qualité en entretenant les végétaux dans l'état d'humidité nécessaire à leur développement; elle tient toujours en dissolution, dans son état naturel, de l'oxygène, de l'acide carbonique et des sels qui exercent, comme on sait, une action énergique sur la végétation, en fournissant aux plantes les aliments dont elles ont besoin. Certaines eaux, au contraire, renferment des produits, ou se trouvent dans certaines conditions qui les rendent funestes aux plantes. Il convient donc, avant tout, d'examiner la composition des eaux, d'indiquer les caractères qui permettent d'apprécier leurs qualités et les moyens de corriger leurs défauts

On a déjà parlé, à propos des colmatages, des substances tenues en suspension dans les eaux; on reviendra sur ce point au sujet des limonages. Il ne s'agit ici que des matières tenues en dissolution, et que l'on trouve dans les eaux parfaitement claires. Les analyses bien faites d'eaux de source ou de rivière applicables à l'irrigation sont assez peu nombreuses. Ce genre de recherches serait cependant fort utile aux progrès des travaux agricoles. Nous nous bornerons à citer les exemples suivants :

Les eaux du bassin de Paris ont été naturellement examinées avec un soin scrupuleux. Voici les compositions de quelques-unes d'entre elles déterminées par

MM. Henri et Bouchardat (voyez le tableau page suivante).

Les eaux de la Meuse, employées à l'irrigation de la Campine, ont été étudiées par M. Chaudelon, de Liége, par ordre du gouvernement belge. Il résulte de ce travail, très important pour l'objet qui nous occupe, que les sels contenus dans l'eau vont en décroissant quand on s'éloigne de la prise d'eau, excepté le chlorure de sodium, dont la proportion suit une progression inverse, et que la quantité de matières organiques est tout à fait insignifiante. Voici d'ailleurs les chiffres obtenus :

SUBSTANCES contenues dans dix litres d'eau.	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
Résidu salin provenant de l'évaporation.	gr. 2,300	gr. 2,100	gr. 1,050	gr. 0,750
Carbonate de chaux. . . .	1,369	1,255	0,498	0,321
Carbonate de magnésie. .	0,270	0,241	0,089	0,055
Sulfate de chaux.	0,122	0,136	0,203	0,124
Sulfate de magnésie.. . .	0,043	0,030	0,021	0,012
Chlorure de sodium.. . .	0,150	0,140	0,100	0,092
Silice.	0,200	0,182	0,104	0,028
Alumine et oxyde de fer.	0,050	0,040	0,024	0,023
Sels de potasse.	traces	traces	traces	traces
Matières organiques.. . .	—	—	—	—
	2,204	2,024	1,039	0,655

N° 1. Eau recueillie à Hocht, dans le bassin de la Meuse, immédiatement en amont de la prise d'eau.

N° 2. Eau recueillie à Hocholt, dans l'écluse n° 18, à l'embranchement du canal de la Campine et à 39 kilomètres de la prise d'eau.

N° 3. Eau recueillie à la Pierre-Bleue, à 69 kilomètres de la prise d'eau.

N° 4. Eau recueillie à Arendonck, canal d'embranchement vers Turnhout, à 84 kilomètres de la prise d'eau.

Nota. Les écluses étaient fermées depuis quinze jours quand on a puisé les échantillons n°s 3 et 4.

La composition des sels contenus dans l'eau dépend des terrains qu'elle traverse. Les eaux des terrains anciens sont généralement préférables à celles des terrains tertiaires. Ces qualités cependant sont relatives, et, pour un terrain donné, la meilleure eau est celle qui renferme surtout les principes manquant à ce terrain; ainsi, des eaux riches en calcaire pourront être très avantageuses sur un terrain argileux et détestables sur un sol crayeux; des eaux riches en potasse conviendraient parfaitement sur les sols calcaires.

L'analyse chimique de l'eau fournit sur sa valeur agricole les renseignements les plus précis; mais cette opération délicate est d'une exécution difficile, et l'on peut, en général, se guider sur les indices suivants qui paraissent assez certains pour caractériser les qualités des eaux courantes. L'eau est de très bonne qualité quand on y rencontre le cresson de fontaine (*nasturtium officinale*), les épis d'eau (*potamogeton perfoliatus* et *fluitans*), les véroniques (*veronica anagallis* et *beccabungæ*), la renoncule aquatique (*ranunculus aquatilis*). Elle est moins bonne lorsqu'elle produit les roseaux (*arundo*), les patiences (*rumex*), les ciguës (*cicuta*), les salicaires (*lythrum*), les menthes (*mentha*), les scirpes (*scirpa*), les joncs (*juncus*), etc. Enfin, l'eau est de mauvaise nature quand il n'y végète que quelques carets (*carex acuta*, *carex stricta*) et des mousses. Les charas indiquent souvent une eau fortement calcaire.

Les eaux provenant de marécages, de tourbières ou de hautes bruyères renferment, en général, des prin-

DÉSIGNATION des EAUX.	SUBSTANCES CONTENUES DANS UN LITRE D'EAU.															
	Acide carbonique libre.	Air atmosphérique.	BI-CARBONATES de chaux.	BI-CARBONATES de magnésie.	BI-CARBONATES de potasse.	SULFATES ANHYDRES de chaux.	SULFATES ANHYDRES de magnésie et de soude	SULFATES ANHYDRES de potasse.	SULFATES ANHYDRES de strontiane.	CHLORURES de calcium, de sodium et de magnésie	CHLORURES de potassium.	Sels de potasse.	Nitrate alcalin	Silice, alumine, oxyde de fer.	Matières organiques.	TOTAUX
	lit.	lit.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr	gr.				gr.		gr.
De la Seine, au pont d'Ivry. .	0,013	0,003	0,132	0,060	»	0,020	0,010	»	»	0,010	»	traces	indices	0,008	traces	0,240
De la Seine, au pont Notre-Dame.	0,014	0,003	0,174	0,062	»	0,039	0,017	»	»	0,025	»	—	—	0,014	—	0,331
De la Seine, au Gros-Caillou.,	0,014	0,004	0,229	0,075	»	0,040	0,027	»	»	0,032	»	—	—	0,023	—	0,426
— à Chaillot. . . .	0,013	0,093	0,230	0,076	»	0,040	0,030	»	»	0,032	»	—	—	0,024	—	0,432
De la Marne, au pont de Charenton.	0,013	indéter.	0,304	0,120	»	0,022	0,018	»	»	0,020	»	»	traces	0,030	traces	0,514
D'Arcueil.	0,070	0,004	0,158	0,060	»	0,138	0,072	»	»	0,084	»	traces	—	0,018	—	0,527
De Belleville.	indéterminée.		0,400		»	1,100	0,520	»	traces	0,400	»	»	—	1,100		2,520
Des prés Saint-Gervais. . . .	—		0,032	0,012	»	0,430	0,100	»	—	0,600	»	»	—	0,020		1,194
Du puits de Grenelle.	—		0,0292	0,0092	0,040	»	0,032		»	»	0,057	»	»	0,012	traces	0,1494
De la Bièvre.	0,020	indéter.	0,308		»	0,146	0,170	»	»	0,181	»	»	»	0,034	—	0,804
De la rivière d'Ourcq. . . .	indéterminée.		0,107		»	0,082	0,051	»	»	0,014	»	»	traces	0,027	indices	0,284
De la Callinance.	—		0,193		»	0,060	0,230	»	»	0,100	»	»	—	0,050	—	0,633
Du Clignon.	—		0,247		»	0,014	0,060	»	»	0,040	»	»	»	0,009	—	0,370
De la Gergogne.	—		0,221		»	0,011	8,060	»	»	0,020	»	»	indices	0,010	—	0,322
De la Thérouenne.	—		0,380		»	0,061	0,041	»	»	0,059	»	»	»	0,031	traces	0,572
De la Roche de Crégy. . . .	—		0,816		»	1,470	0,175	»	traces	0,110	»	»	indices	0,024	—	2,595
Du Rutel.	—		0,446		»	0,050	0,310	»	»	0,120	»	»	traces	0,060	—	0,956
De la Beuvronne.	—		0,142	0,100	»	0,071	0,180	»	»	0,105	»	»	—	0,063	—	0,661
Du Morg.	—		0,240	0,105	»	0,055	0,102	»	»	0,135	»	»	—	0,050	quantité notable	0,657
De l'Arneuse.	indéterminée		0,258		»	0,020	0,036	»	»	0,014	»	»	traces	0,044	—	0,372
Du canal de l'Ourcq.	—		0,158	0,075	»	0,080	0,095	»	»	0,113	»	»	—	0,069	—	0,590

AGRICULTURE.

AGRICULTURE.

cipes acides et astringents qui les rendent très nuisibles à la végétation. On peut les améliorer en les faisant passer dans des bassins contenant de la chaux, ou bien en les mélangeant avec des eaux alcalines de fumier.

Les eaux très froides sont également de mauvaise qualité. Il faut, avant de les employer, les faire circuler dans de longs canaux, ou les laisser séjourner dans des bassins peu profonds, où elles se réchauffent.

Enfin les eaux tuffeuses, c'est-à-dire celles qui contiennent un excès de sels calcaires qu'elles abandonnent à l'air, produisent sur la terre des incrustations qui nuisent à la culture. Il faut les faire passer en couches minces, avant de les utiliser, sur des fagots ou autres matériaux qui les divisent et les exposent à l'air dans toutes leurs parties, pour les dépouiller du tuf qu'elles entraînent. On reconnaît facilement les eaux de cette espèce à la difficulté qu'elles ont à dissoudre le savon et à cuire les légumes.

Les différentes espèces d'eaux de mauvaise qualité dont nous venons de parler s'améliorent, en général, en s'éloignant de leur point de départ, par leur contact avec l'air et le sol. Cependant, employées seules, elles ne donnent jamais que de médiocres résultats, mais elles peuvent rendre de grands services pour le répandage des engrais liquides dont nous parlerons plus loin, et l'on doit toujours s'estimer heureux de posséder de l'eau sur une exploitation, quelque médiocre que soit sa qualité.

II. Moyens d'obtenir les eaux pour l'irrigation

Les eaux que l'on peut employer aux irrigations proviennent des puits artésiens, des opérations de drainage, des sources, des pluies et enfin des rivières et ruisseaux.

1. *Puits artésiens.* On n'ajoutera rien à ce qui se trouve dans l'article spécial consacré aux puits artésiens (voy. ce mot). Nous dirons seulement qu'il existe plusieurs exemples remarquables de l'application des eaux de cette nature à l'irrigation; mais l'incertitude du succès des sondages s'opposera longtemps encore à la généralisation de ce moyen d'arrosage.

2. *Eaux provenant des travaux de drainage.* Nous avons indiqué déjà l'application des eaux de cette espèce en faisant remarquer combien leur composition les rendrait quelquefois propres à cet usage. Les drains fournissent presque toujours leur plus grand débit lorsque les irrigations sont suspendues. Il faut donc, en général, recueillir les eaux de drainage comme les eaux de pluie dans des réservoirs pour les utiliser au besoin. Quand les drains ne débouchent pas à un niveau assez élevé pour que l'on puisse conduire directement les eaux sur les terres à arroser, il faut, en outre, recourir à l'emploi des machines élévatoires. Nous renvoyons, par conséquent, à l'article des eaux de pluie et aux machines élévatoires pour ce qui se rapporte aux eaux dont il s'agit.

3. *Eaux de source.* Les eaux de source proprement dites sont rarement assez abondantes à leur origine, et à une température convenable pour servir aux irrigations. Leur emploi n'exige, du reste, aucun ouvrage particulier; nous voulons seulement parler ici d'un procédé fréquemment employé en Italie pour réunir les eaux de source et les employer en irrigations. Ce procédé consiste à ouvrir une tranchée atteignant le niveau où sourdent les sources, à observer attentivement les points où l'eau arrive en plus grande quantité, et à entourer ces points de tonneaux ouverts par les deux bouts, pour protéger la source contre les envasements et les éboulements de graviers. Quelquefois le bouillonnement de l'eau n'est pas assez énergique pour indiquer nettement l'emplacement le plus convenable des tonneaux; dans ce cas, les fontainiers milanais abandonnent la fouille à elle-même pendant un an, et après ce temps ils placent les tonneaux aux points où les touffes de cresson présentent la plus belle végétation.

Plusieurs grands canaux de la Lombardie sont, en partie, alimentés par des sources artificielles obtenues comme nous venons de l'indiquer. Dans plusieurs parties de la France ce procédé serait susceptible d'application.

4. *Eaux de pluie, étangs et réservoirs.* Les réservoirs d'eaux destinés aux besoins de l'irrigation sont, sans aucun doute, l'un des plus puissants moyens de propager cette utile pratique et d'apporter de précieuses et importantes modifications au régime général des eaux d'une vaste contrée. L'état morcelé de la propriété en France leur donne, en effet, un intérêt tout particulier au point de vue des travaux privés, et l'heureuse disposition du terrain, dans quelques-uns de nos départements montagneux, permet à l'État de les utiliser à peu de frais, et sur une très grande échelle, pour l'amélioration du régime des eaux, de la navigation et de l'agriculture sur d'immenses étendues de pays. « Partout, dit M. de Gasparin, où un vallon, recevant les eaux d'une vaste surface de collines, laisse échapper, lors des pluies ou des orages, un torrent passager qui souvent dégrade les terres inférieures; partout où un ruisseau trop peu abondant pour être utile peut être retenu, et ses eaux mises en réserve pour le besoin, la création d'un réservoir peut devenir une source de richesse. Il suffit de calculer et la quantité d'eau que l'on peut recevoir, et l'étendue du bassin que l'on doit former, et les frais que coûtera sa construction, puis balancer ces dépenses avec l'accroissement de valeur qu'acquerront les terres à arroser. »

La capacité d'un réservoir dépend et de la quantité d'eau qu'il peut recevoir et de celle dont on a besoin. On donnera plus loin tous les détails nécessaires à la détermination du volume d'eau d'irrigation nécessaire par hectare, c'est-à-dire le moyen de fixer la limite inférieure de la capacité d'un réservoir projeté. Pour le moment on ne s'occupera que du moyen de déterminer le maximum de sa capacité, c'est-à-dire la quantité d'eau qu'il est sage d'attendre de l'établissement d'un ouvrage de cette nature.

La détermination de la capacité d'un réservoir est un problème extrêmement complexe, et qu'il est impossible de traiter d'une manière complétement rigoureuse; on essayera donc seulement d'indiquer ici les principaux éléments de la question. On ne manquera pas de remarquer l'analogie de ce sujet avec celui qui a été précédemment traité en parlant des marais. Les différences entre les règles qui seront posées maintenant, et celles qui ont été données dans le premier cas, s'expliquent facilement en observant qu'il convenait, pour éviter tout mécompte, d'arriver à une évaluation du *maximum* de la quantité d'eau à recevoir dans le premier cas; tandis que dans celui dont il s'agit maintenant, il importe d'autant plus de s'arrêter à un *minimum*, que c'est précisément dans les années où le réservoir recevra le moins d'eau que les terres en auront le plus besoin.

L'eau des réservoirs a deux origines différentes : les sources ou ruisseaux à débit plus ou moins régulier, et les eaux de pluie coulant à la surface du sol. Il suffit de jauger, pendant une assez longue période de temps, les courants permanents, en un point voisin du réservoir projeté, pour évaluer le volume d'eau qu'ils lui fourniront; la détermination du produit des eaux de pluie coulant à la surface du sol ou se réunissant

AGRICULTURE.

dans les rigoles qui les amènent au réservoir, présente plus de difficulté et d'incertitude. Voici comment il convient de procéder à cette recherche.

On doit déterminer d'abord l'étendue de la surface versant dans le réservoir projeté. On y parvient facilement en traçant, par quelques nivellements, la ligne de faîte qui circonscrit le bassin ; ou, plus simplement encore, au moyen d'une bonne carte topographique de la localité, quand il en existe. La carte de l'état-major suffit, dans beaucoup de cas, pour les recherches de cet ordre.

Lorsque la surface du bassin versant a été déterminée, si l'on veut opérer avec beaucoup de rigueur, quand il s'agit d'ouvrages d'une grande importance, il faut déterminer la hauteur d'eau de pluie tombant annuellement sur différents points du bassin (voy. chap. II, sect. 3e, V), et prendre la moyenne des résultats obtenus. Mais cette méthode est beaucoup trop longue et trop compliquée pour des travaux particuliers d'une faible importance. On doit donc se borner à prendre pour la hauteur d'eau tombée dans le lieu que l'on considère, celle qui a été observée dans une localité analogue et voisine, autant que possible, de celle où l'on se trouve. Le tableau de la troisième section du chapitre II est assez étendu pour donner à cet égard, dans toutes les parties de la France, des indications suffisantes. Les moyennes fournies par le tableau ou par des observations directes doivent être réduites, dans un certain rapport, pour éviter tout mécompte dans les années de sécheresse. Il serait difficile de fixer ce rapport d'une manière absolue ; mais, en pratique, il paraît suffisant de prendre, pour la hauteur d'eau tombant dans le bassin considéré, les 3/4 ou les 5/6, dans les pays très secs, de la moyenne fournie par plusieurs années d'observations. Cette hauteur d'eau ainsi corrigée, multipliée par l'étendue de la surface versante, représenterait la quantité d'eau sur laquelle on pourrait compter, si elle arrivait entièrement au réservoir, et s'y conservait sans perte. Mais l'évaporation et les infiltrations qui se produisent soit à la surface du sol, soit dans le réservoir lui-même, réduisent dans une forte proportion, comme on va l'indiquer, les eaux disponibles.

Les expériences positives pour déterminer la fraction de l'eau tombée sur un bassin qui arrive au point le plus bas de ce bassin, sont assez rares. Voici les principales évaluations fournies à cet égard par les auteurs les plus accrédités.

Au canal de Bourgogne on a jaugé la Brenne, avec tous les soins convenables, pendant 1,120 jours, en observant, en même temps, les hauteurs d'eau tombées à Pouilly, et l'on a obtenu les résultats suivants, trop importants pour n'être pas intégralement rappelés :

ANNEES.	HAUTEUR d'eau fournie par la Brenne, par m. carré.	PLUIE tombée à Pouilly.	RAPPORT
	m.	m.	
1834 (trois mois)	0,036	0,110	0,32
1835	0,432	0,856	0,50
1836	0,729	1,019	0,70
1837 (dix mois)	0,377	0,705	0,53

Les rapports de l'eau recueillie à l'eau tombée sur le bassin versant sont respectivement 0,45, 0,19, 0,15 et 0,22 pour les réservoirs de Grosbois, de Poultier, de Tillot et de Chazilly au canal de Bourgogne. Sur le canal du Centre, on a trouvé 0,34 pour l'étang de Torcy, et 0,25 pour l'étang Berthaud, en admettant que la hauteur d'eau de pluie tombée était de 0m,65 dans la vallée de ce dernier réservoir. Enfin, on admet que les réservoirs de la montagne Noire reçoivent les deux tiers de l'eau tombée dans les bassins qui les alimentent.

La couche d'eau qui tombe annuellement dans le département du Cher, évaluée d'après une moyenne de vingt années d'observations, a 0m,53 d'épaisseur. Les réservoirs du canal du Berry ont été construits dans l'hypothèse, confirmée maintenant par l'expérience, que le tiers de cette quantité, c'est-à-dire 4,766 mètres cubes par hectare, arriverait aux réservoirs.

Les chiffres précédents permettent, par analogie, de fixer le volume d'eau fourni à un réservoir par hectare versant. On peut admettre en résumé, et comme résultat moyen pratique pour les petites opérations, que, dans le centre de la France, on ne doit compter que sur le tiers ou la moitié au plus du volume tombé, en prenant bien entendu pour ce volume les 3/4 ou les 5/6 seulement, comme on l'a déjà dit, de la hauteur moyenne de pluie obtenue par un grand nombre d'années d'observations.

Pour évaluer le volume d'eau qui restera disponible pour les irrigations, il faut encore déduire du résultat, calculé comme on vient de le dire, le volume d'eau enlevé par évaporation à la surface du réservoir. Cette dernière quantité est très variable d'un point à un autre. Voici quelques chiffres à ajouter à ceux qui ont été précédemment donnés au sujet du drainage et des desséchements. M. Surell estime que l'évaporation, pendant la période estivale, est de 0m,007 par vingt-quatre heures dans les étangs de la Camargue. La température de cette partie de la France explique l'élévation de ce chiffre, qui est presque double de celui que l'on peut adopter dans le centre. On admet généralement que l'évaporation annuelle, en France, enlève une couche d'eau de beaucoup supérieure à celle que verse la pluie. Cependant, des expériences récemment publiées et qui paraissent fort bien faites ont fourni, de 1839 à 1845, les résultats moyens suivants, qu'il peut être utile de donner à titre de renseignement :

LOCALITÉS.	ALTITUDE.	PLUIE	ÉVAPORATION.
	m.	m.	m.
Saint-Jean de Losne.	185	0,8583	0,5658
Dijon.	241	0,7518	0,6282
Pouilly.	400	0,8008	0,5648
La Roche-sur-Yonne	85	0,5410	0,4900

On sait d'ailleurs que le volume d'eau enlevé par l'évaporation est égal au produit de la surface moyenne de l'eau dans le réservoir, par le coefficient d'évaporation applicable à la contrée où l'on se trouve. En retranchant ce produit du volume d'eau reçu dans le réservoir, on obtient le volume réellement disponible.

Dans tout ce qui précède, on s'est borné à indiquer la marche à suivre pour le calcul du volume d'eau rendu annuellement disponible par un réservoir, et à réunir les principales données numériques relatives à cette question. Mais un dernier élément est nécessaire à la solution, c'est l'ordre de succession des arrosages et le nombre de fois que l'on pourra remplir et vider le réservoir chaque année. Cette dernière considération permettra de fixer sa capacité et d'évaluer la quantité d'eau disponible dans chaque saison. On ne doit pas d'ailleurs oublier qu'il faut toujours laisser dans le réservoir un certain volume d'eau, indispensable à la conservation des terrassements et à l'entretien de la salubrité de l'air environnant.

Les explications précédentes permettent de faire en-

AGRICULTURE.

trer en ligne de compte, dans le projet d'un réservoir, les principaux éléments de la question, et suffisent pour montrer les données préliminaires nécessaires à une solution complète du problème. Mais, pour formuler une règle pratique qui puisse être immédiatement appliquée à la construction de petits réservoirs, par les personnes qui ne voudraient pas se livrer aux recherches que nécessite une étude complète, nous dirons que, dans la plus grande partie de la France, on peut admettre, sans crainte d'être au-dessus de la vérité, qu'en moyenne, et dans les circonstances ordinaires, un réservoir fournit annuellement 1,000 à 1,200 mètres cubes d'eau par hectare versant.

On peut accroître beaucoup la quantité d'eau amenée à un réservoir, en ouvrant, dans l'étendue du bassin qui lui verse les eaux, une série de fossés à faible pente communiquant les uns avec les autres et avec le réservoir, et destinés à recueillir les eaux après leur chute, sans leur laisser le temps de se perdre par infiltration, et par évaporation à la surface du sol. Parmi les applications assez nombreuses que l'on pourrait citer de ce genre de travaux, nous rappellerons seulement que la plus grande partie des eaux de Versailles sont ainsi recueillies dans les plaines voisines.

On calcule le nombre d'hectares arrosables à l'aide d'un réservoir donné, en divisant le volume d'eau qu'il peut fournir par le nombre de mètres cubes nécessaires à l'irrigation d'un hectare. Ce dernier chiffre est égal au produit du nombre d'arrosages annuels par le volume d'eau que chacun d'eux exige. On reviendra plus loin sur l'étude des volumes d'eau nécessaires aux irrigations ; on va seulement rapporter quelques indications fournies au sujet des réservoirs par différents auteurs. M. de Gasparin admet que les réservoirs de profondeur moyenne doivent contenir par hectare à arroser autant de fois 1,000 mètres cubes d'eau qu'il convient de faire d'arrosages. Cette formule donne évidemment une capacité beaucoup trop considérable dans la plus grande partie de la France. M. Polonceau estime que, dans le centre, chaque arrosage de 24 heures exige, par hectare, 200 mètres cubes d'eau pour les terres argileuses, 300 pour les terres franches, et 4 à 500 dans les terres sableuses et perméables. Il base sur ces chiffres la capacité de ses réservoirs.

M. Pareto estime qu'en Sologne les réservoirs doivent contenir 2,000 mètres cubes d'eau environ par hectare de pré à arroser. Ce chiffre, pour cette localité, n'est pas suffisant, surtout dans les années sèches pour obtenir de fortes récoltes.

Construction des réservoirs. Lorsqu'il est possible d'amener les eaux au-dessus du niveau du terrain à irriguer, et qu'il s'agit de former un petit réservoir, on peut se borner à creuser le sol à une certaine profondeur, et employer la terre provenant de ce déblai à former une digue d'enceinte. On donne au talus de la fouille une pente de 1 1/2 à 2 de base pour 1 de hauteur, et on établit le pied de la digue à $0^m,30$ ou $0^m,40$ en arrière de l'arête de la fouille. Cette digue d'enceinte présente à peu près le profil des digues de défense des rives. Son sommet doit être arrasé à 0^m25 ou $0^m,40$ au-dessus du niveau de l'eau. Quand le sol est imperméable, il suffit de bien piloner les terres de la digue pour qu'elle conserve l'eau. Mais si la terre est facilement perméable, il faut recouvrir les parois de la fouille et des digues d'un corroi imperméable formé de sable gras naturel, ou d'un mélange d'argile en bouillie et de sable, arrosé d'un fort lait de chaux. On taille alors les parois de la digue et ceux de la fouille en redans, et on pilone par couches successives le corroi précédent, sur une épaisseur de $0^m,08$ à $0^m,10$. L'addition de chaux au corroi, même en très faible quantité, a le double avantage de lui donner beaucoup de consistance et d'empêcher les vers et autres insectes de le traverser. Le prix d'établissement d'un réservoir construit comme nous venons de le dire est facile à calculer dans chaque localité. Presque toujours leur construction, bien qu'assez dispendieuse, constitue cependant une opération lucrative. Il convient de ne pas donner à ces réservoirs moins de 3 à 6 mètres de profondeur.

Les réservoirs ou les grands étangs, destinés à retenir des quantités d'eau considérables, s'établissent dans des vallées ou des plis de terrain que l'on ferme à leur partie inférieure par un barrage. On doit d'abord étudier avec soin l'emplacement le plus convenable à la construction, c'est-à-dire celui où, toutes choses égales d'ailleurs, on retiendra le plus grand volume d'eau avec la moindre dépense. Le point où la vallée est la plus resserrée et la plus profonde est celui qu'il convient ordinairement de choisir pour l'établissement du réservoir. Les digues ou barrages du réservoir peuvent se construire, suivant les circonstances locales ou leur importance en maçonnerie, en terre seule ou en terre revêtue de maçonnerie sèche ou à mortier. Les barrages en maçonnerie ne conviennent, en général, que pour des ouvrages d'une grande importance. Nous ne décrirons pas ici en détail leur construction, qui présente assez de difficultés ; nous dirons seulement qu'il faut établir leurs fondations sur un sol parfaitement solide et incompressible. Ils s'enracinent dans le sol par redans. Ils peuvent avoir, en plan, une forme rectiligne, ou concave du côté de l'eau, ce qui, du reste, ne semble pas présenter d'avantage réel. L'épaisseur du barrage augmente du sommet à la base. Le parement extérieur doit présenter un fruit plus ou moins considérable ou une courbe concave; le parement du côté de l'eau offre une inclinaison régulière ou une courbure plus ou moins prononcée, ou bien une série de redans.

Un procédé géométrique très simple, analogue à celui que l'on emploie pour vérifier la stabilité des voûtes, permet de déterminer l'épaisseur à donner au barrage. La résultante du poids du mur et de la poussée de l'eau, par unité de longueur, doit venir passer à une distance telle de l'arête extérieure du mur, que les 2/3 de cette résultante, répartie sur cette distance, ne donnent pas une pression supérieure à la résistance du sol de fondation ou à celle de la maçonnerie elle-même. Cette pression, en général, ne doit guère dépasser 5 à 6 kilogrammes; elle est de $6^k,19$ au barrage de Bosmeléac, de $6^k,18$ à celui de Vioreau; elle était de plus de 13 kilogrammes à celui de Grosbois, qu'il a été nécessaire de renforcer. Quand le sol n'est point très résistant, il convient que la résultante passe près du milieu de la fondation. La maçonnerie des barrages doit être exécutée d'ailleurs avec le plus grand soin, et en employant de très bonne chaux hydraulique, au moins dans une certaine épaisseur du côté de l'eau.

Les digues en terre pour les réservoirs dont nous nous occupons ici, et dont les profondeurs n'excèdent pas 5 à 7 mètres, sont presque toujours plus économiques que les barrages en maçonnerie. Leur construction exige un assez grand nombre de précautions.

Quand on a choisi l'emplacement du barrage, on indique par un piquetage fait avec soin, et en suivant la marche indiquée pour les digues des rivières, l'emplacement que doit occuper le remblai auquel il convient de donner une certaine convexité du côté de l'eau. L'inclinaison du talus de ces digues dépend de leur élévation et de la nature des terres que l'on emploie. Dans les circonstances ordinaires, le talus du côté de l'eau doit avoir $2^m,50$ à 3 mètres de base pour 1 de hauteur, et le talus extérieur 1 à 2 mètres de base pour 1 de hauteur. Dans les digues très élevées, on pourrait ménager du côté de l'eau une ou deux banquettes

à des hauteurs différentes, et diminuer progressivement l'inclinaison en s'approchant de la base, de manière à ce que l'ensemble du talus présente la forme concave que prennent à la longue les anciennes chaussées d'étangs. Une largeur de 1m,50 à 2 mètres au couronnement est largement suffisante, même avec des terres médiocres, comme il est facile de le reconnaître par l'expérience aussi bien que par le raisonnement. Le couronnement des digues doit être arrasé à 0m,60 ou 0m,70 au-dessus du niveau de l'eau, pour que les vagues ne puissent pas le dépasser. Une plus grande surélévation est même nécessaire pour les digues des étangs ou réservoirs exposés au vent et d'une grande étendue. Il convient enfin de donner à la digue un bombement sensible au milieu de sa longueur, pour que l'eau déborde seulement aux extrémités, si une circonstance accidentelle leur faisait dépasser leur niveau ordinaire.

La fondation et l'enracinement des digues des réservoirs dans le terrain naturel doivent être exécutés avec un soin minutieux. La fondation doit s'approfondir par redans successifs, et présenter une assez grande profondeur vers le milieu de la digue. Le fond de la fouille est piqué, pour que la liaison se fasse bien avec les terres rapportées, dont les premières couches doivent être pilonées avec plus de soin encore que les suivantes, et arrosées, si cela est possible, avec du lait de chaux. Toutes les terres remblayées sont soigneusement émiettées et bien tassées par le passage des brouettes, ou mieux à l'aide du pilon.

On élève quelquefois au milieu de la digue un fort corroi en glaise, en sable gras ou même en béton maigre. Cette précaution est nécessaire quand on ne dispose que de terres de médiocre qualité. M. Polonceau indique l'emploi, au centre des digues, d'une rangée de palplanches enveloppées d'un corroi très soigné; mais ce mode de construction ne paraît pas, en général, devoir être recommandé.

Le talus d'aval des digues doit être gazonné ou semé. Il est bon de défendre aussi celui d'amont avec des gazons enlevés, autant que possible, dans des terrains marécageux. La partie supérieure de la digue exposée aux vagues et aux mouvements de l'eau est nécessairement garnie d'enrochements ou de piquets clayonnés. Pour les petits réservoirs bien abrités quelques lignes de joncs, plantés au niveau de l'eau, suffisent pour résister au clapotement du liquide.

Une dernière précaution, que l'on ne saurait assez recommander dans l'établissement des réservoirs, consiste à donner à leurs berges une forte inclinaison, pour éviter, pendant les basses eaux, la formation des parties marécageuses, véritable cause de l'insalubrité si souvent attribuée aux étangs. On doit donc creuser le terrain autour des bords du réservoir projeté, surtout du côté de la queue, où le sol présente en général le moins de pente, et l'eau le moins de profondeur. La terre extraite de ces fouilles sert à la construction de la chaussée, ou à la formation d'une petite digue d'enceinte, qui permet souvent d'augmenter beaucoup, et presque sans dépense, la profondeur et la capacité du réservoir.

Déversoirs et prises d'eau. Toutes les digues de réservoirs doivent être munies de déversoirs destinés à écouler, en temps d'orage ou de crues accidentelles, les eaux qui pourraient dépasser le niveau de la digue et la dégrader en s'écoulant à sa surface. Ces déversoirs sont construits en pierres, en briques, ou en bois. On les place à l'extrémité de la digue, de manière à établir le canal de décharge à flanc de coteau, et autant que possible sans chute. La largeur des déversoirs doit être telle que la tranche d'eau qu'ils débitent ne dépasse jamais 0m,15 à 0m,20, et n'acquière pas une vitesse suffisante pour dégrader les ouvrages; une largeur de quelques mètres suffit, pour

cela, dans les déversoirs moyens. Lorsque la disposition des lieux oblige à établir le canal de décharge à une certaine hauteur en contre-bas du deversoir, on divise cette hauteur en plusieurs chutes, séparées par de petits bassins, dans lesquels l'eau se brise et amortit sa vitesse. L'eau des déversoirs est quelquefois employée pour les irrigations d'hiver.

Le mode de construction des prises d'eau dépend de leur importance. Dans de très petits réservoirs, une simple buse en bois (fig. 79), placée dans le corps de la digue et fermée du côté de l'étang par une petite

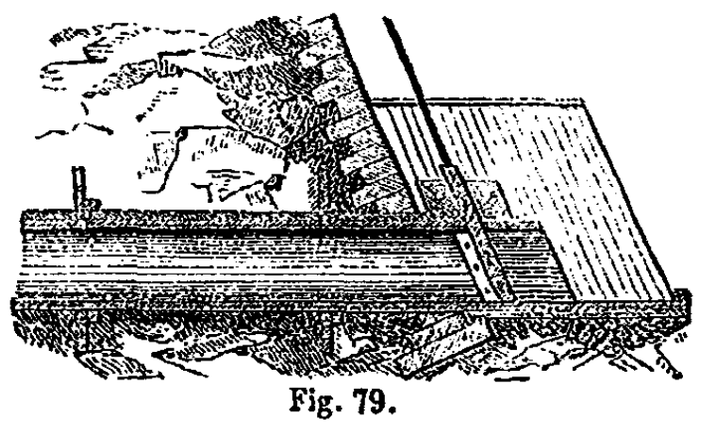


Fig. 79.

vanne, que l'on manœuvre de la chaussée avec une tige également en bois, suffit parfaitement. Les buses qui traversent des digues doivent être soigneusement goudronnées et calfatées avant leur pose. Il ne suffirait pas toujours de bien piloner la terre autour du corps prismatique de la buse pour s'opposer à toute infiltration d'eau entre elle et le terrain. Il faut encore garnir extérieurement ces buses de grands diaphragmes rectangulaires en bois, autour desquels on pilone soigneusement des corrois en terre grasse. Ces surfaces, verticales et imperméables, arrêtent les progrès des infiltrations qui tendraient à se produire.

La plupart des étangs, en France, ont un autre système de prise d'eau, très convenable comme moyen de vidange, mais qui ne semble pas très avantageux pour les prises d'eau d'irrigations dont la manœuvre doit être fréquente et facile à graduer. La fig. 80 fera comprendre cette disposition. Une forte buse en bois, ou un aqueduc dallé *a* est établi sous la digue et communique, par une ouverture conique pratiquée à son extrémité supérieure, avec une seconde buse, ou un aqueduc *c*, qui débouche dans l'étang. Une bonde en bois *d*, quelquefois garnie de cuir, peut boucher l'ouverture conique dont nous venons de parler et intercepter ainsi toute communication de l'eau avec l'extérieur. La bonde *d* est suspendue par une pièce de bois ou de fer, dont l'extrémité supérieure peut être manœuvrée au niveau de la chaussée. En soulevant la bonde on fait écouler l'eau de l'étang, et en la laissant redescendre on arrête cet écoulement. La bonde et sa tige sont renfermées dans un fort coffrage en charpente, ou mieux dans un puits cylindrique en maçonnerie, qui s'élève autour de l'orifice de l'aqueduc jusqu'au niveau de la chaussée. On peut éviter la construction, toujours assez dispendieuse, de ce coffrage ou de ce puits en plaçant la bonde au pied du talus d'amont de la digue. On manœuvre alors sa tige au moyen d'un appontement léger disposé comme celui indiqué par la fig. 81.

La manœuvre des bondes que l'on vient de décrire est assez difficile quand la profondeur d'eau est considérable, puisque l'effort à exercer, indépendamment des résistances accidentelles, est égal au poids d'une colonne d'eau ayant pour base la surface de la bonde et pour hauteur la profondeur de l'étang lui-même au-dessus de l'aqueduc de décharge. On ne doit pas donner à ces bondes plus de 0m,40 à 0m,50 de diamètre.

AGRICULTURE.

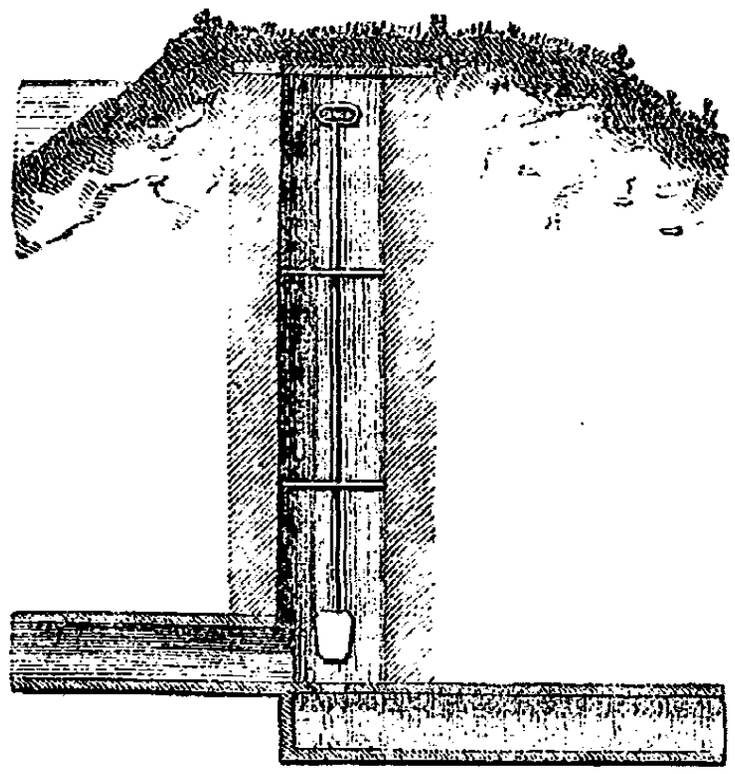


Fig. 80.

Une bonde de $0^m,45$ de diamètre avec une charge de 3 mètres débite environ 750 litres par seconde. Quand la section des aqueducs est assez grande relativement à celle de la bonde, on peut approximativement calculer le débit Q, par la formule : $Q = 0,62 . s \sqrt{2gh}$ dans laquelle s est la section de l'ouverture de la bonde, h la hauteur de l'eau au-dessus de cette ouverture, et $g = 9,81$.

Dans les réservoirs un peu importants la prise d'eau peut se faire au moyen d'un véritable aqueduc construit sous la digue, et dont la tête d'amont est garnie d'une vanne analogue à l'une de celles décrites plus loin. Cette vanne se manœuvre de l'extrémité d'un appontement léger disposé comme le montre la fig. 81, qui indique, en même temps, le profil de la digue. Cette disposition ne permet de visiter et de réparer la vanne qu'en vidant complétement le réservoir. On peut éviter cet inconvénient, pour les réservoirs d'une grande dimension, en élevant les murs en aile de la figure précédente, avec l'inclinaison de la digue, jusqu'au niveau de l'eau, et plaçant la tête de l'aqueduc à l'aplomb de l'arête supérieure de la chaussée. On ménage dans les murs en aile, à $1^m,50$ environ en avant de la tête de l'aqueduc, deux rainures, où l'on place des poutrelles quand on a besoin de réparer la vanne ou son aqueduc. Enfin, quand la profondeur d'eau est très considérable, on fait quelquefois des prises à différentes hauteurs dans l'étang. Les ouvrages de cette espèce sont un peu compliqués, et ne sont d'ailleurs nécessaires que pour des réservoirs beaucoup plus vastes que ceux que les simples particuliers peuvent avoir à construire. Il est inutile de nous y arrêter.

On peut encore faire d'excellentes prises d'eau au moyen de tuyaux de fonte traversant les digues, engagés du côté de l'eau dans une tête en maçonnerie, et fermés par des vannes en métal glissant dans une rainure.

Quand la profondeur de l'eau atteint 2 ou 3 mètres, la formule de la dépense, pour un tuyau disposé comme on vient de l'indiquer, se ramène, sans erreur notable, à une forme assez simple : en appelant h la hauteur de l'eau au-dessus de l'extrémité d'aval du tuyau, l la longueur et d le diamètre de ce tuyau, et Q la dépense par seconde, on a sensiblement

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot 0,80 \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 + 0,02 \frac{l}{d}}}.$$

En avant des vannes ou bondes de prise d'eau il faut mettre des grilles en fer ou en bois pour empêcher le poisson de sortir de l'étang, ou les herbes d'obstruer les canaux.

Dans les réservoirs d'irrigation il y a souvent une bonde de vidange placée au point le plus bas, et une prise d'eau plus élevée pour le service des arrosages. Chacune de ces ouvertures est desservie par un canal de fuite particulier. L'eau est, en général, animée d'une grande vitesse en sortant des tuyaux de prise d'eau ; il convient de lui faire perdre cet excès de vitesse dans de petits bassins placés à l'entrée des canaux de fuite, ou au moins de garnir ceux-ci d'empierrements, sur une certaine longueur, pour qu'ils ne soient pas dégradés par des affouillements.

Il existe en Espagne et en Italie un grand nombre de réservoirs d'irrigation. On cite, entre autres, dans ce dernier pays, le réservoir de Ternevasio, qui a 23 hectares de superficie, une profondeur moyenne de 5 mètres, et sert à l'irrigation de 57 hectares de terrain. En France, les grands réservoirs, exclusivement consacrés à l'arrosage, sont assez rares ; l'un des plus remarquables est celui de Caromb (Vaucluse):

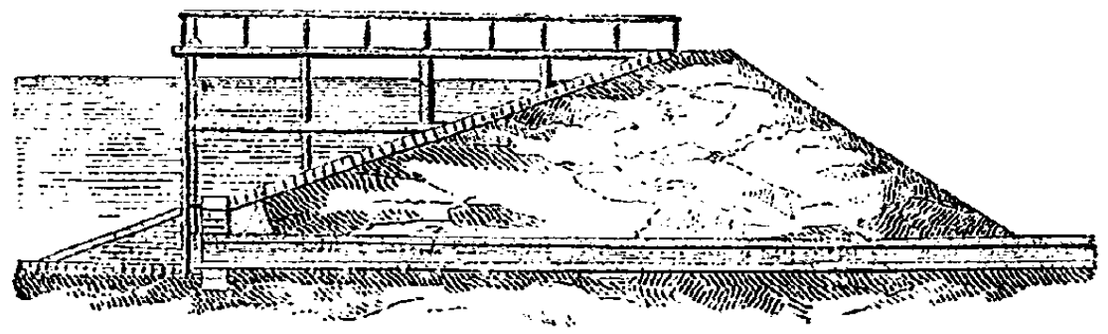


Fig. 81.

il contient 250,000 mètres cubes d'eau. Sa digue est en maçonnerie, elle a 17 mètres de hauteur et 78 mètres de longueur. Les réservoirs moins importants sont assez nombreux ; il serait impossible de les signaler tous.

5. *Prises d'eau dans les rivières et ruisseaux.* La construction des dérivations et des barrages établis sur les fleuves et rivières navigables ou flottables appartient à l'État. On ne s'occupera donc ici que des travaux d'une importance secondaire que les particuliers peuvent avoir à entreprendre sur de petits cours d'eau.

Quand on veut détourner entièrement l'eau d'une rivière ou d'un ruisseau, ou bien élever son niveau pour atteindre des terrains plus élevés que ceux que l'on pourrait naturellement arroser, on est obligé de recourir à l'établissement d'un barrage en aval de l'entrée de la rigole de prise d'eau. Dans le cas contraire, une simple dérivation, avec épi plus ou moins long, mais sans barrage, suffit parfaitement. Les prises d'eau,

AGRICULTURE.

dans les rivières ou canaux, peuvent donc s'effectuer avec ou sans barrage.

Prises d'eau sans barrage. L'introduction de l'eau, dans le canal de dérivation, peut avoir lieu sans aucun ouvrage spécial, ou bien au moyen d'un déversoir, d'un aqueduc couvert traversant les digues de la rivière; ou, enfin, par des vannes ou autres moyens analogues.

Les canaux communiquant librement avec les rivières ou ruisseaux sont exposés, comme les cours d'eau naturels, à tous les inconvénients des inondations et à de fréquents ensablements. Lorsque les canaux débouchent directement dans une rivière, il faut, pour éviter qu'ils ne lui enlèvent plus ou moins d'eau qu'ils ne doivent le faire, régulariser parfaitement leur section sur une longueur de quatre ou 500 mètres, et construire, de place en place, quelques profils-types en maçonnerie pour servir de points de repères invariables à l'époque des curages.

Les déversoirs limitent le maximum du volume d'eau que le canal peut recevoir en étiage; ils s'opposent jusqu'à un certain point à l'introduction, dans le canal, des sables et graviers, mais ne le protègent nullement contre les inondations.

Les aqueducs de prises d'eau couverts, quand ils ne sont pas garnis de vannes, ont les mêmes inconvénients, bien qu'à un moindre degré, que les deux premières dispositions.

Pour régler l'entrée de l'eau dans un canal, et la supprimer au besoin, on emploie presque toujours, des martelières. Les fig. 82 et 83 indiquent le mode de construction

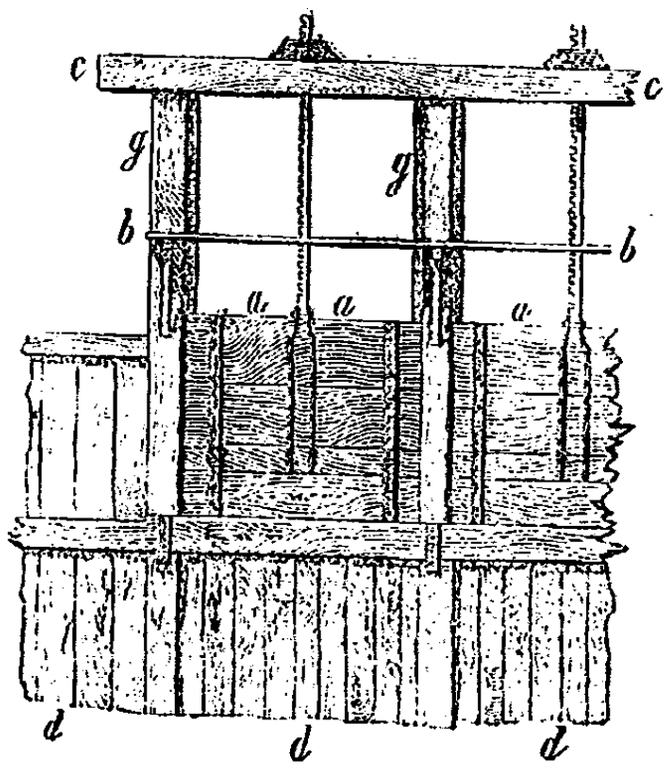


Fig. 82.

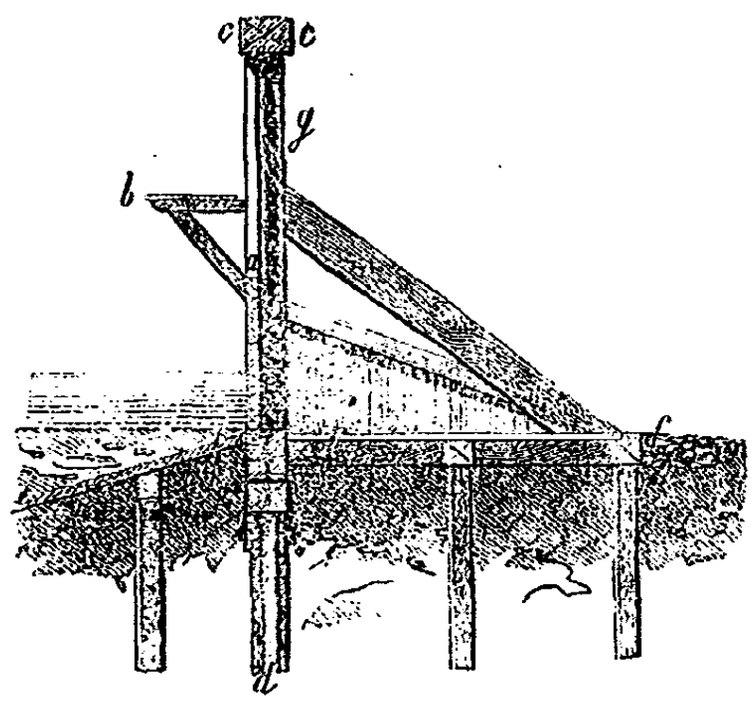


Fig. 83.

d'un ouvrage de cette nature. Les vannes *a* se meuvent dans des cadres en charpente, formés d'un seuil horizontal et d'une série de montants verticaux *g* reliés par un chapeau, qui supporte les cries destinés à soulever les vannes. De forts planchers, ou des enrochements, forment un avant et un arrière radier qui s'opposent aux affouillements. Dans les sols peu résistants et dans les ouvrages bien faits, on drague jusqu'au terrain solide à l'emplacement de l'ouvrage; on bat la ligne de pieux et palplanches *d* sur lesquels reposent les vannes, et, enfin, on coule de chaque côté de cette première charpente de forts empattements en béton. Il est quelquefois nécessaire de battre en avant de l'ouvrage une seconde rangée de pieux et de palplanches *f*, et de remplir de béton ou d'enrochements tout l'espace compris entre l'aplomb des vannes et cette seconde ligne. La vanne que représente la figure précédente, en augmentant, au besoin, le nombre des vantaux, suffit pour les plus grands ouvrages de la nature de ceux qui nous occupent.

Les fig. 84, 85 et 86 indiquent la disposition d'une petite vanne beaucoup plus simple que celle que l'on vient de décrire. Elle suffit parfaitement pour toutes les rigoles d'arrosage, et se place à leur embranchement avec les ruisseaux ou les rigoles d'un ordre plus élevé. Les montants *d* entre lesquels glissent les vantelles sont en bois ou en pierre. Une vanne à deux ouvertures coûte dans les Vosges environ 60 fr.

Dans tous les canaux qui ne sont pas garnis de vannes à leur embouchure, il faut toujours ménager, en un point convenable, une enclave en maçonnerie, avec rainures pour recevoir des poutrelles qui empêchent l'introduction de l'eau quand le canal a besoin de réparations.

La direction du canal, dans son point de raccordement avec le cours d'eau naturel, fait, en général, avec celui-ci un angle aussi aigu que possible. L'embouchure de ces canaux doit offrir un certain évasement raccordé avec les rives du ruisseau par des courbes. Ces raccordements sont défendus des corrosions par des revêtements en gazons, en clayonnages, en perrés ou même en maçonnerie, suivant l'importance de l'ouvrage, la rapidité du cours d'eau et la valeur relative des différents matériaux dans le lieu de la construction.

Prises d'eau avec barrage. Les *barrages* construits en lit de rivière pour élever l'eau au-dessus de son niveau naturel et établir une prise d'eau ou un moteur hydraulique sont *fixes* ou *mobiles*. On va dire quelques mots de ces deux classes de constructions.

Le mode d'établissement des barrages *fixes* varie avec leur importance, et dépend d'une foule de circonstances locales. Quelques pieux, des branchages, des pierres et du gravier suffisent pour barrer un très petit cours d'eau et mettre ses eaux à la disposition du cultivateur; mais quand il s'agit de travaux plus solides, les méthodes varient à l'infini.

Les barrages à paroi verticale du côté d'aval sont, en général, rapidement détruits par les affouillements qui se produisent à leur pied. On les remplace presque toujours par des barrages à plan incliné. L'une des méthodes les plus simples de construction de ces ouvrages consiste à battre deux files de pieux et palplanches (fig. 87; réunis par des moises longitudinales et transversales)

AGRICULTURE.

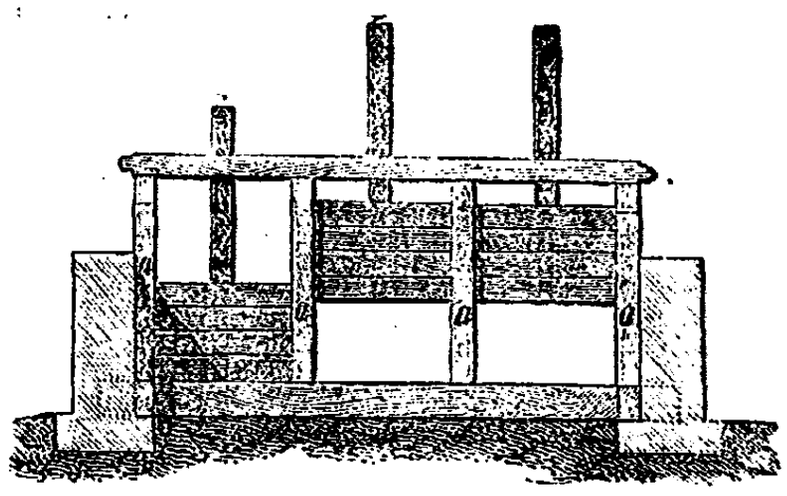


Fig. 84 (0,01). Élévation.

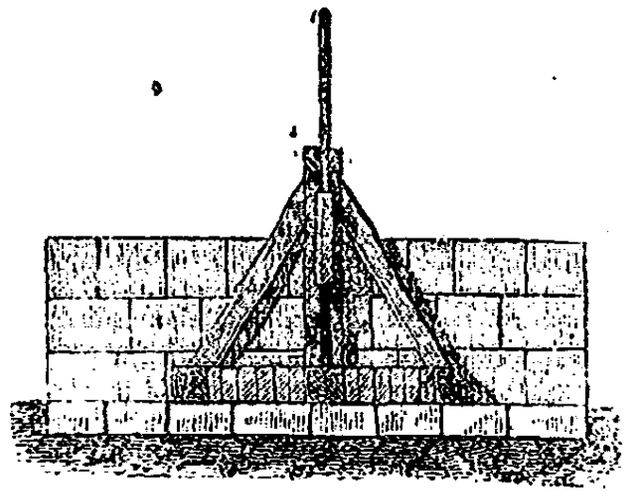


Fig. 85 (0,01). Coupe.

ce coffrage est rempli de moellons bruts laissant entre eux le moins de vide possible. Les glacis supérieurs sont formés avec de gros moellons ayant au moins 0m,60 de queue, et posés jointivement. On jette d'autres moellons en amont de la construction, et en aval on drague le sol sur une certaine étendue; on enfonce de petits pieux à tête saillante dans cette fouille, et on remplit les vides avec des moellons formant un radier sur lequel l'eau achève de perdre son excès de vitesse.

Pour les barrages plus élevés que les précédents, on emploie souvent la construction suivante. On bat (fig. 88) deux lignes de pieux et palplanches reliés par

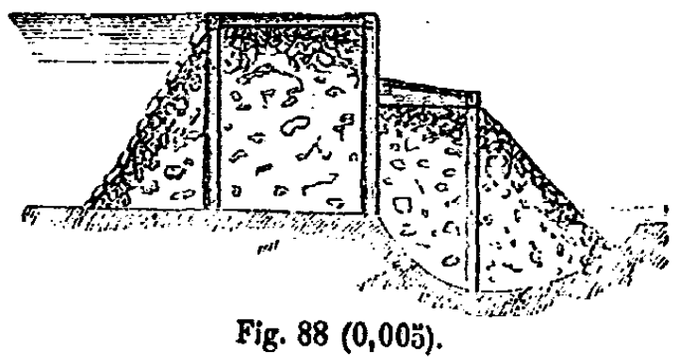


Fig. 88 (0,005).

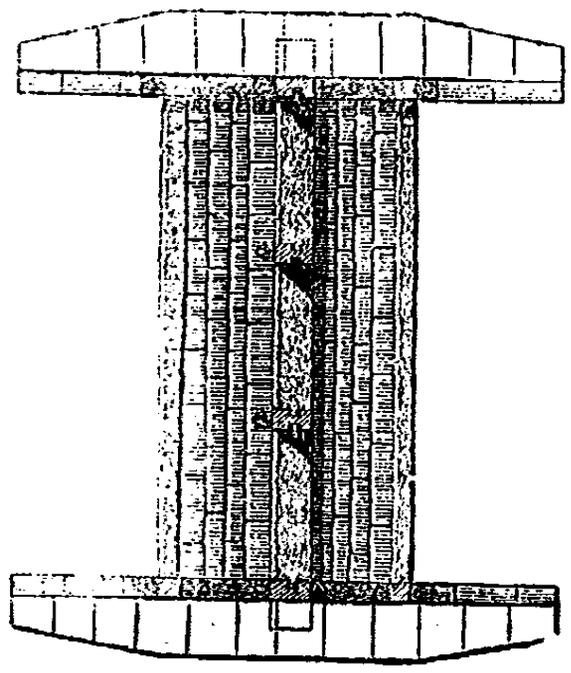


Fig. 86 (0,01). Plan.

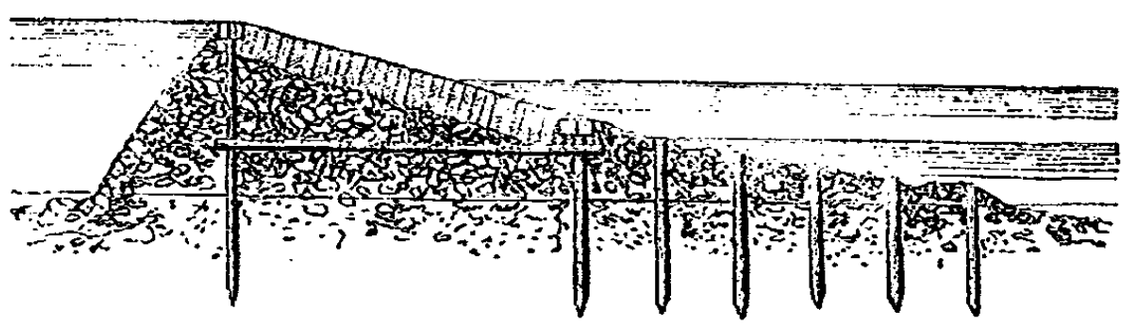


Fig. 87 (0,005).

des moises, et formant un coffrage de la hauteur que doit avoir le barrage. On remplit ce coffrage de moellons et on le recouvre de madriers jointifs. En aval de ce barrage, on établit un radier en charpente divisé en gradins si la chute est considérable.

On construit quelquefois des barrages au moyen de pierres perdues jetées dans le lit de la rivière; peu à peu les interstices des pierres se remplissent de sable, et le barrage retient bien l'eau; mais on emploie ainsi, en général, beaucoup de pierres, de sorte qu'en définitive ce mode de construction, très simple en apparence, est en réalité plus coûteux que les précédents.

On peut souvent former des barrages très économiques, et cependant assez durables, au moyen de couches alternatives de fascines et de gravier; de forts piquets fixent entre elles et au sol les divers rangs de fascines. On donne à ces barrages une pente très douce en aval, et on maintient le pied par une rangée de pieux, suivie d'un enrochement ou d'une série de fascines ou paniers remplis de gravier qui forment l'arrière-radier de l'ouvrage.

L'arête supérieure des barrages doit être arasée aussi horizontalement que possible, afin que le déversement de l'eau ait lieu d'une manière plus uniforme. Dans quelques barrages on construit un véritable déversoir sur une certaine largeur, et on élève le reste du barrage au-dessus du niveau des eaux. A moins de circonstances exceptionnelles, cette disposition ne semble pas présenter d'avantage véritable.

Dans les petits ruisseaux on dispose généralement les barrages en ligne droite perpendiculaire au cours d'eau. Pour les ouvrages plus importants, il convient d'adopter une ligne brisée ou un arc de cercle dont la convexité soit tournée vers l'amont. Cette disposition rejette l'eau vers le milieu du lit et diminue les remous et les affouillements. On doit, en tout cas, éviter au-

tant que possible de faire des barrages de plus de 2 mètres ou 2m,50 de hauteur, car la construction deviendrait alors très difficile.

Les barrages *mobiles* ont l'avantage de s'enlever complétement en temps de crues, et de laisser à l'eau tout l'espace nécessaire à son écoulement. Il existe un très grand nombre de dispositions de barrages mobiles. L'un des plus simples et des plus employés dans ces derniers temps a été imaginé par M. Poirée. On en trouve maintenant la description dans tous les ouvrages de navigation ; mais pour les petits travaux dont nous parlons maintenant, une vantillerie, semblable à celle que nous avons décrite ci-dessus (fig. 82), est ce qu'il y a de plus convenable. On manœuvre les vannes en raison du remous dont on a besoin, et on les lève complétement en temps de crue. Quand la vantillerie n'a qu'une dizaine de mètres de largeur, on la met en ligne droite; si elle est plus considérable, il convient de la disposer, comme les barrages fixes, en chevron brisé dont le sommet est du côté d'amont. On lui donne ainsi plus de rigidité et de force pour résister à la poussée.

La construction des barrages est toujours difficile et demande beaucoup de soins et de précautions que nous ne saurions indiquer ici. Nous recommanderons seulement, comme l'une des précautions les plus indispensables, de bien enraciner les ouvrages dans les deux rives, où se trouvent presque toujours les points les plus exposés.

Canaux et rigoles d'irrigation. Après avoir indiqué les différents moyens de se procurer de l'eau, il faut étudier les dispositions des ouvrages qui servent à conduire cette eau du point où elle est réunie jusqu'aux champs à arroser.

On distingue plusieurs classes de canaux d'irrigation, qui diffèrent les uns des autres par leurs dimensions et la nature des ouvrages qu'ils nécessitent. Les uns conduisent l'eau depuis la prise jusqu'au point où commencent les irrigations. Ce sont les canaux d'amenée proprement dits; leur débit est à peu près constant sur toute leur étendue. Les canaux d'arrosage leur font suite; sur ces derniers s'embranchent les différentes rigoles ou canaux secondaires, dont les ramifications plus ou moins nombreuses portent l'eau jusqu'aux rigoles du dernier ordre qui sillonnent les terres arrosables. — On indiquera plus loin la disposition du sol à irriguer; pour le moment, il ne s'agit que d'examiner les canaux et les rigoles qui apportent l'eau au cultivateur.

On ne saurait donner de règles générales pour déterminer, dans chaque cas particulier, le tracé des canaux et des rigoles principales d'irrigation. On ne peut qu'indiquer les conditions générales auxquelles doivent satisfaire ces travaux, dont les études exigent toute la sagacité de l'ingénieur.

Le volume Q, d'eau à débiter par seconde, la pente par mètre I, et la section Ω d'un canal sont liés entre eux par les relations que nous avons précédemment indiquées (2e section), savoir :

$$RI = 0{,}000024\,u + 0{,}000366\,u^2$$

$$R = \frac{\Omega}{\chi} \quad Q = \Omega u.$$

dans lesquelles, comme on sait, u représente la vitesse moyenne, et χ le périmètre mouillé. Mais il ne faut pas croire que l'une de ces quantités étant donnée, toutes les autres peuvent être choisies arbitrairement. Les vitesses de l'eau dans les canaux, et, par suite, les pentes par mètre, sont renfermées dans des limites assez étroites. Le tableau que nous avons donné à propos des canaux de desséchement, et qui indique les vitesses que l'eau ne doit pas dépasser dans différents terrains, est également applicable au cas actuel.

Plus la vitesse est grande, plus la section du canal pour un débit donné peut être faible, et plus par conséquent sont réduits les frais d'ouverture des canaux et les pertes d'eau par infiltration et par évaporation. Mais, d'un autre côté, les grandes vitesses nécessitent de fortes pentes qui réduisent d'autant la hauteur à laquelle on peut amener les eaux d'arrosage, et entraînent d'ailleurs d'autres inconvénients. Le choix de la pente des différentes parties d'un canal ou d'une rigole d'irrigation se trouve ainsi déterminé par un grand nombre de circonstances et de considérations qui doivent être soigneusement étudiées dans chaque cas particulier. Les auteurs donnent, du reste, à cet égard des indications très variables, et les travaux exécutés montrent qu'en effet il serait impossible d'indiquer par un seul nombre les pentes les plus convenables. En général, on peut admettre que la vitesse, dans les grands canaux, doit être comprise entre 0m,20 et 0m,50 par seconde.

Les pentes des grands canaux d'arrosage peuvent varier de 0m,10 à 0m,30 par kilomètre. Celles des rigoles secondaires peuvent atteindre 1 mètre ou 1m20; *mais il est rare qu'il convienne* de dépasser cette dernière limite, à moins de circonstances exceptionnelles, quoiqu'on en rencontre plusieurs exemples dans le tableau suivant, où se trouvent réunis quelques chiffres relatifs aux pentes de certains canaux existants.

Désignation des canaux :	Pentes par kilomètre :	
	m.	m.
Rigoles d'arrosage en pays de montagnes, dans le Tyrol, les parties hautes des Alpes, etc.	2,00	à 6,00
Canaux d'Alaric, de la Gespe et de Tarbes.	2,22	5,00
Canal du Bazer (Haute-Garonne). .	0,24	0,40
Canal de Craponne.	0,86	2,30
Canal des Alpines (parties modernes).	0,30	0,50
Canaux de Saint-Julien, de Cavaillon, etc.	0,45	1,60
Canal de Marseille.	0,30	1,00
Canal de Pierrelate.	0,13	0,41
Canal d'Ivrée (Piémont).	0,52	1,28
Canaux particuliers modernes dans le Piémont.	0,36	0,84
Naviglio-Grande (Milanais). . . .	0,29	1,55
Canal de Pavie.	0,18	0,41
Canaux particuliers modernes du Milanais.	0,27	0,62

Quand on a fixé, à l'aide des considérations précédentes et de l'étude sur le terrain, le profil en long d'un canal ou d'une rigole, et que l'on connaît d'ailleurs la portée qu'il doit avoir, la détermination du profil en travers ne présente plus en général de difficulté et ne demande que quelques essais. On donne presque toujours à la section d'un canal la forme d'un trapèze dont les côtés qui forment les berges sont également inclinés. Cette inclinaison dépend de la nature des terres; elle varie de 1 à 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur. Dans les terrains très peu résistants on est même obligé d'adopter des talus à pentes encore plus douces; dans les sols très compactes, on peut au contraire rapprocher les talus de la verticale. Certains canaux ouverts dans le rocher, ou garnis de revêtements en maçonnerie, présentent même une section rectangulaire. — Il serait avantageux, comme nous l'avons déjà remarqué, de donner aux canaux, au moment de leur creusement, la forme concave que l'eau tend à leur faire prendre. Dans tous les cas, la crête de la berge doit être à 0m,30 ou 0m,40 au moins au-dessus du niveau de l'eau.

Exécution des canaux, terrassements et ouvrages d'art. Le creusement des canaux ou rigoles dans les terrains ordinaires ne présente aucune difficulté particulière. Si le canal est fortement en déblai, il faut interrompre par des banquettes la continuité du talus. Dans les canaux un peu importants, on laisse une banquette à la hauteur de la flottaison du côté du chemin de halage. Les talus, du reste, sont recouverts de gazons semés ou rapportés. Lorsqu'on traverse des terrains éboulеux, on défend les rives par des clayonnages ou par des fascines, soutenus par des pieux, ou même par des murs, si les pierres sont abondantes. Quand le terrain le permet, le tracé du canal est tel que le terrain extrait de la fouille sert à former à droite et à gauche deux digues qui complètent le profil en travers adopté. Quelquefois aussi le canal est entièrement en remblai. Dans ces deux cas, il faut apporter le plus grand soin à l'exécution des digues, piocher la surface du sol pour que le raccordement de la terre se fasse bien, piloner le remblai par couches, et enfin le gazonner sur toute sa surface. L'inclinaison des talus de ces digues varie, en général, de 1 à 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur. La largeur de la digue en couronne est ordinairement égale à la profondeur de l'eau du canal.

Lorsque les canaux ou rigoles traversent des terrains perméables qui absorbent une grande quantité d'eau, on doit essayer de les étancher. Les cuvettes en béton ou en maçonnerie sont presque toujours des ouvrages trop coûteux pour les petites entreprises agricoles. Dans les travaux qui nous occupent, il faut recourir seulement à des corrois en terre grasse, pilonés sur le fond et les bords des canaux, avec les précautions indiquées en parlant des réservoirs. Quand les filtrations ne sont pas trop considérables, on peut souvent les arrêter plus économiquement en délayant dans l'eau du canal du sable fin et des terres argileuses. Ces matières, entraînées par l'eau, pénètrent dans les fissures du sol et finissent par les boucher.

Les travaux d'art que nécessitent les grandes entreprises d'irrigation sont les mêmes, pour la plupart, que ceux des canaux de navigation. Nous ne parlerons ici que des ouvrages de moindre importance qui se rencontrent même dans les petits canaux d'irrigation, ou qui sont spéciaux à ce genre de travaux.

On est souvent forcé de faire passer une rigole ou un canal d'arrosage au-dessus d'un cours d'eau naturel. Lorsque la hauteur du canal est assez considérable, un simple aqueduc ordinaire, ou un petit pont sur lequel passe le canal avec son profil de remblai, laisse au cours d'eau son écoulement habituel; mais quand le ruisseau se trouve à peu près à la même hauteur que le canal, on est obligé d'avoir recours à un aqueduc syphon en maçonnerie, ou en fonte et maçonnerie. Nous n'insistons pas du reste sur ce genre d'ouvrage; il ne se rencontre que dans des travaux importants et nécessite le concours d'un constructeur de profession.

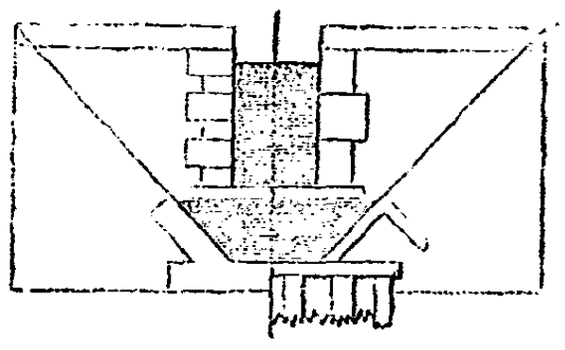
Les ponts et ponteaux à établir au-dessus des canaux et rigoles d'irrigation, pour conserver les chemins qu'ils traversent, se construisent en pierre et plus souvent en bois Leur portée est généralement assez faible, et quelques poutres, réunies par des longrines et un plancher, suffisent pour les établir.

Le terrain que doit traverser un canal présente quelquefois une pente supérieure à celle qu'il convient d'adopter. On est obligé, dans ce cas, de partager la longueur totale du canal en différents biefs, d'une pente convenable, séparés par des différences brusques de niveau, obtenues au moyen d'ouvrages plus ou moins importants. Dans les grands canaux d'Italie, qui servent à la fois à l'irrigation et à la navigation, les biefs sont séparés les uns des autres par des

AGRICULTURE.

écluses ordinaires avec portais accolés et barrages ou déversoirs, pour assurer le passage de l'eau nécessaire aux arrosages, lorsque le service de l'écluse ne suffit pas pour atteindre ce but. Dans les petits canaux on se borne à séparer les biefs par des chutes formées d'une ou de plusieurs vannes établies dans un ouvrage en maçonnerie, défendu à sa partie d'aval par un radier capable de résister aux affouillements. Les fig. 89, 90

Fig. 89 (0,01). Élévation.



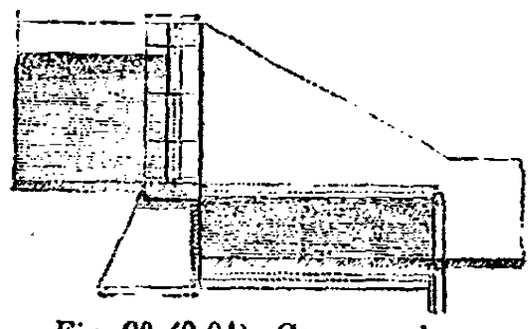


Fig. 90 (0,01). Coupe en long.

représentent la disposition des chutes établies sur les rigoles secondaires d'irrigation en Belgique. Ces petits ouvrages d'art sont formés d'un massif en maçonnerie dans lequel est ménagée une ouverture rectangulaire de la largeur du plafond de la rigole. Les banquettes des biefs inférieurs et supérieurs viennent s'appuyer contre le massif de maçonnerie. Un revêtement en briques, retenu à l'aval par une rangée de palplanches peu épaisses, moisées à leur partie supérieure, défend, contre les affouillements, le plafond et les banquettes du bief d'aval. Des rainures, ménagées dans les bajoyers de la chute, reçoivent la vanne en bois qui règle l'écoulement de l'eau d'un biez dans le biez suivant. Une barre de fer méplat percée de trous est fixée au milieu de la vanne. Cette barre de fer passe dans l'œil d'une traverse, également en fer, scellée dans les bajoyers, et permet de maintenir la vanne à la hauteur voulue, au moyen d'une cheville placée dans un trou convenablement choisi.

On peut établir en bois des ouvrages analogues, plus économiques de construction, mais plus dispendieux d'entretien.

Les rigoles d'arrosage, même de petites dimensions, peuvent rendre de très grands services pour le transport des engrais et des récoltes. Il convient, quand il en est ainsi, de supprimer les chutes ou du moins de les remplacer par de véritables écluses à sas, mais d'une construction très simple. L'emploi d'un barrage mobile, analogue à celui de M. Thénard, peut offrir, dans ce cas, de grandes économies.

Parmi les ouvrages les plus indispensables sur les canaux d'arrosage, se trouvent les vannes de décharge et les prises d'eau établies au point d'embranchement d'une rigole sur une autre. Les dispositions de ces ouvrages varient avec leur importance et le goût des constructeurs; il suffira d'indiquer les suivantes :

Les fig. 91 et 92 montrent la disposition d'une vanne de décharge construite sur le canal de Marseille.

Les fig. 93 et 94 représentent une prise d'eau à

AGRICULTURE.

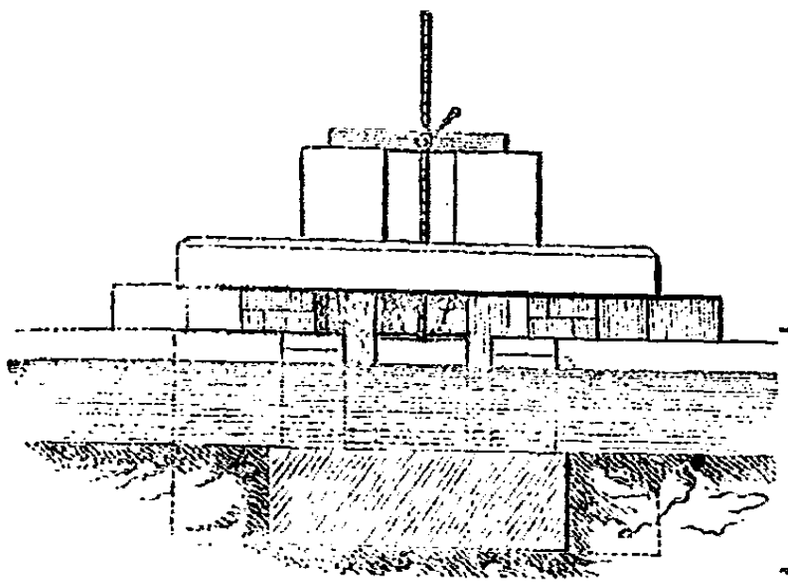


Fig. 91 (0,01). Elévation d'amont.

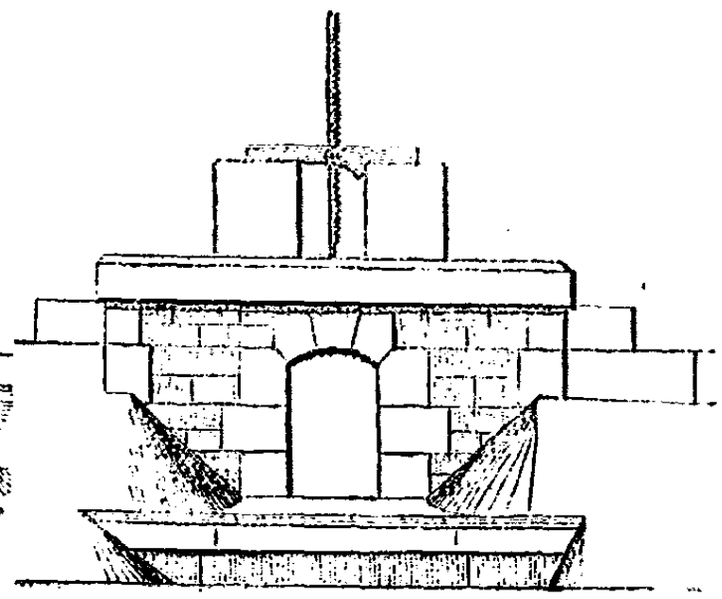


Fig. 92 (0,01). Elévation d'aval.

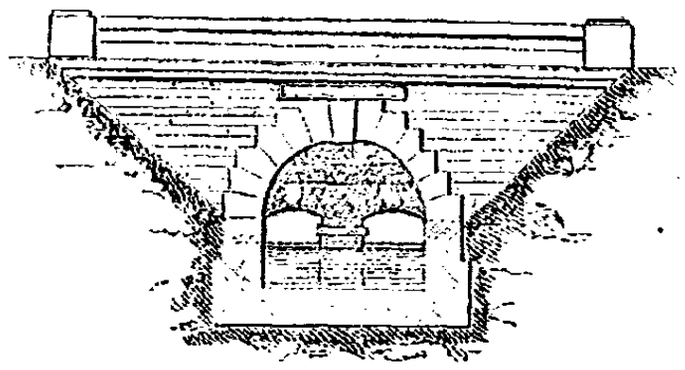


Fig. 93 (0,005). Élévation d'aval.

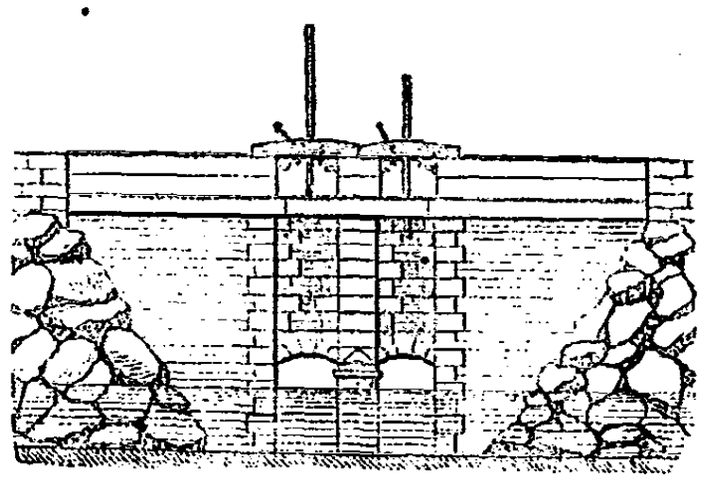


Fig. 94 (0,005). Élévation d'amont.

deux vannes du canal de Peyrolles (Bouches-du-Rhône). Cet ouvrage est d'un aspect satisfaisant ; la pile, qui partage la grande voûte en deux parties, a pour but de réduire à une grandeur convenable la largeur de ces vannes.

Pour les prises d'eau des petites rigoles sur les ruisseaux, ou sur les canaux secondaires, on emploie avec avantage une vantillerie semblable à celle qui a été décrite ci-dessus (fig. 84, 85, 86). Au canal de Marseille, les prises d'eau peu importantes sont disposées comme l'indique la fig. 95.

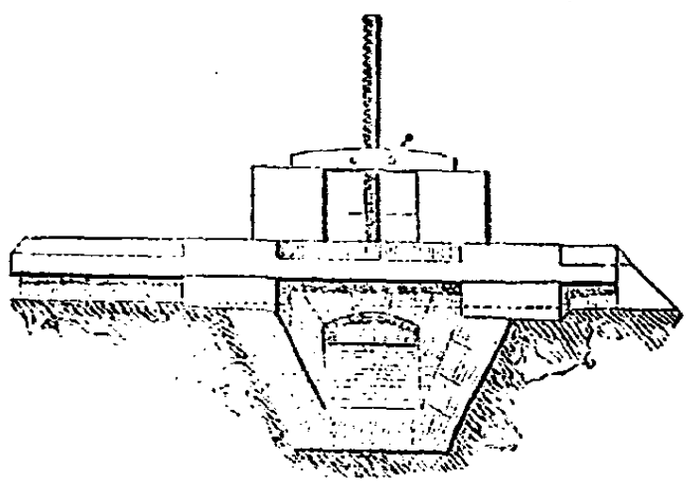


Fig. 95.

Machines à élever l'eau. L'emploi des machines à élever l'eau pour les irrigations présente une très grande importance dans les pays où, comme en France, la propriété est extrêmement divisée, et où les populations ne comprennent point encore assez les avantages de l'association. Il est rare, en effet, qu'un propriétaire possède une assez grande étendue de terrain pour qu'elle puisse supporter à elle seule les frais d'établissement d'un canal d'amenée, construit à force d'indemnités sur le terrain d'autrui. Les machines, au contraire, peuvent s'établir partout, sur les bords des cours d'eau, au droit de chaque intéressé, sans soulever les réclamations des riverains, et sans rencontrer les entraves administratives. Il convient donc de les étudier avec soin et de ne pas les rejeter comme trop coûteuses. On verra, en effet, qu'elles offrent souvent le moyen le plus économique de se procurer de l'eau

Les grandes pompes, les vis, les roues à palettes et les écopes à vapeur dont nous avons parlé ci-dessus, au sujet des desséchements, peuvent également servir comme machine d'irrigation. On trouve dans le *Dictionnaire* tous les renseignements nécessaires à l'établissement des différentes machines hydrauliques ; il serait inutile de revenir ici sur ce sujet ; nous nous bornerons à mentionner les appareils les plus convenables pour l'objet qui nous occupe.

Le manége des maraîchers, que tout le monde connaît, est employé pour les puits d'une assez grande profondeur. Il ne saurait convenir, dans sa forme habituelle, que pour l'arrosage de cultures très productives, et ne constitue pas une machine d'irrigation proprement dite. On pourrait peut-être en dire autant des *norias* (voy. ce mot) employées dans la culture maraîchère du midi. Cependant cet appareil paraît susceptible d'applications en grand, et nous pourrions citer, aux environs de Toulouse, des prairies irriguées avec bénéfice au moyen de norias. On emploie en Espagne des norias grossières, construites avec des cordes et de vases de terre.

L'effet utile de ces appareils primitifs est considérable ; il atteint celui de la plupart des norias en métal.

AGRICULTURE.

Les roues à godets et les tympans (voy. HYDRAUL.), par la simplicité de leur construction et la régularité de leur marche, sont probablement les machines les plus convenables pour les irrigations. Nous citerons, enfin, la machine de Japelli, qui paraît devoir fournir d'excellents résultats, et qu'il serait désirable de voir plus répandue.

Les différentes machines dont il vient d'être question; et les autres de même nature, peuvent être mises en jeu suivant leur importance et la disposition des lieux, par des moteurs animés, des roues hydrauliques ou la vapeur. Le vent, en raison de son irrégularité surtout pendant la saison des arrosages, nécessite, en général, l'établissement de réservoirs pour conserver l'eau élevée pendant la marche du moulin.

Partage des eaux entre les intéressés. Quand l'eau est rare et vivement recherchée par les intéressés, comme cela arrive dans les pays où les irrigations sont appréciées à toute leur valeur, la répartition de l'eau entre les ayants droit devient une source fréquente de réclamations et de procès. Les appareils de distribution prennent alors une très grande importance et leur construction, très difficile, du reste, pour arriver à des résultats rigoureux, mérite de fixer l'attention d'une manière d'autant plus spéciale que l'on doit reconnaître l'imperfection des moyens proposés ou employés jusqu'à présent pour cet objet.

L'eau se vend généralement, sur les canaux d'irrigation français, à raison d'un prix fixé par hectare arrosé. Cette méthode est on ne peut plus vicieuse; elle porte l'usager à gaspiller l'eau au lieu de la ménager, et donne lieu à une foule de contestations. Il conviendrait de vendre l'eau au mètre cube. L'un des problèmes d'hydraulique agricole les plus intéressants serait de trouver un moyen simple d'évaluer, avec certitude, la quantité de liquide livrée à chaque usager.

Le débit d'une vanne dépendant à la fois de la section qu'elle présente et de la charge d'eau qui existe au-dessus d'elle, on a proposé l'emploi d'une double vanne, percée d'une ouverture rectangulaire, que l'on peut ramener à l'aide d'une vis ou d'une crémaillère, à une hauteur constante au-dessous du niveau de l'eau. La vantelle destinée à fermer au besoin l'ouverture dont on vient de parler reçoit un mouvement indépendant de celui de la vanne, de sorte qu'elle peut laisser libre, dans chaque circonstance particulière, la section dont on a besoin.

L'appareil que l'on vient de décrire exige une surveillance continuelle et doit être manœuvré toutes les fois que le niveau de l'eau change dans le canal où se fait la prise. D'autres ingénieurs ont voulu rendre inutile la surveillance de leurs vannes, et charger l'eau elle-même de les maintenir à la hauteur voulue. A cet effet, ils ont suspendu la vanne régulatrice, à l'aide d'une forte traverse, à deux flotteurs en tôle placés dans un bassin communiquant directement avec le canal. Ce dernier procédé paraît fort ingénieux et produit, sans doute, de bons résultats. On est cependant forcé de reconnaître qu'il est, comme le précédent, un peu compliqué, et qu'il demande encore quelques améliorations de détail.

C'est dans le Milanais et le Piémont que les appareils régulateurs offrent le plus d'intérêt et se présentent en plus grand nombre. On trouvera sur ces constructions tous les détails nécessaires dans le *Traité des irrigations en Italie* de M. Nadault de Buffon. Il suffira d'en indiquer ici le principe. Lorsqu'il s'agit seulement de partager, en un certain nombre de parties égales ou proportionnelles le débit d'un canal, on établit dans son lit régularisé en amont, sur une assez grande longueur, un *partiteur* formé de petits murs terminés chacun par une arête verticale. L'eau ainsi divisée se dirige dans les nouveaux canaux dont les petits murs forment l'entrée. Ce moyen ne peut donner des résultats rigoureux que dans le cas du partage de l'eau en deux parties égales; dans tous les autres cas on ne peut arriver que par des tâtonnements assez longs à un partage à peu près convenable.

Les difficultés sont plus grandes encore pour dériver d'un canal un volume déterminé, quelle que soit la hauteur de l'eau. On n'y parvient également que d'une manière approximative, même à l'aide des régulateurs employés dans le nord de l'Italie, qui sont cependant jusqu'à présent les appareils les plus parfaits et les plus pratiques que l'on connaisse; mais ils ont l'inconvénient d'exiger une certaine chute, et, par conséquent, de ne livrer l'eau qu'à un niveau inférieur à celui du canal lui-même, ce qui est un véritable inconvénient dans les pays plats, où l'on n'amène que difficilement l'eau à la hauteur nécessaire. La partie principale des *régulateurs* milanais est une espèce de bassin qui reçoit l'eau du canal au moyen d'une vanne, et la livre aux bouches des rigoles par des ouvertures, ordinairement rectangulaires, qui doivent être complétement noyées du côté du bassin. L'eau n'arrive dans le bassin qu'en passant par-dessous une vanne, dont l'ouverture est déterminée de manière que l'eau, dans le bassin, soit notablement plus basse que dans le canal, et plus élevée que dans les rigoles situées au-delà des bouches. Il résulte des pertes de charge, dues aux différentes inflexions que les filets d'eau subissent en passant sous la vanne et dans les bouches, que les variations de niveau sont moindres dans le bassin que dans le canal, et moindres encore dans le canal de fuite, de sorte que des variations de niveau assez considérables dans le canal n'exercent sur le débit qu'une influence peu sensible.

Prix de revient de l'eau obtenue par différentes méthodes. Le prix de revient de l'eau dépend évidemment d'une foule de circonstances, et il est impossible de donner à ce sujet une règle générale. Dans chaque cas particulier, on pourra parvenir à évaluer le prix du mètre cube d'eau, en divisant la somme de l'intérêt du premier établisement et de l'entretien annuel des ouvrages par le volume obtenu; les faits et les chiffres que nous allons citer ne sont destinés qu'à fournir quelques exemples et certains éléments des prix de revient.

(*a*) *Eau fournie par les grands canaux d'arrosage.* La plupart des grands canaux d'arrosage du midi de la France sont de création ancienne; on ignore, pour la plupart, le prix d'établissement, et il serait à peu près impossible de faire connaître le véritable prix de revient du mètre cube d'eau. Les chiffres suivants sont les prix payés par les usagers, aux propriétaires des canaux, par hectare arrosé. La consommation est d'ailleurs assez variable et généralement beaucoup trop grande :

Désignation des canaux.	Prix d'arrosage par hectare.
	f.
Département des Bouches-du-Rhône.	
Canal des Alpines.	33,00
Canal de Peyrolle.	33,00
Canal de Craponne, branche de Saint-Chamas.	36,00
Canal de Marseille.	60,00
Département de Vaucluse.	
Canal de Crillon.	23,44
Canal de Cambis.	23,44
Canal de Bonaventure. . . .	28,54
Canal de Cabedan-Neuf. . . .	27,00
Canal de Carpentras. . . .	25,00
Département de la Drôme.	
Canal de Pierrelatte. . . .	50,00

(b) *Eau élevée par machines.* Le prix de l'eau obtenue au moyen de machines varie avec le moteur, la machine employée et une foule de circonstances locales. On a donné quelques renseignements à ce sujet en parlant des desséchements; on va les compléter par quelques autres indications spécialement applicables aux irrigations.

Le travail de l'homme est trop cher en France pour être appliqué aux irrigations proprement dites. Il ne saurait convenir que pour l'arrosage des cultures potagères. Examinons donc les machines mues par d'autres moteurs :

1° *Machines mues par les animaux.* Les bêtes de trait peuvent, dans certains cas, être appliquées avec avantage à l'élévation de l'eau pour les irrigations. En admettant que la machine élévatoire employée soit mue par un manége et fournisse 0,6 de travail utile, les nombres de mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre de hauteur par jour seront environ :

	m. cub.
Pour un cheval de.	669,0
— bœuf de.	622,0
— âne de.	193,5

Ces chiffres permettent de calculer facilement le prix du mètre cube d'eau élevé à une hauteur donnée, quand on connaît le prix de la journée des animaux, la valeur de la machine et sa durée approximative.

2° *Moulins à vent.* Les moulins à vent sont, en général, peu convenables pour fournir de l'eau aux irrigations. L'irrégularité de leur marche oblige presque toujours à construire des réservoirs d'une grande capacité, dont les frais d'établissement augmentent beaucoup le prix de revient de l'eau. Cependant ils peuvent rendre des services dans certaines localités, et l'on peut citer d'utiles applications des petits moulins, se régularisant eux-mêmes, établis par M. Durant.

3° *Moteurs hydrauliques.* Le prix du travail des moteurs hydrauliques est très variable; cependant en général il est assez bas, et toutes les fois que la disposition des lieux le permet on doit l'utiliser pour les irrigations.

4° *Machines à vapeur.* Les machines à vapeur présentent, sous beaucoup de rapports, de grands avantages comme moteurs des appareils à élever l'eau pour les irrigations; à prix égal il convient toujours de leur donner la préférence. Les nombres suivants ont été généralement adoptés comme éléments de prix pour différents projets d'irrigation dans le midi, notamment pour les travaux de la Camargue. Ces prix, du reste, paraissent supérieurs à la vérité. On a admis que les machines élévatoires ne donneraient que 0,5 d'effet utile, et on a établi les calculs des machines à vapeur sur cette base, ce qui revient à doubler leur force. Dans cette hypothèse, les prix des machines ont été évalués de la manière suivants :

	de 20 à 40 chevaux	40 à 60	60 à 80	80 à 100
Achat par cheval.	1200	1100	1000	900
Transport —	»	»	»	»
Pose —	120	100	80	60
Bâtiments —	500	410	330	250

Le prix des machines élévatoires, dans les meilleures conditions d'établissement, ne doit pas dépasser 450 fr. par cheval. Nous croyons même qu'avec plusieurs appareils ce prix serait trop élevé.

Nous allons indiquer maintenant quelques chiffres obtenus par expérience. M. Peyret Lallier, avec une machine de cinq chevaux seulement, fait un arrosage qui ne revient qu'à 12 fr. par hectare, en élevant l'eau à 2 mètres. M. Taylor, de Marseille, a construit pour la Camargue des machines dans le système de Cornouailles, qui ne consomment que très peu de charbon et

qui pourraient irriguer, en élevant l'eau à 2 mètres, à raison de 5 à 6 fr. par hectare.

(c) *Eau des réservoirs.* L'eau de pluie ou de petits cours d'eau, réunie à l'aide de réservoirs, revient ordinairement à très bas prix. Le mètre cube coûte :

	f.
Au réservoir de Grosbois, canal de Bourgogne.	0,025
— de Chazilly, — —	0,017
— de Cercey, — —	0,007
— de Couzon, canal de Givors. . . .	0,012
— de M. d'Angeville, à Lauprès. . .	0,0094
A l'étang de Bréviande.	0,0026

(d) *Puits artésiens.* On cite, aux environs de Tours, six puits artésiens qui ont coûté ensemble 18,600 fr., et qui fournissent 80 litres par seconde.

III EMPLOI DES EAUX D'IRRIGATION.

Après avoir indiqué les ouvrages à exécuter pour obtenir les eaux et les amener jusqu'aux terres à arroser, il nous reste à faire connaître comment on les emploie, à exposer en un mot la pratique des irrigations.

On distingue trois espèces principales d'irrigations : les irrigations par *submersion*, les irrigations par *déversement* sur les terrains inclinés, et enfin les irrigations sur les terrains *disposés en ados*. Nous allons indiquer en quoi consistent ces méthodes d'irrigation, auxquelles se rapportent plus ou moins directement quelques autres systèmes particuliers d'arrosage, nécessaires à certaines cultures spéciales ou à quelques opérations particulières.

Égouttement. Quelle que soit du reste la méthode adoptée, il faut que l'irrigateur ait toujours présent à l'esprit ce principe élémentaire de toute irrigation bien faite : *l'eau doit pouvoir arriver partout et ne séjourner nulle part.* La nécessité de l'égouttement des terres arrosées oblige à créer à côté de toutes les rigoles d'arrosage des rigoles d'égouttement, quand la disposition du sol ne l'assure pas naturellement. Ces rigoles d'égouttement, que l'on désigne sous le nom général de *colateurs*, ont une très grande importance et forment un réseau aussi étendu que celui qui sert à l'arrosage. Les rigoles d'égouttement deviennent, en se réunissant, de véritables canaux d'assainissement, dont les pentes et les sections sont réglées de manière à suffire très largement au débit de toutes les eaux qu'ils doivent recevoir. On peut admettre comme règle pratique que les rigoles ou canaux colateurs ont à peu près les mêmes sections que les rigoles et canaux d'arrosage correspondants et des pentes un peu plus fortes que ceux-ci. Cette règle approximative conduit évidemment à des dimensions qui seraient exagérées dans de grands ouvrages, mais qui peuvent convenir pour des entreprises d'importance moyenne.

Irrigations par submersion dans les terrains à peu près horizontaux. Les irrigations des terrains très peu inclinés se font souvent par submersion, en recouvrant toute l'étendue du sol d'une couche d'eau plus ou moins épaisse, que l'on renouvelle à des intervalles déterminés. La disposition du terrain, pour les irrigations de cette espèce, se rapproche beaucoup de celle qui a été décrite en parlant des colmatages. Seulement les digues qui forment les bassins partiels se réduisent à de simples bourrelets de 0m,20 à 0m,25 de hauteur environ. Ces bourrelets sont établis horizontalement, formés avec les terres extraites de petits fossés, ouverts à leur pied, et servant à l'assainissement du terrain quand on enlève les eaux. L'écartement des bourrelets de terre dont on vient de parler dépend de la pente naturelle du sol, mais il ne doit en aucun cas dépasser 30 à 40 mètres. Les différents bassins communiquent,

à leur partie supérieure, avec le canal d'arrosage, et à leur partie inférieure avec les rigoles d'égouttement. La forme du terrain ne permet pas toujours de mettre tous les compartiments en communication directe, comme on vient de le dire, avec les canaux d'égouttement et d'arrosage. Dans ce cas, les différents compartiments communiquent les uns avec les autres par les petits tossés creusés au pied des bourrelets de terre; l'eau arrive dans le compartiment le plus élevé et s'échappe par le plus bas. On interrompt les communications entre les différents compartiments au moyen d'une ardoise, d'une tuile ou d'une planche mince enfoncée dans les petits canaux de communication, aux points où ils traversent les digues.

Irrigations par déversement sur les terrains en pente. Ce mode d'irrigation est le plus répandu en France; il est très économique et convient parfaitement dans les pays montagneux et dans les petites vallées à coteaux fortement inclinés; il peut également, avec du soin, s'appliquer aux prairies à faible pente. Il consiste, en principe, en une série de rigoles tracées suivant les lignes de niveau du terrain, répandant l'eau sur le sol par déversement du côté de la pente et alimentées par des rigoles communiquant avec un canal de prise d'eau. On introduit successivement l'eau dans les différentes rigoles horizontales en barrant immédiatement au-dessous d'elles la rigole alimentaire, au moyen d'un gazon ou même d'une pelle en bois ou en tôle. L'eau déversée par chaque rigole horizontale s'écoule à la surface du sol en pente; la partie non absorbée par la terre, les plantes ou l'évaporation, tombe dans la rigole suivante, qui la reverse, à son tour, sur le terrain inférieur avec l'eau qu'elle reçoit directement de la rigole alimentaire.

L'écartement des rigoles horizontales dépend de la plus ou moins forte inclinaison du sol, de sa forme particulière et de son degré de perméabilité. Cet écartement varie, dans le plus grand nombre des cas, de 10 à 20 mètres. Pour que l'eau arrive facilement dans toute l'étendue de la rigole de déversement, et se répande avec régularité, il faut que ces rigoles aient, au plus, une cinquantaine de mètres de longueur.

L'exécution des rigoles horizontales ne présente aucune difficulté. On détermine, avec un niveau et une mire, des points plus ou moins rapprochés appartenant aux lignes horizontales du sol. On trace à la bêche ou à la charrue, entre les points ainsi déterminés, et en suivant les ondulations du terrain, les rigoles à ouvrir. On donne quelquefois au fond de ces rigoles, en les approfondissant de leur origine à leur extrémité, une pente de $0^m,002$ à $0^m,005$ par mètre; mais leurs arêtes doivent être parfaitement horizontales, ce que l'on obtient toujours sans difficulté au moyen de légers écrêtements et de quelques remblais. On peut, du reste, en introduisant l'eau dans les rigoles, obtenir une ligne parfaitement horizontale pour diriger cette partie du travail. Les rigoles horizontales ont de $0^m,08$ à $0^m,025$ de profondeur, $0^m,05$ à $0^m,18$ de largeur au fond, et des talus plus ou moins inclinés selon le degré de consistance de la terre. Les rigoles qui amènent l'eau de la partie la plus élevée du champ alimentent en général les rigoles horizontales qui s'embranchent sur elles à droite et à gauche de son cours. Il convient, par conséquent, pour que l'introduction de l'eau se fasse partout avec la même facilité, que la rigole alimentaire soit à peu près perpendiculaire au système des rigoles horizontales.

La disposition des ouvrages que l'on vient d'indiquer doit évidemment varier avec la forme du terrain, la position des canaux de prise d'eau, etc.; de sorte qu'il est impossible de donner un plan applicable à toutes les localités; mais les règles générales que l'on vient de poser permettent toujours de tracer les ouvrages dans chaque pré donné. Cette méthode d'arrosage s'applique à tous les terrains dont la pente générale dépasse $0^m,04$ à $0^m,05$ par mètre.

Le mode d'irrigation dont on vient de parler s'applique très facilement dans les petites vallées, en faisant dans le cours d'eau une dérivation à faible pente, tracée à flanc de coteau, et dans laquelle on fait les prises d'eau pour les terrains arrosables situés entre la rivière et la dérivation. Les eaux surabondantes s'écoulent dans le lit du cours d'eau qui forme le colateur naturel de l'irrigation.

Les parties du pré voisines des rigoles, du côté où elles déversent, s'améliorent plus rapidement que les autres. Il est bon de déplacer les rigoles tous les deux ou trois ans, en comblant les anciennes avec les terres extraites des nouvelles.

Irrigations sur les terrains disposés en planches inclinées. On a cherché à obtenir sur les terrains à faibles pentes les avantages de l'irrigation par déversement dont il vient d'être question. On y parvient facilement en disposant le sol en planches présentant une inclinaison de $0^m,04$ à $0^m,08$ par mètre, et séparées par des ressauts brusques. On ménage une rigole d'égouttement au bas de chaque planche et une rigole d'arrosage au sommet. La longueur des planches est limitée par celle des rigoles d'arrosage qui ne doivent pas avoir plus de 40 mètres, depuis leur embranchement sur la rigole alimentaire jusqu'à leur extrémité. Une longueur de 20 à 25 mètres est généralement préférable. La largeur des planches varie de 2 à 6 andins. Les rigoles d'arrosage et d'égouttement ne diffèrent pas d'ailleurs de celles qui vont être décrites en parlant des ados.

Irrigations sur les terrains disposés en ados. Ce dernier genre d'irrigation n'est avantageusement applicable qu'aux terrains en plaine ne présentant qu'une assez faible pente. C'est le mode le plus perfectionné d'arrosage, celui qui permet le mieux d'économiser et d'utiliser les eaux. Les billons ou ados sont, comme on sait, des planches de terre plus ou moins longues, présentant deux surfaces en pentes opposées, ou *ailes*.

Une rigole d'arrosage est ménagée au sommet de chaque billon et une rigole d'égouttement au fond du pli formé par la réunion des ailes de deux billons contigus. La forme, les dimensions et les dispositions des ados varient, dans certaines limites, d'un pays à un autre. Deux exemples suffiront pour faire nettement concevoir ce genre d'ouvrages.

Les fig. 96, 97 et 98 feront comprendre les dispositions le plus généralement adoptées pour l'établissement des ados dans la campine belge (1), où cette question a été l'objet de l'étude la plus attentive de la part des ingénieurs. Le terrain est ordinairement divisé en compartiments de $67^m,30$ de largeur et d'une longueur variable avec la distance des rigoles principales d'irrigation et d'égouttement. Au milieu de chaque compartiment, et dans le sens de sa longueur, est établie la rigole de distribution *a*, destinée à alimenter les rigoles d'irrigation et de déversement *b*.

La rigole de distribution *a* s'embranche sur l'une des rigoles principales d'irrigation. La rigole d'égouttement *c* longe les ados du côté du pignon; elle reçoit les eaux recueillies par les petites rigoles d'égouttement *d* pratiquées à l'intersection des ailes *i*, qui forment les ados.

La rigole *a* communique avec la rigole d'alimentation *e* au moyen d'une buse en bois de $0^m,20$ d'ouverture (fig. 99). Le plafond de la rigole *a* présente une pente de $0^m,002$ par mètre; sa largeur est de $0^m,70$. La crête de cette rigole est établie à $0^m,20$ en contre-haut du plafond, à son origine. Les talus sont inclinés à 3

(1) *Études sur les irrigations de la campine*, etc., p. 186. Paris, Mathias, quai Malaquais, 15.

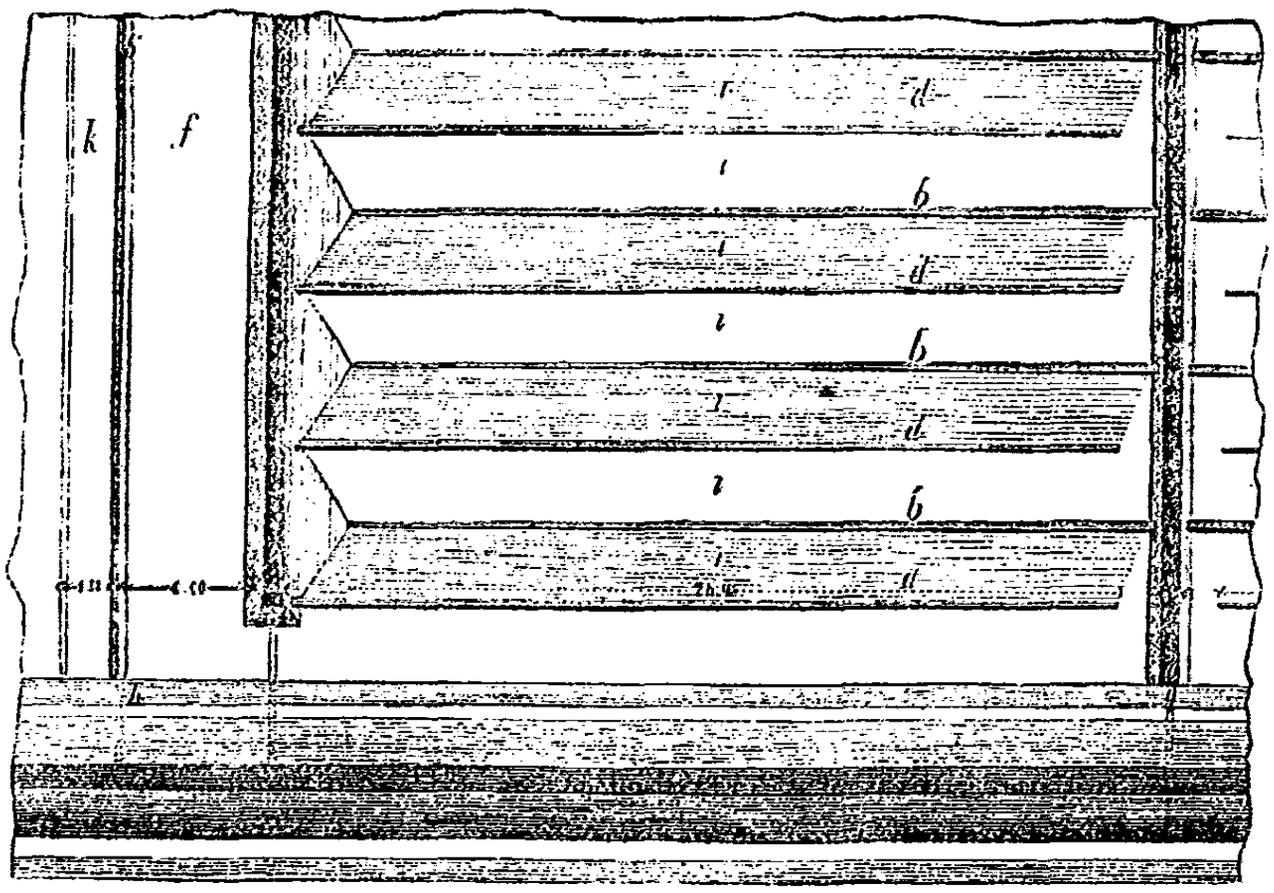


Fig. 96 (0,0025). Plan.

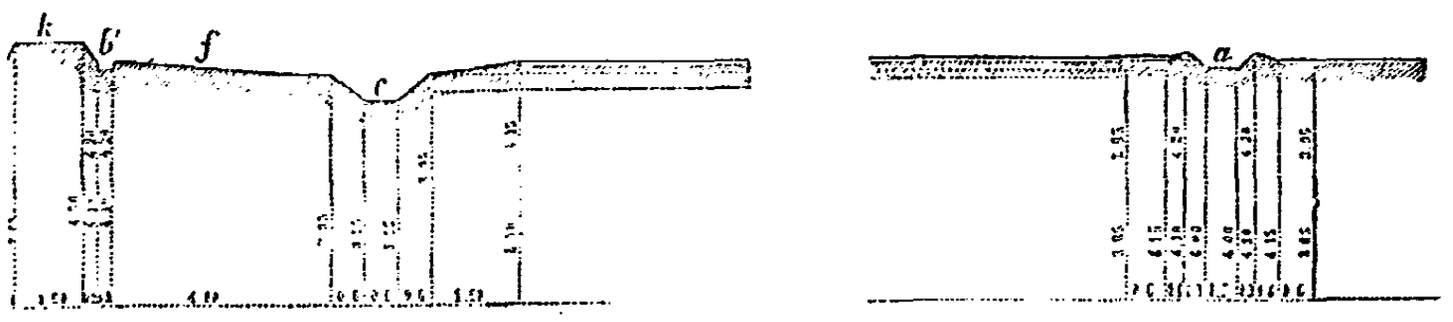


Fig. 97 (0,005). Coupe en long.

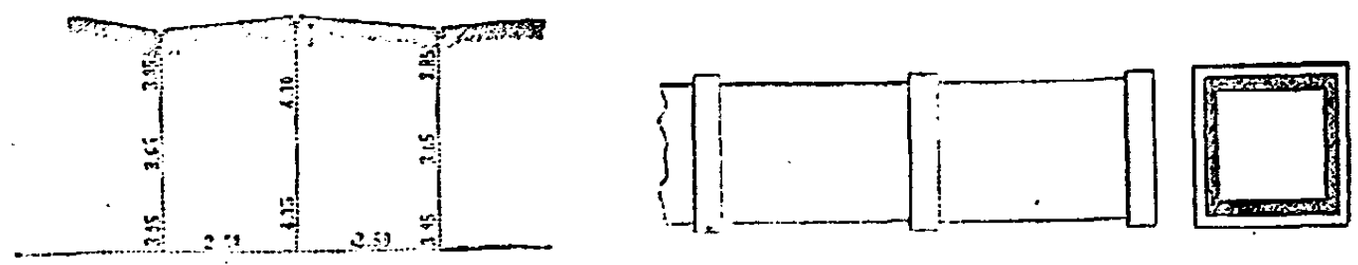


Fig. 98 (0,005). Coupe en travers.

Fig. 99 (0,05).

de base pour 2 de hauteur. Lorsque la pente naturelle du terrain dépasse celle qui est assignée à la rigole de distribution *a*, on rachète la différence de ces deux pentes en partageant la longueur de cette rigole en biez plus ou moins longs, séparés par de petites chutes.

Les ados ont 25 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur; ils sont formés de la réunion de deux plans inclinés en sens contraire, présentant une pente de 0m,20 répartie sur une largeur de 2m,50.

Les rigoles de déversement *b* sont, autant que possible, perpendiculaires à la rigole de distribution *a*. La largeur des rigoles *b*, à leur origine, est de 0m,25. Leur plafond, horizontal ou incliné de 0m,0005 par mètre, est établi à 0m,10 au-dessous de la crête de la rigole *a*; leur profondeur est de 0m,05.

Les rigoles d'égouttement *d* sont parallèles aux rigoles de déversement; leurs crêtes sont horizontales et à 0m,20 en contre-bas des crêtes des rigoles *b*. La largeur des rigoles d'égouttement est de 0m,15 à leur origine et de 0m,30 à leur point de rencontre avec la rigole d'évacuation *c*; leur profondeur, dans ce dernier point, est de 0m,25, et se réduit à 0m,10 à l'autre extrémité.

Les rigoles d'évacuation *c* ont une pente de 0m,003 au moins; leur largeur au plafond est de 0m,60, et leur profondeur est de 0m,40.

Les chemins de culture *f* ont 4 mètres de largeur et une pente totale en travers de 0m,25; ils sont irrigués par une rigole *b'* de 0m,30 de largeur et de 0m,10 de profondeur, communiquant avec la rigole alimentaire par une buse *h* de 0m,10 d'ouverture.

Les digues *k* ont 1m,50 de largeur et 0m,30 de hauteur au-dessus de la partie supérieure du chemin irrigué *f*. Ces contre-forts recevront des plantations d'aulnes, ou d'autres arbres, qui serviront de clôture entre les différentes séries d'ados, et formeront, par leur ensemble, un système d'abris appelés à jouer un rôle des plus importants dans l'amélioration agricole de la campine.

Les dispositions que nous venons d'indiquer pour l'établissement des ados sont le plus généralement adoptées; elles n'ont cependant rien d'absolu. Ainsi quelques agronomes distingués, en Belgique, donnent

AGRICULTURE.

aux ailes des ados une largeur de 15 à 20 mètres, et portent leur longueur jusqu'à 100 et même 125 mètres. Mais l'élément le plus variable dans les travaux de cette nature est l'inclinaison des surfaces arrosées. On ne dépasse presque jamais la pente de 0m,08 par mètre adoptée dans le dessin dont nous avons donné la description, mais quelquefois on la réduit beaucoup; il existe des ados dont les ailes ne présentent qu'une pente de 0m,02 à 0m,03 par mètre.

Le système de rigoles et ados que l'on vient de décrire s'exécute de la manière suivante :

La première opération à faire, pour disposer un terrain à l'irrigation, consiste à fixer aux ouvriers, en plan et en hauteur, la position des points principaux des rigoles; ils les exécutent ensuite en dessinant leur profil au moyen de plaques de gazon de bruyères ayant 0m,15 de côté sur 0m,04 d'épaisseur. Ce premier travail exécuté, on procède au défoncement qui doit être poussé à 0m,60 de profondeur au moins, et on donne en même temps au terrain le relief exigé. On laisse habituellement à la surface du sol défoncé la couche de terre qui s'y trouvait primitivement. Dans quelques localités où la nature du sous-sol le rend propre à la culture, on le ramène à la surface du champ. Ces défoncements s'exécutent presque toujours à la bêche (on sait qu'il est facile avec cet instrument de ramener le sous-sol à la surface ou de le laisser dans sa position naturelle). Quelques cultivateurs, guidés par un sentiment d'économie mal entendue, ont exécuté des défoncements moins profonds que nous ne l'avons indiqué; les résultats obtenus ne paraissent pas satisfaisants. Il paraît qu'en Belgique il faut plutôt chercher à augmenter qu'à diminuer la profondeur à laquelle on remue les terres qui doivent être irriguées.

La dépense totale pour les parties de terrain traitées comme on vient de l'indiquer, s'élève à 394 fr. 82 c. par hectare, répartie de la manière suivante :

	fr.	c.
Terrassements pour la formation des ados.	160	»
Toilette des terrassements.	18	»
Emploi et façon de 50 mètres cubes de compost.	65	»
Plantations servant d'abris.	17	»
Buses en bois.	18	»
Achat de graines.	72	37
Frais d'ensemencement.	41	55
Planches de roulage et brouettes. . . .	5	40
Journées d'ouvriers pour maintenir l'eau dans les rigoles pendant les sécheresses.	27	50
Total.	394	82

Les ados le plus ordinairement employés dans les Vosges (fig. 100) diffèrent un peu des précédents. Ils sont en général plus courts, les ailes ont quelquefois 6 mètres de longueur, mais le plus ordinairement 4 mètres seulement, et en général une largeur égale à un multiple de 2 mètres, parce que, dans les Vosges, la faux coupe l'herbe sur cette largeur à la fois. Les rigoles des sommets des ados, 1, 1, ont 0m,30 de largeur et 0m,45 de profondeur à leur origine, et seulement 0m,15 de largeur et 0m,10 de profondeur à leur extrémité. Leur pente est sensiblement nulle. La pente des ailes est de 0m,01 par mètre au moins. Les rigoles principales d'irrigation et d'assainissement 3 3, 4 4, sont payées 0f,10 le mètre cube. Toutes les rigoles secondaires des ados coûtent 0f,005 le mètre courant. On les exécute avec une hache (fig. 101) et un louchet

Coupe sur AB.

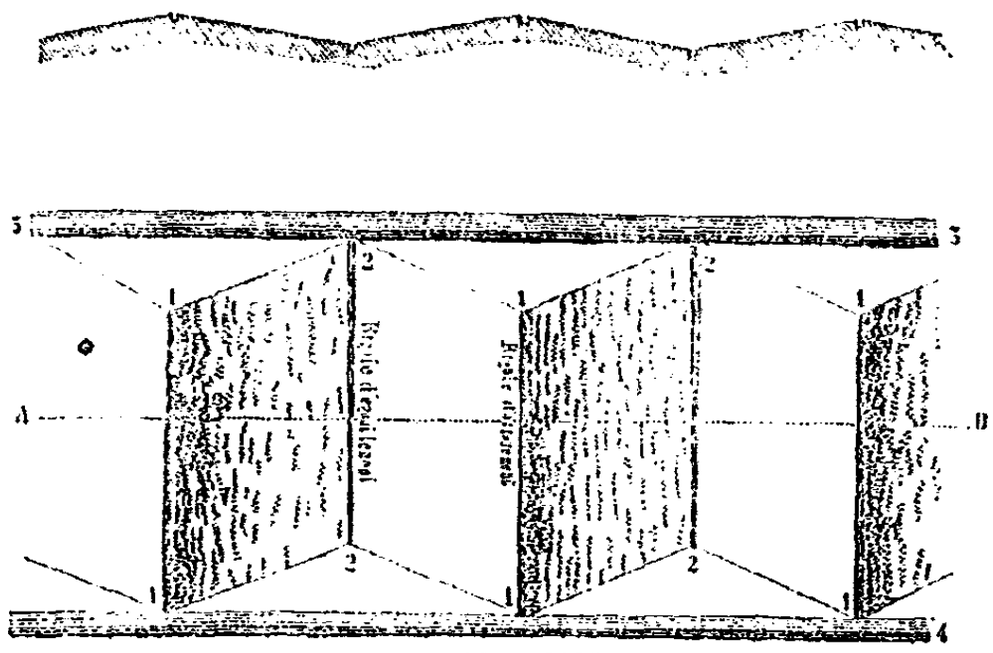


Fig. 100 (0,0025).

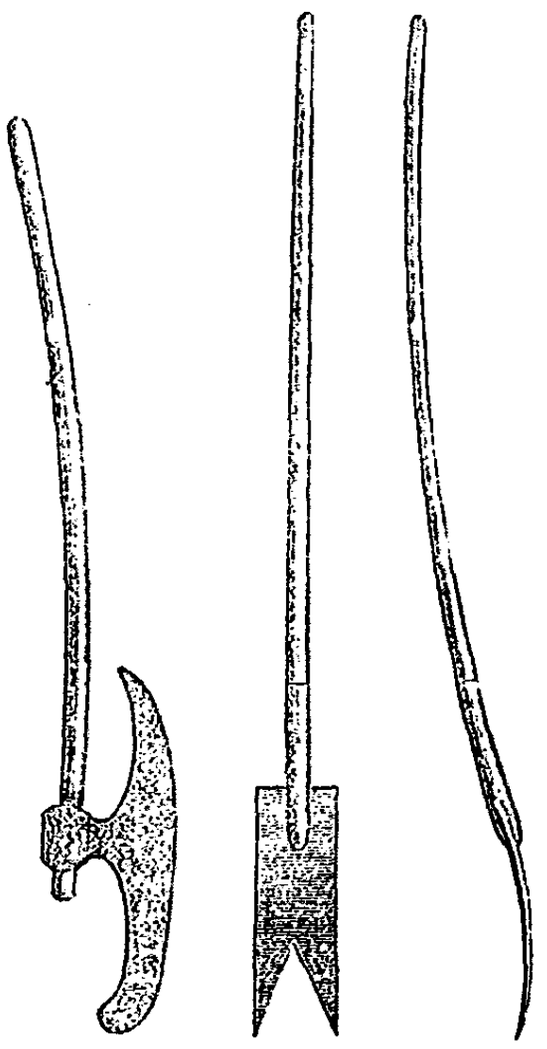


Fig. 101 (0,05). Fig. 102 (0,05).

(fig. 102). L'enlèvement du gazon et sa remise en place après la formation de l'ados sont payés 0f,02 le mètre carré dans les prés ordinaires, et 0f,03 dans les prés marécageux.

On vient d'indiquer, par deux exemples, les dispositions principales des ados; il faut, pour terminer ce sujet, examiner les motifs qui peuvent déterminer les formes et dimensions à adopter et la disposition relative des séries d'ados.

La longueur des planches ne doit pas dépasser 35 à 40 mètres, pour que l'eau arrive et se répande convenablement jusqu'à leur extrémité. La pente générale

AGRICULTURE.

du terrain fixe du reste la longueur qu'il convient de leur assigner, au-dessous de cette limite, pour que les terrassements nécessaires à l'établissement du niveau de leurs crêtes soient les plus faibles possible. On peut d'ailleurs, quand la pente du terrain le rend nécessaire, partager l'ados en sections horizontales plus ou moins longues, établies à des hauteurs différentes et séparées par de petites chutes égales, en hauteur, à la différence de niveau des deux parties de la rigole d'imbibition.

La largeur des ailes des ados doit être un multiple de la portée du coup de faux pour que la récolte des foins se fasse avec plus de facilité. Cette largeur, du reste, ne doit pas être trop considérable pour que l'eau n'arrive pas au bas de l'aile épuisée de principes fertilisants. Toutes choses égales d'ailleurs, on peut faire des ailes d'autant plus larges que l'eau est plus abondante et de meilleure qualité et que l'inclinaison adoptée est plus forte. Dans les circonstances ordinaires, une largeur d'aile de 6 à 7 mètres paraît un maximum et une largeur de 2 mètres un minimum.

La pente des ailes dépend d'une foule de circonstances ; en général, plus le terrain est poreux, plus elle doit être considérable ; mais jusqu'à présent il n'existe pas d'expériences assez positives pour formuler une règle générale. On peut dire seulement qu'elle ne doit pas être au-dessous de $0^m,01$, ni au-dessus de $0^m,08$ par mètre.

L'exposition la plus convenable des ados est du nord au sud, afin que les deux ailes reçoivent également l'action des influences atmosphériques.

La disposition générale de l'ensemble d'un système d'ados dépend nécessairement de la forme du terrain dont on dispose. On a supposé, dans tout ce qui précède, que l'on opérait sur un terrain régulier, où les rigoles principales d'arrosage et d'assèchement étaient rectilignes et parallèles. Il n'en est pas toujours ainsi ; mais il faut autant que possible se rapprocher de cette disposition. Il serait impossible de fournir à cet égard des renseignements un peu complets sans multiplier outre mesure les exemples de plans d'irrigations. Nous avons seulement montré (figure 103) deux cas élémentaires

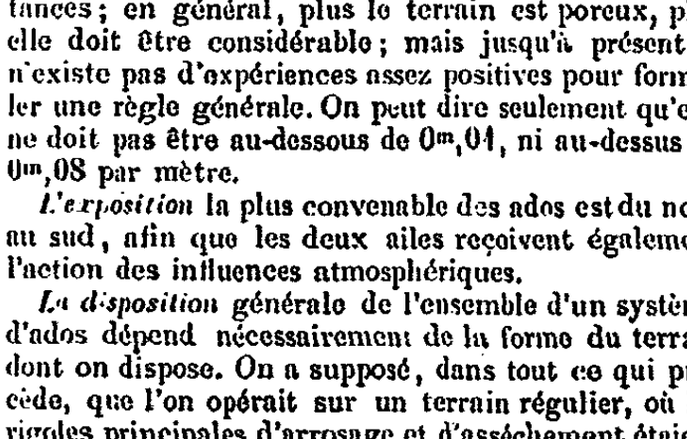


Fig. 103 (0,001).

auxquels peuvent se ramener la plupart de ceux que rencontre la pratique. Quand la rigole alimentaire présente une courbe brusque, comme on le voit à droite de la figure, on dispose les rigoles d'arrosage des ados en éventail, et l'on donne à ceux-ci la disposition indiquée ; quand, au contraire, la courbe de la rigole principale est assez peu prononcée, on se borne à donner aux ados une forme trapézoïdale facile à déterminer dans chaque cas particulier.

Irrigations mixtes. On vient d'indiquer les trois modes principaux d'emploi de l'eau en irrigation ; mais il arrive souvent que la disposition du sol et les habitudes locales conduisent à adopter des dispositions un peu différentes de celles qui ont été prises pour types dans ce qui précède. Quelques exemples suffiront pour faire comprendre les principales modifications des méthodes générales d'arrosement.

Irrigations par rigoles irrégulières. On emploie quelquefois ce mode d'arrosage sur les prairies peu inclinées quand on ne veut apporter aucun changement à la surface du sol. A cet effet, on trace une série de rigoles disposées de manière à conduire l'eau sur toutes les parties relativement élevées du sol, et une autre série de rigoles destinées à égouter toutes les parties relativement basses. Ces diverses rigoles sont en lignes plus ou moins contournées, tracées à la demande du sol, mais elles forment en réalité un système de lignes d'amenée et d'écoulement des eaux. On comprend qu'avec des vannes placées à la sortie des rigoles d'égouttement et d'autres vannes placées en tête des rigoles d'amenées, on puisse ou arroser le pré par déversement continu, comme avec des ados, ou le laisser noyé plus ou moins longtemps, comme dans les irrigations par submersion. Ce mode d'arrosage présente quelques avantages, mais l'entretien et l'exécution des rigoles exigent un soin et une intelligence extrêmes ; aussi est-il bien rare de rencontrer des prés de cette espèce complétement dépourvus de plantes aquatiques ou de parties trop sèches.

Les rigoles de formes irrégulières en apparence tracées sur les prés, fonctionnent quelquefois d'une manière différente de celle que l'on vient d'indiquer. Elles servent surtout à diriger l'eau et à imbiber toutes les parties du pré, quand on fait gonfler l'eau de la rigole principale d'amenée, en fermant une vanne en aval ; quand on lève cette vanne, les eaux se retirent par les mêmes rigoles et viennent retomber dans la rigole principale revenue à son niveau primitif. Les critiques précédentes s'appliquent à plus forte raison à ce dernier mode d'arrosage d'un emploi cependant assez fréquent dans les pays où l'eau est rare et le climat chaud.

Arrosages divers. La garance s'arrose dans le midi en amenant l'eau dans les sentiers creusés entre les planches pour obtenir la terre nécessaire au rechaussement des plantes.

Le blé s'arrose aussi quelquefois de la manière analogue en mettant l'eau dans la raie qui sépare les sillons. Mais, toutes les fois que la terre n'est pas sujette à se plomber par l'arrosage, il est préférable, comme on le fait en Espagne, de cultiver le blé à plat et de procéder par submersions régulières et modérées.

Les oliviers, les orangers et autres arbres s'arrosent d'une manière particulière. On donne un binage au pied de l'arbre et on établit un bourrelet de terre formant un cercle de 1 mètre à 2 mètres de diamètre autour de l'arbre. L'eau est amenée dans cette espèce de cuvette et s'absorbe dans le sol.

On a proposé à plusieurs reprises un système d'irrigation combiné avec le drainage du sol. Voici comment les travaux s'exécutent. Des lignes de drains principaux sont posées suivant les lignes de plus grande pente du sol. Ces lignes de drains sont interrompues par des regards verticaux dans lesquels on peut à volonté arrêter l'écoulement de l'eau pour l'obliger à refluer à la surface. Des rigoles horizontales de déversement tracées à la surface du sol partent de chacun de ces regards. Par une manœuvre convenable des tampons d'arrêt des regards, on peut ainsi porter l'eau successivement sur toutes les bandes de terre comprises entre les rigoles de déversement.

Dans ce système d'arrosage, les drains remplissent les fonctions de rigoles d'amenées et de colateurs. On diminue ainsi les travaux de surface, et on peut obtenir dans certains cas de très-bons résultats.

Parmi les exemples d'irrigations établies sur un terrain de forme irrégulière et offrant la réunion des principaux genres d'arrosages, on peut citer l'étang desséché de Corian, en Bresse.

La superficie de cet étang est de 30 hectares. Les parties qui présentaient une pente suffisante, de 0m,04 environ par mètre, sont arrosées par déversement ; les parties plates sont disposées en billons. Dans les eaux moyennes, les ruisseaux et les sources qui arrosent ce terrain débitent ensemble 133 litres par seconde. Ce volume d'eau fournit par conséquent 4 litres 43 centièmes par seconde et par hectare. La dépense totale s'est élevée à 670 francs par hectare. L'étang rapportait avant les travaux moins de 25 francs par hectare; il produit actuellement plus de 190 francs par hectare.

Irrigations par reprises d'eau. Dans ce qui précède on a supposé que l'eau ne passait qu'une fois sur le sol, et que celle qui n'était point absorbée retournait immédiatement dans les canaux d'égouttement. Dans les méthodes d'irrigation par déversement, on a vu cependant que l'eau en excès pouvait descendre d'une planche sur l'autre, mais toujours plus ou moins mélangée avec de l'eau venue directement des rigoles d'alimentation. Lorsque l'eau est très peu abondante on est obligé de l'employer avec une grande économie, et de faire repasser sur le sol celle qui n'est pas immédiatement absorbée. C'est ce qu'on appelle irrigation par reprise d'eau. Cette méthode peut s'appliquer aux systèmes de plans inclinés et au billonnage. Dans les deux cas la disposition des ouvrages varie avec l'inclinaison du sol. Nous nous bornerons encore ici à deux exemples, ne pouvant pas entrer dans les nombreux détails que nécessiterait l'examen complet de la question.

Considérons d'abord un pré disposé en plan incliné (fig. 105), sur un terrain présentant une certaine pente

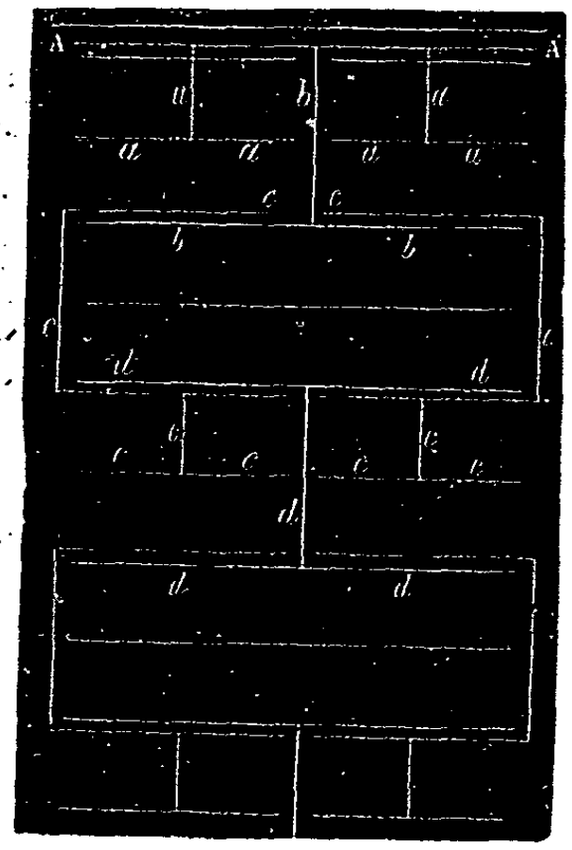


Fig. 105.

A A Rigole alimentaire.
a a a Rigoles d'arrosage de la première planche
b b b — deuxième planche.
c c c Rigoles d'égouttement de la première planche arrosant la troisième.
d d Rigoles d'égouttement de la deuxième planche arrosant la quatrième, et ainsi de suite.

générale. L'eau arrivant par la rigole d'alimentation AA se déversera sur les plans inclinés au moyen des rigoles horizontales *a a*, *b b*. L'eau en excès du premier compartiment sera recueillie par les rigoles d'égouttement *c*, *c*, qui la porteront dans les rigoles de

déversement du troisième compartiment. De même l'eau en excès du deuxième compartiment sera répandue sur le quatrième; celle du troisième sera reportée au cinquième et ainsi de suite. On voit qu'il faut que la pente générale du terrain soit telle, dans l'exemple considéré, que les rigoles d'égouttement d'un compartiment soient de niveau ou un peu plus élevées que les rigoles de déversement du second compartiment après celui que l'on considère. La longueur de chaque compartiment doit être calculée en conséquence. Si la pente du terrain était assez faible pour qu'on fût obligé de donner trop de longueur à un compartiment, il faudrait faire passer l'eau d'une série non plus à la seconde série après elle, mais à la troisième ou même à la quatrième. Dans ce cas il faudrait conduire l'eau du canal directement jusqu'à la troisième série ou même jusqu'à la quatrième, afin que la cinquième puisse être arrosée par l'eau surabondante de la première, et ainsi de suite.

Supposons maintenant qu'il s'agisse de séries d'ados (fig. 106), l'échelle de la figure n'a pas permis de re-

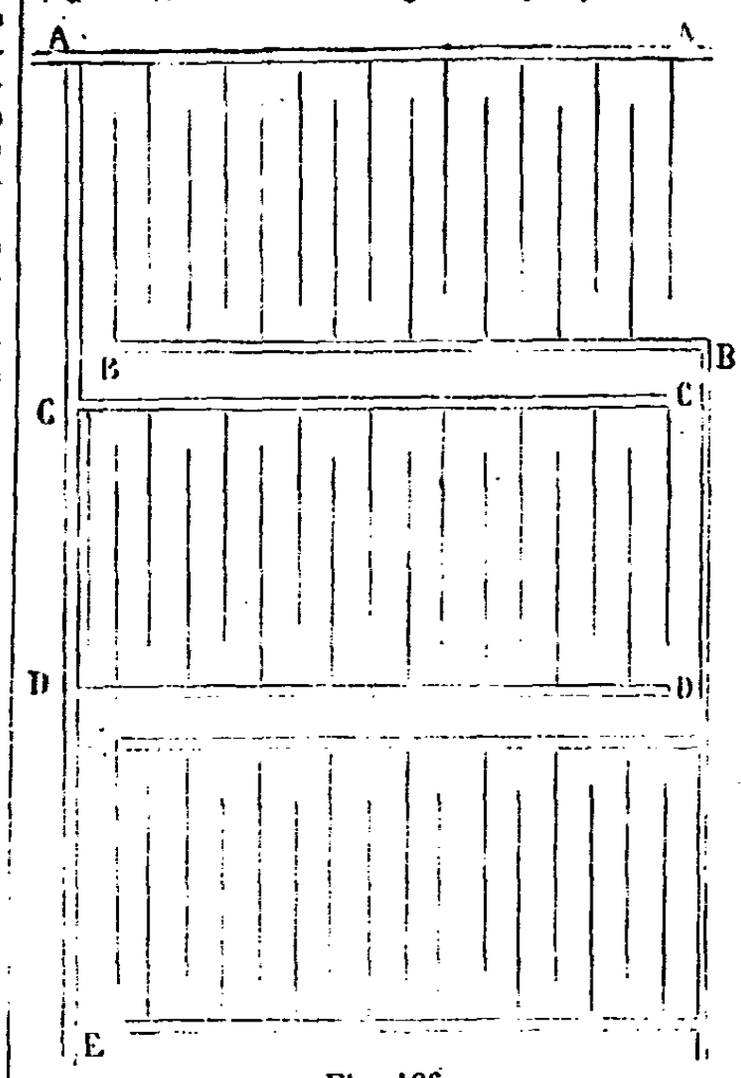


Fig. 106.

A A Rigole d'alimentation principale arrosant directement la première division, et par ACC la deuxième.
B B, Colateurs de la première division, arrosant la troisième.
D D E, Colateurs de la deuxième, pouvant arroser la quatrième, et ainsi de suite.

présenter les billons eux-mêmes parallèles aux rigoles d'alimentation AA. Ainsi que l'indique la légende, les deux premières séries de billons reçoivent directement l'eau du canal d'alimentation AA. L'eau égouttée de la première série arrose la troisième, celle de la deuxième est conduite sur la quatrième, et ainsi de suite. Il faut, pour que cette disposition soit admissible, que le produit de la pente par mètre du terrain, multiplié par la longueur d'une série de billonnages, soit égal ou même un peu inférieur à la différence de niveau des rigoles alimentaires et d'égouttement de chaque série. Si la pente du terrain était moindre, il

AGRICULTURE.

faudrait que les eaux égouttées d'une série soient conduites à une série plus éloignée que la seconde après elle. On cite des irrigations par reprise d'eau dans lesquelles les colatures sont conduites à la sixième série de billons après celle où elles sont recueillies. Ce cas se présente dans un terrain dont la pente générale n'est, il est vrai, que de 0m,001 par mètre.

L'eau abandonne promptement ses principes fertilisants en passant sur le sol; elle ne les retrouve qu'après une longue exposition à l'air et un long parcours à la surface du sol; les parties du terrain qui ne reçoivent les eaux qu'après leur passage répété sur les planches ou les billons se trouvent donc beaucoup moins bien partagées que celles qui les reçoivent directement; cependant dans les pays secs, où les eaux sont naturellement ou artificiellement riches en principes fertilisants, les irrigations par reprises d'eau peuvent rendre de grands services; elles seront d'autant plus importantes que la pratique des irrigations se répandra et se perfectionnera davantage.

Les irrigations par infiltration ne diffèrent pas, quant à la disposition des travaux, des irrigations par rigoles horizontales dont nous avons parlé. Seulement, au lieu de faire déverser l'eau par-dessus les bords des rigoles, on se borne à les emplir d'eau qui s'infiltre peu à peu à travers le sol. Quelquefois aussi, pour certaines cultures, on se borne à introduire l'eau entre les planches labourées et à la laisser pénétrer dans la terre par absorption capillaire.

Limonages, eaux animalisés. Souvent les eaux sont employées non-seulement pour rafraîchir les plantes et leur apporter les matières qu'elles renferment naturellement *en dissolution*, mais encore pour transporter sur le sol des substances fertilisantes qu'elles tiennent naturellement ou artificiellement en suspension. Ces dernières applications des procédés généraux d'irrigation constituent la pratique des limonages et des arrosages avec les eaux chargées d'engrais. Les limonages sont assez répandus en France et y produisent d'excellents résultats; mais l'emploi des eaux rendues artificiellement fécondantes y est à peine connu; nous insisterons particulièrement sur cette source certaine d'améliorations immenses pour notre agriculture.

Les colmatages, dont nous avons déjà parlé, se transforment par une transition difficile à préciser en limonages. Il est rare que des opérations d'irrigation bien conduites ne produisent pas un peu de limonages, c'est-à-dire ne déposent pas sur le sol une plus ou moins forte couche de matières terreuses fertilisantes. Toute irrigation produit donc, jusqu'à un certain point, des limonages; mais nous voulons parler des opérations spécialement dirigées dans ce sens. Les irrigations par submersion se prêtent surtout au limonage des terrains. Dans les autres arrosages le limon se dépose presque entièrement dans les rigoles horizontales, d'où on l'extrait, pendant les curages, pour le répandre sur le sol.

Dans certains cas, on recueille les limons au moyen d'ouvrages spéciaux et on les répand ensuite sur la terre. Ces ouvrages portent le nom de bassins de limonages. Ce sont de larges conduits en briques, en terre pilonnée, ou même en planches, dans lesquels on reçoit l'eau pour la laisser reposer et recueillir son dépôt. Ces bassins sont séparés les uns des autres par de petites planches formant déversoir, afin que le liquide passe d'un bassin à l'autre sans soulever les dépôts déjà accumulés. Si les bassins eux-mêmes ont une trop grande longueur, ou que l'eau y circule avec une certaine vitesse, on les partage en compartiments, par des planches verticales formant barrages, au-dessus desquelles l'eau s'écoule lentement.

Sur les bords d'un grand nombre de ruisseaux et de rivières, en France, on a transformé en excellentes prairies des grèves arides, au moyen d'irrigations et de limonages. Ces entreprises, du reste, ne peuvent réussir qu'avec des eaux d'excellente qualité et très abondantes. De tous les exemples de travaux de cette espèce que l'on pourrait citer, nous nous bornerons à mentionner ceux des grèves de la Moselle, exécutés maintenant avec succès sur plus de 800 hectares de terrain. L'arrosage se fait par ados ou par plans inclinés. Les travaux préparatoires, y compris les canaux de prises d'eau, etc., coûtent de 0 à 1,200 fr. par hectare.

Les irrigations au moyen d'eaux chargées artificiellement de matières fécondantes sont employées depuis longtemps en Angleterre, et produisent les plus remarquables résultats. Beaucoup de fermiers n'emploient plus d'autre moyen de répandre leurs fumiers liquides sur les terres, que de les étendre de beaucoup d'eau et de les faire arriver sur les champs au moyen de machines à vapeur et de tuyaux fixes, sur lesquels s'embranchent des tuyaux flexibles en cuir ou en gutta-percha.

Les eaux d'égouts des villes offrent d'immenses avantages pour l'arrosage des terres cultivées. On connaît la belle application qui a été faite de cette méthode sur les domaines du duc de Portland, près de Mansfield.

La commission des égouts de Londres avait chargé l'un de ses ingénieurs, M. Donaldson, de faire à cet égard quelques expériences en grand. Elles ont conduit aux résultats suivants : Avec des machines à vapeur et un personnel suffisant pour répandre par semaine 2,000 tonnes de liquide, l'engraissement est revenu, y compris la main-d'œuvre et les frais d'appareils, à 77 francs 20 cent. par hectare, recevant 125 tonnes de liquide. D'après les expériences de Smith, de Deanston, 80 tonnes d'eau d'égout équivalent à 279 kilog. de guano ou 50 tonnes de fumier de ferme. En supposant que le transport ait lieu à 400 mètres, l'application de 50 tonnes de fumier de ferme coûtera environ 21 fr. 25 c., et celle de 80 tonnes de liquide d'égout, avec des pompes et des tuyaux, ne reviendra qu'à 9 fr. 30 c.

La construction des égouts qui longent la Seine pourra donner lieu plus tard à de magnifiques travaux de cette espèce. Deux machines à vapeur établies à l'extrémité de ces égouts, en élevant leurs eaux, mélangées au besoin en proportions convenables avec de l'eau de la Seine, permettront d'irriguer et d'engraisser, presque sans frais, de grandes étendues de prairies (voir le mot ÉGOUT).

On reviendra plus loin (chapitre V) sur le répandage des engrais liquides plus ou moins étendus d'eau. Nous voulons seulement parler ici d'une véritable irrigation avec des eaux contenant de très faibles proportions de matières fertilisantes, exécutée avec un grand succès par M. Batailler, aux environs de Montargis. Le principe de cette opération nous paraît susceptible d'un grand nombre d'applications extrêmement importantes.

Quelle que soit la disposition du sol, M. Batailler emploie pour mélanger à l'eau les matières fécales dont il se sert un mécanisme très simple que nous allons indiquer.

L'appareil dont il s'agit (fig. 107) se compose d'une cuve en maçonnerie dans laquelle tourne un agitateur à arbre vertical, mis en mouvement par un mécanisme quelconque. Dans le dessin, la force motrice est le vent agissant sur une espèce de panemore. La cuve en maçonnerie forme un véritable vase de Mariotte, fermé par des soupapes hydrauliques qui s'opposent à tout dégagement d'odeur. Lorsque le mélange est opéré, on arrête la machine : les parties insolubles de la matière fécale se précipitent et sont extraites par un

AGRICULTURE.

tuyau de décharge B, pour être ultérieurement répandues sur le sol. Quant au liquide, on le fait couler avec une vitesse uniforme dans la rigole d'irrigation., où il se mélange avec l'eau pure amenée par le syphon C, en proportion déterminée, avant d'arriver sur les terres.

Formation des prairies. On trouvera plus loin, au sujet de la culture des prairies en général, ce qui se rapporte à l'entretien des prairies arrosées, à la nature des graminées qui doivent les composer, etc. Nous devons seulement indiquer ici les moyens et les précautions qui sont habituellement employés pour former le gazon des prairies et la couche de terre végétale, quand on opère, comme il arrive quelquefois, sur des sols stériles. La formation des prairies peut avoir lieu par semis ou par gazonnements. Quand on sème de la graine de foin au printemps ou à l'automne, autant que possible par un temps humide, il faut donner l'eau avec beaucoup de ménagement; si elle arrivait trop vite, elle entraînerait la graine et détruirait la végétation naissante; on doit se borner à entretenir la fraîcheur du sol. On peut, avec le secours seul de l'eau, former des prairies sur des sols arides; mais il convient, en général, de recourir à l'emploi toujours lucratif des matières fertilisantes, qui accélèrent singulièrement, surtout dans les terres médiocres, la formation du gazon. Beaucoup d'expériences intéressantes ont été faites sur ce sujet dans les bruyères irriguées de la Campine. L'un des moyens les plus employés consiste simplement à répandre, par hectare, et à mélanger à la herse un compost formé de 50 mètres cubes de gazons de bruyères et de 20 mètres cubes de chaux. Le tableau suivant indique plusieurs autres mélanges qui ont tous donné de bons résultats. Le n° 7 a été particulièrement employé sur une grande échelle par une des compagnies qui s'occupent de ces entreprises :

Nos d'ordre.	SURFACES des parcelles.			COMPOSITION de l'engrais par hectare. Boue de ville.	Noir animal.	Cendres de Hollande.	DÉPENSE par hectare.	
	h.	a.	c.	m. cub.	kilog.	kilog.	fr.	c.
1	7	»	75	50	500	500	306	60
2	»	78	75	40	1000	250	289	95
3	3	81	25	40	500	250	250	87
4	1	75	»	25	500	»	172	22
5	»	45	»	60	»	»	315	»
6	3	65	»	50	»	»	265	50
7	7	22	50	40	»	»	210	»
8	13	13	75	50 [1]	400	400	266	53
9	1	20	»	50 [2]	500	250	280	87
10	»	80	»	35 [3]	500	250	202	69
11	1	75	»	35 [4]	400	400	190	26
12	»	30	»	»	2000	2000	176	40

[1] Compost formé de parties égales de boue de ville et de terre du Ruppel. — [2] Compost précédent avec un 20me de chaux. — [3] 15 mètres du compost[1], mélangés de 7 mètres cubes de boue de ville et de 13 mètres cubes de terre du Ruppel. — [4] 15 mètres cubes du compost[1] et 20 mètres cubes de terre du Ruppel.

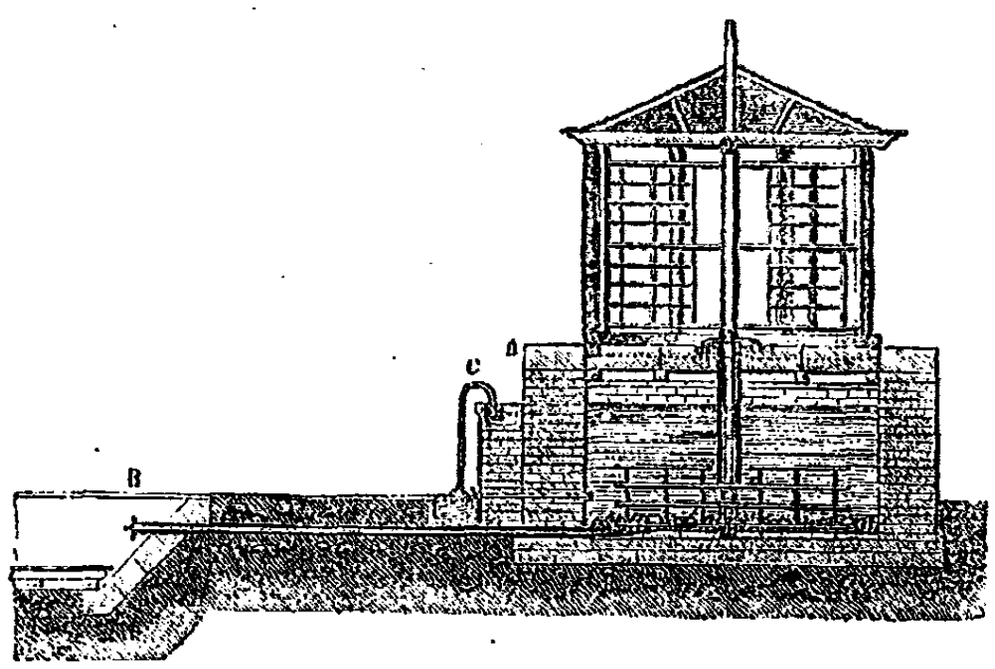


Fig. 107.

Nous ne citons, du reste, ces faits qu'à titre de renseignements. Chaque propriétaire emploie les matières dont il peut disposer, en tenant compte des résultats qu'elles doivent produire et de leur prix de revient.

La formation des prairies au moyen du gazonnement consiste tout simplement à appliquer à la surface des ados, ou des plans inclinés, des plaques de gazons enlevées sur le bord des chemins ou dans des prairies naturelles. Les gazons ont, en général, 0m,15 à 0m,30 de côté. Ils sont ordinairement disposés par lignes parallèles espacées de 0m,40, ou bien séparés les uns des autres, en tous les sens, par une distance double de leur largeur. La transplantation des gazons, dans des circonstances favorables, coûte de 30 à 50 francs par hectare. On les bat pour les appliquer sur le sol et favoriser le tallement de l'herbe. On arrose immédiatement après l'application des gazons. Habituellement la surface est entièrement herbée en moins d'un an. Cette méthode donne des résultats qui paraissent, en général, inférieurs à ceux que fournissent les semis.

Exécution des travaux d'irrigation. Quel que soit le système d'irrigation adopté, le mode d'exécution des travaux et les études préalables qu'ils nécessitent sont toujours à peu près les mêmes. Bien qu'une grande habitude donne à certains ouvriers un coup d'œil d'une sureté remarquable pour apprécier les pentes d'un terrain et les hauteurs de ses différents points, il convient toujours de faire précéder toute entreprise d'irrigation, même peu importante, d'un nivellement de la surface à arroser, rapporté sur un plan, comme nous l'avons indiqué en parlant des plans de drainage. Ce plan topographique permet de tracer de la manière la plus convenable les rigoles d'alimentation, et de déterminer avec certitude les dispositions de la surface qui nécessiteront le moins de terrassements. Les nivellements sur le terrain, la vérification de la pente des rigoles, etc., peuvent se faire au niveau de maçon, comme nous l'avons déjà dit. Quant aux instruments nécessaires aux terrassements d'irrigation, ils sont très simples et se rapprochent beaucoup de ceux qui sont habituellement employés dans les exploitations rurales; nous allons indiquer les principaux.

On emploie, pour tracer les rigoles dans les sols herbés et pour couper les gazons, la hache représentée par la fig. 108, ou celle dont il a été question ci-dessus (fig. 44 et 101). Ces instruments sont bien préférables, pour cet usage, à la bêche qui les remplace quelquefois. On a proposé, dans le même but, un instrument formé

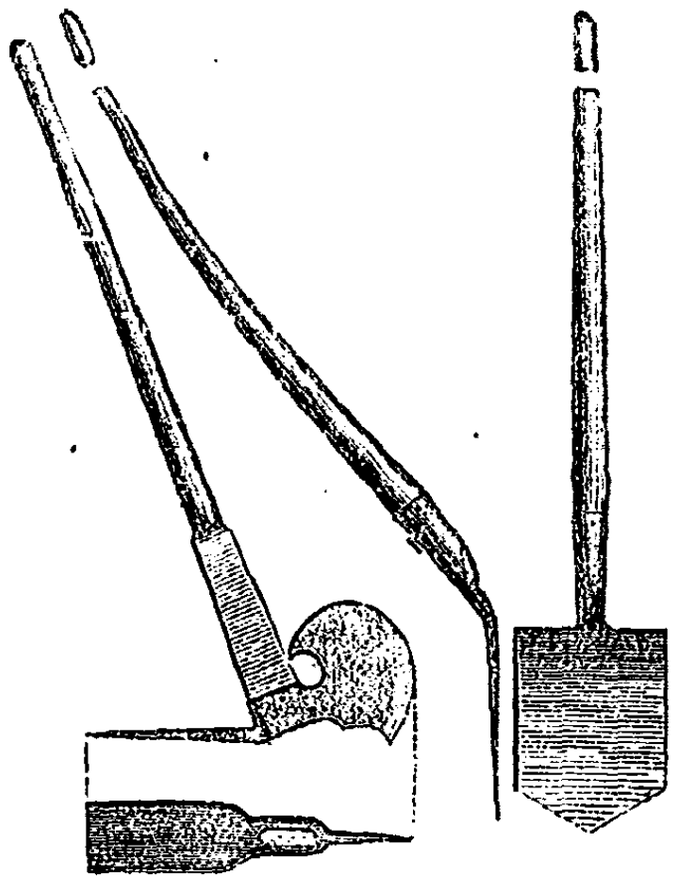


Fig. 108 (0,05). Fig. 109 (0,05).

d'une roulette en tôle aiguisée à sa circonférence et placée à l'extrémité d'un manche. Il ne paraît pas que cet outil se soit beaucoup répandu. On emploie aussi une espèce de couteau (fig. 110), tiré par un homme à l'aide d'une corde passée dans l'anneau.

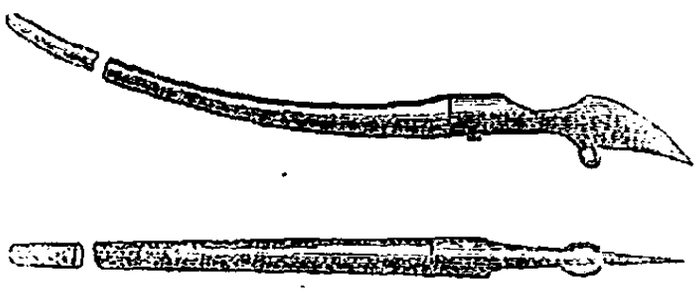


Fig. 110 (0,05).

Les bêches à lever le gazon ont l'une des formes indiquées par les fig. 102 (ci-dessus) ou 109. Elles le soulèvent en plaques bien régulières quand il a été d'avance coupé avec netteté. En France, on enlève le gazon par plaques rectangulaires de 0m,15 à 0m,20 de largeur, sur 0m,30 ou 0m,40 de longueur. Dans d'autres pays, et notamment en Allemagne, on le détache du sol par bandes plus ou moins longues, et on enroule ces bandes, qui ont jusqu'à 20 mètres, l'herbe en dedans, sur des bâtons assez longs pour que deux hommes puissent en saisir les extrémités et porter ces rouleaux de gazons aux points où ils doivent être appliqués, et où on les déroule comme un tapis. Ces rouleaux peuvent être abandonnés à eux-mêmes pendant un certain temps, pour faire périr les mousses, qui résistent moins longtemps que l'herbe à cette privation d'air et d'humidité.

L'ouverture des rigoles est l'opération qui se présente le plus souvent dans les travaux d'irrigation. On exécute entièrement ce travail avec des bêches ordinaires, ou bien on le commence à la charrue et on le termine à la main: On construit également, pour ouvrir les rigoles, de petites charrues à soc concave, garnies d'un versoir qui rejette la terre sur le côté. Ces instruments, connus sous le nom de *rigoleurs*, ont reçu des formes assez variées, que nous croyons inutile de décrire, parce que jusqu'à présent leur usage est peu répandu, et que les résultats qu'ils fournissent sont assez peu satisfaisants.

Les travaux de terrassements généraux pour le nivellement du sol s'exécutent à la pelle et à la pioche, ou à la bêche, et les transports se font à la brouette, ou au tomberau quand les distances sont considérables. Mais dans des terrains convenables une étude attentive peut presque toujours éviter l'emploi de ce dernier moyen, qui augmente beaucoup les frais d'établissement des ouvrages.

Les billons se font généralement à la bêche, en creusant un peu l'intervalle entre les ailes et en rejetant le produit de cette fouille sur le sommet des planches. Ce travail préparatoire, dans les terrains assez réguliers, peut se faire en grande partie à la charrue, manœuvrée comme on le fait pour former les planches bombées ordinaires. Les rigoles d'arrosage des planches, le régalage et l'achèvement des terrassements se font toujours à la bêche.

Pratique des irrigations. Le mode d'emploi de l'eau sur les terres arrosées varie d'une culture à l'autre, et même pour chaque culture d'une contrée à l'autre. C'est en étudiant séparément les principales cultures irriguées qu'il convient d'indiquer le mode d'emploi de l'eau qui convient le mieux à chacune d'elles. Nous dirons seulement ici quelques mots sur l'irrigation des jardins.

Jardinages. Les cultures maraîchères exigent, en général, beaucoup d'eau. L'irrigation permet de leur donner, dans certaines localités, un développement vraiment extraordinaire. Aux environs de Paris on tire l'eau des puits au moyen de manéges. Le haut prix des légumes permet aux jardiniers de supporter ce moyen coûteux d'arrosage. L'eau, versée dans des tonneaux enfouis dans le sol, est répandue sur le terrain avec des arrosoirs, à raison de 36 litres par mètre carré et par arrosage. Dans le Midi et en Espagne on obtient l'eau au moyen de norias. Mais, quand les localités le permettent, on a recours à de véritables irrigations, comme on peut l'observer sur une très-grande échelle à Cavaillon, Château-Renard, dans le Midi, aux environs de Clermont-Ferrand. A Cavaillon, la culture des melons, des artichauts et des légumes a pris une grande extension. Les produits de cette contrée sont exportés dans un cercle de plus en plus étendu et commencent déjà à venir à Paris comme primeurs. A Cavaillon, le terrain est divisé en planches de 1m,75 à 4m,80 de largeur, entre lesquelles on ménage des rigoles de 0m,28 de largeur. Les arrosages ont lieu tous les cinq jours pendant la saison, qui est de deux cents jours. Ces quarante arrosages consomment chacun environ 1,000 mètres cubes d'eau par hectare, ce qui fait 40,000 mètres cubes par saison, ou un débit de 2 litres $\frac{1}{2}$ par seconde environ. Quand la capillarité du sol ne suffit pas pour humecter assez les plantes, on les arrose en projetant sur elles l'eau des rigoles avec des écopes très-plates.

Quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Pour que l'on puisse arroser, il faut disposer, au moment de l'opération, d'un certain volume d'eau. On comprend en effet qu'un simple filet d'eau s'imbiberait dans les rigoles ou à l'entrée du champ, et ne pourrait arriver aux parties du terrain éloignées de la prise d'eau. Le débit par seconde nécessaire à un bon arrosage, dépend de la nature du sol, de celle de la culture, de l'étendue de la pièce à arroser et enfin de l'habileté et de l'activité de l'irrigateur. Il varie par conséquent entre des limites fort étendues. Dans les terres arables, on introduit généralement moins d'eau à la fois que dans les prairies bien herbées, parce que les ravinements y sont plus à craindre.

AGRICULTURE.

On admet, en général, que le plus petit volume d'eau qu'il soit possible de conduire convenablement et utilement au moment d'un arrosage est de 5 litres par seconde. D'un autre côté, sur les prairies les mieux disposées, il est bien difficile à un seul homme de bien gouverner et de bien surveiller l'emploi de plus de 100 à 120 litres par seconde. Il est bien entendu qu'il ne s'agit pas de prairies submergées, où on laisse passer, sans s'en occuper, des volumes d'eau souvent énormes.

Quand le débit dont on dispose est inférieur à celui qui est nécessaire au moment de l'arrosage, il faut avoir un réservoir où l'eau s'accumule pendant un certain temps, et d'où on la fait écouler au moment de l'arrosage.

Dans les Vosges on utilise ainsi les plus petits filets d'eau. Quelquefois, pour éviter les pertes de temps répétées on charge l'eau elle-même, à l'aide d'un mécanisme très-simple, d'ouvrir le réservoir quand il est plein et de le refermer ensuite pour qu'il s'emplisse de nouveau.

Le débit par seconde nécessaire au *moment même où l'on donne un arrosage* est, du reste, une quantité très-différente du volume total de l'eau nécessaire *annuellement* pour entretenir en culture irriguée une surface donnée. Cette dernière question est assez compliquée et donne lieu tous les jours à de longues discussions. Il est nécessaire de l'examiner ici.

On doit remarquer avant tout que le volume d'eau nécessaire à une irrigation varie dans chaque cas particulier. Il est absolument impossible de l'exprimer par un seul chiffre comme on veut le faire souvent. Les expériences bien faites à cet égard sont encore peu nombreuses, et il est fort difficile de distinguer l'influence de chaque élément de la question dans l'ensemble des phénomènes dont on ne connaît que le résultat général.

L'eau employée aux irrigations agit de plusieurs manières, qu'il est nécessaire d'analyser pour se rendre compte des principes qui peuvent guider dans l'étude qui nous occupe. L'analyse suivante, quelque imparfaite qu'elle soit, aura l'avantage d'appeler l'attention sur certains points particuliers de recherches et d'indiquer les éléments scientifiques de cette discussion.

Quand on veut exclusivement limoner un terrain, le résultat obtenu est évidemment proportionnel à la quantité d'eau que l'on peut faire reposer sur ce terrain. Mais ce cas particulier écarté, dans les arrosages proprement dits l'eau peut se partager, par la pensée, en plusieurs parties principales, savoir :

(*a*) L'eau perdue dans les canaux d'amenée, par infiltration ou par évaporation.

(*b*) L'eau absorbée par imbibition dans le sol pour l'entretenir à l'état de fraîcheur nécessaire à la végétation.

(*c*) Les pertes par infiltration à travers les sous-sols perméables, quand la disposition des lieux le permet.

(*d*) L'eau fixée par les végétaux.

(*e*) Les pertes, par évaporation, soit que l'eau se trouve en nappes plus ou moins épaisses, soit qu'elle mouille seulement les végétaux et le sol qui les supporte.

(*f*) L'eau qui ne fait que passer sur le sol et retomber dans des rigoles d'égouttement, après avoir abandonné aux plantes l'oxygène et les autres gaz qu'elle tenait en dissolution.

Disons quelques mots sur ces divers éléments du problème :

(*a*) La perte par les rigoles d'amenée peut être assez forte. Elle dépend de la nature du sol, de la température, de la pente, du volume en mouvement, etc.; ainsi, par exemple, dans un petit canal portant 10 litres d'eau par seconde, entre Blidah et Montpensier, on a trouvé que la pente par litre était de 0,00025 par mètre; quand le débit s'élevait à 30 litres, la pente par mètre et par litre n'était plus que de 0,00012.

(*b*) La quantité d'eau nécessaire pour imbiber une couche donnée de terre dépend des propriétés physiques de cette terre et de l'humidité qu'elle contient au commencement et à la fin de l'arrosage. Si l'on suppose par exemple que l'arrosage commence quand la terre renferme 10 pour 100 de son poids d'eau et qu'il cesse quand elle en renferme 25 pour 100, il est clair qu'il suffira de déterminer le poids de la couche de terre à laquelle s'applique l'arrosage pour évaluer, dans chaque cas particulier, le volume d'eau nécessaire à l'imbibition.

(*c*) Écartons les pertes par infiltrations qui sont souvent nulles, et prennent, au contraire, dans quelques circonstances, une valeur devant laquelle s'effacent toutes les autres causes de consommation d'eau.

(*d*) L'eau fixée par les végétaux n'est évidemment qu'une fraction très-petite des volumes d'eau dont il vient d'être question. Mais ce côté du problème est cependant l'un des plus intéressants à étudier. Le passage de l'eau sur les terres arrosées modifie singulièrement sa composition, et si le volume de liquide absorbé est faible, la quantité d'éléments solubles fixés peut être relativement considérable et varie avec les diverses conditions de l'opération comme on le verra plus loin. En un mot, l'eau s'appauvrit en passant sur les plantes, et l'on doit s'appliquer à mesurer non pas le volume de liquide absorbé, mais les éléments de fertilité retenus par le sol ou par les végétaux.

(*e*) Les pertes par évaporation sont très-difficiles à évaluer. Il s'agit d'eau en mouvement en couches plus ou moins minces, quelquefois de terres simplement mouillées. Ces conditions sont variables et très-différentes de celles où l'on opère dans nos observatoires. La quantité d'eau enlevée par évaporation est comprise entre celle qui est donnée par les formules pour les vases d'eau tranquilles et celle qui s'évapore d'un sol saturé. Cette dernière quantité est évaluée au quart de la première. Dans des conditions semblables de température, d'agitation de l'air, etc.

(*f*) Reste, enfin, à évaluer la quantité de liquide qui ne doit que passer sur le sol, celle qui sert à entretenir la vitesse d'écoulement et à abandonner aux plantes les gaz et autres aliments dissous que les eaux peuvent renfermer. On regarde une couche d'une épaisseur moyenne de 0m,003, animée d'une vitesse de 0m,005 par seconde, comme la plus petite quantité qu'il soit possible d'employer. Dans ces circonstances le débit est de 0 litre 015 par seconde et par mètre courant. Il est clair que l'épaisseur de la couche d'eau varie, pour un même débit, avec la vitesse, c'est-à-dire avec l'inclinaison des pentes des surfaces arrosées. Mais en admettant que le débit soit constant sur chaque unité de surface, on voit que la consommation totale d'eau devra varier avec la configuration des surfaces mouillées, c'est-à-dire avec le rapport de la longueur à la largeur des planches.

Les observations précédentes permettent de se rendre compte des principales causes qui déterminent le volume d'eau nécessaire à une irrigation, et de se diriger dans quelques-unes des expériences qui permettront de fixer plus tard, avec connaissance de cause, cette quantité.

Les expériences sont encore fort peu nombreuses. M. Keelhoff, dans la Campine belge, a fait établir un appareil de jaugeage, à l'aide duquel il a exécuté un certain nombre d'essais fort intéressants.

Nous ne rapporterons que les chiffres de deux des expériences de M. Koelhoff.

RIGOLES DE DÉVERSEMENT

	de 0,38 de profondeur.	de 00,5 de profondeur bien donné.
Consommation d'eau par hectare et par seconde dans la rigole principale.	lit. 5,72	lit. 5,72
Consommation d'eau par hectare et par seconde dans les rigoles de distribution	5,27	5,27
Consommation d'eau par hectare et par seconde dans les rigoles de déversement	64,47	16,13
Eau employée en déversement. .	4,50	4,47
	79,66	31,59

En tenant compte de la disposition des prairies où il opérait, M. Koelhoff déduit des chiffres précédents : que l'absorption par seconde par mètre carré de surface infiltrante des rigoles de déversement était de 0l,037, pour les rigoles de 0m,28 de profondeur et de 0,0222 pour celles de 0m,05 de profondeur et bien donné. L'infiltration par seconde et par mètre carré de rigoles de distribution était de 0l,0148 et de 0m,0077 par mètre quarré de rigole principale.

On doit remarquer en outre que ces prairies ne sont pas constamment arrosées, et que les eaux sont employées à plusieurs reprises dans le pays, de sorte que la consommation permanente est bien inférieure aux chiffres qui viennent d'être donnés.

Laissons de côté du reste ces considérations abstraites pour arriver à des chiffres et à des observations plus pratiques.

On estime de différentes manières la quantité d'eau nécessaire aux irrigations : les uns l'expriment par un écoulement permanent, en litres, par seconde; d'autres par l'épaisseur de la couche liquide qui serait répandue sur le sol si toute l'eau employée s'y trouvait réunie au même instant; d'autres, enfin, par le nombre absolu de mètres cubes d'eau employés par hectare et par saison d'arrosage. Il est facile de passer de l'une à l'autre de ces unités différentes. Il suffit, en effet, de multiplier le débit régulier, en litres, par seconde et par hectare, par le nombre 15,552 pour obtenir le volume total, en mètres cubes, dépensé par hectare, en six mois, et par 1m,5552 pour obtenir l'épaisseur, en mètres, de la couche d'eau correspondante; et, réciproquement, de diviser le volume employé par hectare par 10,000 pour avoir l'épaisseur de la couche d'eau, ou, enfin, ce même volume par 1,5552 pour avoir le débit permanent, par seconde, correspondant, en litres.

La quantité d'eau nécessaire à l'irrigation d'un hectare, pendant l'année, est égale au produit du nombre des arrosages par le volume d'eau donné à chaque arrosage. Ce volume et ce nombre d'arrosages sont donc les deux éléments essentiels de la question qui nous occupe. La durée de la saison des arrosages est très-variable. Dans le Midi elle dure du 1er avril au 30 septembre. Elle se réduirait sans doute à cinq mois dans le centre. Dans certaines contrées on arrose presque toute l'année.

M. de Gasparin admet, en termes généraux, que, dans le Midi, il faut donner un arrosage tous les quinze jours à la terre contenant 20 p. 100 de sable; un tous les onze jours à celle en contenant 40; un tous les six jours à celle en contenant 60; un tous les trois jours à celle en contenant 80, et que chaque arrosage exige une couche d'eau de 0m,08 à 0m,10, ou 800 à 1,000 mètres cubes par hectare, ce qui répondrait, en adoptant le second nombre, aux consommations d'eau suivantes, par hectare, pour une période de 190 jours d'arrosage :

m. c.	lit.			Terres contenant
12,000	ou 0,77	par 1″	avec 20	p. 100 de sable.
16,000	1,03	—	40	—
30,000	1,92	—	60	—
60,000	3,83	—	80	—

M. Puvis, après avoir cité plusieurs exemples, conclut qu'il faut donner au moins 0m,10 d'épaisseur d'eau aux prairies par vingt-quatre heures, 0m,30 au maximum et 0m20 en moyenne, et que le nombre de jours d'arrosage par an peut s'élever à vingt-cinq ou trente, et même beaucoup plus. Cette évaluation, en prenant le chiffre moyen de 0m,20 et vingt-cinq jours d'arrosage, répond à une dépense d'eau de 50,000 mètres cubes par an, ou bien à un écoulement permanent de 3l,24 par seconde et par hectare prolongé pendant six mois.

Les derniers chiffres empruntés à M. de Gasparin sont suffisants pour le Midi; on peut même citer beaucoup de bons arrosages en Espagne, en Algérie et dans la Provence, qui ne consomment pas autant d'eau. Le chiffre de M. Puvis répond assez bien à la moyenne de sa contrée. Dans les Vosges, dans l'Ouest, en Campine, en Angleterre, on consomme beaucoup plus, dans des irrigations fort bien entendues.

On calcule, en général, les volumes d'eau nécessaires aux irrigations à raison de 1/2 ou de 1 litre par seconde et par hectare à arroser. Cette règle est beaucoup trop générale, c'est à tort que l'on veut soumettre au même régime des terrains consacrés à des cultures différentes sous des latitudes éloignées, ainsi que je l'ai démontré dans un travail étendu dont il convient de rappeler ici les conclusions(1).

Pour étudier les problèmes délicats que soulève l'emploi des eaux dans les irrigations, il fallait, non des expériences isolées, mais de longues séries d'observations comparatives et plusieurs années d'un travail soutenu, car on ne pourrait écarter autrement tant de causes d'erreur que toute expérience isolée comporte quand il s'agit d'agriculture.

J'ai employé dans mes cultures, placées comme il convenait aux deux extrémités de la France, les irrigateurs les plus habiles des localités adoptées et j'ai suivi leurs pratiques jour par jour, mesurant exactement les volumes d'eau employés, constatant avec précision la composition de l'eau à l'entrée et à la sortie, me rendant compte enfin de la quantité des récoltes obtenues et de leur composition.

Mes expériences, poursuivies pendant trois années sur des champs de cultures différentes, embrassent des milliers de jaugeages, de déterminations météorologiques et d'analyses trop longues à indiquer ici en détail. On se bornera à quelques indications indispensables pour faire apprécier le caractère de ce travail et en justifier les conclusions.

J'ai opéré dans les Vosges sur deux prairies arrosées par la Meurthe, l'une de trois quarts d'hectare, l'autre d'un hectare, et, dans le département de Vaucluse, sur quatre terrains en prairies ou en cultures diverses, dont trois arrosées par la Durance et un par la Sorgue.

Les jaugeages, au nombre de plus de mille, ont été effectués à l'aide d'une vanne ou de déversoirs dont les débits ont été vérifiés à l'aide du tube de Pitot, perfectionné par M. Darcy, et quelquefois à l'aide de jaugeages directs, avec des vases de capacité connue.

(1) *Expériences sur l'emploi des eaux dans les irrigations sous différents climats.* Paris, Dunod, 1863.

AGRICULTURE.

Les eaux destinées à l'analyse étaient recueillies à l'entrée et à la sortie, à chaque arrosage, dans le Midi, et une fois par jour dans les arrosages continus des Vosges.

Les récoltes ont été faites absolument par les méthodes en usage dans les localités où je m'étais placé. J'ai laissé faire les cultivateurs; mais tous les produits qu'ils obtenaient ont été pesés avec la plus grande attention. On a déterminé par l'analyse, sur des échantillons moyens, tous les coefficients nécessaires à l'appréciation de la teneur générale des récoltes elles-mêmes.

La température de l'eau était mesurée chaque jour à l'entrée et à la sortie du champ soumis aux expériences.

Les principaux résultats numériques de ces observations, dont le compte rendu occupe un volume, sont réunis dans le tableau suivant :

	PRAIRIE de Taillades.	LUZERNE de Taillades.	HARICOTS de Taillades	PRAIRIE de l'Isle.	PRAIRIE de Saint-Dié.	PRAIRIE de Habeaurupt.
Volume total d'eau versé par hectare et par an.....	mc. 16383.000	mc. 37959.224	mc. 5125.649	mc. 5402.289	mc. 1518661.23	mc. 4483722.43
Débit continu correspondant par seconde et par hectare.....	lit. 1.89	lit. 4.393	lit. 0.988	lit. 1.126	lit. 68.675	lit. 217.133
Débit continu par seconde et par hectare, l'hiver.....	»	»	»	»	101.285	312.835
Débit continu par seconde et par hectare, l'été.....	»	»	»	»	33.737	49.93
Azote de l'ammoniaque et de l'acide azotique par litre d'eau d'entrée, moyenne de l'année.....	mil. 1.583	mil. 1.522	mil. 1.773	mil. 1.580	mil. 1.380	mil. 1.194
Azote de l'ammoniaque et de l'acide azotique par litre d'eau de sortie, moyenne de l'année.....	1.002	1.021	»	1.363	1.247	1.136
Azote de l'eau d'irrigation fixé par hectare et par an.....	k. 23.442	k. 55.731	k. 9.090	k. 8.093	k. 207.880	k. 261.116
Rapport de l'azote fixé par litre à l'azote de l'eau d'entrée, moyenne de l'année	0.36	0.33	»	0.13	0.10	0.05
Rapport de l'azote fixé par litre à l'azote de l'eau d'entrée, moyenne de l'hiver.	»	»	»	»	0.03	0.015
Rapport de l'azote fixé par litre à l'azote de l'eau d'entrée, moyenne de l'été.	»	»	»	»	0.32	0.30
Azote du fumier.....	k. 121.881	k. 105.806	k. 87.662	k. 139.724	k. »	k. »
Azote de la récolte.....	184.345	431.537	103.961	165.857	70.861	102.057
Différence de l'azote de la récolte et de l'azote de l'eau et du fumier.....	+39.019	+271.280	+7.209	+18.410	−135.684	−155.994
Acide carbonique dissous par litre d'eau d'entrée, moyenne de l'année.....	cc. 4.87	cc. 4.30	cc. 6.1	cc. 11.3	cc. 1.40	cc. 1.13
Acide carbonique dissous par litre d'eau de sortie, moyenne de l'année.....	5.29	4.80	»	13.6	1.60	1.48
Oxygène dissous par litre d'eau d'entrée, moyenne de l'année.....	4.54	4.80	4.1	5.7	7.60	7.64
Oxygène dissous par litre d'eau de sortie, moyenne de l'année.....	3.78	4.20	»	4.7	7.10	7.22

La différence essentielle de la pratique des arrosages dans le Midi et dans les régions plus froides résulte de la manière la plus frappante des premiers chiffres de ce tableau. Tandis que l'arrosage de l'une des cultures soumises à nos essais a eu lieu dans le département de Vaucluse en employant le produit d'un débit continu de moins d'un litre par seconde et par hectare; une autre prairie, située dans les Vosges, a reçu le produit d'un débit moyen de 217 litres par seconde, qui dans l'été même s'élevait encore à près de 50 litres par seconde et par hectare.

Pendant l'hiver, les eaux sont, en général, assez abondantes pour suffire à tous les besoins; il n'y a pas à se préoccuper de leur emploi en grandes masses. Lorsqu'elles n'agissent pas par colmatage, elles servent alors beaucoup plus, sans aucun doute, à régulariser les conditions de température de l'herbe qu'à fournir aux plantes et au sol des matières fertilisantes; car elles n'abandonnent en passant sur le terrain que 1 à 3 p. 100 de leur azote combiné. Les observations qui vont suivre s'appliquent donc essentiellement aux volumes d'eau employés pendant l'été.

Dans les irrigations du Midi, citées ici, les eaux n'apportent aux récoltes qu'une faible partie des matières fertilisantes nécessaires à leur développement, comme le montre le tableau précédent. Elles servent surtout à rafraîchir le sol et à rendre possibles les phénomènes d'absorption et d'évaporation indispensables à la vie des plantes. L'importance de leur rôle sous ce double rapport dépend de l'hygroscopicité du sol et de l'ensemble de ses propriétés physiques.

Dans les pays plus froids, les eaux d'irrigation remplissent véritablement le rôle de producteurs d'engrais; elles fournissent toutes les matières fertilisantes nécessaires au développement des récoltes et à l'accroissement progressif de la richesse du sol.

Dans les expériences des Vosges, l'azote fixé par hectare de prairie, après l'enlèvement de la récolte, n'atteint même pas les chiffres de 135k.6 ou de 155k.9 portés au tableau. Ces chiffres eux-mêmes n'exprimeraient qu'un accroissement assez lent de la fertilité du sol; on voit donc qu'une réduction des volumes d'eau d'arrosage, pour peu qu'elle fût notable, rendrait insuffisante la proportion de matières fertili-

AGRICULTURE.

santes apportées par les eaux, et diminuerait les récoltes dans la même proportion, à moins qu'on ne remplace par une quantité équivalente de fumier le volume d'eau enlevé à la prairie.

On pourrait remarquer, il est vrai, que les eaux, en passant sur les prairies soumises à nos expériences des Vosges, n'abandonnent que le tiers de l'azote combiné qu'elles renferment, et se demander si par un meilleur mode d'emploi des eaux, on pourrait les dépouiller complétement, ce qui permettrait de réduire des deux tiers le volume employé. Il est facile de répondre à cette question. On dira d'abord que l'azote laissé dans les eaux d'irrigation n'est point perdu; en continuant leurs cours, elles s'enrichissent de nouveau et sont employées plus loin à d'autres arrosages. Mais il y a plus : il ne paraît pas possible, par la réduction du volume d'eau, de fixer une plus forte proportion d'azote de l'eau, car les prairies des Vosges, pendant les arrosages d'été, fixent un peu plus de 30 p. 100 de l'azote contenu dans les eaux qui les arrosent, c'est-à-dire sensiblement autant que les prairies de Vaucluse arrosées avec une si grande parcimonie.

Il semble donc que les plantes ne puisent plus rien dans les eaux dont la richesse en azote combiné descend au-dessous d'une certaine proportion, d'un certain titre de fertilité, si l'on peut s'exprimer ainsi. Ce fait, du reste, n'a rien d'étonnant; il s'accorde avec les idées généralement admises sur l'influence exercée par le degré de dilution sur les affinités.

Si cette dernière observation est fondée, il est clair que dans les irrigations bien disposées, les cultures fixeront tout l'azote des eaux excédant cette proportion constante pour chaque cas particulier, au-dessous de laquelle s'arrête toute assimilation des principes fertilisants du liquide. Le rapport de l'azote fixé à l'azote total sera par conséquent d'autant plus grand que l'eau sera plus riche en azote. On comprend par là les merveilleux effets de très-petits volumes d'eau suffisamment chargés de principes fertilisants.

Si les chiffres précédents expliquent parfaitement le rôle des arrosages à grands volumes, ce n'est pas à dire qu'ils les justifient toujours d'une manière complète. Puisque l'emploi de grands volumes d'eau a pour but de fournir aux récoltes la totalité des matières fertilisantes nécessaires à leur développement, on peut remplacer une partie de l'eau d'arrosage par une proportion d'engrais équivalente. On se trouve donc conduit à substituer l'un à l'autre ces deux moyens de fertilisation selon leur abondance, leur prix relatif, la nature du sol et du climat sous lequel on opère.

Ce serait s'écarter du but de ce travail d'examiner ici l'influence sur la qualité des récoltes de l'emploi plus ou moins abondant et plus ou moins exclusif des eaux d'irrigations; on dira seulement que, dans certains cas, on perd plus en qualité qu'on ne gagne en quantité par l'emploi de volumes d'eau excessifs, et cette circonstance suffit habituellement pour empêcher les abus que l'on pourrait craindre dans l'usage des eaux.

La méthode suivie dans le mémoire que nous citons permet d'ailleurs de décider, dans chaque cas particulier, si le volume d'eau réclamé par les intéressés excède leurs besoins. Il suffit, en effet, de jauger ces eaux et de comparer la quantité de matières fertilisantes qu'elles abandonnent en passant sur la prairie à la récolte obtenue. On aura donc, à l'avenir, une base certaine d'appréciation pour la concession et le partage des eaux d'irrigation. Désormais les cultivateurs des pays froids pourront répondre péremptoirement aux personnes qui leur citeront les arrosages du Midi et déterminer, dans chaque cas particulier, la limite au-dessous de laquelle le volume de leurs eaux d'arrosage ne pourrait être réduit sans diminuer la production de leurs prairies arrosées et sans exiger l'emploi de fumures auxiliaires.

Cette méthode fournit aussi la solution du problème des *reprises d'eau*. Il est évident qu'il faut cesser de les multiplier quand la composition de l'eau de sortie égale celle de l'eau d'entrée, et même quand la différence de composition de ces deux liquides représente une valeur inférieure aux frais d'établissement et d'entretien de la prairie.

La sensibilité et l'exactitude de ces procédés d'observations faites par séries est telle qu'on peut reconnaître l'influence d'une pente plus ou moins forte du sol de la prairie.

Les gaz dissous dans les eaux d'irrigation exercent une grande influence sur leur action sur les prairies.

Dans nos expériences, l'acide carbonique dissous a été plus abondant dans l'eau de sortie que dans l'eau d'entrée, et l'oxygène au contraire a toujours été plus abondant à l'entrée qu'à la sortie.

Il y a donc combustion lente de matières carbonées pendant le passage de l'eau sur les cultures. Ce phénomène paraît général; les irrigations déterminent par conséquent dans le sol des phénomènes d'oxydation semblables à ceux que produit le drainage lui-même. Ces deux puissants moyens d'amélioration agricole, si différents en apparence, agissent à cet égard de la même manière.

La facilité avec laquelle les eaux d'irrigation abandonnent aux cultures les matières fertilisantes qu'elles renferment, semble plutôt donner la mesure de leurs qualités que leur composition absolue. Ainsi les eaux de la Sorgue qui arrosent la prairie de l'Isle, se rapprochent beaucoup par leur composition de celles de la Durance qui arrosent la prairie de Taillades, mais elles sont beaucoup moins appréciées. On voit, en effet, que ces dernières abandonnent plus de 30 p. 100 de leur azote à la prairie qu'elles arrosent, tandis que ces dernières ne perdent que 13 p. 100 de leur richesse dans des conditions semblables en apparence.

Ces différences peuvent tenir à plusieurs causes qu'il serait fort utile d'étudier; mais la comparaison des eaux de la Sorgue et de la Durance, aussi bien que quelques autres faits, porterait à penser que la présence d'une trop forte proportion relative d'acide carbonique dans l'eau nuit à ses qualités pour l'irrigation. Ce fait paraîtra du reste très-probable, si l'on se rappelle qu'une eau déjà chargée de gaz carbonique en dissout plus difficilement une nouvelle proportion, et présente ainsi une certaine résistance à l'action comburante de l'oxygène, puisque l'acide carbonique produit ne se trouve pas entraîné aussi facilement. Quelques expériences très-faciles permettraient, du reste, de vérifier cette supposition (1).

Une question plus délicate se rattache à cette combustion lente par l'oxygène dissous dans les eaux. Les matières organiques, fixées par le chevelu des racines et brûlées en partie dans les années suivantes par l'oxygène, sont plus ou moins riches en azote. Que devient cet azote? Se dégage-t-il à l'état gazeux? se concentre-t-il dans l'humus pour l'enrichir de plus en plus, ou bien enfin se transforme-t-il, en totalité ou en partie, en acide azotique, en se trouvant à l'état naissant au moment d'une combustion lente en présence de l'oxygène? Les expériences rapportées dans ce travail permettent seulement de poser cette question, dont la solution ne peut être donnée que par une autre série de recherches.

Les eaux d'irrigations apportent à la terre plus de

(1) Cette vérification aurait une grande importance pratique, car elle donnerait le moyen d'améliorer facilement les eaux de cette espèce.

AGRICULTURE.

matières minérales que les récoltes n'en enlèvent. Il est probable, en général, que les eaux renferment tous les éléments des cendres végétales. L'action absorbante du sol arable sur les sels solubles dont il n'est pas saturé explique d'ailleurs comment les terres arrosées enlèvent aux eaux les composés salins dont elles ont besoin en leur laissant entraîner les substances dont elles sont suffisamment imprégnées ou qu'elles renferment en trop grande abondance.

L'influence générale de la température sur la fixation par les cultures de l'azote fourni par l'ammoniaque et l'acide azotique des eaux d'irrigation, est bien nettement accusée par les observations faites sur les deux prairies des Vosges. Lorsque la température est inférieure à 7 degrés l'assimilation paraît nulle ou très-faible. Ce phénomène si important mérite, du reste, d'être étudié avec plus de détail, en puisant des eaux d'entrée et de sortie, d'heure en heure, et en notant la température relative du sol et de l'eau.

Les chiffres élevés qui représentent la chaleur spécifique de l'eau et la chaleur latente de sa vapeur donnent un grand intérêt aux recherches qui seraient faites pour étudier la vaporisation sur les prairies arrosées et les changements de température produits dans la couche arable par le fait de l'irrigation.

Après l'étude de l'action de la température sur les arrosages, il conviendrait de faire une série d'observations sur les eaux d'irrigation employées pendant la nuit, pour savoir si, à température égale, il se fixe alors autant d'azote que pendant le jour.

D'après ce qui précède, les eaux d'irrigations doivent être considérées comme agents *physiques* et comme agents *chimiques*. Leur rôle à ce double point de vue est extrêmement complexe, et dépend non-seulement des conditions naturelles du sol et du climat déjà si variables d'un pays à un autre, mais encore des conditions économiques qui règlent la valeur relative des différentes récoltes, des engrais et de l'eau elle-même.

Le tableau suivant résume d'ailleurs, à titre de renseignements, un certain nombre de faits relatifs à des arrosages du Midi :

DÉSIGNATION des CULTURES.	LOCALITÉS.	DURÉE de la saison d'arrosage.	NOMBRE d'arrosages par saison.	ÉPAISSEUR de la couche d'eau à chaque arrosage.	VOLUME d'eau employée par saison et par hectare.	ÉCOULEMENT continu correspondant par seconde et par hectare
		jours.		m.	m.	lit.
Prairies...	Haute-Garonne.....	160	16	0,05	8,000	0,58
—	Bouches-du-Rhône, La Crau.	180	16	0,08	12,800	0,11
—	— —	180	18	»	5,330	1,00
—	Hautes-Alpes.....	90	10	0,053	»	0,68
—	Piémont, province d'Ivrée..	180	20	0,077	»	1,00
—	Milan[1].....	180	20	»	»	1,00
—	Pavie[2].....	180	20	»	»	0,75
—	Cavaillon[3].....	»	»	0,05	»	1,00
—	Le Pontet[4].....	»	»	0,06	»	1,15
—	Avignon[5].....	»	»	0,10	»	0,965
—	La Médecine[6].....	»	»	0,04	»	0,77
Luzerne...	Cavaillon[7].....	»	»	0,06	»	1,003
—	Aviguon[8].....	»	»	0,08	»	0,9
—	Entraigues, etc.[9].....	»	»	0,10	»	0,5
Jardins...	Cavaillon[10].....	»	»	0,107	»	2,5
Haricots...	— —[11].....	»	»	0,05	»	»

1. Moyennes. — 2. Ibid. — 3. Un arrosage tous les sept jours. — 4. Un arrosage tous les cinq jours. — 5. Un arrosage tous les douze jours. — 6. Un arrosage tous les sept jours. — 7. Ibid. — 8. Arrosage tous les dix à douze jours. — 9. Arrosage apres chaque coupe seulement. — 10. Arrosage tous les cinq jours au moyen de rigoles entre les planches. — 11. Arrosage tous les cinq jours.

Nous donnons encore ici sur la richesse des limons de certaines eaux d'arrosage(1), quelques renseignements que les exigences de la mise en page n'ont pas permis de placer à leur véritable place.

La fertilité proverbiale des limons déposés chaque année par le Nil sur les plaines de l'Égypte, et les bénéfices des opérations de colmatage ont appelé, de tout temps, l'attention des agronomes sur les avantages que l'agriculture peut attendre d'un judicieux emploi des matières solides entraînées par les eaux. D'un autre côté, on n'a pas été sans remarquer que les inondations désastreuses qui ravagent à intervalles irréguliers nos contrées du centre et du midi, ne sont pas toujours sans compensation. Il existe de nombreux exemples d'une fertilisation exceptionnelle des sols inondés produite par le limon que le fleuve y laisse en se retirant.

La fertilisation des terres arables, et la réduction des crues des cours d'eau torrentiels; c'est-à-dire la solution du problème des inondations, dont se préoccupe si vivement le public et l'administration des ponts et chaussées, sont donc deux questions liées entre elles de la manière la plus intime. Aussi ne doit-on pas s'étonner de voir les agronomes et les ingénieurs, de Gasparin et Poloncéau, pour ne citer que les plus illustres, signaler à l'envi l'emploi des limons comme le seul moyen de faire tourner au profit de l'agriculture et de la richesse publique l'action si redoutée des torrents et des fleuves les plus dangereux.

Ces idées si simples, et si souvent reproduites, n'ont reçu cependant jusqu'à présent dans notre pays que des applications assez bornées. Lorsqu'on cherche à

(1) *Expériences sur les limons charriés par les cours d'eau*, par M. Hervé Mangon. Extrait des *Annales du Conservatoire*. Paris, E. Lacroix, editeur.

AGRICULTURE.

PÉRIODES des OBSERVATIONS.	POIDS du limon entraîné pendant la période.	RÉSIDU argilo-siliceux		ALUMINE et peroxyde de fer		CARBONATE de chaux		CARBONE		AZOTE		EAU COMBINÉE et produits non dosés	
		sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.
	k.		k.		k.		k.		k.		k.		k.
Du 1er nov. 1859 au 29 fév. 1860	1090455310	46.05	502154670.2	4.25	46344350.7	43.30	472167149.2	0.483	5267949.1	0.083	905077.9	5.845	63737112.9
Du 1er au 31 mars 1860	187816644	49.10	92217972.2	4.85	9109107.6	39.64	74450517.7	0.128	240405.3	0.128	240405.3	5.628	10562808.1
Du 1er au 30 avril 1860	87992328	45.55	40083691.3	4.85	4267671.6	42.41	37320128.0	0.486	427767.1	0.104	91513.0	5.600	4927653.0
Du 1er au 31 mai 1860	335921910	45.15	151668177.4	5.45	18307049.1	43.03	144516884.9	0.646	2170508.9	0.071	238040.4	5.655	18989249.3
Du 1er au 30 juin 1860	335134962	48.40	162204945.2	5.00	16756743.1	39.73	133148519.1	0.695	2329832.9	0.081	271587.7	6.024	20193034.0
Du 1er au 31 juillet 1860	276391170	40.55	112076619.4	5.20	14372340.8	48.12	132999431.0	0.493	1362608.5	0.072	199001.6	5.565	15381165.6
Du 1er au 31 août 1860	68011032	44.30	30130216.2	4.30	2924603.4	43.83	29810550.2	0.530	360474.4	0.085	57811.9	6.955	4730375.9
Du 1er au 30 septembre 1860	518120064	51.60	267349687.1	5.65	29273853.3	36.25	187885342.2	0.486	2518036.6	0.084	435208.8	5.930	30724215.0
Du 1er au 31 octobre 1860	332895667	49.55	164946803.0	5.15	17143126.8	38.93	129639083.2	0.470	1564809.6	0.072	239680.9	5.823	19400839.5
Totaux	17723321767		8599118006.0		930250246.0		7033714605.3		98204420.6		14166131.5		1047871357.3

les approfondir et à préciser leur importance, on reconnaît malheureusement qu'il n'a été fait sur la quantité et la nature des limons de nos cours d'eau que des observations peu nombreuses et presque toujours isolées; en un mot, que les données numériques nécessaires à des études sérieuses et détaillées font presque complétement défaut aux agriculteurs aussi bien qu'aux ingénieurs. J'ai cherché à combler en partie cette lacune regrettable en apportant quelques chiffres positifs dans une discussion où l'on ne peut avancer avec sûreté sans des données préalables parfaitement certaines.

On ne citera ici que les chiffres relatifs à la Durance. Le poids et la composition des limons entraînés par cette rivière du 1er novembre 1859 au 31 octobre 1860 sont réunis dans le tableau ci-contre.

Le premier résultat qu'il y a lieu de signaler dans le tableau qui précède a trait à l'importance du poids et du volume du limon entraîné. Pendant l'année des observations, qui a été plutôt au-dessous, qu'au-dessus de la moyenne, sous le rapport des crues, le poids total des limons charriés par la Durance devant Mérindol, du 1er novembre 1859 au 31 octobre 1860, pour un débit total de 12,188,880,000 mètres cubes d'eau, a été de 17,723,321 tonnes de 1,000 kil.

En admettant que ces limons déposés sur le sol pèsent en moyenne 1,600 kil. le mètre cube, ce qui ne doit pas s'éloigner beaucoup de la réalité, leur volume serait de 11,077,071 mètres cubes.

Un volume équivalent à un cube de 220 mètres de côté environ a donc été enlevé aux terrains supérieurs, et entraîné sous forme de limon, dans les parties basses du cours de la rivière jusqu'à la mer.

Si ce limon se déposait entièrement sur le sol, il recouvrirait en un an d'une couche de 0m,01 d'épaisseur l'énorme surface de 110,770 hectares. S'il était amené sur la Camargue, il pourrait en combler les marais et la transformer en une plaine des plus fertiles en moins d'un demi-siècle.

Plusieurs des régions les plus riches du département de Vaucluse ont été formées, sans aucun doute, à des époques plus ou moins anciennes par des colmatages naturels de la Durance. Les terres si fertiles des communes de Cheval-Blanc, de Cavaillon, etc., ne doivent leur richesse qu'à une couche de limons, semblables à ceux qui nous occupent, déposée sur des terrains caillouteux d'une date plus ancienne. L'étendue de cette couche de limons est environ de 25,000 hectares. Il faudrait beaucoup plus de sondages que je n'ai pu en faire pour évaluer son épaisseur moyenne et calculer son volume; mais on peut affirmer qu'elle a pu se former en un temps assez court, sans qu'il soit nécessaire d'attribuer à la Durance une puissance de transport supérieure à celle qu'elle possède encore aujourd'hui, et dont nous venons de donner la mesure exacte.

De semblables résultats permettent de se rendre facilement compte de l'action des limons du Nil, qui exhaussent, comme on sait, le sol de l'Égypte environ d'un millimètre par an, et de la formation des terrains littoraux si étendus de l'embouchure de certains fleuves.

Un dernier rapprochement sera facile à saisir, et fera mieux comprendre encore la véritable signification des chiffres qui précèdent.

On regarde comme très-fertiles, dans le département de Vaucluse, les terres arables qui possèdent 0m,30 d'épaisseur de ces précieuses alluvions, ou 3,000 mètres cubes par hectare. Le volume de limon entraîné en une année par la Durance à Mérindol représente donc la terre arable de $\frac{11,077,071^{mc}}{3000} = 3,692$ hectares de ces sols de première qualité, très-supérieurs à la moyenne de nos terres de première classe, ou près de

deux centièmes de la surface arable d'un département moyen (1). En cinquante ans, les eaux de la Durance entraînent donc une quantité de sol arable égale à celle d'un département français.

La désagrégation des parties dénudées du territoire prépare sans cesse ces précieuses alluvions, que les cours d'eau entraînent aujourd'hui sans profit. Il appartient à l'homme de les utiliser à la transformation des plaines arides et caillouteuses que dominent les cours d'eau limoneux, et au renouvellement continu de la fertilité des terres cultivées. Le relief naturel du sol a suffi pour déterminer le dépôt des limons qui forment aujourd'hui plusieurs de nos plus riches vallées. Imiter ces exemples et ne pas laisser perdre dans la profondeur des mers de tels éléments de richesse et de fertilité n'est point au-dessus des ressources de la science, et la solution du problème des inondations aura fait un grand pas quand les intérêts agricoles y prendront une part plus large.

La composition chimique des limons donne lieu à des observations d'une autre nature. Les 17,723,321 tonnes de matières solides entraînées par an par la Durance à Mérindol, sont formées de 9,529,368 tonnes d'argile, de 7,033,744 tonnes de carbonate de chaux, de 14,166 tonnes d'azote, de 98,201 tonnes de carbone, et enfin de 1,047,871 tonnes d'eau combinée ou matières diverses, le tout réuni dans les conditions les plus favorables à la constitution des terres arables les plus fertiles.

Une seule rivière entraîne donc par an plus de 14,000 tonnes d'azote, à l'état de combinaison le plus convenable au développement de nos plantes cultivées, alors que l'agriculture achète au dehors, aux prix des plus grands sacrifices, d'autres matières azotées, et que l'importation du guano, qui fournit à peine cette quantité d'azote chaque année à l'agriculture française, lui coûte une trentaine de millions de francs.

La quantité de carbone contenu dans les limons exige quelques explications.

On admet ordinairement qu'il s'établit dans notre atmosphère un certain équilibre entre le volume d'acide carbonique décomposé par les parties vertes des plantes et l'acide carbonique produit par la respiration des animaux, la combustion lente des matières organiques en décomposition, et surtout la combustion lente du carbone engagé dans la constitution de la terre végétale. Le carbone passerait ainsi de l'acide carbonique gazeux de l'atmosphère à l'état de matières organiques, pour se transformer ensuite de nouveau en acide carbonique destiné à l'alimentation de nouvelles générations de plantes. De sorte que la masse totale de carbone en circulation, pour ainsi dire, entre la terre et l'air pourrait être la même pendant une période de siècles en quelque sorte illimitée.

L'entraînement à la mer de la terre végétale peut apporter de notables changements à cette succession de phénomènes. Il paraît probable, en effet, jusqu'à preuve contraire, que le carbone des limons entraînés dans la profondeur des mers se transforme en acide carbonique beaucoup plus lentement qu'il ne le ferait à la surface du sol. Chaque kilogramme de carbone entraîné avec les limons au fond de la mer se trouve donc soustrait, pour ainsi dire, à la circulation dont on parlait tout à l'heure. Cette action paraît, à la longue, pouvoir diminuer la proportion d'acide carbonique contenu dans l'atmosphère, si d'autres phénomènes ne compensent pas cet effet.

(1) Les céréales et les cultures diverses, proprement dites, occupent en France 13,900,262 + 344,939 = 17,342,501 hectares, ou 201,652 hectares par département moyen. Or,

$$\frac{3,692}{201,652} = 0,018.$$

Les anciens dépôts de houille, de lignite et de tourbe, qui ont immobilisé une portion considérable du carbone circulant autour du globe, ne sont donc pas les seuls représentants de l'acide carbonique qui a passé à travers notre atmosphère. Il faut y ajouter cette matière organique particulière que les fleuves entraînent sous nos yeux avec les limons qu'ils charrient.

Les limons charriés en un an par la Durance, devant Mérindol, contiennent, comme on l'a vu, 98,201 tonnes de carbone; en supposant qu'ils se perdent en totalité dans la profondeur des mers, et qu'ils n'y éprouvent qu'une combustion lente, nulle ou très-faible, ce poids de carbone se trouve enlevé à la terre végétale, et par suite à l'atmosphère. Or, il représente 360,070 tonnes d'acide carbonique, ou la quantité de ce gaz contenue dans environ 1,200,000,000 tonnes d'air normal, ou enfin dans un prisme d'air de 100 mètres de hauteur, et de 930,232 hectares de superficie. Cette masse d'air est très-notable quand on pense qu'il s'agit d'un seul cours d'eau charriant des limons pendant une seule année.

Comparée à la quantité de carbone fixée par les forêts, la composition des limons de la Durance conduit à un chiffre non moins remarquable. Un forêt en pleine végétation assimile environ 2,000 tonnes de carbone par hectare et par an. La Durance entraîne donc en une année autant de carbone que pourrait en fixer dans le même temps une forêt de 49,100 hectares, c'est-à-dire égale en étendue à 3 p. 100 environ de la surface totale du bassin de la Durance, qui est évalué à 1,340,000 hect.

L'action continue d'effets de cette nature et la formation de dépôts de combustibles fossiles suffisent pour expliquer l'appauvrissement en acide carbonique que notre atmosphère paraît avoir subi depuis les anciennes périodes géologiques.

Aujourd'hui les neuf dixièmes des limons de la Durance ne sont point utilisés et vont se perdre dans la mer. Un pareil chiffre dit assez bien combien il importe de multiplier les colmatages et de tenir compte des travaux de ce genre dans toutes les entreprises d'irrigation.

Des observations analogues à celles dont on vient d'indiquer les résultats ont été exécutés en même temps sur la Loire et ses principaux affluents, et ont conduit à des conclusions semblables aux précédentes. Je poursuis en ce moment une série d'expériences du même genre sur les eaux de la Seine et de la Marne. Ces rivières, peu rapides, transportent également des volumes de limon considérables.

IV. EXEMPLES DE GRANDES OPÉRATIONS D'IRRIGATION.

Après avoir décrit en détail les procédés d'irrigation, il ne sera pas inutile, pour montrer l'importance des travaux de cette espèce au point de vue de l'intérêt général et la part que l'État peut prendre à leur exécution, de citer quelques exemples d'irrigations exécutées, en cours d'exécution, ou seulement projetées.

Parmi les entreprises de cette espèce, nous ne pouvons nous empêcher de mentionner l'arrosage de toute la basse Égypte, au moyen du barrage situé à la pointe du Delta, près du Caire. Ce vaste projet, conçu par Méhémet-Ali, dressé et en partie exécuté par un ingénieur français, n'est pas moins digne de fixer l'attention que les travaux gigantesques du même genre attribués aux anciens Égyptiens.

Ce projet consiste (fig. 114) dans l'établissement de deux ponts éclusés à l'extrémité du Delta, sur les deux branches de Rosette et de Damiette. Le premier a 452m,3 de longueur et se compose de cinquante-neuf

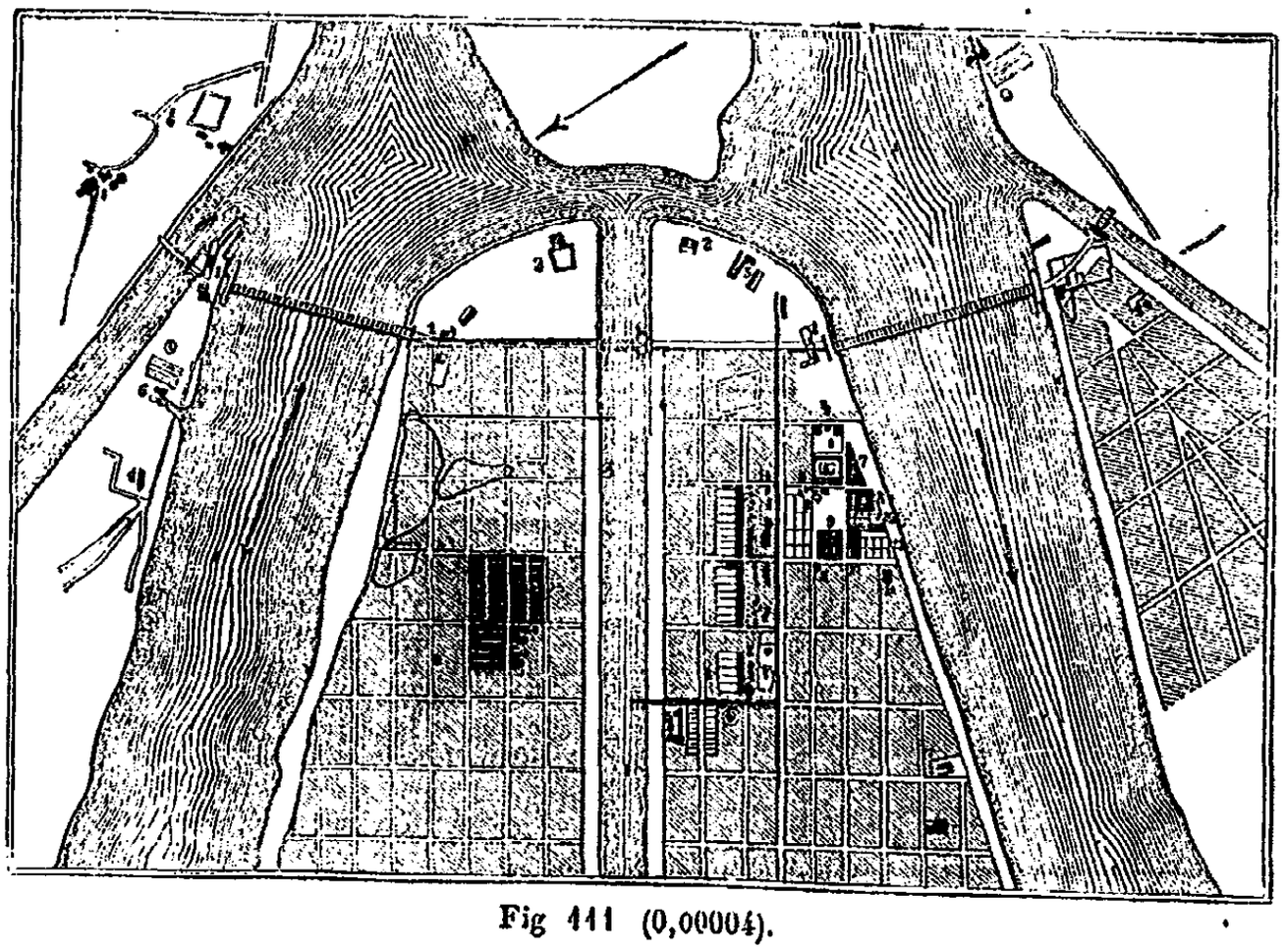


Fig 111 (0,00004).

arches; le second a 522m,20 de longueur et soixante-onze arches. Ces arches sont ogivales et ont chacune (fig. 112) 5 mètres d'ouverture. Elles seront formées au

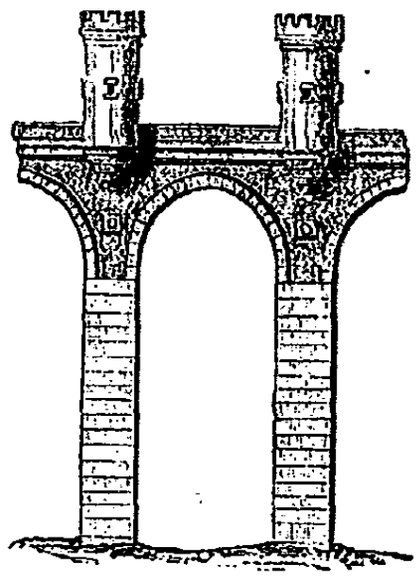


Fig. 112

moyen de poutrelles appliquées contre la tête d'amont. La sur-élévation des eaux produite par le barrage sera de 5 mètres, en général, et s'élèvera quelquefois à 6m,60. Au milieu de chaque pont éclusé, on a ménagé une arche marinière de 15 mètres, avec volée mobile et un bateau-porte pour fermeture. Des écluses de 47 mètres de longueur, près des rives, permettront aux bateaux de passer en tout temps d'un côté à l'autre du barrage. Des portiques monumentaux, ménagés sur les culées, serviront de magasins et de corps-de-garde.

La construction du barrage a nécessité l'établissement d'un immense chantier, dont le plan ci-dessus indique les dispositions générales. En 1, 1, 1 sont établis les manéges à mortier et à béton, avec machines à vapeur de la force de douze chevaux. Les ateliers provisoires de cette espèce étaient en 2, 2. Les fours à chaux, 3, et les moulins à pouzzolane, 4, conduits par une machine de vingt-cinq chevaux, fournissent les matières premières de la fabrication précédente. La briqueterie mecanique, 5, est mue par une machine de dix chevaux. Deux magasins généraux sont établis aux points 6, 6. L'arsenal, les forges et l'atelier de réparation sont réunis dans le bâtiment 8, voisin du logement, 9, des officiers du régiment campé dans la caserne 14. En 9 et 10 se trouvent un moulin à farine et les fours à pains. Le vice-roi et sa suite, pendant leur séjour sur les travaux, occupent le kiosque et ses dépendances, 11, 11. L'ingénieur-directeur est logé dans le bâtiment 12, le chef de la comptabilité et les employés dans les maisons 13 et 16. La grande construction 15 est un bazar, et enfin l'hôpital est au point 7.

Les lignes noires fortes et pleines représentent les chemins de fer de service, et les rectangles couverts de hachures l'emplacement d'une ville projetée.

Le barrage fera refluer les eaux jusqu'au Caire, permettra de compléter le réseau navigable de l'Egypte et d'arroser plus de 84,000 hectares de la basse Égypte, qui produiront trois récoltes par an, au lieu d'une seule qu'on obtient actuellement, et où l'on pourra cultiver alors la canne à sucre, l'indigo, le cotonnier, etc. L'arrosage de cette immense surface aura lieu au moyen de trois canaux débouchant en amont du barrage, et servant à la fois à l'irrigation et à la navigation. Le premier se dirige vers la rive droite du Nil, à travers la province du Charkie, le second, au centre même du Delta; et le troisième, vers Alexandrie, à travers la province du Bahéré. Les deux premiers auront 100 mètres de largeur et le dernier 60 mètres. Leur tirant d'eau variera de 1m,50 à 3 mètres.

Les travaux exécutés par le gouvernement belge, en Campine, par l'analogie de climat, de mœurs et d'administration qui existe entre ce pays et le nôtre, méritent également de fixer l'attention. C'est l'exemple le plus propre à encourager notre gouvernement à mettre à exécution les travaux analogues projetés dans différentes parties de la France, en Sologne, dans les Pyrénées, etc.

La Campine fait aujourd'hui partie des provinces d'Anvers et du Limbourg; comprise entre la Meuse et l'Escaut, dans l'un des points où ces deux fleuves

sont le plus rapprochés, elle est bornée au nord par la frontière hollandaise et au sud par la Dyle et le Demer. Cette vaste contrée, à peine peuplée il y a quelques années, renferme 150 à 200,000 hectares de terrains à peu près improductifs. Le gouvernement belge n'a pas craint d'entreprendre l'amélioration de ce pays tout entier. Les plus heureux résultats ont déjà couronné ses efforts, et l'on peut affirmer, dès à présent, qu'un succès complet ne tardera pas à couronner une entreprise que le parti rétrograde des Chambres s'était efforcé de repousser, en le signalant comme ruineux et du plus mauvais effet moral.

Un grand canal, devant servir à la fois à la navigation et à l'irrigation, porte les eaux de la Meuse sur une partie du pays. Ce canal, les rigoles principales d'alimentation et les chemins d'exploitation sont exécutés par l'État; ils constituent ce que l'on appelle les travaux préparatoires. Les billonnages, les rigoles secondaires et la mise en culture sont laissés aux particuliers, sous la direction et la surveillance des agents du gouvernement. On estime que les bienfaits de l'irrigation pourront s'étendre à 25,000 hectares, au plus bas mot. On verra, du reste, plus loin, quels sont les résultats de cette immense entreprise, au double point de vue de l'intérêt public et privé.

Les irrigations alimentées par les petits cours d'eau commencent à être assez répandues en France; on en rencontre de beaux exemples, dans les Ardennes, les Vosges, la Meurthe, la Moselle, les Pyrénées, la Loire, le Puy-de-Dôme, le Doubs, Saône-et-Loire, etc., etc. Cependant elles sont loin d'atteindre le développement que l'heureuse disposition de nos vallées permettrait de leur donner. Les irrigations au moyen de grands canaux d'arrosage sont, au contraire, assez rares; elles ne se rencontrent que dans certains départements du Midi, et les quelques grands canaux que nous possédons sont, pour la plupart, d'une construction fort ancienne. Il existe cependant de vastes projets, qu'il serait on ne peut plus désirable de voir exécuter, pour l'irrigation et l'aménagement des eaux de parties considérables de notre territoire, telles que la Dombe, la Brenne, la Sologne, la vallée du Guérivaudan, une partie des Landes, etc. Parmi ces projets, nous devons particulièrement citer celui relatif à la distribution et à l'aménagement des eaux de la région des Pyrénées. Ce projet, qu'il serait trop long de décrire ici avec détails, est un des plus importants étudiés jusqu'à présent, et l'un de ceux qu'il serait le plus désirable de voir mettre prochainement à exécution.

Résultats financiers des irrigations. Il nous reste enfin à signaler quelques faits qui permettront d'apprécier les résultats que l'on peut attendre des irrigations, soit au point de vue de la spéculation privée, dans les petites entreprises, soit au point de vue de l'intérêt général, lorsque les grandes opérations que l'État dirigera intéresseront à la fois le commerce, l'agriculture et l'industrie, toutes les branches, en un mot, de la richesse publique.

Pour abréger, nous choisissons au hasard parmi les faits innombrables que nous pourrions citer.

Dans les arrondissements de Semur et d'Avallon, les terres se louent, dans les terrains granitiques, de 12 à 30 fr., et dans ceux du lias de 30 à 70 fr. Les mêmes terres, arrosées, acquièrent une valeur de 45 à 100 fr. pour les premières, et de 75 à 180 fr. pour les secondes. Les frais d'établissement des travaux d'irrigation sont évalués, en moyenne, à 300 fr. par hectare.

Dans les environs d'Autun, des terrains, qui ne valaient que 900 fr. l'hectare, ont monté à 5,000 fr. en cinq années. En Bretagne, des landes que l'on vendait 300 fr. valent 3,000 fr.

M. d'Angeville, à Lauprès (Ain), a fait des irrigations dans des conditions tout à fait exceptionnelles, et des plus désavantageuses, puisque ses travaux ont coûté plus de 800 fr. par hectare. Néanmoins, l'argent employé est placé à plus de 10 p. 100. La dépense, en effet, a été de 33,480 fr., savoir :

Construction de réservoirs.	19,200 fr
Autres travaux.	14,280
	33,480 fr.

La surface irriguée est de 40 hectares; elle rapportait, avant les travaux.	1,440 fr.
Elle produit aujourd'hui.	5,280
Augmentation	3,840 fr.

Les grèves de la Moselle, qui sont sans valeur avant l'irrigation, arrivent, en peu d'années, à valoir 5,000 fr. l'hectare. Les dépenses d'irrigation s'élèvent à peu près à 1,200 fr. par hectare

Un canal, construit en Auvergne par M. Herbeys, pour dériver une partie des eaux de la Soveraisse, arrose environ 1,800 sétérées de terre (16ares,76). La sétérée de terre se vendait, avant l'établissement du canal, 40 fr. Elle vaut maintenant 800 fr. Ce canal, de 28 kil. de longueur, n'a pas coûté plus de 100,000 fr., et a permis de créer une valeur de 1,368,000 fr., différence entre la valeur passée et la valeur présente de la terre arrosée.

Dans différents travaux d'irrigation, exécutés en Touraine par M. Pareto, on a dépensé 165f,66 par hectare; l'augmentation moyenne du revenu net, par hectare, a été de 66f,25. Ce résultat a été régulièrement constaté. C'est un placement fait à près de 42 p. 100.

M. Puvis, dans l'Ain, a irrigué 92hect.,43 d'anciens prés. La dépense s'est élevée à 19,000 fr.; l'augmentation de produit a été de 207,000 kilogr. de foin de meilleure qualité que celui que l'on recueillait avant l'irrigation. Quelque bas que l'on fixe le prix du foin, l'opération de M. Puvis est toujours excellente. Le même agronome a créé 38hect.,59 de prés, avec une dépense de 20,150 fr. Il en obtient 217,500 kilogr. d'excellent foin. La terre où on a établi ces prairies était presque sans valeur.

En Sologne, les près non arrosés donnent de 1,600 à 2,000 kilogr. de foin par hectare; les prés arrosés en fournissent de 4,500 à 8,000 kilogr.

Terminons enfin par un exemple de travaux exécutés sur une grande échelle, et où l'irrigation se développe avec tous les caractères d'une vaste entreprise d'utilité publique : c'est dans la Campine belge, dont nous avons déjà parlé.

Les travaux préparatoires à l'irrigation, comprenant, comme on l'a déjà dit, les chemins d'exploitation et les rigoles principales d'irrigation et d'égouttement, sont aujourd'hui terminés sur une étendue de plus de 1,500 hectares, et déjà plus de 1,000 hectares sont en pleine culture. Les données fournies par une aussi vaste expérience peuvent être regardées comme parfaitement établies, et servir de base aux calculs les plus positifs.

La dépense d'établissement des travaux préparatoires à l'irrigation s'élève, en moyenne, à 130 francs environ par hectare. Il n'est pas encore possible de fixer d'une manière absolue le prix des travaux laissés aux soins des acquéreurs qui les ont exécutés de mille manières. Mais nous pouvons dire ici d'une manière générale que les travaux de la mise en culture, convenablement dirigés, s'élèvent *au plus* à 6 ou 700 fr. par hectare, et quelquefois à beaucoup moins, de sorte que le prix de revient d'un hectare de prairie, y compris l'achat du terrain, ne dépasse pas aujourd'hui 1,000 à 1,200 fr. Le revenu net de l'hectare de prairie irriguée, dans les plus mauvaises conditions, ne s'élève pas, à

partir de la seconde année, à moins de 180 à 150 fr. Les capitaux placés dans les opérations agricoles de la Campine rapportent par conséquent de 10 à 15 p. 100 par an. Les évaluations précédentes sont plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité.

La mise en culture des terrains préparés à l'irrigation et vendus aux enchères par le gouvernement, s'exécute par les soins de grands propriétaires, ou par les agents de compagnies formées à cet effet. Les avantages certains des opérations de cette nature considérées en elles-mêmes, et l'espoir de réaliser des bénéfices considérables en revendant en détail, après un certain temps, les terrains transformés en prairies, ont donné naissance à plusieurs compagnies d'irrigation établies à Maëstricht, à Anvers et à Bruxelles. Ce sont des exemples remarquables de l'application à l'agriculture de compagnies industrielles. Il serait vivement à désirer de voir les grands capitaux s'engager en France dans la même voie. Nous ne doutons pas du succès des entreprises de cette espèce, sagement et honnêtement dirigées.

Les faits particuliers que nous venons de citer établissent clairement les avantages pécuniaires, et, pour ainsi dire, individuels, des travaux agricoles dirigés par le gouvernement belge; mais ils ne donnent qu'une idée très incomplète de leurs résultats généraux, des immenses bienfaits qu'ils répandent dans la classe ouvrière et des ressources nouvelles qu'ils sont appelés à créer en Belgique. Quelques chiffres suffiront pour faire apprécier l'importance de cette grande entreprise.

L'œuvre du défrichement en Campine, dit M. Kümmer, dans son rapport annexé à la loi du 25 mars 1847, peut s'étendre sur une surface de 150,000 hectares Une étendue de 100,000 hectares est irrigable et peut être convenablement transformée en prairies. Mais pour se tenir dans les limites d'une extrême modération, et pour que les résultats soient de beaucoup au-dessus des avantages prévus, on ne doit compter que sur la conversion en prairies de 25,000 hectares. C'est ce dernier nombre qui a généralement été pris pour base des différents calculs faits sur ce sujet.

Les bruyères de la Campine se vendaient, en 1830 ou 1835, de 15 à 20 fr. l'hectare. Ce prix s'éleva, en 1840, dans la prévision de la prochaine exécution des travaux, à 40 fr. Aujourd'hui, le prix de l'hectare varie de 250 à 400 fr., déduction faite des sommes avancées par l'Etat pour les travaux préparatoires. Le prix des terrains incultes s'est donc accru de plus de 200 fr. par hectare, grâce aux travaux préparatoires, ce qui donne, pour les 25,000 hectares dont nous avons parlé, une augmentation de valeur vénale de plus de 5 millions. Cette augmentation dépasserait de beaucoup 20 millions, si les prix de ventes s'élevaient assez pour réduire à 5 p. 100 l'intérêt des fonds placés en bruyères irrigables, qui rapportent maintenant, comme nous l'avons déjà dit, au moins 10 p. 100 par an.

Cette augmentation de la valeur vénale des terrains ne donne, du reste, qu'une mesure tout à fait insuffisante des résultats des travaux d'irrigation. Pour arriver à une estimation exacte de leur importance, il faut évaluer les produits qu'ils permettront de créer annuellement. En supposant, ce qui est assurément fort au-dessous de la vérité, que chaque hectare de prairie ne nourrisse qu'une tête de gros bétail, la formation, en Campine, de 25,000 hectares de prairies suffirait pour augmenter la production de viande en Belgique d'une quantité supérieure au chiffre considérable de l'importation actuelle de cette denrée. Mais ce n'est pas tout encore : les fumiers des animaux nourris au moyen des nouvelles prairies exerceront, sur la culture des terres labourées environnantes, une influence dont chacun appréciera la valeur, sans qu'il soit nécessaire de rappeler les chiffres que les agronomes admettent à cet égard. De sorte que, non-seulement les 25,000 hectares de prairies que nous prenons pour base de nos calculs nourriraient 25,000 têtes de gros bétail, mais encore augmenteraient, dans une énorme proportion, le produit annuel en céréales des terres voisines. En ajoutant la valeur de ces deux productions naturelles on arrive à la véritable estimation de l'accroissement de la richesse publique produit par les travaux d'irrigation de la Campine. Cette dernière remarque est d'ailleurs tout à fait générale, et s'applique à tous les cas dont nous avons parlé, de sorte que l'accroissement *direct* de revenu que nous avons seul pu faire entrer en ligne de compte, doit être augmenté dans une forte proportion pour tenir compte de l'accroissement *indirect* dû à l'amélioration des cultures voisines.

CHAPITRE IV.

OPÉRATIONS MÉCANIQUES DE CULTURE. MACHINES AGRICOLES.

(Voir l'article *Instruments d'agriculture.*)

CHAPITRE V.

ALIMENTATION VÉGÉTALE, ENGRAIS ET AMENDEMENTS.

(Voir l'article *Engrais.*)

CHAPITRE VI.

CULTURES, ASSOLEMENTS.

On a fait connaître, dans les chapitres précédents, les faits généraux qui intéressent à la fois toutes les cultures. On étudiera, en particulier, dans celui-ci, les principales plantes agricoles de notre climat, et les soins spéciaux que chacune d'elles exige pour atteindre tout son développement.

Ce chapitre sera divisé en six sections, comprenant l'étude des céréales, des légumineuses cultivées pour leurs semences, des plantes fourragères, des plantes à racines alimentaires, des plantes industrielles, et enfin de la théorie des assolements. Cette division, très-incomplète au point de vue scientifique, suffira pour le but pratique que nous poursuivons.

Première section. — Céréales.

La classe des céréales comprend un certain nombre de plantes de la famille des graminées et le sarrasin, cultivées principalement pour leur grain, facile à transformer en farine par l'action de la meule. Les graines des céréales présentent, pour la nourriture de l'homme, un grand nombre de qualités précieuses qui les ont fait rechercher pour cet usage depuis la plus haute antiquité, et qui donnent à leur culture une importance supérieure à celle de toutes les autres plantes. On va passer en revue les espèces les plus importantes de cette grande classe de végétaux.

I. FROMENT.

On désigne sous ce nom les espèces du genre botanique de Linné, *triticum*, qui se dépouillent de leurs balles par le battage.

Le froment est de toutes les céréales la plus riche en principes nutritifs. Sa culture se répand tous les jours davantage dans les pays où l'agriculture est en progrès. Les faits principaux relatifs à la production annuelle moyenne du froment dans quelques États de l'Europe sont réunis dans le tableau suivant :

AGRICULTURE.

	Produit. hectol.	Étendue cultivée. hectares.	Multiplication de la semence.
Angleterre. . . .	27,000,000		9 p. 1
Écosse.	1,540,000	560,000	8 —
Irlande.	10,600,000		» —
Suède.	239,450	103,000	4,50 —
Pologne.	1,000,000	228,400	» —
Prusse.	7,400,000		6 —
Autriche.	29,430,000		» —
Hollande et Belgique.	3,426,000	286,000	» —
France.	70,000,000		6,07 —
Espagne.	17,860,000		» —
— provinces de Murcie, parties arrosées.			36 —

Variétés du froment. Il existe un très grand nombre de variétés de froment et on en annonce tous les jours de nouvelles. Les essais d'acclimatation du froment doivent être tentés avec beaucoup de réserve; car il est rare qu'une variété donnée conserve, dans une contrée nouvelle, les qualités qu'elle possédait dans le climat où elle s'était primitivement développée. La classification la plus pratique des diverses variétés de froment est celle adoptée par M. Vilmorin, que nous reproduisons ici :

4° *Grains tendres.*

(*a*) Tousselles, épis sans barbes ou à barbes très courtes et peu nombreuses; paille creuse. Les principales variétés sont les suivantes :

Blé d'hiver commun. Cette variété est la plus répandue dans le centre et le nord de la France. L'épi (fig. 144) est jaunâtre, pyramidal; le grain est rousseâtre et long.

Le blé dit anglais, ou froment rouge, se rapproche beaucoup de celui-ci; les épis, de forme quadrangulaire, sont plus forts et plus longs.

Blé de mars commun. C'est le trémois du nord et du centre de la France. Le grain est presque dur, l'épi est plus court que celui du précédent.

Blé blanc de Flandre, connu sous le nom de blé blanc-zée, blé blazé de Lille, blé de Fellenberg, etc. Cette variété est une des plus productives; elle convient surtout aux terres de bonne qualité et un peu fraîches.

Blé de Hongrie, appelé blé anglais, aux environs de Blois. L'épi est blanc, ramassé, presque carré. Son poids est supérieur à celui du précédent; sa paille est moins longue.

Tousselle blanche de Provence. Épi très blanc, à épillets écartés; grain blanc jaunâtre, très long. Il convient parfaitement dans le midi de la France; le climat du Nord et même de l'Ouest est trop rigoureux pour lui.

Fig. 144.

Blé richelle blanche de Naples. Épi blanc, quelques arêtes courtes. Cette variété est très belle, mais elle craint le froid.

Blé d'Odessa, tousselle rousse de Provence, blé meunier du Comtat. Cette variété redoute un peu le froid; mais elle résiste bien à la sécheresse, et vient même dans les terres à seigle. L'épi est rougeâtre ou cuivré, un peu irrégulier; épillets inégaux. Le grain est plus étroit que celui de la richelle.

Blé de Saumur. Gros grain bien plein, paille très blanche; redoute l'humidité.

Blé des haies. Epi carré, épais, régulier, couvert d'un duvet blanc velouté; grain court blanc jaunâtre; très précoce.

Blé Lama. Épi rouge clair ou doré; grain petit, de très bonne qualité. Cette variété s'accommode de tous les terrains, mais redoute les hivers rigoureux. On doit la recueillir un peu avant la maturité, parce qu'elle est sujette à s'égréner.

Blé du Caucase. Épi d'un rouge obscur, long, à épillets écartés, grain allongé, rougeâtre, assez dur et pesant. Sa paille est faible et sujette à verser. Il craint les hivers du nord de la France. Il y a une sous variété à épis blanchâtres.

Blé carré de Sicile. C'est un blé de mars, épi rouge brun, court, carré, à grains rayés, presque dur, de bonne qualité. Variété hâtive, paille assez haute, et grosse dans la partie supérieure.

(*b*) Seisettes. Épis barbus, paille creuse, plus ferme que celle des tousselles, et moins recherchée pour la nourriture des bestiaux. Plusieurs variétés tendent à disparaître de nos cultures; les principales sont les suivantes :

Blé barbu de printemps. Épi blanchâtre, à barbes très développées (fig. 145), grain gros, demi-tendre, de couleur grisâtre.

Seisette de Provence. Cette variété craint le froid du nord de la France; elle est assez répandue dans le midi.

On distingue encore le *blé barbu d'hiver*, presque entièrement abandonné; le *blé à chapeau de Toscane*, sous-variété appauvrie du blé barbu de printemps; le *blé Victoria* et le *blé hérisson*, garni de barbes divariquées, à grain court, petit, rougeâtre; espèce très productive, qu'il convient de semer au printemps.

(*c*) Poulards. Épis barbus, carrés, paille pleine vers le sommet, et peu estimée à cause de sa dureté. Cette espèce se développe dans les sols humides et riches en matières organiques, où toutes les autres verseraient ou se rouilleraient. Elle produit beaucoup dans les terres qui lui conviennent; mais le grain est toujours moins cher que celui des autres natures de blé. On distingue principalement les variétés suivantes :

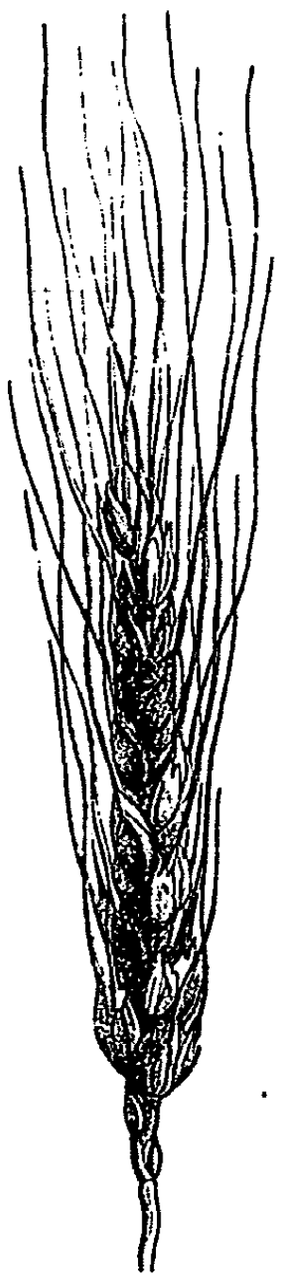


Fig. 145.

Le *poulard carré velu*, désigné aussi sous le nom de gros blé du Midi, gros turquet, etc. Ce blé est très répandu dans le Midi, dans l'Ouest, en Espagne, etc.; son épi est blanc ou rougeâtre. Il supporte bien l'hiver, mais mûrit un peu lentement (figure 146).

Poulard carré à barbes noires, ou *garagnon du Languedoc.* Epi blanc, lisse, barbes blanches ou noires. Les arêtes tombent à la maturité; paille forte.

Blé miracle. Épi rameux, très productif dans les terres riches. Sa farine est grossière; sa paille est très dure. Il est sujet à dégénérer.

2° *Grains durs*

(*d*) Aubaines. Épis à barbes longues et raides;

AGRICULTURE.

grain long et glacé. La paille, pleine vers le sommet, est très ferme, et verse difficilement; la farine est riche en gluten, et convient pour la fabrication des pâtes d'Italie. Les aubaines sont sensibles au froid, et murissent difficilement; leur culture ne s'étend pas avec avantage au-delà de la région des oliviers.

Aubaine de Tangarock. Epi allongé, lâche, à quatre faces égales. Les sous-variétés ont les barbes noires, rousses ou blanches.

Aubaine à épi comprimé. Les articles de l'épi sont très courts, l'épi, aplati, très large et lancéolé, est couvert de gros poils nombreux.

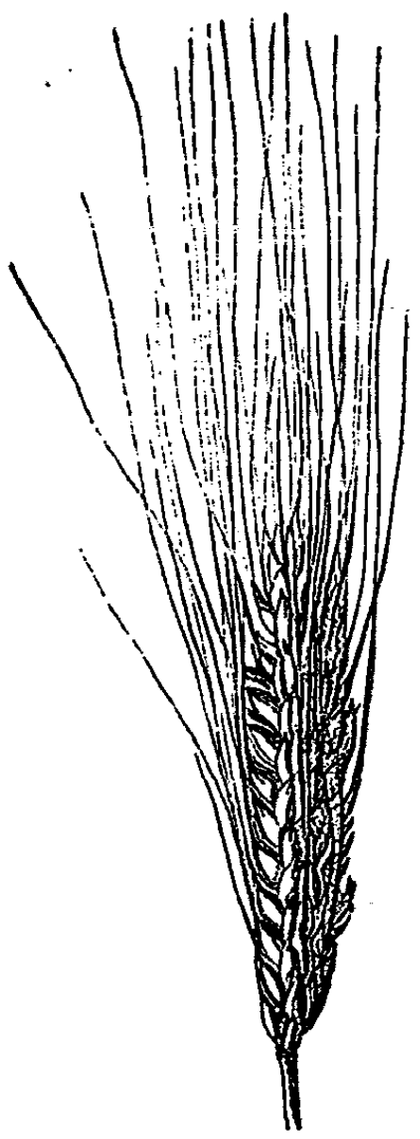


Fig. 146.

(*e*) BLÉ DE POLOGNE. Il a bien réussi dans le midi de la France; mais son grain, très allongé, très dur, et son aspect particulier l'ayant fait repousser des marchés, on a abandonné sa culture.

Culture du froment. La partie moyenne de la zone tempérée est le climat où le blé vient le mieux; cependant il s'étend au-delà de cette limite, et on le rencontre dans presque tous les points du globe où l'homme a pu s'établir sans de trop grandes difficultés.

Le froment redoute également un excès de sécheresse ou d'humidité. Toutes les terres qui renferment plus de 20 p. 100 d'eau, ou qui, quinze jours avant la moisson, n'en contiennent plus 10 p. 100 à 0m,33 de profondeur, sont incapables de fournir de bonnes récoltes de cette plante. On conçoit dès lors pourquoi, dans les pays très humides, les terres argileuses sont impropres à la culture du froment, tandis que ce sont celles que l'on recherche pour cet objet dans les pays chauds. Dans la plus grande partie de la France, ce sont les terrains de consistance moyenne qui conviennent le mieux au blé.

Pour déterminer la nature et la proportion des engrais ou des amendements que nécessite la culture du blé, il faut comparer la composition de cette récolte à celle du sol. Or, d'après M. Boussingault, les 200 parties de paille et les 100 parties de grain qui composent une récolte de froment supposée sèche, contiennent :

	Grain.	Paille.	Total.
Carbone.	46,10	96,96	143,06
Oxygène.	5,80	10,68	16,48
Hydrogène.	43,40	76,58	119,98
Azote.	2,29	0,70	2,99
Acide sulfurique. . .	0,02	0,14	0,16
Acide phosphorique.	1,14	0,44	1,58
Chlore.	traces	0,08	0,08
Chaux.	0,07	1,18	1,25
Magnésie.	1,39	0,68	1,07
Potasse.	0,72	1,28	2,00
Soude.	traces	0,04	0,04
Silice.	0,03	9,42	9,45
Fer et alumine. . . .	»	0,14	0,14
Perte.	»	»	1,72
			300,00

On voit que les principes minéraux les plus abondants sont les silicates et les phosphates alcalins et terreux. Le fumier de ferme renferme tous les éléments nécessaires, mais quelques-uns en trop faible quantité, notamment les phosphates, qui sont exportés du domaine avec les grains et le laitage, où se concentrent particulièrement les sels de cette espèce. On conçoit, par conséquent, la nécessité d'ajouter aux engrais des os, du guano ou autres matières riches en phosphates, si le sol n'en contient pas naturellement une forte proportion. Les céréales entraînent aussi une notable quantité de chaux, qu'il faut restituer aux sols, qui n'en renferment pas assez.

La nature de l'engrais exerce sur la composition du grain une influence très marquée : plus il est riche en azote, et plus le grain contient de gluten. Ainsi, tandis que du grain venu sur une terre non fumée renfermait 9,2 de gluten et 66,7 d'amidon, celui obtenu sur un sol fumé avec de l'urine d'homme contenait 35,1 de gluten et 39,3 d'amidon.

La quantité d'engrais à employer varie avec la richesse acquise du sol, et la nature même de l'engrais. L'analyse exacte du terrain, de la récolte à obtenir et du fumier dont on dispose peut seule conduire à une conclusion logique à cet égard. La question est trop complexe pour qu'il soit possible d'arriver, sans le secours de l'analyse, à une appréciation positive. On peut admettre, comme résultat moyen, que le froment s'assimile de 0,20 à 0,35 de la quantité d'azote existant dans le sol et dans les fumiers qu'on y ajoute. On peut, d'après cette donnée, calculer approximativement la quantité d'un engrais donné qu'il faut ajouter à un terrain d'une fertilité connue, pour obtenir une récolte déterminée de grain et de paille de froment.

La préparation mécanique à donner à la terre qui doit recevoir du blé dépend, en grande partie, de la récolte à laquelle il succède. Dans tous les cas, il faut que le sol ait été ameubli à une profondeur de 0m,20 au moins; mais il convient de laisser à la terre le temps de se raffermir avant les semailles, qui ne doivent être précédées que d'un labour très superficiel. On ne doit pas trop pulvériser la surface du sol, surtout pour les blés d'hiver. Il est bon qu'il reste un assez grand nombre de petites mottes de 0m,05 à 0m,07 de diamètre, qui, en se délitant au printemps, recouvrent les tiges des jeunes plantes.

Les terrains qui doivent être ensemencés en blé, *au printemps*, reçoivent, à la fin de l'été, après l'enlèvement des récoltes, un labour et un hersage; puis un labour profond avant l'hiver, et enfin, au moment de l'ensemencement, un labour superficiel suivi d'un roulage et d'un hersage.

Lorsque le sol a été bien ameubli par une récolte de féverolles, de maïs ou de pommes de terre, biné et fumé, il suffit de le herser fortement pour l'égaliser, de le labourer, puis de herser de nouveau; on fait ensuite passer le rouleau, on sème le blé et on l'enfouit à la herse.

Après l'enlèvement des fourrages verts annuels, quand on doit semer du blé, on donne un labour profond. On nettoie la terre de temps à autre avec le scarificateur. Enfin, au moment des semailles, on donne au sol une dernière façon avec le même instrument; on herse et on roule.

La préparation, pour recevoir du blé, d'un sol cultivé en luzerne, et même en sainfoin ou en trèfle, quand

ces dernières plantes ont duré un peu longtemps, est plus compliquée que dans les cas précédents. Aussitôt après la première coupe on donne un labour superficiel. Quand les gazons sont desséchés, on herse en travers pour enlever les racines des plantes nuisibles. Pendant l'été, il faut donner deux nouveaux labours profonds suivis de hersages. Enfin, au moment des semailles, on donne un dernier labour au scarificateur.

Les grains employés comme semences doivent être choisis avec soin Leur volume ne paraît pas très important; mais il faut qu'ils soient parfaitement bien conformés, qu'ils aient été récoltés très mûrs, qu'ils soient autant que possible de l'année précédente, et enfin parfaitement triés et débarrassés de grains et autres matières étrangères, par un passage réitéré au van, au crible, ou mieux au trieur Vachon. Le renouvellement des grains, au moyen d'espèces amenées de pays plus ou moins éloignés, ne paraît utile qu'autant que la variété de blé que l'on veut conserver dégénère dans le pays où l'on se trouve.

Le chaulage de la semence est une opération qui a pour but de préserver plus tard les plantes de la carie. Il convient toujours de prendre cette précaution, qui est fort peu coûteuse, et qui ne peut en aucun cas produire de mauvais résultats. Beaucoup de substances peuvent servir à atteindre le but proposé, soit seules, soit mélangées. Le sulfate de cuivre seul ou mélangé de sel marin est un des plus puissants préservatifs de la carie; mais ce sel, comme le vert-de-gris, comme l'arsenic, etc., est très vénéneux, et puisqu'il est possible de le remplacer très convenablement par un mélange de sulfate de soude et de chaux vive, nous ne conseillerons que cette dernière recette, dont nous allons indiquer le mode d'application.

Il convient d'abord de laver le grain à l'eau pure à deux ou trois reprises et de le bien égoutter. On procède ensuite au chaulage, ou plutôt au sulfatage. A cet effet on dissout, pour chaque hectolitre de grain, 640 gr. de sulfate de soude dans 9 kil. d'eau, et on éteint par immersion, pour les réduire en poudre, 2 kil. de chaux vive en fragments. On met le grain dans un grand baquet, et pendant qu'un ouvrier le remue en tous sens, une autre personne l'arrose avec la dissolution de sulfate de soude. Quand on voit l'eau paraître un peu en excès, on saupoudre la chaux sur la masse en remuant toujours, jusqu'à ce que tous les grains soient bien recouverts de chaux. On retire le grain du baquet et on le dépose dans un coin jusqu'au moment de l'emploi Il se dessèche généralement assez vite; cependant il convient de le remuer de temps en temps pour l'empêcher de s'échauffer.

L'ensemencement du froment consomme en France annuellement 14,444,780 hectolit., soit, en moyenne, 2hectol.,05 par hectare, Mais tandis que dans la Manche on emploie jusqu'à 2hectol.,65 de semence par hectare, on n'en consomme que 1hectol.,32 dans la Charente. On voit, par ces deux chiffres, combien le mode de culture, la nature du sol, le climat, etc., peuvent influer sur la consommation de semence, et, par suite, l'attention que mérite cette partie de la culture. Les blés de printemps doivent, en général, être plus serrés que ceux d'hiver, qui tallent davantage.

On répand les semences, soit à l'aide de semoirs, soit à la volée.

Les semoirs présentent plusieurs avantages : ils économisent près du tiers de la semence, la répartissent d'une manière plus uniforme, et placent tous les grains à la même profondeur et à la même distance les uns des autres. La régularité des lignes permet l'emploi de binages presque toujours favorables, et favorise ainsi beaucoup le développement des pieds. Mais en revanche les semoirs sont d'un prix assez élevé, et n'opèrent d'une manière satisfaisante que dans les terrains très soigneusement préparés; ils ne conviennent donc que dans les pays riches et où l'agriculture est fort avancée. Ils rendent en Angleterre de grands services; mais on doit reconnaître que de nombreux progrès sont encore nécessaires pour que leur usage devienne général dans notre pays.

Le semis à la volée est le procédé le plus généralement employé en France. Il exige des ouvriers adroits et attentifs, pour que la semence soit distribuée en quantité convenable, et d'une manière bien égale. On sème avec les deux mains à la fois, ou bien avec une seule main. Le semeur, suivant qu'il suit l'une ou l'autre de ces méthodes, porte la semence dans une corbeille suspendue à son cou par une courroie, ou bien dans une sorte de tablier formant sac. La largeur que le semeur peut embrasser dans chaque jet est de 9 mètres quand il sème d'une main, et de 6 mètres seulement quand il emploie les deux mains. Un bon ouvrier peut ensemencer par jour 4 à 5 hectares de terrain.

Les moyens employés pour enterrer la semence répandue sur le sol dépendent de l'épaisseur de terre dont on veut la recouvrir. Dans le Midi et dans les terres sèches, on enfouit le grain à 0m,07 ou 0m,08 de profondeur, en faisant passer une dernière fois la charrue sur le terrain ensemencé. On arrive plus rapidement avec un scarificateur. Quelquefois le semeur suit la charrue, et dépose, dans le sillon qui vient d'être ouvert, le grain, qui se trouve recouvert par le sillon suivant. Ce procédé est fort long, ce qui est un inconvénient sérieux, en raison du peu de beaux jours sur lesquels on peut généralement compter à l'époque des semailles. Dans les terrains humides, on enfouit le grain à 0m,02 seulement de profondeur; à cet effet, on sème après le dernier labour et l'on donne enfin un coup de herse. Le grain, dans ce procédé, s'accumule au fond des raies et se trouve très inégalement réparti et recouvert. Il vaut mieux, en général, herser après le dernier labour, pour égaliser le sol, semer et herser de nouveau, pour recouvrir la semence.

Les blés d'hiver se sèment vers le commencement d'octobre dans le centre et le nord de la France, et seulement en novembre dans le midi. L'époque des semailles de printemps varie de la fin de février au milieu de mars, et se prolonge même jusqu'en avril dans les terrains très humides. La nature de la terre et le plus ou moins grande sécheresse de la saison déterminent d'ailleurs, dans chaque cas particulier, le moment le plus favorable à adopter.

Le blé, pendant sa période de végétation, exige plusieurs opérations qui dépendent, en grande partie des variations météorologiques. En général, on donne un hersage aux blés d'hiver, vers le mois de mars, pour ameublir le sol durci pendant l'hiver. Le hersage, pour les blés semés en ligne, est avantageusement remplacé par un ou deux binages. Dans les sols légers tourmentés par les gelées et les dégels, un roulage énergique produit, en mars ou en avril, un très bon résultat. Le sarclage à la main en avril, quand le blé a déjà 0m,20 à 0m,25, est une des opérations les plus utiles, et ne doit jamais être négligé dans les exploitations bien tenues.

Il arrive quelquefois, après les hivers doux, que le blé pousse avec une vigueur qui l'exposerait à verser après la floraison. Il convient, dans ce cas, de le faire pâturer par quelques moutons ou faucher, de manière à couper environ le tiers supérieur des feuilles.

La production moyenne du froment est de 9 à 10 hectolitres par hectare en France; mais cette production atteint dans des circonstances extrêmement favorables jusqu'à 40 hectolitres, et même 46 hecto-

litres dans les terres arrosées du département de Vaucluse. Dans les bons terrains convenablement traités, elle varie de 20 à 30 hectolitres. Le poids de l'hectolitre de froment varie de 75 à 85 kil. On adopte habituellement 77 ou 80 kil. pour le poids moyen. Un hectolitre contient 1 million environ de gros grains, et jusqu'à 1 million 700,000 grains de petit blé. D'après un grand nombre d'expériences, 100 parties de récolte de froment se décomposent de la manière suivante :

Grain.	22,8
Balle.	4,0
Paille.	57,7
Chaume.	15,5
	100,0

Du reste, le rapport du poids de la paille à celui du grain est extrêmement variable. Ainsi, à Béchelbronn, le poids de la paille étant 100, celui du grain a été 24, en 1840 et 1841 ; en 1842, il s'est élevé à 90. Voici, d'après différents auteurs, le poids du grain, répondant en moyenne à 100 de paille :

Boussingault.	38
Thaër.	50
Padewils.	35
Barger.	41
Block.	33
Schwertz.	44

Quant aux dépenses de production du froment, il serait difficile d'en faire un compte moyen exact; mais on peut sans peine, dans chaque localité, évaluer séparément les divers travaux et les matières premières nécessaires à cette production, et en estimer ainsi le montant total.

II. ÉPEAUTRES.

On désigne sous ce nom les espèces de blé dont le grain reste adhérent à la balle après la maturité, et dont l'axe se désarticule à chaque article. On distingue le *grand* et le *petit* épeautre. Le premier a un épi long, grêle, à barbes peu développées ; les épillets sont écartés, et laissent l'axe à nu dans leurs intervalles. Il est peu cultivé en France. Le petit épeautre présente un épi barbu très aplati, composé de deux rangs d'épillets très écartés et à un seul grain. On cultive cette variété dans le Berri et le Gâtinais, comme semence d'automne; elle est très peu productive; mais elle peut se développer dans les terres les plus pauvres, ce qui lui donne un certain intérêt.

III. SEIGLE.

La culture du seigle n'est point aussi ancienne que celle du froment. On n'en trouve pas dans les tombeaux d'Egypte, et il n'en est pas question dans les auteurs d'une haute antiquité. On le cultivait en grand dans l'Auvergne et le Forez dès le quinzième siècle.

Le seigle d'*hiver* (fig. 147) est la variété la plus généralement cultivée. Le seigle de *printemps* a le grain plus petit, et produit beaucoup moins. Le seigle d'hiver se sème à l'automne ou

Fig 147.

AGRICULTURE.

à la fin de juin. Dans ce dernier cas, on peut obtenir une récolte de fourrage vert à l'automne et une récolte de grain l'année suivante. Le seigle est moins sensible au froid que le froment; il mûrit plus vite, et prospère dans des sols légers et secs où le blé ne viendrait pas bien. Enfin, on peut obtenir du seigle plusieurs années de suite du même terrain sans l'épuiser. Les préparations à donner au sol pour le seigle sont à peu près les mêmes que pour le froment. Le seigle se sème toujours à la volée. Il doit être enfoui à une profondeur moitié moins considérable que celle qui convient pour le froment. On emploie 2hect.,82 de semence par hectare dans le Doubs, et 1hect.,15 seulement dans la Gironde. L'ensemencement du seigle consomme annuellement, en France, 5,139,422 hectolitres de cette espèce de grain.

L'hectolitre de seigle pèse, en moyenne, 72 kilog On obtient, en général, une partie de grain pour deux parties de paille. Dans de bonnes conditions, l'hectare fournit 18 à 25 hectolitres de seigle.

On admet qu'il faut dépenser environ 200 kilog. de fumier pour 100 kilog. de grain et de paille produits.

IV. ORGE.

La culture de l'orge remonte à la plus haute antiquité. On en trouve dans les tombeaux égyptiens, et les plus anciens auteurs chinois en font mention. La croissance rapide et la vigueur de cette céréale permettent de la cultiver dans les climats les plus opposés, au nord et au midi ; on la rencontre, en Suisse, à près de 2,000 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la mer. L'orge ne produit que du pain de mauvaise qualité ; mais elle fournit dans le Nord le principal élément de la bière, et constitue, sous différentes formes, une excellente nourriture pour les bestiaux. Les espèces et variétés d'orge cultivées sont extrêmement nombreuses. Nous mentionnerons seulement les plus répandues.

Orge commune. Les grains sont distribués sur six rangs irréguliers, et restent couverts de leurs balles; l'épi est long et aigu. Cette variété talle beaucoup, mais elle exige une forte fumure, et ne peut être semée qu'au printemps (fig. 148).

L'*orge escourgeon* est la variété la plus répandue en France, comme orge d'hiver ; l'épi est court, régulier, et s'égrène facilement.

L'*orge à deux rangs* mûrit très vite. On le sème au printemps; l'épi est long, comprimé, à arêtes parallèles ; elle demande des terres fertiles, mais fournit du grain de bonne qualité (fig. 149).

On cite encore l'*orge éventail* (fig. 150), l'*orge céleste*, l'*orge trifurquée*, etc. Les trois figures qui représentent les variétés d'orge que l'on vient de citer sont à peu près à l'échelle d'un tiers, et dessinées d'après des échantillons ayant le même degré de développement, ce qui permet de les comparer les unes aux autres.

L'orge peut végéter à peu près dans tous les terrains, pourvu qu'ils ne soient pas trop humides; cependant les terres de consistance moyenne lui conviennent particulièrement. Elle demande un sol parfaitement ameubli et très soigneusement préparé. Les semailles se font généralement à la volée ; mais on pourrait parfaite-

Fig. 148

AGRICULTURE.

Fig. 149.

Fig. 150.

ment employer le semoir; on les fait en août ou septembre, pour les orges d'hiver, et en février, mars ou avril, pour les orges de printemps, suivant le degré d'humidité de la terre et la température de la saison. On emploie, par hectare, dans les Hautes-Alpes, 3hect.,30 de semence, et 1hect.,26 seulement dans le département de Vaucluse. Cette dernière quantité paraît beaucoup trop faible. L'orge doit être un peu plus enfouie que le blé.

La proportion de la paille au grain varie beaucoup. Cependant, en moyenne, on récolte 2 parties de l'une pour 1 partie de l'autre. L'hectare, en orge d'hiver, produit moyennement 35 à 40 hectolitres de grain, et 24 à 30 hectolitres en orge de printemps. L'hectolitre ne pèse que 64 kilog. environ.

Le grain d'orge séché à l'air contient encore 10 à 17 p. 100 d'eau, et 14 p. 100 en moyenne. Voici sa composition d'après Fresénius :

	Séché à l'air	Desséché.
Gluten	12,88	14,96
Albumine	0,30	0,35
Fécule	48,06	55,80
Gomme	3,87	4,50
Sucre	3,75	4,36
Matières grasses	0,34	0,40
Ligneux	13,34	15,50
Cendres	3,56	4,13
Eau	13,90	»
	100,00	100,00

Les cendres contiennent, en moyenne :

	Grain.	Paille.
Potasse	15,64	22,17
Soude	5,03	0,84
Chaux	3,06	7,59
Magnésie	8,04	3,55
Oxyde de fer et perte	1,94	4,35
Acide phosphorique	35,68	3,22
Acide sulfurique	1,22	2,61
Silice	28,97	46,30
Chlorure de sodium	0,45	9,37
	100,00	100,00

L'orge enlève donc au sol une forte proportion de potasse, de chaux et d'acide phosphorique. On estime que cette récolte consomme 220 kilog. de fumier par 100 kilog. de paille et de grain, soit 10 à 12,000 kilog. de fumier par hectare pour une récolte ordinaire. Les engrais riches en phosphates et en sels alcalins conviennent parfaitement à cette plante. On se trouve très bien d'un mélange formé, par hectare, de :

Guano du Pérou	123 kil.
Nitrate soude	63 —
Sulfate de magnésie	63 —
Chlorure de sodium	250 —

On répand le guano en même temps que la semence et les sels quand la plante est sortie de terre.

Le *méteil* est un mélange en proportions différentes de seigle et de froment, et quelquefois d'orge et de froment. Il faut choisir un blé hâtif pour qu'il soit à peu près mûr au moment où il convient de couper le seigle ou l'orge. A l'automne, on sème les mélanges de seigle et de froment, et au printemps ceux d'orge et de froment. La culture du méteil offre certains avantages; mais ce produit se vend désavantageusement sur les marchés; il convient dès lors de le consommer sur place.

V. AVOINE.

Dans le nord et le centre de l'Europe, l'avoine sert principalement à la nourriture des animaux domestiques ; elle n'est employée à l'état de gruau, pour la nourriture de l'homme, que dans un petit nombre de localités. Il existe un très grand nombre d'espèces et de variétés d'avoine. On ne cultive en grand, pour leurs graines, que les suivantes.

Fig. 151.

Avoine commune. Les fleurs de cette variété (fig. 151) sont disposées en panicules lâches. Les épillets sont ordinairement à deux fleurs; les grains sont lisses, allongés, et de couleur variable. On distingue dans cette espèce : l'avoine d'*hiver* et celle de *printemps*. La première résiste mieux au froid que la seconde, et se sème avantageusement au printemps. L'avoine de Sibérie est très précoce; mais elle a l'écorce très dure. Enfin, l'avoine *patate*, à grain court, rond, et à écorce très tendre, exige un bon terrain.

L'*avoine de Hongrie* a le panicule serré, les grains portés sur des pédicules très courts et inclinés du même côté. Il y a une variété à grains blancs et l'autre à grains noirs. Cette dernière est la plus productive. On les sème l'une et l'autre au printemps, dans des terres substantielles.

L'*avoine courte* et l'*avoine nue* sont beaucoup moins répandues que les précédentes. La première convient particulièrement aux montagnes élevées, et la seconde fournit des gruaux de bonne qualité.

Toutes les espèces de terres conviennent pour ainsi dire à l'avoine, depuis les argiles compactes jusqu'aux sables les plus arides. Elle peut succéder à toutes les

AGRICULTURE.

récoltes; mais il convient de la placer après les racines, parce qu'elle réussit bien sur les terres profondément remuées et mélangées avec une partie du sous-sol.

Les préparations du sol sont à peu près les mêmes pour l'avoine que pour le froment. On sème en septembre, dans le Midi, pour les avoines d'hiver. Les avoines de printemps se sèment au commencement de mars. On emploie 5 hectolitres de semence par hectare dans les terres très légères, et 3 hectolitres seulement dans les terres très fertiles. On sème à la volée, et on enterre le grain assez profondément.

Les cendres d'avoine contiennent en moyenne :

	Grain.	Paille.
Potasse.	16,76	19,14
Soude.	2,49	9,69
Magnésie.	7,70	3,78
Chaux.	3,92	8,07
Acide phosphorique. . . .	18,19	2,56
Acide sulfurique.	1,29	3,26
Silice.	47,08	48,42
Peroxyde de fer et perte. .	0,64	1,83
Chlorure de sodium. . . .	0,20	»
Chlorure de potassium. . .	0,14	»

Le grain fournit environ 3 p. 100 de cendres, et la paille 5 p. 100. On voit qu'il faut fournir à l'avoine des sels alcalins et calcaires. Le plâtre paraît même lui convenir dans certains cas.

Le poids de l'hectolitre d'avoine est de 42 à 46 kilog. On obtient, dans de très bonnes conditions, 48 à 50 hectolitres par hectare; 20 hectolitres sont un faible produit. La moyenne, en France, est de 40 hectolitres. Moins de 2 parties de paille répondent à 1 partie de grain. D'après Crud, l'avoine consomme 188 kilog. de fumier par 100 kilog. de grain et de paille, ce qui porte la fumure nécessaire, par hectare, pour une récolte ordinaire, à 8 ou 9,000 kilog.

VI. RIZ.

La culture du riz est une des plus avantageuses comme produit net; elle n'épuise pas le sol, n'exige quelquefois aucune fumure, et prépare parfaitement la terre pour les autres céréales. Aussi, dans tous les pays où cette culture est possible, les grands propriétaires, habitant loin des rizières, et ne se préoccupant que de leur produit, ne cessent-ils d'exagérer leurs avantages généraux, et d'atténuer, ou même de nier complétement leurs inconvénients et leur insalubrité, pour lutter contre les lois et ordonnances que tous les gouvernements n'ont cessé de rendre dans le but de limiter l'extension de cette industrie, et de diminuer autant que possible les dangers qu'elle présente. Telle est l'origine de certaines publications dans lesquelles on a prétendu démontrer l'innocuité des rizières, dont aucune personne de bonne foi ne peut s'empêcher de reconnaître les dangers. Les environs des rizières sont extrêmement insalubres; cette funeste influence s'étend à de grandes distances; les arbres eux-mêmes en sont affectés et arrêtés dans leur développement. Depuis quelques années cette culture tend à se répandre dans le midi de la France, et notamment en Camargue. Il peut être nécessaire de l'autoriser pour dessaler certains marais, ou comme prime, en quelque sorte, de la mise en valeur de terrains abandonnés. Mais cette autorisation ne doit être que temporaire, et toujours assez restreinte pour que le mal ne devienne pas irrémédiable.

On cultive en Europe deux variétés de riz : le riz *commun* (fig. 152), dont le grain décortiqué est parfaitement blanc, et le riz *sans barbe*, plus hâtif et plus fécond que le premier, mais dont le grain grisâtre est moins recherché du commerce. La première variété exige

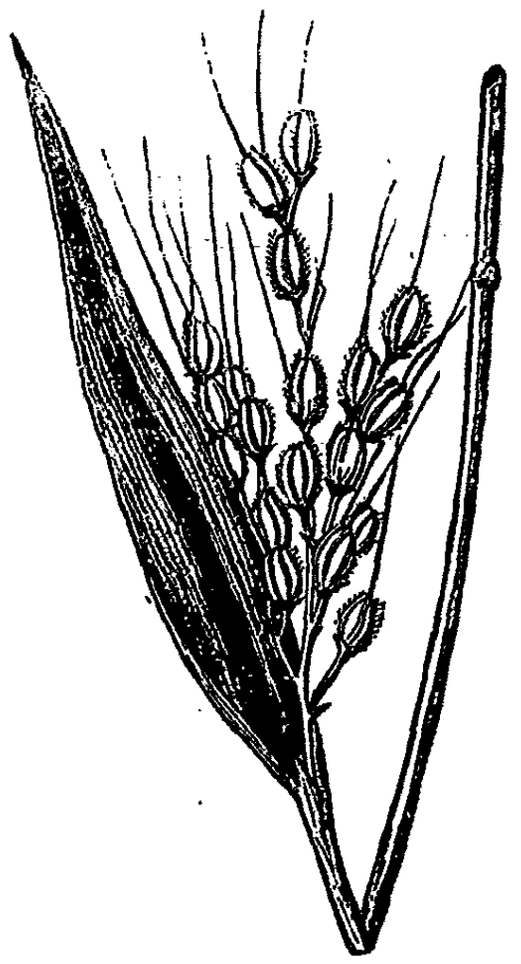


Fig. 152.

pour arriver à maturité 3,600 à 3,700° de chaleur solaire, et dans le climat d'Italie 2,700° environ de chaleur moyenne à l'ombre. La seconde variété n'exige, dans les mêmes circonstances, que 2,000° de chaleur moyenne. Le riz ne peut donc prospérer que dans les pays chauds; il ne réussit en France, à moins de circonstances particulières, que dans les départements les plus méridionaux. Tous les terrains conviennent à la culture du riz, pourvu qu'on y amène en quantité suffisante des eaux de bonne qualité; car il ne peut se développer que dans l'eau, ou sur les sols extrêmement humides.

Quand le terrain est naturellement sec, on peut établir la rizière temporairement, et la faire alterner avec d'autres cultures. Dans les terrains marécageux, on fait des rizières permanentes. Dans tous les cas, il faut disposer le terrain comme nous l'avons indiqué ci-dessus pour les irrigations par submersion, et donner aux petites digues de séparation des différents compartiments une hauteur telle que l'on puisse retenir jusqu'à $0^m,16$ de hauteur d'eau sur la terre. Le terrain est d'ailleurs soigneusement labouré, soit à la charrue, s'il est assez solide pour porter les animaux, soit à la bêche, dans le cas contraire.

On sème les rizières en avril si le sol est bien échauffé, et en mai seulement dans les anciennes rizières où le terrain a été refroidi par une inondation prolongée. Le semeur entre dans le champ couvert d'eau, et répand la graine à la volée; il est précédé d'un cheval qui traîne une planche destinée à unir le sol et à mettre en suspension dans l'eau une certaine quantité de vase et de terre qui recouvre la graine en se déposant de nouveau. On emploie 2 hect. à $2^{hect.},8$ par hectare. Il convient, avant de semer, de faire tremper les sacs de riz dans l'eau pendant huit ou dix heures.

Deux ou trois jours après les semailles, on retire presque complétement l'eau de la rizière pour échauffer le sol et favoriser le premier développement des jeunes plantes. Quand les premières feuilles paraissent, on introduit l'eau de nouveau, et on en augmente peu à peu la quantité jusqu'à ce qu'elle atteigne la profondeur de

0m,10 à 0m,15. Si les insectes attaquaient la rizière, on la mettrait à sec pour les détruire. Pendant les grands vents on abaisse le niveau pour que les vagues ne déracinent pas les jeunes plants de riz. Quand on ne peut pas disposer d'un courant d'eau continu, on maintient l'eau le mieux possible dans la rizière, et on en met de nouvelle seulement tous les sept ou huit jours. Les rizières peuvent parfaitement prospérer avec des irrigations périodiques, pourvu que le terrain ne reste que quelques jours à sec, entre chaque arrosage. Les mauvaises herbes sont un des plus grands dangers des rizières; il faut faire au moins deux sarclages par saison. Cette opération est pénible et très mal saine.

Le riz n'a besoin que de très peu de fumier. En Italie, on fume tous les trois ans avec 7,600 kilog. de fumier par hectare. La force de cette fumure dépend, du reste, en grande partie, de la qualité du sol, et surtout de celle de l'eau; car la fumure précédente fournirait à peine les 2/3 de la quantité d'azote enlevée par les récoltes. Le rendement moyen des rizières est de 40 hectolitres de *risón*, pesant chacun 75 kilog., c'est-à-dire de grain garni de sa balle. Par la décortication, le volume se réduit de 39 p. 100 environ, et le poids de moitié. La paille est au grain, au moment de la récolte, dans le rapport de 13 à 10 environ.

L'assolement des rizières alternes varie beaucoup. On sème en riz trois années de suite, puis on dessèche le terrain, on le fume, et on cultive du maïs, de l'orge et du seigle; ou bien on sème du froment, puis du trèfle, et l'on revient au riz.

Il est difficile d'établir complétement le compte du produit d'une rizière. Les dépenses varient avec les terrassements nécessaires, la valeur de l'eau, etc. Voici les nombres admis par Ferrario, pour les environs de Milan :

	RIZIÈRES : Alterne.		Pérenne.	
	fr.	c.	fr.	c.
Labour, trois journées d'hommes et d'un couple de bœufs. . . .	15	90	»	»
Travailler le terrain et briser les mottes.	»	»	22	50
Construction des digues, deux journées un tiers.	3	50	»	»
Entretien et réparation des digues.	6	85	4	50
Semer.	0	50	»	»
Semer, sarcler, moissonner, battre, etc.	»	»	67	40
Sarcler, journées de femmes à 1 fr. 35 c.	10	25	»	»
Sarcler les nénuphars et autres plantes aquatiques.	»	»	2	25
Moissonner.	23	95	»	»
Dépiquage, criblage, etc.	26	90	»	»
Eaux.	76	50	41	50
Semence, à 9 fr. 35 c. l'hectolitre.	26	45	26	45
Fumier.	75	00	52	00
Risques et périls, 1/9 du produit brut.	48	00	32	50
Totaux.	343	50	248	80

En comparant ces dépenses au produit que cette culture peut fournir, on reconnaît que le produit net est assez élevé relativement à la nature médiocre des terrains qui conviennent au riz.

VII. SARRASIN.

Le sarrasin n'appartient pas, comme les plantes précédentes, à la famille des graminées; mais son rôle, en agriculture, le rapproche trop des céréales pour que nous ne le placions pas à leur suite. Dans les

AGRICULTURE.

Fig. 153.

pays pauvres, le sarrasin est employé sous diverses formes à la nourriture de l'homme. Quand il est grossièrement concassé, il convient très bien à l'engraissement des animaux. On cultive aussi le sarrasin pour être enfoui, en vert, au moment de la floraison. La fig. 153 représente un fragment de plante de sarrasin ordinaire. Depuis quelques années, on cultive assez en grand une autre variété connue sous le nom de sarrasin de Tartarie, à fleurs vertes, produisant du grain de moins bonne qualité que le précédent, mais plus vigoureux que lui et plus convenable comme engrais vert.

Le sarrasin est extrêmement sensible aux influences météoriques. Sa réussite n'est un peu assurée que dans certaines contrées dont le climat et le sol présentent des conditions particulières, la Bretagne, par exemple. Il se développe et mûrit très rapidement, de sorte qu'il convient bien, dans beaucoup de localités, comme récolte dérobée. Il faut seulement pouvoir le récolter avant les gelées blanches, qui lui sont funestes. En Bretagne, on le sème au milieu de juin pour le recueillir à la fin d'août, et dans le Midi, à la fin d'août pour le récolter à la fin d'octobre. Les semailles se font à la volée, en enterrant le grain peu profondément. On emploie, en général, 1 hect. de semence par hectare; quelquefois 0hect.,50 seulement, et, au contraire, jusqu'à 1hect.,50 dans les terres médiocres où on le sème pour être enfoui en vert.

Le sarrasin vient bien dans les terres légères et calcaires; les sols tenaces ou trop riches en fumiers ne lui conviennent pas. Il se débarrasse lui-même des mauvaises herbes, et n'exige aucun soin pendant la durée de sa végétation. On peut le cultiver sur des défrichements de landes; il donne à la terre le temps de se rasseoir, et profite des premiers fumiers que le froment trouve ensuite bien consommés.

Le grain de sarrasin renferme de 2,20 à 2,56 p. 100 de cendres. Les cendres du grain, analysées par Bichon, et celles de la paille essayées par Sprengel, ont fourni les résultats suivants :

	Grain:	Paille.
Potasse.	8,74	10,36
Soude.	20,10	»
Chaux.	6,66	21,98
Magnésie.	10,38	10,34
Alumine.	»	0,81
Silice.	0,69	4,37
Peroxyde de fer.	1,05	0,47
Protoxyde de manganèse.	»	1,00
Chlorure de sodium. . . .	»	4,90
Acide sulfurique.	2,16	6,77
Acide phosphorique. . . .	50,07	9,00

Les feuilles abondantes du sarrasin lui permettent d'absorber, dans l'atmosphère, une forte proportion d'azote et de carbone; mais il faut qu'il trouve dans le sol une assez grande quantité de potasse et de sels calcaires et magnésiens; aussi se plaît-il dans les sols feldspathiques; il consomme environ 116 kilog. de fu-

mier par 100 kilog. de paille et de grain obtenu. Il épuise donc beaucoup moins la terre que les plantes précédentes.

Le poids moyen de l'hectolitre de sarrasin est de 57 à 60 kilog. Le poids des fanes sèches est assez variable; il est à peu près égal à celui du grain. Le rendement du sarrasin est on ne peut plus variable. En Bretagne, en moyenne, il est de 15 hectol.; en Flandre, il s'élève quelquefois jusqu'à 50 hectol.

VIII MAÏS.

La culture du maïs est loin d'être aussi répandue qu'elle devrait l'être. Elle peut dépasser de beaucoup les limites du climat qu'on lui attribuait exclusivement autrefois. Les départements où on rencontre le plus abondamment cette belle céréale appartiennent au midi occidental. Rien ne s'opposerait à ce qu'elle prît le même développement dans le midi oriental.

Il existe un grand nombre d'espèces et de variétés de maïs. Il suffit d'indiquer les suivantes :

Maïs d'été. Grain jaune orangé, épi de douze à quatorze rangées de trente à trente-cinq grains. L'hectolitre pèse 78 kilog. Cent épis produisent de 7 à 9 kilog. de grain. La tige s'élève à 1m,20 environ.

Maïs d'automne. Grain jaune, plus tardif que le précédent; les épis sont plus forts. La tige s'élève à 2 mètres. Il y a une variété à épis blancs.

Maïs quarantin. Dans le Midi, on le sème vers le 20 juin, pour le récolter à la fin d'octobre. Sa tige n'a que 0m,60 à 0m,70 de hauteur. Cent épis ne rendent que 6 à 7 kilog. de grain.

Maïs nain. La tige n'a que 0m,40 à 0m,50 de hauteur. Cent épis ne rendent que 3 à 4 kilog. au plus de grain. Il y a des sous-variétés à grain jaune, blanc ou rouge.

Maïs de Pensylvanie. Les grains sont jaune-clair, aplatis et très gros. Cent épis donnent jusqu'à 28 kilog. de grain. La tige s'élève à 2 mètres ou 2m,50. Cette variété est beaucoup plus tardive que les précédentes, et ne convient qu'à nos départements méridionaux. Le maïs de Virginie est à grains blancs, et se rapproche d'ailleurs de celui-ci.

Maïs à bec. Le grain de cette variété se termine en forme de bec. Il est aussi hâtif que le quarantin, mais plus productif.

Nous renvoyons, pour la description des autres variétés de maïs, et pour leurs figures, à l'ouvrage spécial de M. Bonafous sur ce sujet.

Les nombreuses façons que réclame le maïs pendant sa végétation lui font jouer dans le Midi, comme assolement, le rôle que les racines sarclées jouent dans le Nord. En général, on applique à cette plante la fumure de la rotation, et on la fait précéder les autres récoltes.

Dans les terres fortes, on donne avant l'hiver un labour profond, puis au printemps on fume et on recouvre l'engrais par un labour. Enfin, on nettoie la terre une ou deux fois avec l'extirpateur avant l'ensemencement. Dans les terres légères, il suffit de deux labours au printemps

Le maïs exige de fortes fumures. Quand on est obligé d'économiser le fumier on le dispose au fond des raies, on le recouvre d'un peu de terre, on sème sur ces lignes et on enterre légèrement la graine. Les semailles se font à la volée ou en lignes. Le premier procédé est tout à fait défectueux; le second s'exécute à la main ou avec un semoir. Les lignes sont espacées de 0m,60 à 0m,80 les unes des autres, et les plantes de 0m,30 à 0m,50, selon l'espèce de maïs et la qualité du sol. Pour les petites variétés, ces écartements peuvent être réduits de moitié. On emploie de 35 à 45 litres de graine par hectare. Le produit est en moyenne de 45 pour 1 de semence dans les Hautes-Pyrénées, de 68 pour 1 dans la Vendée, ce qui fait environ 60 hectolitres par hectare dans les bons terrains, et 30 à peu près dans ceux qui sont moins propres à cette culture. Cent kilog. de grain répondent environ à 200 kil. de paille, 26 de spathes et 48 de rafles.

Le maïs a besoin d'engrais riches en sels alcalins et terreux. On estime que la consommation de fumier est environ de 333 kil. par 100 kil. de paille et de grains recueillis. En Piémont, on donne tous les quatre ans 24,342 kil. de fumier par hectare et l'on sème le maïs sur cette fumure.

On doit donner au maïs, pendant son développement, des façons assez nombreuses. On bine aussitôt que les plantes montrent leur troisième ou quatrième feuille. On arrache les tiges trop rapprochées et l'on resserre, avec une variété un peu plus hâtive que la première, les espaces vides; quinze à vingt jours après on donne un buttage. Lorsque les plantes atteignent 0m,30 à 0m,40 de hauteur, on donne un second binage suivi d'un buttage. Au moment de la floraison, on enlève les ramifications qui naissent aux nœuds inférieurs, et, après la fécondation, on peut supprimer les épis mâles, qui forment un très bon fourrage. L'espacement des pieds de maïs permet de donner avec les instruments la plupart des façons dont on vient de parler.

On associe quelquefois au maïs un certain nombre d'autres plantes, telles que le chanvre, la betterave, les haricots sans rames, les citrouilles, etc. Ces mélanges de différentes plantes sur le même terrain entraînent à beaucoup de soins, et ne sont généralement avantageux que dans la petite culture.

IX. MILLET.

On distingue le millet commun et le millet d'Italie. Ces deux variétés exigent à peu près le même climat que le maïs. Les millets demandent, comme les maïs, de nombreuses façons, qui rendent avantageuses les semailles en lignes. L'hectolitre de millet pèse 70 kil. On obtient, par hectare, 32 hectolitres environ de grain et 3,900 kil. de paille.

Nous n'insisterons pas davantage sur la culture du millet, qui n'offre en France qu'un très médiocre intérêt. Nous en dirons autant du *sorgho*, que l'on cultive pour faire des balais, et obtenir une graine propre à la nourriture de la volaille.

X. MALADIES DES CÉRÉALES.

Les céréales sont sujettes à un assez grand nombre de maladies, qui les détruisent quelquefois d'une manière à peu près complète. Certains insectes, les influences météoriques, et surtout diverses plantes parasites qui vivent et se développent aux dépens de ces plantes, sont les causes de ces accidents si funestes aux cultivateurs.

Les pluies trop abondantes, la grêle, les sécheresses extrêmes, les gelées tardives, etc., sont autant de phénomènes des plus nuisibles pour les céréales, et contre lesquels il est à peu près impossible de lutter. Dans le midi, les brouillards qui précèdent des journées très chaudes au moment où le grain va mûrir, produisent un accident connu sous le nom de ventaison, blé échaudé, etc. On préserve les grains de cette cause de perte en secouant les épis, avant le lever du soleil, pour faire tomber l'eau qui les mouille, et les soustraire à l'action nuisible que les rayons solaires exerceraient ensuite sur eux s'ils restaient couverts de rosée. A cet effet, les cultivateurs se réunissent et parcourent les champs en tenant une corde assez raide pour faire courber la tête aux épis, et leur imprimer une légère secousse, qui les débarrasse des perles de rosée. Cette

manœuvre, connue sous le nom de *cordage*, produit toujours de très bons effets.

Parmi les insectes les plus nuisibles aux céréales, on distingue les limaces, les vers de terre, les larves de hanneton, etc. Il n'existe pas de moyens bien assurés de détruire ces divers insectes; l'un des procédés les plus efficaces consiste à les étouffer par un roulage énergique au printemps, quand ils se rapprochent de la surface du sol. Le rouleau de Croskill, dont on a déjà parlé (fig. 125), convient particulièrement à cet usage.

Les maladies produites par les plantes parasites et connues sous les noms de *rouille*, d'*ergot*, *charbon* ou *nielle*, et *carie*, ont été très souvent étudiées. On a minutieusement décrit les diverses variétés de champignons microscopiques qui les produisent. Mais, il faut le dire, ces recherches ont eu, jusqu'à présent, un caractère plutôt scientifique que pratique, et on n'est point parvenu à trouver de moyens préservatifs efficaces, si ce n'est contre la carie, qu'un chaulage, exécuté comme on l'a expliqué ci-dessus, prévient d'une manière presque infaillible. Nous ne nous arrêterons donc point à décrire ces différentes maladies : cette étude exigerait de longs développements et un grand nombre de figures que l'espace ne nous permet pas de placer ici.

On a indiqué plus haut (chapitre IV) les instruments destinés à la récolte des céréales; on trouvera dans le chapitre VIII l'indication des moyens de conservation et d'enmagasinage des grains ou des pailles.

Deuxième section. — Légumineuses cultivées pour leurs graines.

Les légumineuses, à un petit nombre d'exceptions près, puisent dans l'atmosphère une forte proportion de principes azotés, et laissent au sol, par leurs racines et leur chaume, autant de principes organiques qu'elles lui en ont emprunté; de sorte que leur culture ne consomme pour ainsi dire pas de fumier. D'un autre côté, les graines de cette espèce sont généralement plus riches en azote que celles des céréales; ces plantes offrent ainsi ce double avantage, dans les pays pauvres en bestiaux, de fournir pour l'alimentation de l'homme le supplément d'azote qu'il ne peut trouver dans la viande, et, en même temps, de laisser tout le fumier disponible pour les récoltes épuisantes.

Les légumineuses cultivées en France sur une grande échelle sont assez peu nombreuses; nous allons signaler les plus importantes.

I. HARICOTS.

Cette plante est très répandue en France; elle joue surtout un rôle important dans le sud-est. Les animaux ne mangent cette graine que concassée; les moutons et les bêtes à cornes acceptent sa paille sèche.

On cultive un assez grand nombre de variétés de haricots qui se partagent en deux classes : les *haricots nains* et les *haricots à rames*, dont les tiges ont besoin d'être soutenues. Parmi ces derniers, on distingue les variétés suivantes :

Haricot de Soissons. Graine blanche, plate et grosse, très cultivée dans les départements du Nord.

Haricot sabre. Graine blanche, plate, de grandeur moyenne, gousse plate, contournée. On le mange vert ou sec.

Haricot de Prague. Grain rond, rouge, violet ou panaché; il est très tardif et ne mûrit pas toujours dans le Nord. Il a besoin de rames très hautes.

Haricot de Lima. Grain blanc sale, épais et très gros; gousse large, courte et chagrinée; très productif, mais mûrissant fort tard. Il exige des rames élevées.

Haricot mange-tout. Très cultivé en Normandie; grain blanc arrondi; gousse plate contournée, très bonne à l'état frais. Cette variété dégénère rapidement dans les environs de Paris.

Parmi les *haricots nains* on peut citer les suivants :

Haricot de Soissons nain. Grain semblable au haricot de Soissons ramé.

Haricot nain blanc. Graine blanche, petite, aplatie.

Haricot nain sabre. Ne diffère de la variété ramée que par la forme de sa gousse.

Les deux variétés précédentes ne conviennent pas aux terrains humides.

Haricot nain blanc d'Amérique. Grain petit, blanc, un peu allongé. Variété très productive.

Haricot solitaire. Grain rouge, violet, marbré de blanc, touffe très-forte. Également très productif.

Les haricots *suisse* et de *Bagnolet*, à grains marbrés, sont peu estimés.

Les haricots s'accommodent de climats assez différents; cependant on est obligé, dans le Nord, de choisir les variétés les plus hâtives et de les mettre dans les terres sèches et légères; dans le Midi, au contraire, il convient de choisir les sols substantiels et frais.

La culture des haricots exige trois labours. On donne le premier, qui doit être très profond, avant l'hiver; le second, moins profond, au printemps, suivi de deux hersages, et enfin, le troisième, au moment des semailles. On prend, en général, pour semence, des graines de deux ans, aussi bien choisies et conformées que possible. On sème en juin dans le Centre, et beaucoup plus tôt dans le Midi; il faut de 1 à 5 hectol. par hectare, selon le développement des touffes de l'espèce employée. Les lignes sont espacées de $0^m,30$ à $0^m,40$, et les pieds de $0^m,15$ à $0^m,20$, dans chaque ligne. L'espace réservé entre les lignes ne permet pas l'usage de la houe à cheval; toutes les façons se donnent à la main. Voici en quoi elles consistent : Quand les plantes atteignent une hauteur de $0^m,06$ à $0^m,08$, on donne un léger binage; on en donne un second, en buttant un peu, quand les fleurs apparaissent, et trois semaines après on en donne un dernier. On place les rames de mètre en mètre, en les réunissant au sommet aussitôt que les tiges tendent à s'entrelacer.

Dans le Midi, on arrose les haricots par infiltration, en introduisant l'eau dans les rigoles formées par les binages, toutes les fois que le sol est desséché à plus de $0^m,05$ de profondeur. La récolte des haricots se fait en arrachant les plantes lorsque la plupart des gousses sont mûres. On laisse sécher quelques jours en javelles, et on engrange ensuite. Le battage se fait ultérieurement au fléau.

Les haricots, parmi les légumineuses que nous examinons, sont les seules plantes qui consomment une forte proportion de fumier. On admet que 100 kilog. de grain et de paille récoltés consomment 367 kilog. d'engrais normal, ce qui ferait 16,000 kilog. par hectare environ. Crud regarde les haricots comme peu épuisants; mais cette opinion manque évidemment de base.

L'hectolitre de haricots pèse 77 kilog. On obtient, en moyenne, 29 hectol. de grain et 2,200 à 2,300 kilog. de paille.

II. FÈVES.

Les fèves présentent deux espèces différentes : la fève de marais et la fève de cheval ou *féverolle*. Cette dernière est moins grosse que la première; son écorce est plus dure; mais son produit est plus considérable. La fève est employée comme aliment pour l'homme et pour les animaux; elle est cultivée dans toutes les parties tempérées de l'Europe, et peut réussir dans les

argiles compactes, qui ne conviennent qu'à un très petit nombre de plantes. Les fèves exigent à peu près les mêmes soins que les haricots; seulement, on peut assez espacer les plants, pour donner les façons avec les instruments à cheval. La fig. 154 représente quelques variétés de fèves.

Fig. 154.

La récolte se fait à la faux ou à la faucille. Les amendements les plus convenables pour les fèves doivent contenir une forte proportion de sels alcalins et de phosphates. Les fèves reçoivent habituellement la fumure de la rotation; mais elles ne la consomment pas et augmentent même sa fertilité par les racines et les pailles qu'elles abandonnent. La propriété des fèves, de puiser dans l'atmosphère une forte proportion de produits ammoniacaux, en fait une des plantes les plus utiles à cultiver comme engrais vert.

On recueille, en moyenne, par hectare, 26 hectol. de fèves pesant 88 kilog. chacun, et un poids de fanes à peu près égal à celui du grain

III. pois.

La paille et le grain des pois fournissent une nourriture également recherchée par les animaux. On cultive plusieurs espèces de pois; nous distinguerons seulement :

Le *pois de champs* ou pois gris. Les fleurs sont roses, violacées; sa graine est grisâtre; elle sert particulièrement à la nourriture des animaux. Il y a des pois gris de printemps et d'hiver; cette dernière variété ne peut être cultivée que dans le Midi.

Le *pois cultivé*. Les fleurs sont généralement blanches; son grain est jaunâtre ou verdâtre; destiné à l'alimentation, ses variétés sont nombreuses. On peut citer, parmi les meilleures espèces, les *pois de Marly*, *de Clamart*, *gros vert normand*, les *pois anglais*, etc.

Le pois doit, en général, être placé à la fin des assolements, et ne jamais se succéder à lui-même; si on le semait après la fumure on obtiendrait, au détriment du grain, un trop grand développement herbacé.

Le nombre de labours nécessaires au sol qui doit fournir des pois varie avec la place de cette récolte dans la rotation. Les pois se plaisent dans un sol profondément ameubli, mais qui ne soit pas trop finement pulvérisé; il convient donc d'éviter, ou de n'employer qu'avec réserve, la herse et le rouleau. Dans le Midi, on sème à l'automne; dans le Nord, on préfère généralement attendre le printemps. Les semis se font à la volée ou en lignes. Quand les pois ont atteint $0^m,05$ à $0^m,06$ de hauteur, on donne un léger coup de herse pour ameublir la couche superficielle du sol durcie par les eaux. Les pois cultivés exigent un binage et un fort buttage, pour diminuer leur tendance à s'élever, au point d'exiger des rames, qu'on ne peut leur fournir dans la grande culture.

Le rendement des pois est très variable; le rapport du grain à la paille est surtout extrêmement différent d'une année ou d'un terrain à l'autre. En moyenne, on

obtient, par hectare, 13 hectol. de graine pesant 79 kilog. chacun.

IV. vesces, lentilles, etc.

La vesce présente un certain intérêt pour la nourriture des animaux domestiques. On distingue la *vesce noire*, qui se sème en automne, la *vesce blanche*, que l'on sème au printemps; enfin, la *vesce velue* ou de Russie, introduite depuis un certain nombre d'années dans la grande culture, qui fournit, dans les terrains convenables, un produit abondant. Cette plante est peu difficile, n'exige qu'une préparation très simple du sol, et vient dans le plupart des terrains, pourvu qu'ils ne soient pas trop épuisés.

La vesce produit environ 15 hectol. par hectare, pesant 80 kilog. l'un, et 3,000 kilog. de paille, qui forme un bon fourrage.

La *lentille* forme une bonne nourriture pour l'homme et les animaux. Sa farine, introduite dans le pain en proportion convenable, lui enlève sa blancheur, mais lui communique une saveur agréable. Cette plante prospère dans les terres légères et graveleuses; les terres compactes ne lui conviennent pas; on emploie 1 hectol. à 1 hectol. 1/2 de semence par hectare; le produit varie de 10 à 21 hectol. du poids de 85 kilog.

Le *pois chiche* et la *gesse* sont deux plantes qui se rapprochent des précédentes, mais dont la culture est réserrée dans un trop petit nombre de départements méridionaux pour qu'il soit utile de s'en occuper ici.

Troisième section. — Plantes fourragères.

On peut dire, sans paradoxe, que l'état d'un pays dépend du rapport de sa production en plantes fourragères à l'ensemble de ses autres cultures. De ce rapport, en effet, résulte celui de la population au nombre des animaux domestiques, qui fournissent au cultivateur les forces motrices qu'il emploie, et, au commerce, l'un des éléments les plus précieux de l'alimentation publique, ainsi que les matières premières des industries les plus importantes. On développera plus loin cet aperçu, véritable point de départ de l'économie agricole. Pour le moment, on se bornera, comme dans les sections précédentes, à faire connaître les faits pratiques les plus essentiels de chacune des cultures que l'on examinera.

I. prairies permanentes.

Presque tous les terrains abandonnés à eux-mêmes se recouvrent d'un gazon formé par la réunion d'un plus ou moins grand nombre d'herbes différentes. Cette végétation, pour ainsi dire spontanée, est suspendue dans le Nord par le froid rigoureux des hivers, et ne reprend son activité que pendant le printemps et l'été. Dans le Midi, au contraire, elle se continue pendant l'hiver, et s'arrête seulement pendant les sécheresses des étés brûlants de ces contrées. Enfin, entre ces deux climats extrêmes, sur les côtes occidentales de notre continent, en Hollande, en Normandie, en Irlande, etc., l'humidité constante de l'atmosphère et la douceur des hivers permettent aux herbes de se développer à peu près en toute saison, et de conserver sans cesse leur verdure naturelle. Ce sont les pays d'herbages proprement dits, dont l'art des irrigations et une culture avancée permettent de retrouver les avantages dans des contrées plus favorisées qu'eux sous le rapport de la température.

La nature des plantes qui composent une prairie naturelle dépend du climat, de la nature du sol, des soins qu'on lui donne et du mode d'exploitation. Quelles que soient les herbes existantes à l'origine, la propor-

AGRICULTURE.

tion relative des différentes espèces se modifie, d'année en année, en raison des circonstances extérieures, jusqu'à ce qu'elle arrive à un état d'équilibre, en quelque sorte, qui ne se modifie plus, à moins qu'on n'apporte quelques modifications nouvelles à l'état de la prairie par une fumure, par un mode nouveau d'exploitation, ou de toute autre manière.

Les graminées et les légumineuses sont les deux familles prépondérantes dans les prairies ; toutes les autres plantes n'ont qu'une utilité secondaire, et pourraient en général en être bannies. Les plantes des prairies sont extrêmement nombreuses. Nous nous bornerons à donner ici l'énumération des meilleures variétés, en empruntant à M. de Gasparin leur classification, l'époque de leur floraison dans le climat de Paris, la perte que chacune d'elles éprouve par la dessiccation, et, enfin, la teneur en azote du foin qu'elle fournit. Ces renseignements suffiront pour aider dans les choix que l'on pourrait avoir à faire, pour la création de prairies, dans des conditions déterminées :

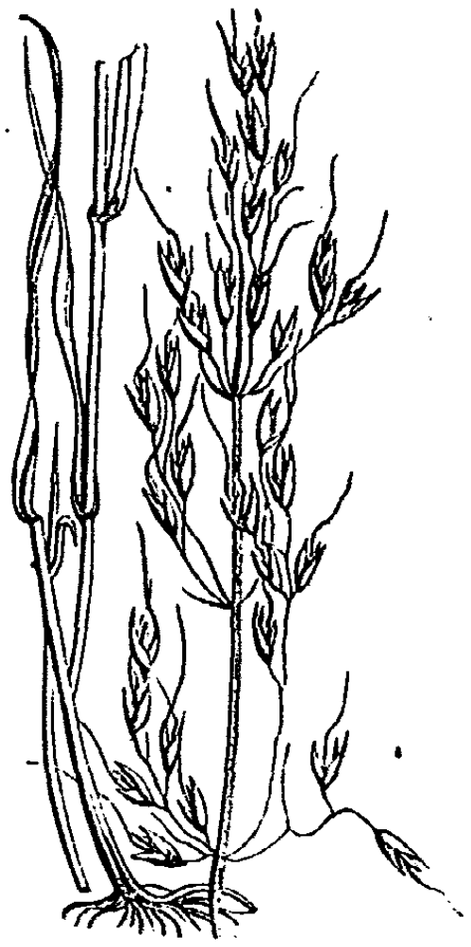
Les fig. 155, 156, 157, 158, 159 et 160 représentent quelques-unes des plantes qui se trouvent le plus ordinairement dans nos prairies.

Lorsqu'il s'agit de former une prairie sur un terrain déjà gazonné, on doit utiliser ce commencement de végétation et se borner à le favoriser, en enlevant les plantes nuisibles, en aplanissant les taupinières, et de plus, surtout dans les bons terrains, en répandant quelques engrais et de la graine des espèces d'herbes qui conviennent le mieux au sol, et qui manquent, ou sont trop peu nombreuses, dans le gazon.

Pour former une prairie sur un terrain non herbé, on procède habituellement par semis. A cet effet, on prépare la terre comme pour un ensemencement de blé ; on sème sur le sol, bien fumé et bien ameubli, le mélange de graine qui paraît le plus convenable et on le recouvre avec une herse légère, ou même avec un rateau, quand il s'agit d'ados irrigués. On peut semer avec la graine de gazon du sarrasin, qui, par son feuillage, protége les herbes contre la sécheresse ; mais cette précaution

	Fleurit à Paris.	L'herbe perd par la fenaison.	Azote p. 100 de foin normal.
1° PLANTES DES TERRAINS HUMIDES.			
Poa fluitans. Bord des ruisseaux et des étangs, fourrage tendre et excellent.	20 juillet	0,70	1,95
Poa aquatica. Fourrage assez grossier, très dur si on le coupe tard ; racines fortes et traçantes.	20 juillet	0,80	1,27
Phleum pratense. Terres tourbeuses et humides, très répandu dans les prairies humides ; beau regain, fourrage excellent.	16 juillet	0,56	1,00
Phalaris arundinacea. Glaise sableuse, près des amas d'eau. Fourrage d'apparence grossière, mais assez bon quand il a été fauché avant la floraison	16 juillet	0,50	1,49
Alopecurus pratensis. Bonne récolte dans les terrains humides et frais. .	20 mai	0,70	0,67
Festuca elatior. — *Pratensis*. — *Gigantea*. Il faut choisir la grande variété quand on recueille la graine. Terres riches et humides.	12 juillet	0,60 0,54 0,66	1,53 1,58 1,74
Festuca arundinacea. Fourrage abondant, mais grossier.	10 juillet	0,50	0,54
Agrostis stolonifera. Prairies sablonneuses et humides.	» »	0,55	1,33
Arundo phragmites. Terrains inondés ou humides. Son foin doit être coupé de bonne heure.	10 août	0,50	0,75
Lathyrus pratensis. Excellente plante, fourrage abondant ; terrains riches et humides.	15 juin	0,68	2,36
2° PLANTES DES TERRAINS FRAIS.			
Festuca elatior. La variété *gigantea* atteint dans ce terrain son plus grand développement.	12 juillet	0,66	1,71
Avena elatior. Repousse toute l'année ; fourrage amer, qu'il ne faut pas donner seul aux bestiaux.	24 juin	0,60	0,85
Lolium perenne. Repousse constamment, aime à être fauché ; fourrage médiocre.	1er juillet	0,58	0,98
Alopecurus pratensis. Vulpin des prés, précoce ; regain abondant. . . .	20 mai	0,70	0,67
Phleum pratense. Pousse constamment ; excellente graminée.	16 juillet	0,56	1,02
Dactylis glomerata. Excellente plante.	21 juin	0,59	0,85
Holcus lanatus. Excellente plante. On ne peut pas la semer seule. . . .	14 juillet	0,53	1,92
Poa pratensis. Doit être coupée en fleur ; résiste bien à la sécheresse. . .	30 mai	0,70	1,03
Poa trivialis. Doit être fauchée tard.	13 juin	0,70	1,60
Poa nemoralis. Ne craint pas l'ombre ; ne gazonne pas.	28 juin	0,55	1,64
Bromus pratensis. Fourrage abondant, mais médiocre.	» »	0,58	0,58
Trifolium pratense. C'est la base essentielle d'une prairie, dont elle garnit le fond.	» »	0,78	1,54
3° PLANTES DES TERRAINS SECS.			
Lolium perenne.	1er juillet	»	0,98
Poa trivialis.	13 juin	»	1,60
Festuca glauca.	13 juin	»	0,99
Agrostis vulgaris.	24 juillet	»	1,30
Triticum repens. C'est une des bonnes plantes des prairies sèches, mais elle demande du fumier.	10 août	»	1,53
Holcus mollis. C'est la plante spéciale à ces terrains.	24 juillet	»	2,60
Avena pratensis.	18 juin	»	1,37
Lotus corniculatus.	» »	»	»

AGRICULTURE.

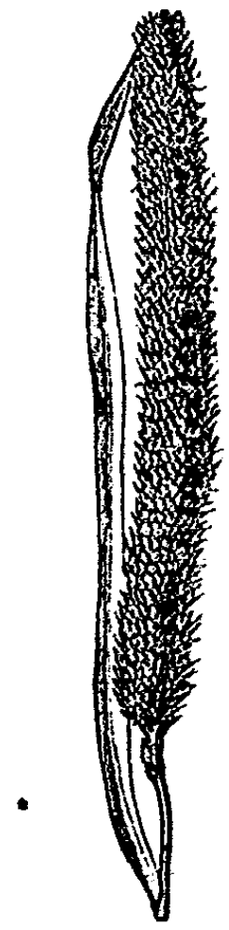


Avena elatior.

Fig. 155.

Flouve odorante.

Fig. 156.

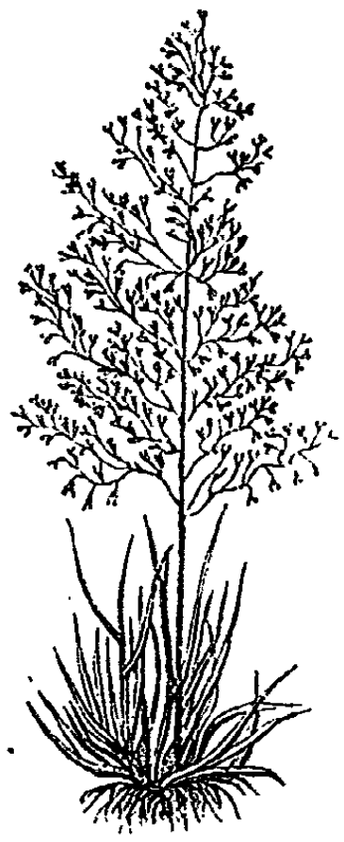


Phleum pratense.

Fig. 157.

Holcus lanatus.

Fig. 158.



Agrostis vulgaris.

Fig. 159.

Vulpin des prés.

Fig. 160.

n'est pas nécessaire. On arrache ce sarrasin, soit lorsqu'il est mûr, soit lorsqu'il est seulement en fleur, si la saison ne doit pas lui permettre d'arriver à maturité. On ne doit ni faucher, ni faire pâturer les semis de gazon l'année de leur formation. Les semis se font en automne dans le Midi et au printemps dans le

AGRICULTURE.

Nord. Voici les proportions de graines que M. de Gasparin conseille d'employer, par hectare, pour la formation des prairies :

1° *Terrains humides.*

	kil.
Festuca arundinacea.	5,0
Festuca elatior.	5,0
Poa serotina.	2,5
Poa aquatica.	2,5
Phleum pratense.	1,0
Agrostis stolonifera.	1,0
Medicago maculata.	2,0
Lathyrus pratensis.	1,5
Vicia sepium	1,5
Trifolium pratense.	2,0
	24,0

2° *Terrains frais.*

	kil.
Dactylis glomerata.	4,0
Poa nemoralis.	1,4
Festuca loliacea.	4,0
Agrostis vulgaris.	4,6
Festuca elatior.	4,0
Festuca sylvatica.	4,0
Holcus lanatus.	2,3
Phleum pratense.	0,8
Trifolium pratense	2,0
Trifolium repens.	4,0
Lathyrus palustris.	1,0
Vicia sepium.	1,0
Vicia cracca.	1,0
	34,1

Dans les terrains secs destinés à être fauchés, on sème un mélange de *luzerne*, de *sainfoin*, de *festuca rubra* ou *glauca*, de *trifolium repens* et de *holcus mollis*. Pour les pâturages de ces mêmes terrains on emploie :

	kil.
Festuca rubra	5,0
— glauca.	5,0
— duriuscula.	5,0
Bromus secalinus.	5,0
Holcus lanatus.	3,0
Holcus mollis.	3,0
Paspalum dactylum.	3,0
Triticum repens.	3,0
Hedysarum onobrychis.	30,0
Trifolium repens.	4,0
Lotus corniculatus.	2,0
	68,0

Dans les prairies irriguées de la Campine, l'un des mélanges les plus convenables paraît être le suivant :

	kil.
Ray-grass d'Angleterre.	19,0
Thimothy.	5,0
Vulpin des prés.	5,0
Crételle des prés.	4,0
Brome des prés.	5,0
Flouve odorante.	3,0
Lupuline.	3,0
	44,0

On a donné précédemment le prix de revient d'établissement d'une prairie irriguée.

Les soins d'entretien à donner aux prairies permanentes de bonne qualité se bornent à arracher les mauvaises plantes, à aplanir les taupinières et à fumer les prairies fauchées, et, au besoin, les prairies pâturées, quand le répandage des excréments des bestiaux qui s'y nourrissent ne produit pas une fumure suffisante.

Le produit des prairies est extrêmement variable. Certains prés ne donnent pas par hectare 250 kil de foin par an, ou leur équivalent en herbe pâturée, et l'on en cite des prés marcites, aux environs de Milan, où l'on obtient 68,618 kil. d'herbe ou 19,202 kil. de foin. Mais il faut, pour obtenir de tels résultats, arroser les prairies avec des eaux extrêmement fertilisantes, ou bien leur fournir, quand elles sont arrivées à toute leur valeur, un poids de fumier contenant la moitié ou les deux tiers de la quantité d'azote enlevé par le foin lui-même.

La récolte des foins consiste dans le fauchage, le séchage, le bottelage, et le transport dans les greniers. Le séchage des foins s'effectue par une série de façons d'autant plus nombreuses et plus compliquées que le climat où l'on opère est moins chaud et la saison moins sèche. On retourne le foin sur les andins, et on l'agite en l'air au moyen de fourches légères en bois. On a proposé beaucoup de machines pour effectuer ce travail. Leur emploi commence à se généraliser.

Dans les pays très humides, où le foin ne sécherait pas sur le sol, on emploie quelquefois une sorte de pyramide en bois (fig. 161), sur laquelle on place le fourrage pour accélérer sa dessiccation. Cet appareil est surtout employé en Allemagne.

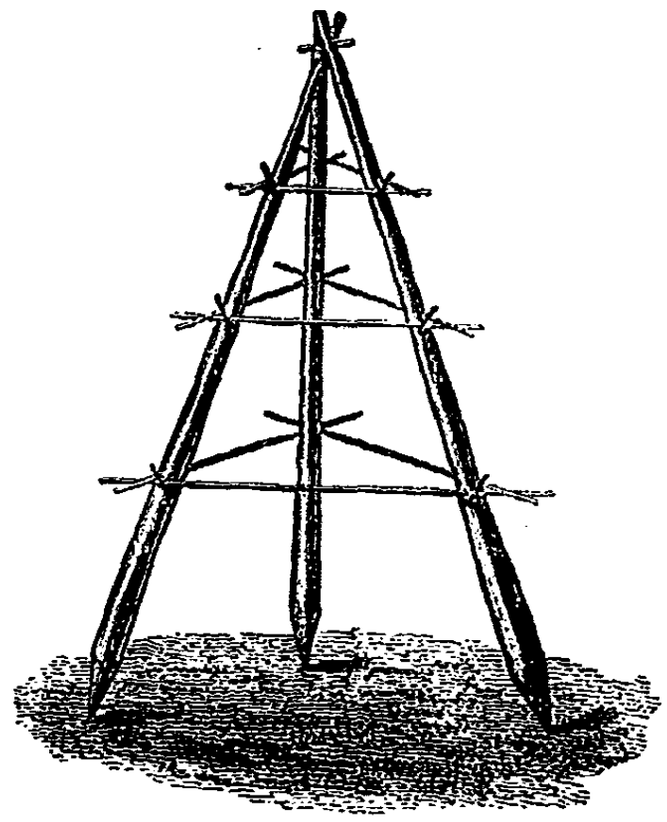


Fig. 161.

Toutes les charrettes sont bonnes pour le transport des foins ; mais la disposition très simple indiquée par la fig. 162 facilite beaucoup le chargement. L'essieu se prolonge au delà du moyeu des roues et sert d'appui à deux arcs-boutants qui soutiennent le haut de la ridelle, ce qui permet d'élargir le chargement et de réduire sa hauteur. Ces chariots conviennent également au transport des autres récoltes.

Les frais de récoltes du foin dépendent, jusqu'à un certain point, du produit; cependant, en France, en moyenne, on peut les évaluer de la manière suivante, par hectare :

Fauchage.	25 à 35 fr.
Fouage et chargement. .	30 à 40
Transport.	» »
Mise au fenil.	15 à 25

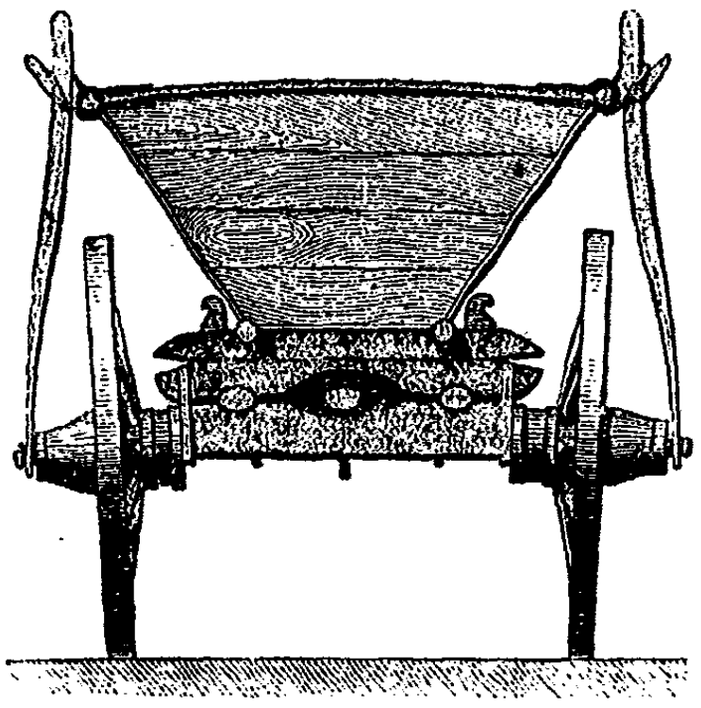


Fig. 162.

II. PRAIRIES TEMPORAIRES.

Les prairies temporaires, ou prairies artificielles, n'ont pris que depuis peu d'années en France le développement considérable qu'elles ont aujourd'hui. Leurs avantages sont très réels dans beaucoup de localités; elles permettent d'augmenter le nombre des bestiaux et de suppléer, jusqu'à un certain point, aux prairies naturelles. Dans les pays où les printemps et les étés secs sont très rares leur succès est à peu près assuré, et leur culture est dès lors fort avantageuse dans les terrains de bonne qualité. Dans le Midi, au contraire, la sécheresse ordinaire du printemps s'oppose souvent au succès des semis, et, alors il convient de n'y consacrer que des terres de peu de valeur, de ne compter sur la récolte que comme supplément, et d'assurer par les prairies arrosées les besoins ordinaires de la ferme.

Les plantes qui composent les prairies temporaires se partagent en deux classes : les unes empruntent à l'atmosphère une forte proportion de principes nutritifs et laissent à la terre plus de matières fertilisantes qu'elle n'en contenait avant leur culture; les autres, au contraire, enlèvent au sol une plus ou moins forte proportion de sa fertilité.

Les plantes de la première catégorie constituent un groupe améliorant, dans lequel se placent la luzerne, les trèfles, les sainfoins, la spergule, les genets et ajoncs, etc. Les plantes de la deuxième catégorie, au contraire, forment un groupe épuisant dans lequel on remarque l'ivraie vivace, l'herbe de Guinée, le seigle, etc.

On va étudier les plus importantes de ces plantes.

Luzerne. Cette plante est très anciennement connue. Elle paraît originaire des pays chauds, et craint, quand elle est jeune, les hivers très rigoureux et les gelées tardives. Elle a besoin d'un sol profond, ou au moins reposant sur un sous-sol perméable. Ses racines, qui peuvent atteindre plusieurs mètres de longueur, puisent dans le sous-sol une partie de leur nourriture. Les terres froides et constamment humides, ou les argiles fortes ne lui conviennent pas du tout; mais elle vient très bien sur ces terrains, quand leurs mauvaises qualités ont été détruites par un drainage énergique.

On sème la luzerne à la volée, à raison de 40 kil. par hectare environ, après un labour aussi profond que possible et une forte fumure. Les semailles se font à l'automne ou au printemps, quelquefois après

celles des céréales. On recouvre légèrement la graine en faisant passer une herse renversée et garnie d'épines. Quand la luzerne sort de terre on donne quelques sarclages, puis des hersages après chaque coupe. On donne aussi à la luzerne, après la dernière coupe et avant qu'elle n'entre en végétation, un léger labour avec le scarificateur.

La durée de la luzerne est extrêmement variable, et peut se prolonger pour ainsi dire indéfiniment dans certaines circonstances exceptionnelles; mais en pratique, dans le plus grand nombre des cas, on ne conserve pas les luzernières plus de cinq ou six ans. Quand on sème au printemps, on peut faire deux coupes seulement la première année; si l'on sème en automne, la luzerne est en plein rapport dès l'année suivante. La seconde année le produit augmente encore; mais il cesse de croître, et diminue même quelquefois, dès la troisième année, dans les sols peu profonds, où la luzerne ne peut point enfoncer ses racines.

Les amendements calcaires sont indispensables à la luzerne dans les terrains qui ne sont pas riches en substances de cette espèce. Le plâtre surtout exerce sur elle une influence des plus favorables. Les cendres de luzerne, qui s'élèvent jusqu'à 6,8 p. 100 du poids du foin, contiennent une forte proportion de potasse. La lenteur avec laquelle se décomposent les silicates naturels de cette base explique peut-être la nécessité d'interrompre pendant plusieurs années la culture de la luzerne sur un même terrain. Les sels de potasse seraient certainement, dans les terrains pauvres en alcalis, un excellent amendement pour cette plante.

La luzerne est une des plantes fourragères les plus productives. Elle commence à végéter, selon M. de Gasparin, quand la température moyenne de l'air atteint + 8°. On la coupe quand elle est en fleur, c'est-à-dire quand elle a reçu 852° de chaleur totale au-dessus de + 8°. De sorte qu'en divisant par ce nombre la somme totale de chaleur annuelle dans chaque contrée, entre le moment où la chaleur moyenne atteint 8° et celui où elle retombe au-dessous de ce chiffre, on obtient pour quotient le nombre de coupes de luzerne que l'on peut recueillir. A Alger, dans les terrains frais, on fait huit coupes par an; dans le Midi, on en fait cinq ou six; à Paris, on fait quatre coupes les années chaudes et trois dans les autres, en faisant pâturer la quatrième.

Dans une bonne luzernière du Midi, en cinq coupes M. de Gasparin a recueilli 15,300 kil. de foin sec. Aux environs de Paris, dans des conditions analogues, on a obtenu en trois coupes 9,600 kil. de foin sec. Dans les terres sèches, on irrigue la luzerne avec avantage. On donne un arrosage après chaque coupe.

Pour défricher la luzerne on donne un labour profond, quand le sol est un peu humide, puis on cultive en céréales. Quelquefois on donne seulement un labour de 0m,10 ou 0m,12 de profondeur; puis on sème de l'avoine ou du blé d'hiver. L'année suivante, après la récolte des céréales, les pieds de luzerne qui ont échappé montent en graine que l'on peut récolter. La même manière de procéder peut se renouveler deux années de suite.

La luzerne est soumise à plusieurs causes de destruction qu'il est utile d'indiquer. Le rhizoctone de la luzerne est un cryptogame qui enveloppe de ses filets rougeâtres la racine de la plante et la fait périr. Quand la maladie se manifeste dans un champ, il faut cerner la place par une tranchée circulaire très profonde. Si le mal continue ses progrès, il ne reste qu'à défricher la luzerne et à attendre plusieurs années avant d'en resemer à la même place.

La cuscute est une plante grimpante annuelle qui enlace les tiges des luzernes et les fait périr. Le moyen le plus simple de s'en débarrasser est de faire pâturer

toute l'année la luzernière par des moutons, ou de la faucher toutes les fois que les plantes ont 0m,06 ou 0m,07 de hauteur. Par ces moyens, la cuscute ne peut monter en graine et ne se reproduit pas l'année suivante. La graine de cuscute ne se sépare point par le criblage de celle de la luzerne; mais, en frottant entre deux toiles rudes le mélange des deux graines et criblant ensuite, celle de cuscute est facilement séparée.

Enfin, un insecte particulier, le *colopsis atra*, dévore quelquefois la luzerne. Il faut, quand cet ennemi attaque un champ, le mettre en fuite en fauchant la luzerne. On peut aussi attendre à l'époque de l'apparition des larves. Il paraît même que ce retard est avantageux.

Trèfle rouge. Le trèfle est pour les climats froids et humides ce qu'est la luzerne pour les contrées plus chaudes. Le trèfle vient évidemment d'autant mieux que la terre est de meilleure qualité; mais il donne encore de bons produits dans des terres médiocres, et réussit presque partout, à moins de conditions tout à fait défavorables.

Il existe plusieurs variétés de trèfle; mais la plus répandue et la plus rustique est le trèfle rouge ordinaire (fig. 163). Il serait cependant utile d'essayer un peu en grand les autres variétés; on en trouverait sans doute quelques-unes de convenables pour certaines conditions déterminées.

Fig. 163.

On sème le trèfle à la volée, à raison de 15 à 20 kilog. par hectare. La semaille a lieu en automne, avec les céréales, ou bien au printemps, soit avec les céréales d'automne, soit avec celles du printemps. La graine ne doit être recouverte que de 0m,020 à 0m,025 de terre. Les graines plus profondément enfouies ne lèvent que très difficilement.

On défonce généralement les trèfles à la fin de leur deuxième ou au plus tard de leur troisième année. Quelquefois même on ne recueille qu'une année de fourrage; mais cette méthode n'est justifiable que dans le cas d'un semis mal réussi; car le produit le plus abondant est celui de la seconde année, et le trèfle étant, éminemment améliorant, accroît par son séjour même la fertilité du sol.

Le trèfle enlève à la terre une forte proportion d'éléments minéraux qu'il est indispensable de restituer au sol par des amendements appropriés. Le plâtre est très favorable à cette culture. Il convient d'en répandre une certaine quantité après chaque coupe. Le plâtrage annuel doit être de 300 kilog. environ par hectare.

Pour faire consommer le trèfle en vert, on le coupe aussitôt que la faux peut le saisir. Quand on veut le convertir en foin, on le coupe en pleines fleurs, si l'on espère une seconde coupe, et seulement quand elles commencent à se flétrir dans le cas contraire. Le séchage du trèfle est très difficile parce qu'il contient plus des 3/4 de son poids d'eau. La graine se récolte habituellement sur les plantes de la seconde coupe. On obtient, en moyenne, 5,000 à 7,000 kilog. de foin de trèfle par hectare. Le produit, dans les terres fraîches et irriguées du Midi, peut s'élever à 9,000 kilog., et Crud dit en avoir obtenu, en Suisse, jusqu'à 10,000 kilogrammes.

Le *trèfle incarnat* est un fourrage précoce qui peut rendre des services en raison de ses qualités particulières. Il est assez peu répandu.

Sainfoin. Il y a deux variétés de sainfoin : le petit et le grand. La seconde, obtenue par les cultures soignées, dans les bonnes terres calcaires du Languedoc, est infiniment plus vigoureuse que la première; le regain est assez abondant pour être fauché, ce qui lui a fait donner le nom de sainfoin à deux coupes. Il dégénère à la longue dans les terres pauvres et arides, et la graine doit être renouvelée.

Le sainfoin se plaît particulièrement dans les terres profondes, légères et fortement calcaires. Mais il vient dans tous les terrains, même les plus sableux et les plus arides; il ne redoute que les sols à eaux stagnantes ou constamment humides. Cette faculté de croître dans les terrains arides fait du sainfoin une plante fourragère des plus précieuses; non-seulement il donne un produit dans des terres pour ainsi dire sans valeur, mais encore il les enrichit par ses débris, augmente leur consistance, et permet de cultiver des céréales dans des terrains où on n'aurait pas essayé de le faire avant lui.

Les cultivateurs qui attachent une grande importance à la culture du sainfoin le sèment au printemps, quand la température atteint environ 10°, sur une terre préparée à cet effet l'automne précédent. Avant les semailles, on donne un coup de scarificateur pour bien nettoyer et ameublir le terrain. Habituellement on se borne à semer à l'automne, sur les sols bien égouttés, avec les céréales d'hiver, ou bien, au printemps, soit sur la céréale d'hiver, après un hersage, soit avec les céréales de printemps, ou enfin avec un semis de vesces destinées à être consommées en vert. On emploie 4 à 6 hectol. de graines par hectare, selon sa qualité. Dans les terrains peu calcaires, on répand, chaque année, 200 à 250 kilog. de plâtre. Le sainfoin doit être conservé deux ou trois ans, et même plus longtemps, s'il n'est pas trop envahi par les mauvaises herbes.

On fauche le sainfoin quand la floraison est complète. On obtient, dans les terrains convenables, 4,000 à 7,000 kilog. de foin par hectare. Le regain, quand on ne le fauche pas, doit être pâturé par des bêtes à cornes; les moutons coupent la plante trop près du collet et la déchaussent. On doit éviter de semer le sainfoin trop près des arbres; il leur est funeste.

Le trèfle, la luzerne et le sainfoin forment la presque totalité de nos prairies artificielles. Nous nous bornerons à mentionner quelques autres plantes employées au même usage.

Le *sulla* ou sainfoin d'Espagne est une plante fourragère des pays chauds; elle rendra probablement de grands services en Algérie; mais les hivers, en France, même dans le Midi, sont souvent trop rigoureux pour elle.

La *lupuline* ne peut être fauchée, mais elle fournit un pâturage assez précieux dans les terrains où le trèfle ne réussit pas, et où le sainfoin ne s'élève pas assez.

Les *vesces* et les *gesces* sont semées, soit seules, soit mélangées avec d'autres plantes, et consommées en sec ou en vert; employées comme fourrages, ces plantes n'offrent d'avantages que dans des circonstances assez spéciales.

L'*ajonc*, en Bretagne, le *genêt d'Espagne*, dans le Midi, rendent quelques services comme fourrage. Ces deux plantes, mieux connues, permettraient d'utiliser

de vastes terrains pour ainsi dire abandonnés aujourd'hui.

La *spergule* rend, en Belgique, d'immenses services, soit comme engrais vert, soit comme fourrage. Elle paraît réussir beaucoup moins bien en France, et dégénère souvent avec une rapidité singulière.

Enfin, on cultive quelquefois l'orge, le seigle, le maïs, etc., comme fourrages verts annuels, et les ivraies, l'herbe de Guinée, etc., comme fourrages permanents. Toutes les plantes de cette dernière catégorie enlèvent au sol plus de principes fertilisants qu'elles ne lui en restituent, de sorte que si elles se placent sous le rapport de leurs applications parmi les plantes fourragères, elles doivent être soigneusement distinguées de celles que nous avons étudiées avec plus de soin, et qui jouent un rôle si important, au point de vue de l'économie agricole, par suite de la propriété qu'elles possèdent d'accroître la fertilité du sol.

Quatrième section. — Plantes cultivées en grand pour leurs racines alimentaires.

Les racines entrent maintenant en forte proportion dans le régime alimentaire de l'homme et des animaux. Elles rendent à l'agriculture, par leurs qualités spéciales, des services signalés, et leur introduction, dans certaines localités, a transformé l'état du sol et son mode d'exploitation. On ne doit pas cependant se laisser aller à trop d'admiration pour les produits de cette culture. Ils ont, il est vrai, un poids très considérable, mais ils ne contiennent relativement qu'une faible quantité de matières nutritives, et l'exemple terrible de l'Irlande montre le danger de laisser prédominer dans un pays la culture d'aliments d'un ordre aussi inférieur.

On étudiera, dans ce qui va suivre, les principales plantes à racines alimentaires, à l'exception de la *betterave*, pour laquelle nous renvoyons à l'article SUCRE.

I. POMMES DE TERRE.

Les variétés de pommes de terre sont extrêmement nombreuses, et se multiplient tous les jours. Il serait impossible d'en donner une liste complète, et surtout de définir nettement chacune d'elles. La collection conservée par M. Vilmorin est partagée en quatre sections : 1° les pommes de terre très productives, à goût moins délicat que les autres ; 2° les pommes de terre remarquables par leurs bonnes qualités ; 3° les pommes de terre hâtives ; 4° les pommes de terre de longue garde. Cette classification pratique serait difficile à appliquer en tous lieux. M. de Girardin a proposé de partager les pommes de terre, en raison de leur conformation extérieure, en trois sections : 1° les *patraques*, à tubercules généralement arrondis, offrant des yeux nombreux et apparents ; 2° les *parmentières*, à tubercules allongés ou aplatis, munis d'yeux peu nombreux ; 3° les *vitelottes*, à tubercules allongés et cylindriques, offrant des yeux très nombreux, très apparents, et enchâssés dans une cavité profonde.

Les parmentières ne comprennent que des variétés de jardin ; parmi les vitelottes, quelques-unes seulement conviennent à la grande culture. Dans la section des patraques, enfin, se rencontrent les espèces les plus productives. La patraque ox-noble se place en première ligne, excepté dans les terrains calcaires, soit pour les emplois alimentaires, soit pour la féculerie.

La pomme de terre se développe dans la plupart des terrains, pourvu qu'ils ne soient pas trop compactes, et qu'ils ne soient ni tout à fait secs, ni constamment mouillés. Elle se plaît particulièrement dans les terres fertiles, légères et fraîches.

Dans les climats humides et les terrains frais, on peut se dispenser de remuer profondément la terre qui doit recevoir des pommes de terre. Mais les labours profonds et les défoncements sont indispensables dans les terres disposées à la sécheresse.

On reproduit, en général, les pommes de terre en déposant en terre des tubercules coupés en morceaux, de telle sorte que chaque fragment contienne au moins un œil. Le moyen le plus expéditif de semer consiste à déposer les fragments au fond d'une raie de charrue de 0m,10 de profondeur, et à les recouvrir par la terre que renverse le versoir en ouvrant le sillon suivant. Quelquefois on plante à la main, en quinconce, en ouvrant de petits trous au point d'intersection de lignes d'avaire perpendiculaires, éloignées les unes des autres d'une quantité convenable. Dans les terres humides, on plante les pommes de terre au sommet de billons étroits, et on les recouvre avec la terre de deux sillons voisins formant rigoles d'assainissement. L'espace entre les plantes est très variable ; cependant, dans le plus grand nombre des cas, il est de 0m,25 à 0m,30 en tout sens. Cet écartement paraît être celui qui donne le maximum de produit ; mais il oblige à donner à la main toutes les façons.

On sème les pommes de terre en automne, au printemps, ou bien même après la récolte des céréales, dans les pays assez chauds et où le sol est en même temps assez frais pour que l'on puisse obtenir la récolte avant l'hiver.

Les soins que réclame la pomme de terre se bornent à des sarclages, que l'on peut donner à la herse, et à un buttage quand la végétation est assez avancée. Cette dernière opération est même quelquefois négligée sans que le produit paraisse en souffrir beaucoup.

On arrache presque toujours les pommes de terre à la fourche ou à la bêche. On estime qu'il faut dix-huit journées d'homme et huit de femme pour recueillir, sur 1 hectare, 23,440 kilog. de tubercules. L'époque de la récolte n'est pas absolument fixée, comme pour les plantes aériennes. Le moment le plus convenable est celui où toute la pomme de terre présente une consistance homogène. Elle renferme alors, en moyenne, environ 75 à 77 p. 100 d'eau.

Les pommes de terre demandent des engrais d'une décomposition facile, fournissant beaucoup d'acide carbonique, et riches en sels alcalins. Le fumier ordinaire leur convient très bien ; selon Schwerz, il faut en employer 19,000 à 20,000 kilog. par hectare pour obtenir 17,700 kilog. de récolte, ce qui répond assez bien aux indications de la théorie.

Un hectolitre ras de pommes de terre pèse de 62 à 65 kilog. Il contient 300 tubercules, s'ils sont très gros, 900 s'ils sont moyens, et jusqu'à 2,000 s'ils sont très petits. On obtient, dans les bonnes cultures, 25,000 et jusqu'à 30,000 kilog. de pommes de terre par hectare. Mais, dans les terres médiocres mal soignées, ou dans une mauvaise année, la récolte tombe quelquefois à 10,000 kilog. On estime qu'elle est, en moyenne, de 17,000 kilog. contenant 64 kilog. d'azote, et représentant, par conséquent, une masse de nourriture égale à celle que fourniraient 49 hectol. de blé, c'est-à-dire le produit de près de 4 hectares consacrés à cette plante.

Les pommes de terre se conservent très bien quand on peut les mettre à l'abri de la lumière et des gelées, et surtout des dégels trop rapides. Des caves bien sèches, et assez profondes pour qu'il n'y gèle pas, seraient le meilleur emplacement pour conserver cette récolte ; mais il est rare que l'on dispose de pareilles caves ; on y supplée au moyen de silos en maçonnerie ou en terre. Ces derniers se construisent en creusant dans le sol une fosse de 0m40 à 0m,50 de profondeur ; on garnit de paille le fond et les bords de cette fosse, et on la remplit de pommes de terre que l'on dispose

en tas conique ou prismatique, et que l'on recouvre d'une couche de terre de 0m,30 d'épaisseur. Quand le terrain est humide et le climat pluvieux, il convient d'entourer le silo d'une tranchée plus profonde que lui, et de le recouvrir d'un toit en chaume.

Les pommes de terre sont atteintes par plusieurs maladies : la *gale*, la *frisolée* et la *rouille* des feuilles, qui détruisent plus ou moins complétement les récoltes qu'elles attaquent; mais ces diverses maladies n'avaient jamais pris de caractère général inquiétant. Il n'en est pas de même de la maladie proprement dite des pommes de terre, qui a produit en Europe, depuis quelques années, de si grands ravages. Cette affection se manifeste par des taches rousses, partant en général de la circonférence près des tiges, et gagnant peu à peu la couche corticale, et enfin le tubercule tout entier. Bien que la maladie ait sévi pendant les années sèches comme pendant les années pluvieuses, il paraît cependant bien établi que l'humidité est une des causes déterminantes de son invasion, et qu'elle se montre moins souvent et avec moins d'intensité dans les terrains bien assainis. Tous les moyens préservatifs conseillés jusqu'à présent n'ont donné aucun résultat positif. On peut dire seulement que les variétés hâtives échappent à cette cause de destruction, parce que leur récolte peut avoir lieu avant l'époque habituelle de l'invasion de la maladie.

La contagion se transmet par le contact des tubercules affectés et des tubercules sains. Il paraît que l'on peut conserver des pommes de terre saines avec celles qui sont malades, pourvu qu'elles soient séparées les unes des autres dans les silos par une couche de sable. Mais ce qu'il y a de mieux à faire pour tirer parti d'une récolte atteinte est de la livrer aux féculeries pour en extraire le plus vite possible ce qu'il reste de fécule encore intacte. La distillation donne des alcools d'une saveur désagréable, ce qui rend peu avantageux ce mode d'emploi des pommes de terre malades.

II. NAVETS.

La variété la plus répandue dans la grande culture a une forme ronde aplatie; on la désigne sous les noms de rave du Limousin ou rabioule. On cultive aussi le navet à tête rose ou grande rave.

La culture du navet est très avantageuse dans les climats doux et humides, comme ceux de l'Angleterre et d'une partie de nos côtes; mais elle ne donne, en général, dans le Centre et le Midi, que d'assez médiocres résultats, qui font nier, par certains agriculteurs, les avantages incontestables de cette plante dans les pays qui lui conviennent.

Les terrains les plus convenables aux navets sont peu compactes et frais sans être humides. Cependant ils peuvent venir dans presque tous les terrains, et les argiles fortes elles-mêmes, qui ne leur conviennent pas du tout dans leur état naturel, en fournissent de belles récoltes quand elles ont été bien drainées. Les navets commencent en général la rotation; on les fait suivre de céréales d'automne, si leur récolte a été assez hâtive, et, dans le cas contraire, de céréales du printemps.

La préparation du sol destiné à recevoir les navets doit être très soignée. Il faut que la terre soit profondément remuée et parfaitement pulvérisée; à cet effet, on emploie successivement la charrue, la herse, le scarificateur et le rouleau.

On sème les navets depuis le commencement de mai jusqu'à la fin de juin. L'ensemencement se fait en lignes, soit à la main, soit au semoir. En général, avant de semer les navets, on dépose le fumier au fond des sillons, on le recouvre par un second passage de la charrue, et on sème au-dessus des lignes de fumier, qui se trouve ainsi plus à proximité de la jeune plante. On doit entretenir, par des sarclages répétés, la propreté des champs de navets. Les premiers sarclages peuvent se donner à la herse; mais, dans les cultures soignées, faites sur des lignes de fumier, on emploie la houe à cheval entre les lignes, et la houe à main pour éclaircir le plant et le débarrasser des mauvaises herbes. Après le hersage, on donne encore quelquefois deux façons au buttoir, pour recouvrir de terre le collet de la racine; mais elles ne sont pas indispensables. On espace les plantes de 0m,25 à 0m,50 les unes des autres. L'emploi de la houe à cheval oblige à écarter les lignes beaucoup plus qu'on ne le ferait dans une culture à la main.

Ce que l'on vient de dire s'applique à la culture des navets considérée comme récolte principale; mais en France, et surtout aux environs de Paris, le navet est une récolte dérobée que l'on obtient après les céréales. A cet effet, on enterre le chaume par un ou deux labours, on sème le navet à la volée, et aussitôt que les plantes ont leurs premières feuilles, on donne un sarclage à la main. Les plantes sont espacées, en moyenne, de 0m,15 à 0m,25 les unes des autres.

On peut arracher les navets et les conserver à peu près comme les pommes de terre, ou les faire manger sur place par les bestiaux.

Les navets produisent, par hectare, de 25,000 à 65,000 kilog. Les feuilles forment, en outre, un fourrage vert que les animaux mangent avec plaisir.

III. CAROTTE.

Cette racine est très recherchée du bétail, et forme, pour l'hiver, un utile auxiliaire des autres aliments; mais elle exige des soins si multipliés que son prix de revient est fort considérable, ce qui empêche sa culture de prendre une grande extension. Les carottes se sèment quand la température est arrivée depuis quelque temps à + 9°. Les lignes sont espacées de 0m,15 environ. On retarde autant que possible la récolte, en évitant toutefois, avec le plus grand soin, d'être surpris par les gelées. Il faut faire consommer les carottes de bonne heure, parce qu'elles recommencent à végéter aussitôt que la température atteint 9° à 10°. On obtient, en moyenne, 20,000 kilog. de carottes par hectare.

Nous nous bornerons à citer encore, parmi les plantes à racines fourragères ou alimentaires, le panais, la patate, le topinambour, le rutabaga, etc. Ces différentes plantes peuvent, dans certains cas spéciaux, être fort utilement employées; quelques-unes d'entre elles paraissent même appelées à occuper une place importante dans les cultures avancées; mais elles sont ou trop peu connues, ou trop peu répandues jusqu'à présent, pour qu'il soit utile de s'y arrêter ici.

Cinquième section. — Cultures industrielles.

Nous réunissons sous ce titre un certain nombre de plantes qui trouvent dans les arts leur principal emploi. Leur importance, généralement secondaire au point de vue agricole, nous permettra d'abréger beaucoup leur étude.

I. PLANTES TEXTILES.

L'agriculture du Midi, et surtout celle de l'Algérie, semblent devoir s'enrichir, dans un avenir prochain, d'une nouvelle plante textile, le *phormium tenax*, dont quelques expériences semblent démontrer les bonnes qualités. Mais, quant à présent, les deux seules plantes cultivées en France, pour leurs fibres, sont le chanvre et le lin.

AGRICULTURE.

Chanvre. Le chanvre (fig. 164) a besoin d'un terrain fertile profond, qui ne soit pas extrêmement tenace,

Fig. 164

et qui, sans être mouillé, reste frais pendant toute la durée de la végétation de cette plante. La rapidité de sa croissance permet de le cultiver dans des climats très opposés.

La terre à chanvre doit être bien préparée et abondamment fumée, à moins qu'elle ne soit par elle-même d'une extrême fertilité, périodiquement renouvelée par des inondations ou autrement. On sème depuis le milieu de mars jusqu'en juillet, selon la récolte qui accompagne ou précède la culture du chanvre. On emploie de 6 à 12 hectol. de semences par hectare, selon le but que l'on se propose d'atteindre et la nature du terrain. Les semis clairs donnent des tiges grandes et fortes très convenables pour fournir de la graine, mais dont la filasse est grossière; les semis épais, au contraire, fournissent de petites tiges qui s'abritent les unes les autres, et donnent de la filasse fine et douce. Les semis épais n'exigent, pour ainsi dire, aucun soin, parce que le chanvre étouffe les mauvaises herbes. Dans les semis clairs, on donne au plant un ou deux sarclages et un binage. La récolte du chanvre se fait en deux fois. On arrache d'abord le chanvre mâle, et quelques semaines après le chanvre femelle, qui n'arrive à maturité qu'un peu plus tard.

Lin. Cette plante est cultivée soit pour sa filasse, soit pour sa graine. Il est difficile d'obtenir à la fois ces deux produits dans de bonnes conditions. La filasse a perdu une partie de ses qualités quand la graine arrive à maturité. Cependant, en cueillant le lin un peu avant la maturité de la graine, on obtient une filasse passable, et, pendant le séchage, la graine arrive à un point suffisant de maturité pour être employée à la fabrication de l'huile, et surtout comme assaisonnement des fourrages.

Le lin exige, comme le chanvre, des terrains fertiles, frais, riches en engrais et en humus. Les alluvions et les prairies défoncées conviennent particulièrement à sa culture. La préparation du sol varie avec les usages locaux, mais elle doit toujours être soignée. Les engrais énergiques conviennent très bien au lin; il enlève au sol une forte proportion de sels minéraux. On recommande vivement, en Irlande, de lui appliquer, par hectare, un mélange formé de :

Os en poudre.	300 kil.
Chlorure de potassium. . . .	166
Chlorure de sodium.	155
Plâtre cuit pulvérisé.	188
Sulfate de magnésie.	311
	1,120

On sème en automne ou vers le mois de mai, à raison de 125 à 250 kil. de graine par hectare, selon que l'on veut obtenir de la graine, ou des filasses plus ou moins fines. On obtient de 400 à 600 kil. de filasse par hectare, en moyenne.

On recueille le lin, comme le chanvre, en l'arrachant par petites poignées. On le fait sécher, puis on le soumet au rouissage et aux autres opérations industrielles nécessaires à sa transformation en matière ouvrée. Nous n'avons pas à examiner ces différentes manipulations, qui font l'objet d'un article spécial du *Dictionnaire*; mais nous ne pouvons passer sous silence une modification récemment introduite dans la préparation du lin, et qui permet de remplacer l'ancien procédé si insalubre du rouissage par une opération qui n'entraîne avec elle aucun inconvénient, et permet de restituer au sol toutes les matières solubles qui se perdent ordinairement dans les routoirs. Ce procédé consiste à placer le lin dans des cuves remplies d'eau chauffée à 32° environ. La fermentation se développe rapidement et le rouissage est terminé en soixante ou quatre-vingt-dix heures. Dans le grand établissement de MM. Bernard et Koch, les cuves sont en bois, de forme elliptique; le grand diamètre a 4m,27, le petit 3m,05. La profondeur des cuves est de 1m,12. Elles sont garnies d'un double fond percé de trous, dans lequel se trouve un serpentin où l'on fait passer de la vapeur pour échauffer l'eau. Le lin est placé verticalement dans les cuves et maintenu par un disque en planches. On remplit l'appareil d'eau, on fait arriver la vapeur dans le serpentin, et quand la masse est suffisamment échauffée on l'abandonne à elle-même; la fermentation suffit pour entretenir la température nécessaire. Quand la fermentation est terminée, on fait sécher le lin comme de coutume. L'eau des cuves est employée comme engrais; elles rendent au sol la presque totalité des principes fertilisants enlevés par le lin, et permettent ainsi de ramener souvent cette plante sur la même terre sans l'épuiser.

II. PLANTES OLÉIFÈRES

La graine de lin peut servir à la préparation d'une huile fort utile pour les arts. Cependant, c'est comme plante textile que le lin rend le plus de services; aussi l'avons-nous placé dans la division précédente. On cultive en France pour la fabrication des huiles un assez grand nombre de plantes, parmi lesquelles nous citerons seulement les suivantes, qui sont les plus répandues. Toutes ces plantes, épuisant le sol, exigent des engrais abondants et doivent être associées dans la culture aux plantes qui concourent à enrichir le sol de terreau. Leur place dans la rotation doit être la même que celle des céréales, c'est-à-dire entre une récolte sarclée et une plante fourragère.

Colza. Le colza (fig. 165) vient bien dans presque tous les terrains qui ne sont pas trop inconsistants. On le sème à l'automne ou au printemps, sur le terrain soigneusement préparé, ou bien on le transplante. Cette dernière méthode est la plus fréquemment employée. On choisit un moment où le terrain de la pépinière est

AGRICULTURE.

humide, pour que l'arrachage ait lieu sans difficulté. La plantation se fait à la charrue; on dépose les pieds de colza contre la raie, à 0m,25 environ les uns des autres; la charrue les enfouit en formant le sillon suivant. Il ne faut point enterrer le collet, ce qui exige assez de soin. Quelquefois on replante par simples boutures.

Fig. 165.

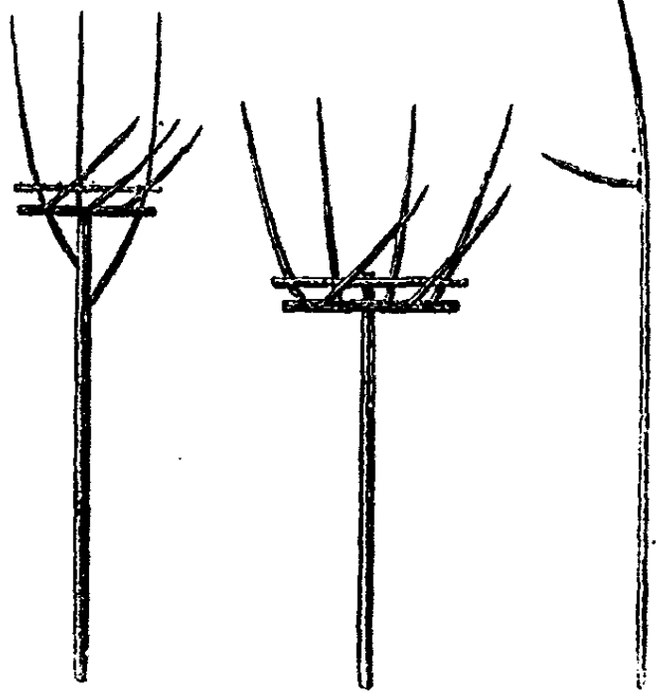


Fig. 166.

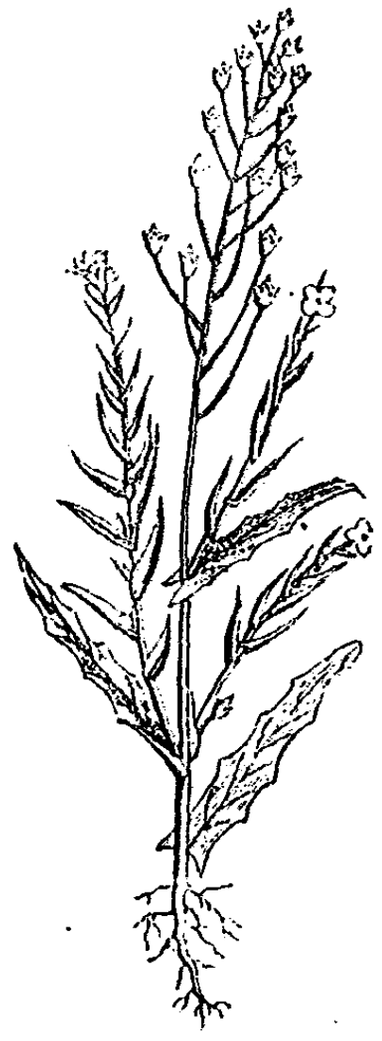


Fig. 167.

Le colza exige une forte fumure et des engrais riches en azote. Le guano, l'engrais flamand, lui conviennent parfaitement. Dans de bonnes conditions, on obtient 40 hectolitres de graine par hectare, pesant 68 kil. chacun environ, et fournissant à peu près 0,3 de leur poids d'huile.

On se sert, en général, pour charger le colza sur les charrettes sans l'égrener, d'une grande fourche à dents, en bois léger (fig. 166), qui pourrait également convenir pour d'autres récoltes.

Cameline. Cette plante (fig. 167) peut prospérer dans les terrains légers et sablonneux. Elle est très épuisante; on la sème en mai ou juin. On éclaircit le plant de manière que les pieds soient écartés de 0m,16 environ, et on sarcle pour détruire les mauvaises herbes. La cameline produit, par hectare, de 12 à 20 hectolitres de graine, du poids de 70 kil. chacun. Elle est moins délicate que le colza et moins sujette à manquer complétement; mais son produit est bien moins considérable.

Pavot. La culture du pavot n'a d'importance en France qu'en Lorraine et dans l'Artois; elle exige des soins et une adresse tels, que l'on intéresse toujours l'ouvrier au succès par une part dans la récolte. Le pavot fournit, en moyenne, par hectare, 20 hectolitres de graine, du poids de 35 à 60 kil. Cette graine renferme plus de 40 p. 100 d'huile; mais on n'en extrait en pratique que 30 p. 100.

On cultive encore comme plantes oléifères la moutarde, le madia, le sésame, l'arachide, etc.; mais elles sont peu répandues en France et ne méritent pas une mention spéciale.

III. PLANTES TINCTORIALES.

La *garance* (fig. 168) est la plus importante de nos plantes tinctoriales. Elle exige un climat chaud et ne réussit en France que dans les départements méridionaux (voyez GARANCE).

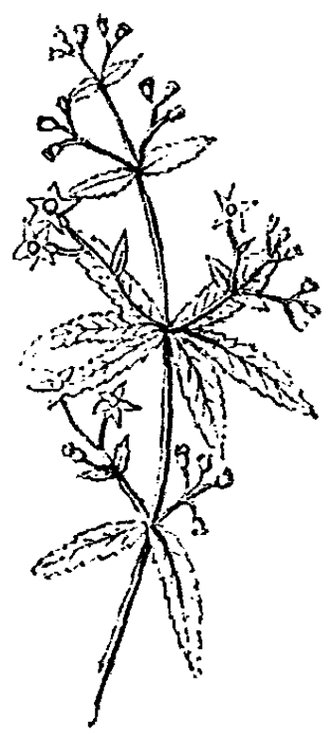


Fig. 168.

Fig. 169.

Le pastel (fig. 169) peut être employé comme fourrage vert ou pour obtenir l'indigo, dont il renferme une faible quantité. Son importance, sous ce rapport, diminue tous les jours, avec l'accroissement des rela-

tions commerciales. On livre le pastel au commerce sous forme de feuilles desséchées ou de *coques* (voyez INDIGO).

La *persicaire*, la *gaude*, le *tournesol*, sont encore cultivés pour les matières colorantes qu'elles fournissent; mais ces cultures sont tellement restreintes qu'elles ne méritent pas d'arrêter l'attention.

IV. PLANTES INDUSTRIELLES DESTINÉES A DIVERS USAGES.

Dans cette dernière section se rangent le tabac, le houblon, le chardon à foulon, le safran, etc.; mais nous sortirions de notre cadre en nous en occupant d'une manière spéciale. La plupart de ces plantes ou de leurs produits font l'objet d'ailleurs d'articles particuliers du *Dictionnaire*.

Sixième section. — Assolements.

En traitant des cultures en particulier, on a indiqué autant que possible la place que chacune d'elles doit occuper dans la succession des récoltes. D'un autre côté, les notions générales contenues dans le second chapitre et les nombreuses analyses de plantes qui se trouvent soit dans l'article ENGRAIS, soit dans celui-ci, fournissent les éléments principaux de la théorie des assolements. Il serait trop long de la résumer maintenant et d'approfondir les problèmes délicats et encore obscurs qu'elle soulève. Nous nous bornerons, par conséquent, à quelques renseignement pratiques sur ce sujet.

Dans certaines circonstances exceptionnelles où l'on peut se procurer économiquement des fumiers et où la main-d'œuvre est très offerte, il importe assez peu de varier les produits d'une année à l'autre. Les fumiers, les amendements et les nombreuses façons que l'on peut donner au sol le remettent constamment en état de produire. Le cultivateur ne se préoccupe alors que de la valeur vénale des récoltes. Mais ces circonstances ne se présentent qu'accidentellement, et la culture devient alors une véritable opération de jardinage. Dans les circonstances ordinaires il faut éviter d'épuiser le sol, et, pour cela, varier les cultures de telle sorte que chaque récolte rende à la terre ce que la précédente lui a enlevé. A un point de vue purement abstrait, l'art des assolements consisterait à faire succéder les plantes les unes aux autres, de manière à produire la plus grande quantité de matière organique, dans le temps le plus court, et avec le moins de fumier possible. Mais, au point de vue pratique et économique, il faut ajouter à cette condition abstraite celle de la valeur de cette matière organique, de telle sorte que le produit obtenu soit le plus considérable possible; ce qui introduit alors, dans le choix des assolements, toutes les considérations de climat, de population, de mœurs locales, etc., etc., qui font, en réalité, des problèmes agricoles les questions les plus complexes et en même temps les plus importantes et les plus attrayantes de toutes celles que peuvent se poser les esprits actifs et exercés aux combinaisons commerciales, industrielles et économiques.

L'ancien système d'assolement triennal, qui tend chaque jour à disparaître, mais que l'on rencontre encore quelquefois, il faut l'avouer à la honte de notre agriculture, consiste en une année de jachère morte, pendant laquelle on labour et on fume, suivie de deux années de céréales. Le tiers de la terre reste ainsi chaque année complétement improductif. Depuis longtemps déjà, et surtout depuis l'introduction des prairies artificielles, on a reconnu qu'il était possible d'utiliser cette année de chômage du sol et d'obtenir de la terre, sans l'épuiser, une récolte permettant d'accroître le nombre des bestiaux, et revenant ensuite à la terre en éléments de fertilité nouvelle. Mais l'inconvénient de ramener aussi souvent les mêmes plantes sur le même sol, la nécessité de varier les produits, les avantages des récoltes sarclées, ont rendu nécessaire le perfectionnement de l'assolement triennal avec plantes fourragères, et ont conduit à des périodes plus longues, et à des assolements plus complexes qui se perfectionnent de jour en jour davantage.

Les terres d'une exploitation rurale sont généralement partagées en deux parties inégales, l'une consacrée aux pâturages permanents, l'autre aux cultures annuelles. Cette dernière portion se divise elle-même en autant de parties égales qu'il y a d'années dans la période de l'assolement. Chaque *sole* enfin, dans certains cas, peut être consacrée à plus d'une espèce de plante, et se partage alors en autant de lots qu'elle est destinée à recevoir de cultures différentes la même année.

Dans l'assolement triennal ancien, par exemple, la terre arable serait partagée par tiers successivement occupé, chaque année, par la jachère, le blé et l'avoine, comme l'indique le tableau ci-dessous :

ANNÉES.	NATURE DES CULTURES.		
Première.. .	Jachère.	Blé.	Avoine.
Deuxième. .	Blé.	Avoine.	Jachère.
Troisième. .	Avoine.	Jachère.	Blé

De même dans un assolement quadriennal, une terre arable pourrait être partagée en quatre soles égales, savoir :

ANNÉES.	NATURE DES CULTURES.			
1re	Cult. sarcl.	Avoine.	Trèfle.	Blé.
2e	Avoine.	Trèfle.	Blé.	Cult. sarcl.
3e	Trèfle.	Blé.	Cult. sarcl.	Avoine.
4e	Blé.	Cult. sarcl.	Avoine.	Trèfle.

Chacune de ces soles pourrait elle-même se partager en plusieurs lots consacrés à diverses cultures; ainsi, par exemple, les céréales seraient en partie remplacées par le lin, ou autre culture analogue; les cultures sarclées pourraient comprendre, sur un certain espace, des betteraves, sur un autre du colza, et ainsi de suite.

Ces préliminaires établis, il suffira de donner quelques exemples d'assolements suivis dans diverses parties de la France; il sera facile de les appliquer aux terres auxquelles ils conviennent, en tenant compte de ce qui a été dit sur les terrains les plus appropriés à chaque espèce de plante.

L'assolement de deux ans ne convient que dans quelques rares circonstances ou avec des méthodes de cultures toutes spéciales; aussi n'en dirons-nous rien ici.

L'assolement de trois ans est également trop court; cependant il est fréquemment employé. Ainsi dans les contrées où le navet forme un des éléments essentiels

de la nourriture des bestiaux, on adopte souvent l'assolement suivant : première année, navets fumés et paturés; deuxième année, orge; troisième année, blé. Ou bien encore, pommes de terre fumées, orge ou seigle, trèfle ou lupuline. Dans les terres plus fortes, on peut prendre : première année, fèves fumées et binées; deuxième, blé ou avoine; troisième, trèfle. Pour éviter le retour trop fréquent du trèfle, on peut lui substituer le sarrasin, comme fourrage, ou les vesces. Dans le Midi, l'assolement triennal s'enrichit des plantes propres à ce climat; ainsi on y observe les différents assolements suivants :

	1.	2.	3.	4.
1re	Maïs	Pommes de terre	Fèves	Betteraves
2e	Réc. pâturée	Trèfle	Blé	Froment
3e	Céréale	Seigle	Maïs	Maïs fourragé

L'assolement de quatre ans est déjà de beaucoup préférable au précédent. Il est assez répandu et a été l'objet de beaucoup d'expériences.

Mathieu de Dombasle, pour le centre et le nord, et dans les terres plutôt légères que fortes, recommande l'une des rotations suivantes; la première s'appliquant surtout aux bonnes terres, la seconde aux terrains moyens :

	1.	2.
1re	année, betteraves fumées.	Pommes de terre, betteraves ou choux.
2e	— colza d'hiver, repiqué avec trèfle.	Orge ou avoine.
3e	année, trèfle.	Trèfle.
4e	— blé.	Blé ou colza.

Dans les terres plus fortes que celles auxquelles s'appliquent les deux assolements que l'on vient d'indiquer, on adopterait l'une des rotations ci-dessous :

1re	Fèves.	Gesses coupées en vert.	Carottes ou tabac.
2e	Blé, puis trèfle.	Avoine et trèfle.	Froment.
3e	Trèfle.	Trèfle.	Colza.
4e	Blé, colza ou avoine.	Blé.	Avoine.

Le trèfle, comme on le voit, figure presque toujours dans cet assolement. Dans le Midi, son succès incertain rend plus douteux les avantages de l'assolement de quatre ans. Mais dans les terrains fertiles et arrosés de ce climat, on peut obtenir jusqu'à sept récoltes différentes, dont trois de froment en quatre ans.

L'assolement de cinq ans convient parfaitement quand les fumiers sont abondants, et dans quelques autres circonstances résultant de la valeur industrielle de certains produits. En Alsace, l'assolement ordinaire est : première année, pommes de terre ou betteraves fumées; deuxième année, froment; troisième année, trèfle; quatrième année, froment et navets dérobés; cinquième année, avoine.

Sur les vieilles prairies on peut adopter, suivant les cas : première année, pommes de terre sans engrais; deuxième, navets; troisième, orge; quatrième, pommes de terre fumées; cinquième, orge et graine de pré. Ou bien, sur un sol très riche : première année lin; deuxième, colza; troisième, blé; quatrième, trèfle; cinquième, blé.

A Hohenheim, l'assolement de six ans se compose : première année, pommes de terre; deuxième, froment; troisième, trèfle; quatrième, froment et navets dérobés; cinquième, pois fumés; sixième, seigle. L'assolement suivi pour l'amélioration des terres de la Campine comprend les six récoltes suivantes : pommes de terre fumées, avoine et trèfle, trèfle, seigle et spergule, navets, seigle.

Les assolements de sept ou de huit ans ne sont, en général, que la réunion de deux assolements de trois et de quatre ans, dans lesquels on varie quelques-unes des cultures. Quelquefois, cependant, l'assolement de sept ans a un caractère bien spécial. En voici quelques exemples :

Première année, vesces d'automne ou de printemps; deuxième, pommes de terre fumées; troisième, avoine et trèfle; quatrième, trèfle; cinquième, froment; sixième, racines fumées; septième, céréales.

Première année, pommes de terre fumées; deuxième, avoine; troisième, trèfle, quatrième, froment ou seigle et sainfoin; cinquième, sixième et septième années, sainfoin.

Première année, sarrasin et genêt; deuxième, troisième et quatrième, genêt; cinquième, avoine; sixième, seigle fumé; septième, pommes de terre. Ce dernier assolement est souvent suivi dans les plus pauvres terrains de la Sologne.

Les exemples précédents suffiront pour montrer combien on peut varier les assolements, et en même temps l'influence qu'un choix judicieux peut exercer sur la prospérité d'une exploitation.

CHAPITRE VII.

ANIMAUX DOMESTIQUES.

L'éducation et l'entretien des animaux domestiques forment une branche toute spéciale de l'industrie agricole. La physiologie animale et l'art vétérinaire qui constituent les connaissances spéciales indispensables à l'étude complète de la zootechnie, ne peuvent être convenablement présentés que dans les traités exclusivement consacrés à ces sciences. On trouvera, au mot CROISEMENT, l'exposé des principes qui doivent présider à l'amélioration des diverses races d'animaux domestiques, et l'indication des soins hygiéniques qu'ils réclament. On ne pourrait entrer ici dans aucun détail sur ce sujet sans dépasser de beaucoup les limites de notre cadre. Il suffira d'ailleurs, pour atteindre le but principal de ce travail, de donner les éléments nécessaires au calcul de l'influence du bétail dans les opérations agricoles, c'est-à-dire les chiffres relatifs à sa consommation, d'une part, et à ses produits de toute nature, d'autre part.

I. RACE BOVINE.

Au point de vue de son utilité et de l'importance des produits qu'elle fournit à l'homme, la race bovine se place en tête des animaux domestiques.

Il existe, comme on sait, un très grand nombre de races de bestiaux. Le choix que l'on doit faire de chacune d'elle dépend et du but que l'on se propose d'atteindre et du pays où l'on se trouve. Parmi les races les plus répandues et les plus caractéristiques de nos exploitations agricoles, on peut citer :

Parmi les races laitières et d'engrais, celles de Normandie, de Flandre, de Bretagne et du Jura;

Parmi les races de travail, celles du Charolais, du Morvan, du Limousin, de Cholet, de Gascogne, de la Camargue et de la Franche-Comté;

La race d'Auvergne, également propre au travail et à l'engrais;

La race Durham, éminemment propre à la boucherie, et qui fournit, par son croisement avec plusieurs de nos espèces, et notamment avec les Charolais, de si excellents résultats.

AGRICULTURE.

Dans les circonstances normales, le poids moyen d'un animal ne varie pas d'une manière sensible. Les déjections, les sécrétions et les produits des organes respiratoires ont un poids précisément égal à celui des aliments ingérés. Dans ces circonstances, l'animal consomme précisément ce que l'on peut appeler sa ration d'entretien ; mais cette ration elle-même varie, toutes choses égales d'ailleurs, selon que l'animal dépense plus ou moins de force. On peut donc, par la pensée, la décomposer en deux portions, l'une strictement nécessaire au soutien de la vie, sans autres mouvements que ceux indispensables à l'entretien de la santé, et l'autre qui sert à la production du travail. Pendant la croissance des jeunes animaux, ou l'engraissement, les choses ne se passent plus ainsi, les organes de l'animal fixent une plus ou moins forte proportion des éléments de sa nourriture, et son poids s'accroît chaque jour de la différence des produits consommés à la somme totale des produits excrétés. Dans ce cas encore, la ration de chaque jour peut, par la pensée, se décomposer comme tout à l'heure, en deux portions, dont la dernière seulement concourt à l'engraissement. Une conséquence des plus importantes découle de cette remarque bien simple, c'est l'économie qu'il y a toujours à nourrir, aussi fortement que leur constitution le permet, les animaux de travail ou d'engrais, puisque la ration d'entretien, partie en quelque sorte improductive, forme une fraction de la dépense totale, d'autant plus forte que la consommation totale est moins considérable.

La nourriture des herbivores renferme quatre principes essentiels dont la réunion, en quantité convenable, doit constituer l'aliment normal ; ce sont une matière azotée, une matière huileuse, ou se rapprochant de la matière des corps gras, une matière à composition ternaire, des sels, et particulièrement des phosphates de chaux, de magnésie et de fer.

La matière azotée, fibrine, albumine végétale, ou gluten, est probablement l'origine de la viande. Par suite de considérations un peu longues à développer, les chimistes ont été conduits à admettre que la faculté nutritive des végétaux est proportionnelle à la quantité d'azote qui entre dans leur composition. Cette loi, qui n'est admissible, bien entendu, que sous la réserve des autres conditions physiques et chimiques que doit présenter une substance alimentaire, fournit un moyen simple de contrôler et de diriger des expériences directes sur la comparaison de la puissance nutritive de différents aliments. Ces expériences sont, du reste, très délicates à exécuter dans la pratique, et jusqu'à preuve contraire, on peut admettre, pour l'équivalent de la puissance nutritive, le chiffre déduit du dosage de l'azote qu'il renferme. Le tableau ci-dessus, extrait de celui dressé par M. Boussingault, donne les équivalents des principaux aliments du bétail déduits de leur teneur en azote.

Les tourteaux de différentes graines étudiés dans ces derniers temps, par MM. Soubeiran et Girardin, ont fourni les résultats analytiques suivants :

Tourteaux de :	Eau p. 100.	Huile p. 100.	Azote p. 100.	Phosph. p. 100.
Cameline. . .	14,5	12,2	5,57	4,20
Faine	14,0	4,0	4,50	2,10
Chanvre. . . .	13,8	6,3	6,20	7,10
Colza.	13,2	14,1	5,55	6,50
Arachide. . .	12,0	12,0	6,07	1,20
Lin	11,0	12,0	6,00	4,90
Œillette. . . .	11,0	14,2	7,00	6,30
Sésame.. . . .	11,0	13,0	5,57	3,20

On déduit facilement de ces nombres que, pour obtenir l'équivalent d'une ration de foin de 12 kil. contenant 138 gr. d'azote, il faut employer :

	kil.
Tourteaux d'œillette.	1,970
— de chanvre.. . . .	2,225
— de lin.. . . .	2,300
— de colza.	2,486
— de sésame.	2,477
— de cameline.	2,477
— d'arachide.	2,673
— de faine.	3,066

DÉSIGNATION DES CULTURES.	EAU normale dans 100 parties.	AZOTE dans 100 parties de substances sèches.	AZOTE dans 100 parties de substances non desséchées.	ÉQUIVALENT théorique.
Foin ordinaire des prairies naturelles.	11,0	1,34	1,15	100
— — de très bonne qualité.	11,0	1,50	1,30	98
Foin de luzerne.	16,6	1,66	1,38	83
Trèfle rouge de 2e année, coupé en fleur, fané. . .	10,1	1,70	1,54	75
— — vert. . .	76,0	»	0,64	311
Paille de froment nouvelle (Alsace).	26,0	0,36	0,27	426
— ancienne des magasins militaires de Paris.	8,5	0,53	0,49	235
Paille de seigle des environs de Paris.	12,6	0,50	0,42	250
— d'avoine —	21,0	0,36	0,30	383
— d'orge —	11,0	0,30	0,25	460
— de pois —	8,5	1,95	1,79	64
Vesces fauchées en fleur et fanées.	11,0	1,16	1,14	101
Navets.	92,5	1,70	0,13	885
Betteraves champêtres.	87,8	1,70	0,21	548
Carottes.	87,6	2,40	0,30	382
Pommes de terre	75,9	1,50	0,36	319
Vesces en grain.	14,6	5,13	4,37	26
Féveroles.	7,9	5,50	5,11	23
Sarrasin.	12,5	2,40	2,10	55
Orge.	13,2	2,02	1,76	65
Avoine.	20,8	2,20	1,74	68
Son de Paris.	13,8	2,77	2,30	50

AGRICULTURE.

Les observations précédentes s'appliquent à l'alimentation de tous les animaux domestiques. Arrivons aux faits qui se rattachent d'une manière plus spéciale à celle de la race bovine.

On nourrit le bétail, soit entièrement au pâturage, soit entièrement à l'étable, soit, enfin, en combinant ces deux méthodes.

La constitution des bêtes à cornes, et la manière dont elles saisissent leur nourriture, ne leur permet pas de se contenter de pâturages aussi pauvres que ceux qui peuvent suffire aux moutons et même aux chevaux. Elles ont besoin d'herbe touffue et d'une certaine longueur. Les meilleurs pâturages sont indispensables aux bêtes à l'engrais. Les vaches laitières n'en exigent pas d'aussi riches; mais l'herbe doit être fine et formée de bonnes plantes. Les pâturages composés de plantes aigres sont surtout funestes aux vaches laitières et aux très jeunes animaux; il ne faut y mettre que les bœufs de travail.

Le nombre d'animaux à placer sur un pâturage doit être soigneusement examiné. Trop nombreux, ils se gênent les uns les autres, et ne trouvent pas une alimentation suffisante. Trop peu nombreux, ils se promènent en tout sens, fatiguent l'herbe, ne prennent que celle qui leur plaît le plus, et n'utilisent que fort imparfaitement le sol où ils se trouvent. Dans les pays où le pâturage est bien organisé, les herbages sont partagés par des haies, ou autrement, en enclos plus ou moins étendus, dans lesquels on ramène les bestiaux quand l'herbe a eu le temps d'atteindre, depuis la dernière pâture, une hauteur de $0^{m},12$ à $0^{m},18$.

La surface de pâturage nécessaire à la nourriture d'une bête à corne est excessivement variable. En général, on admet qu'il faut renoncer à entretenir autre chose que des moutons sur une pâture où une vache du poids de 350 kilog. exige plus de 1hect.,50 de terrain, et qu'il faut consacrer aux bêtes à engraisser un terrain tel que la vache dont on vient de parler n'ait besoin, pour son entretien, que de 0hect.,30.

La nourriture à l'étable se compose de fourrage vert ou sec, de racines fourragères, etc. Elle est généralement beaucoup plus économique que la nourriture au pâturage, et permet, en outre, de recueillir les fumiers qui se dispersent sur le sol, et sont en partie perdus dans l'autre méthode d'alimentation.

La ration journalière des animaux, en foin, peut s'évaluer, pour les entretenir seulement, à 1/60 de leur poids vivant, ce qui fait environ, par an, six fois leur poids de foin.

Produits du bétail. — Travail. On peut atteler les bœufs, les vaches et les taureaux eux-mêmes avec quelques précautions. Les bœufs travaillent bien depuis leur quatrième année jusqu'à l'âge de neuf ou dix ans. On estime qu'une paire de bœufs fait les 3/4 ou les 4/5 du travail d'une paire de chevaux dans les mêmes conditions d'âge et d'énergie. Le bœuf parcourt de $0^{m},80$ à 1 mètre par seconde, selon sa taille. Il convient surtout dans les pays montagneux, et pour les travaux qui exigent surtout un effort continu et régulier. Les moyens à employer pour conduire des bœufs sont très différents de ceux qui conviennent aux chevaux. Quand on veut introduire dans un pays l'usage de faire travailler les bœufs, il faut y amener un bouvier de profession; car un charretier arriverait difficilement à posséder la patience et l'habitude que nécessite l'emploi du bœuf, qui obéit surtout à la voix de son conducteur. La ration de travail ou d'entretien du bœuf se calcule à peu près en fonction de son poids comme pour le cheval.

On a beaucoup agité la question de savoir s'il est avantageux de faire travailler les vaches laitières. Il est certain que le travail fait diminuer la production de lait; mais il peut arriver que la perte éprouvée de ce côté soit compensée par le travail obtenu, cela dépend du prix et de la quantité relative de ces deux valeurs. Il a été fait peu d'expériences positives à cet égard; voici l'une des plus nettes : huit vaches semblables, et nourries de la même manière, furent partagées en deux lots; les quatre premières, travaillant une demi-journée par vingt-quatre heures, produisirent chacune, en moyenne, 616 litres de lait, et perdirent 6 kilog. de leur poids. Les quatre autres, restées à l'étable, donnèrent, dans le même temps, 658 litres de lait, et gagnèrent 18 kilog. en poids. Il est vrai que ce lait était moins butireux que celui des vaches de travail. On peut calculer ce qu'avait coûté le travail obtenu en fixant le prix du lait et celui de la viande vive.

Production du lait. La laiterie forme souvent un des éléments principaux d'une opération agricole. Le choix des vaches destinées spécialement à la production du lait est donc on ne peut plus important. Jusque dans ces derniers temps, on n'avait, pour reconnaître à l'avance une vache laitière, aucun moyen positif; mais les judicieuses observations de M. Guénon l'ont conduit à reconnaître d'une manière certaine si une vache est bonne laitière, et même à estimer, jusqu'à un certain point, la quantité de lait qu'elle peut fournir. Il faudrait de nombreuses figures et beaucoup d'espace pour indiquer les principes posés par M. Guénon; d'ailleurs, son ouvrage vient d'être publié, et l'on doit, pour le moment, laisser à l'auteur de cette remarquable et utile découverte le soin de l'exposer lui-même d'une manière complète.

La quantité de lait fournie par une vache est extrêmement variable; elle dépend de sa nature, de son âge, de l'époque de l'année, etc., etc. Les observations de différents agronomes sont tellement dissemblables que l'on se demande si elles ont été faites d'une manière comparable. Cette quantité est évaluée à 1,700 lit. par an, par M. Perrault de Jotemps, dans l'Ain, pour une vache pesant 400 kilog. et consommant $12^{k},5$ de foin par jour; à 915 lit. par M. d'Angeville, dans le même département, pour une vache pesant 275 kilog., et consommant $6^{k},3$ de foin; à 1,416 lit., en moyenne, par Mathieu de Dombasle, dans la Meurthe, pour des vaches consommant 10 kilog. de foin. On cite souvent des rendements de lait vraiment prodigieux; ainsi, M. de Crud rapporte que des vaches ont donné jusqu'à 40 lit. de lait par jour; Thaër va même plus loin encore. En Normandie, j'ai souvent entendu citer des faits semblables; mais je n'ai jamais pu en observer; s'ils sont vrais, ils sont tout à fait anormaux; un produit de 30 lit. paraît déjà un chiffre extrêmement élevé.

A Béchelbronn, M. Boussingault a jaugé très exactement, pendant un an, le lait de sept vaches laitières; elles recevaient, chaque jour, l'équivalent de 15 kilog. de foin, et ce fourrage, quand elles n'étaient pas au vert, entrait pour une forte proportion dans la ration. Les vaches soumises à l'expérience pesaient respectivement 760, 659, 811, 715, 600, 700, 612 kilog.; elles ont produit, dans l'année, 2,938, 3,142, 2,235, 2,235, 2,056, 1,596, 3,372 lit., ce qui fait 2,511 lit., en moyenne, par an et par vache, ou $6^{lit.},8$ par jour, en moyenne, ou bien enfin, $8^{lit.},3$ par jour de rendement, dont le nombre a été, en moyenne, de 302,5 pour chaque vache. Les observations ainsi faites peuvent être influencées par différentes circonstances; il vaudrait mieux mesurer le lait produit d'un part à l'autre.

La plus ou moins grande abondance de lait semble dépendre surtout de la quantité réelle d'aliments consommés; mais la qualité du produit dépend de la nature de ces aliments, et leur choix influe beaucoup sur la finesse du beurre ou des fromages, et par suite sur la valeur vénale de ses produits.

Il faut de 25 à 35 lit. de lait pour fabriquer un kil. de beurre, et 6 à 8 lit. pour faire 1 kilog. de fromage de Camemberg (voyez BARATTE).

Production de la viande. — Engraissement. On engraisse le bétail à l'étable ou au pâturage. Ce dernier procédé ne s'applique sur une grande échelle qu'en Normandie. Les bêtes du pays, de sept à dix ans, sont achetées par les herbagers aux foires d'automne, et passent l'hiver au pâturage. On ne les rentre que pendant les neiges prolongées. Pendant les grands froids, on leur donne un peu de foin dans l'herbage. Aux foires du printemps, on achète surtout des bêtes de l'Anjou, du Poitou, et on les met à l'herbe pendant l'été, en commençant par les placer dans les moins bons herbages, et en terminant par les meilleurs. Les bœufs et les vaches sont séparés; on met un taureau avec ces dernières pour couvrir celles qui deviendraient en chaleur. Les animaux mis au pâturage en mai sont généralement engraissés quatre ou cinq mois après. On engraisse, dans les fonds de première qualité, en Normandie, un gros bœuf sur une étendue de 24 à 25 ares; un bœuf moyen, sur les fonds de seconde qualité, sur une étendue de 40 ares, et enfin, un petit bœuf, sur 30 ares de troisième qualité.

Tous les animaux ne sont pas également propres à l'engrais. La quantité de nourriture nécessaire pour amener à point un individu dépend de son espèce, de son âge et de son tempérament particulier. Certaines races sont particulièrement propres à la boucherie. Les durham, par exemple, dont la fig. 170 représente un

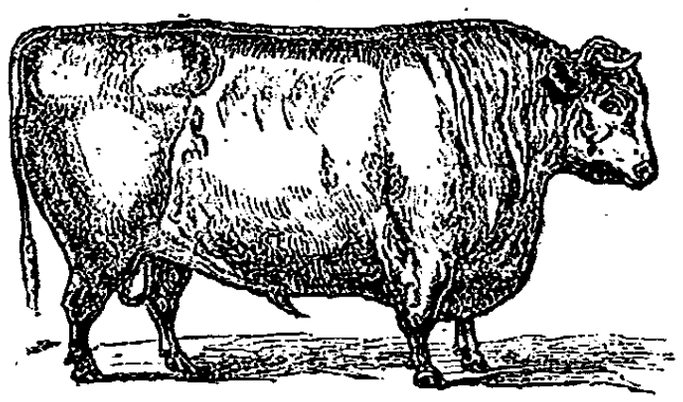


Fig. 170.

des plus beaux types, avec leurs jambes courtes, leur corps arrondi, leur poitrine vaste, leur dos large et plat, semblent destinés seulement à la production de la viande. Bien que ces animaux puissent aussi travailler, et que les vaches soient souvent de bonnes laitières, c'est surtout pour l'engraissement qu'ils présentent le plus d'avantages, en raison de leur précocité et de la bonne qualité de leur viande.

Les bêtes engraissées à l'étable doivent être nourries avec beaucoup de régularité, entretenues avec propreté, et préservées de toute cause de trouble ou d'inquiétude. L'âge le plus convenable à l'engraissement varie de quatre à huit ans, selon les espèces et les individus.

Un bœuf de 340 kilog., consommant par jour 18 à 20 kilog. de foin, peut gagner en poids 0k,900 environ. La ration en foin, ou son équivalent d'autre matière, est calculée, en moyenne, à raison de 4 à 5k,5 p. 100 du poids vif de l'animal. L'engraissement augmente avec la nourriture consommée; mais, passé une certaine limite, l'accroissement du poids est une trop petite fraction de celui de la nourriture pour qu'il y ait avantage à continuer.

L'accroissement de poids vif, par jour, est de :

0k,93,	soit pour	100 kil.	de foin consommé	5k,03[1]
0k,91	—	100	—	4k,25[2]
0k,94	—	100	—	4k,20[3]
8k,89	—	100	—	5k,70[4]
0k,95	—	100	—	7k,70[5]

[1] Suivant Thaër. — [2] Law. — [3] Stéphenson, premier lot — [4] Stéphenson, deuxième lot. — [5] Dubois.

On peut citer des accroissements journaliers beaucoup plus considérables, et s'élevant, pour des durham, à plus de 1,100 gr. par jour; mais les auteurs qui rapportent ces exemples ont exprimé la nourriture en volume et non en poids, ce qui rend impossible tout calcul précis.

Le rendement, en chair nette et autres produits d'un animal vivant, est un des éléments principaux du commerce de la boucherie dans ses rapports avec l'agriculture. Nous devons citer les chiffres les plus généralement admis à ce sujet.

D'après Thaër, 100 kilog. de poids vivant donnent 53k,5 de chair nette, pour un bœuf qui n'est pas tout à fait maigre; 55 kilog. pour un bœuf un peu gras, et 61 kilog. pour un bœuf gras. Stephenson admet, en moyenne, que 100 kilog. de poids vif fournissent :

Chair nette.	57,7
Suif.	8,0
Peau.	3,5
Entrailles et dépouilles.	28,0

Ces chiffres se rapprochent assez de la moyenne; mais souvent on obtient des résultats plus avantageux. Sinclair cite un beau bœuf de Devonshire pesant, en vie, 704 kilog., qui a fourni :

Viande de boucherie.	70,0
Cuir.	5,5
Suif.	9,2
Entrailles et sang.	10,5
Tête et langue.	2,4
Pieds.	1,4
Cœur, foie et poumons.	1,3

Ce n'est pas seulement le rapport de la viande nette au poids vif qui varie beaucoup d'un animal à l'autre; le rapport de la viande de choix aux bas morceaux n'est pas moins variable, et c'est en cela surtout que se manifeste plus encore peut-être l'influence des races. Ainsi, deux bœufs à peu près de même force, le premier, normand, saintongeais ou charollais, et le deuxième, durham, fourniraient pour 100 kilog. de viande nette :

	Premier.	Deuxième.
En première qualité.	31,07	65,11
En deuxième qualité.	26,25	10,17
En troisième qualité.	42,66	24,70

II. RACE CHEVALINE.

Jusqu'au moment de l'invention des locomotives, le cheval avait été à peu près le seul moteur employé pour les transports. On sait le rôle qu'il remplissait dans les guerres du moyen âge. La France possède aujourd'hui environ 3,000,000 de chevaux, qui se renouvellent chaque année dans la proporton de 1/8 à 1/10 de ce nombre. La production du pays ne suffit pas à sa consommation; les contrées limitrophes en importent chaque année un nombre considérable.

L'espèce chevaline offre plusieurs variétés et sous-variétés qui changent avec le climat et le but spécial auquel on les destine.

On distingue principalement les races de trait et les races de selle. Dans cette dernière classe viennent se ranger en première ligne les chevaux arabes, si re-

marquables par l'élégance de leurs formes et leurs excellentes qualités; puis les chevaux limousins, navarins, de la Camargue, etc., ainsi que le cheval de course anglais (fig. 471), auquel on attache en France,

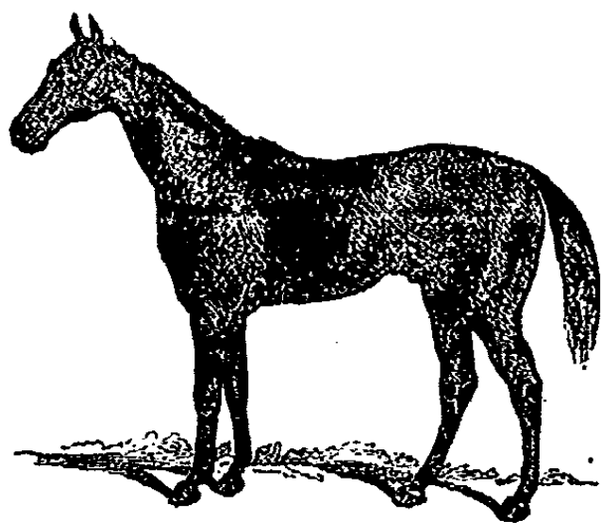


Fig. 471. Voltigeur (courses de Derby, 1850).

depuis un certain nombre d'années surtout, une valeur que ne semblent pas justifier, à beaucoup près, ses propriétés spéciales et ses qualités si exclusives. Parmi les races de trait on remarque particulièrement les chevaux boulonnais, poitevins, comtois, normands, et enfin le cheval percheron, si particulièrement approprié au service des voitures de poste et de messageries.

L'influence du croisement des races de chevaux sur leurs qualités, et les soins à donner aux élèves, ont été l'objet de sérieuses études. On a fait, en revanche, sur la nourriture du cheval et son entretien beaucoup moins d'expériences que sur celle du bétail. On admet qu'un cheval de taille moyenne, et soumis à un travail ordinaire, est convenablement nourri avec 3k,74 de foin et 4k,21 d'avoine, équivalant à 6k,48 de foin, en tout, 10k,22 de foin. En 1840, les chevaux de la garde municipale recevaient : foin, 5 kilog.; avoine, 3k,60; paille, pour nourriture et litière, 5 kil. Les gros chevaux de charrette consomment à peu près, à Paris, 7 kilog. de foin et 7 à 8 kilog d'avoine, ration équivalente à plus de 19 kilog. de foin.

La ration des chevaux de cavalerie, en France, se compose de :

	Réserve.	Ligne.	Légère.
Foin.	4 kil.	3kil.	3 kil.
Avoine . . .	4,20	4	3
Paille. . . .	5,00	5	5

La proportion d'avoine a été augmentée par suite de la difficulté que l'on éprouvait à faire fournir de bons foins. Du reste, cette ration serait insuffisante pour des chevaux soumis à un travail régulier; elle n'équivaut, en effet, qu'à 10 ou 11 kilog. de foin; et, dans la plupart des exploitations rurales bien dirigées, les chevaux reçoivent une quantité de nourriture équivalente à 15 kilog. de foin environ.

Dans le Midi on remplace souvent l'avoine par du maïs, de l'orge ou du seigle. Les racines cuites ou crues peuvent avantageusement entrer pour un tiers ou un quart dans la ration du cheval. On peut également, dans certains cas, remplacer économiquement une partie du foin ou de l'avoine par de l'ajonc pilé, de la paille hachée, etc. Les chevaux bien soignés mangent ordinairement trois fois par jour : le matin, avant le travail; au milieu de la journée; et le soir, en rentrant à l'écurie.

Il existe certainement une relation entre la ration

d'entretien et le poids des chevaux; mais, jusqu'à présent, peu d'agriculteurs se sont occupés de la rechercher. A Bécholbronn, la ration s'élève à 3k,08 de foin par 100 kilog. du poids des animaux, dont le poids moyen est de 486k,5.

D'après M. Payen, un cheval abattu, posant 401 kil., a donné :

Chair.	230
Os.	50
Sang.	28
Graisse.	35
Issues.	30
Peau	23
Crins.	0,5
Sabots et fers.	2,5
	401

Travail. Il n'existe pas encore assez d'expériences pour permettre de déterminer le travail que peut produire un cheval dans des circonstances déterminées. M. de Gasparin estime qu'il faut ajouter à la ration d'entretien d'un cheval une quantité d'aliments renfermant 0s,084 d'azote par 1,000 kilogrammètres de travail produit. La ration d'entretien d'un cheval, d'après cet auteur, étant calculée de manière à contenir 20 gr. d'azote par 100 kilog. du poids de l'animal, devrait être augmentée de façon à renfermer autant de fois 0s,084 d'azote qu'il produirait 1,000 kilogrammètres. Comme on ne peut pas savoir chaque jour le travail produit, on peut admettre comme une évaluation large que la ration doit contenir, pour un cheval travaillant, 47 gr. d'azote par 100 kilog. du poids de l'animal. Il est bien entendu, d'ailleurs, que cette nourriture est composée des substances habituellement employées à cet usage, et qui, pour cette dose d'azote, renferment plus que le carbone brûlé par la respiration. Il faut, d'ailleurs, que cette nourriture soit assez substantielle pour ne pas gonfler l'animal, et cependant assez volumineuse pour le lester. Ces deux dernières conditions conduisent au mélange de foin et d'avoine généralement usité ou à des rations d'une composition analogue. D'ailleurs, en dehors de ces principes mathématiques en quelque sorte, on ne doit jamais perdre de vue, pour les chevaux comme pour tous les autres animaux, les conditions imposées par leurs goûts et leur organisation propre, qui font souvent rejeter par certaines races les aliments qui conviennent parfaitement à d'autres.

III. RACE ASINE.

On distingue, en France, deux races d'ânes : les gros baudets du Poitou et les grands baudets de Gascogne. Les premiers ont 4 pieds 4 pouces à 4 pieds 9 pouces; ils sont gros, étoffés, généralement noirs, avec le nez blanc. Quelques-uns de ces animaux, très estimés, ont encore, à cinq ou six ans, leur poil de lait mêlé et très abondant, comme on le voit par le dessin (fig. 472) de l'un de ces animaux entretenu à l'institut de Versailles. La seconde espèce est plus haute, plus mince, et moins forte que celle-ci. La plupart des ânes que l'on rencontre dans les villes et dans les petites exploitations se rapprochent bien peu, il faut l'avouer, des deux races que l'on vient d'indiquer; généralement maltraités, mal nourris et accablés de travail, ils ne présentent que des individus abâtardis, et chez lesquels il serait difficile de reconnaître la trace d'une race caractérisée.

L'élève des ânes et des mulets offre une grande importance dans quelques parties de la France, et surtout en Poitou. Il n'est pas rare de voir, dans ce dernier pays, des ânes étalons atteindre une valeur de

4,000, 5,000 et même 8,000 francs. On conserve, pour la reproduction, les plus beaux individus; les autres

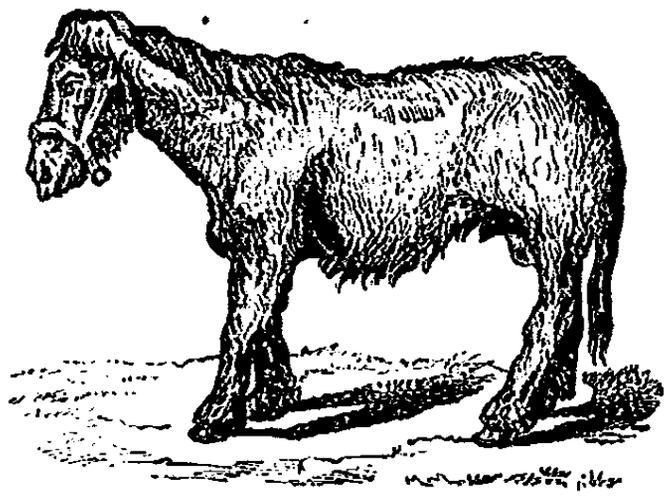


Fig. 172.

sont vendus ou exportés pour servir à différents travaux.

Il n'existe pas d'expériences sur la consommation et le travail de l'âne; mais sa sobriété, sa force, et la qualité de son fumier, le rendraient certainement précieux dans beaucoup de localités trop pauvres et trop arides pour entretenir des chevaux.

IV. RACE OVINE.

La race ovine fournit à l'homme de la chair, de la laine et quelquefois du lait. Elle offre ainsi des produits nombreux et importants; mais elle exige des soins attentifs, et est soumise à un assez grand nombre d'affections qui font éprouver aux propriétaires des pertes considérables, qui ont souvent découragé beaucoup d'agriculteurs.

Guidés par les mêmes principes pour tous les animaux de boucherie, les Anglais ont obtenu une race de moutons (fig. 173) remarquable par son aptitude à

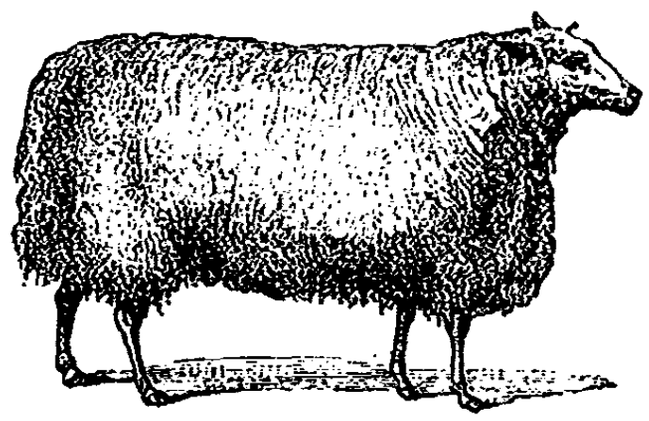


Fig. 173. (Primé à Édimbourg en 1848).

l'engraissement, et par la qualité de la laine de certaines variétés. (Voy. MOUTON.)

Les races ou variétés les plus répandues en France sont désignées par le nom des contrées où on les rencontre principalement; tels sont les moutons du Roussillon, de l'Auvergne, du Poitou, des Ardennes, du Berry, de Sologne, etc. En Angleterre, on estime surtout les south-down, les new-kent et les dishleys. Ces derniers commencent à se multiplier en France, ainsi que les mérinos et divers produits de leurs croisements. (Voy. MOUTON.)

Le pâturage est le régime le plus convenable à la santé

des troupeaux de moutons; mais il doit être dirigé avec beaucoup de soins et d'intelligence. Un bon berger est de toute nécessité pour arriver à avoir un bon troupeau. Un berger et son aide suffisent à un troupeau de trois cents têtes. Le mouton craint surtout l'humidité et le brouillard; on peut lui faire passer la nuit dehors, l'été; mais, en général, il est plus sûr de le rentrer chaque soir; il faut éviter de le laisser le jour à l'ardeur du soleil.

Un mouton de taille moyenne mange, par jour, 4 kilog. d'herbes vertes ou 1 kilog. de foin sec. Cette dernière nourriture ne lui est pas propice. Il est bon de la varier en mettant une quantité de racines équivalente à la demi-ration.

On engraisse les moutons par un pâturage abondant, à l'étable, ou en combinant ces deux méthodes. L'engrais à l'herbage n'exige que deux mois ou deux mois et demi, dans des circonstances favorables. La luzerne, le trèfle et le sainfoin sont les plantes qui engraissent le plus vite; mais les deux premières produisent facilement la météorisation.

L'engraissement à l'étable se fait de différentes manières, suivant les lieux et le prix des denrées : tantôt avec des résidus de sucreries, tantôt avec du grain ou des graines légumineuses concassées. Dans beaucoup de localités, la ration se compose, par jour, de 1 kil. de foin, et de 400 à 500 grammes de tourteaux et d'avoine. On supprime les tourteaux, et on les remplace, pendant les quinze derniers jours de l'engraissement, par du grain, pour éviter le goût désagréable qu'ils donnent à la viande. Les navets conviennent parfaitement à l'engraissement des moutons; ils communiquent à la viande de très bonnes qualités. On peut les faire consommer sur place ou à l'étable, après les avoir fait couper et mêler avec de la paille, du foin haché, ou des balles et un peu de sel, dont l'usage paraît, en général, très avantageux dans l'engraissement du mouton. D'après M. Barral, il faut par jour à un mouton du poids de 25 kil. une dose de sel comprise entre 3 et 9 grammes, et dans les plus ordinaires de 5 grammes, en supposant qu'il n'y ait pas de sel naturellement renfermé dans la ration alimentaire.

La ration journalière des moutons à l'engrais est réglée, en moyenne, à raison de 3 kil. de foin, ou d'une quantité équivalente d'autres matières, pour 100 de poids vivant. L'augmentation de poids, dans de bonnes conditions, varie de 7 à 8 kil. par 100 kil. de foin consommé.

Le fumier produit par les moutons présente une grande importance quand on le recueille convenablement. Le parcage est le moyen le plus économique d'atteindre ce résultat. Il consiste, comme on sait, à renfermer, pendant la nuit, les moutons dans une enceinte facile à déplacer, et établie sur le champ labouré que l'on veut fumer. On regarde la fumure comme très forte quand chaque mouton, occupant un mètre carré de surface, en moyenne, reste deux nuits sur le même champ; elle est déjà forte quand il n'y passe qu'une nuit.

Les moutons abattus donnent de 40 à 50 kil. de viande de boucherie pour 100 kil. de poids vivant.

La quantité de laine produite annuellement par un mouton n'est pas moins variable que sa qualité. Elle dépend à la fois de la nourriture de l'animal, de son espèce et des soins qui lui sont donnés. On estime qu'un mouton produit par an, en moyenne, 1 kil. de laine; mais cette quantité s'élève quelquefois jusqu'à 4 et 5 kil. On trouvera au mot LAINE le mode de lavage et de préparation des toisons. Pour donner une idée des différences qui existent d'une laine à l'autre, nous reproduirons seulement les quelques chiffres suivants.

AGRICULTURE.

ESPÈCES OU RACES.	DIAMÈTRE d'un brin.	NOMBRE de courbures dans un centimètre.	LONGUEUR moyenne.	OBSERVATIONS.
	mm.		m.	
Mouflon de Corse. laine.	0,014	12 à 13	0,015	Des écailles très sensibles.
Mouflon de Corse. poil..	0,180	5	0,027 à 0,030	De très petites écailles.
Rambouillet-mérinos. . .	0,025	8 à 10	0,080	Des écailles nombreuses divisées.
Rambouillet-mauchamps.	0,038	5 à 6	0,073	— —
Mauchamps de Reims. . .	0,026	3 à 4	0,105	Des écailles plus grandes que dans les deux races précédentes.
Newkent-mérinos.. . . .	0,030	9 à 10	0,070	De grandes écailles.
Anglo-mérinos.	0,046	9 à 11	0,075	De nombreuses petites écailles.
South-down..	0,036	8 à 10	0,080	De grandes écailles.
Dishley.	0,028	30	0,221	De larges écailles.

V. RACE PORCINE.

Le porc est omnivore; mais la nature de ses aliments influe beaucoup sur les résultats de son engraissement. Il se multiplie très facilement; la truie porte pendant trois mois et quelques jours. On peut avoir deux portées par an. Chaque portée est de huit à neuf petits, mais quelquefois ce nombre s'élève jusqu'à quinze ou seize. Les porcs destinés à l'engrais sont châtrés à six semaines ou à six mois, selon qu'ils doivent être mis à l'engrais vers dix mois, ou seulement à deux ans. Ce dernier âge paraît plus convenable. La durée de l'engraissement varie de douze à vingt semaines, suivant l'aptitude du sujet et le degré d'engraissement que l'on veut atteindre.

Certains porcs prennent par l'engraissement un développement énorme. La fig. 174, dessinée d'après un

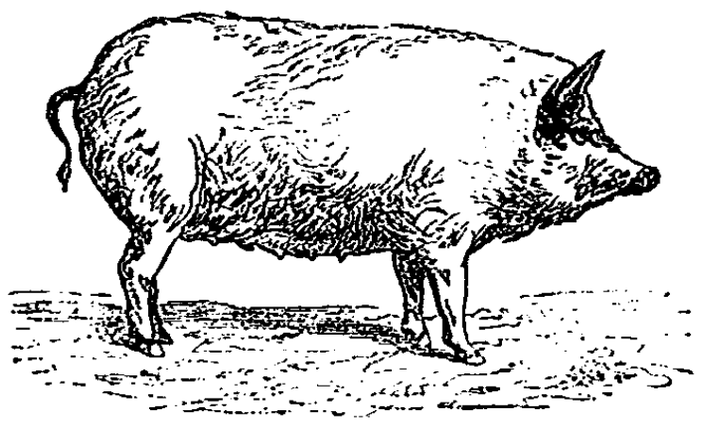


Fig. 174.

individu de race anglaise perfectionnée, offre un exemple remarquable des résultats que l'on peut obtenir en s'appliquant à développer chez les animaux domestiques l'aptitude à l'engraissement.

On mêle aux aliments des porcs les résidus de la laiterie, les eaux grasses et une foule de produits qu'ils transforment en chair, et qui sans eux passeraient directement aux fumiers. L'évaluation de cette partie de leur ration est difficile à obtenir et figure cependant pour une forte part dans leur alimentation, de sorte que les expériences même les mieux faites sur la nourriture du porc présentent une lacune importante. Quoi qu'il en soit, voici les chiffres les plus précis à cet égard .

A Bechelbronn, la nourriture donnée aux truies, au moment où elles viennent de mettre bas, est d'autant plus considérable qu'elles ont une plus forte portée. Pendant les cinq semaines que dure l'allaitement, on donne par jour à une truie ayant cinq petits :

Pommes de terre cuites. . . .	11k,250
Seigle et farine.	1k,225
Lait écrémé et caillé.	6k,005

On diminue ensuite progressivement cette ration, qui équivaut à 8k,23 de foin, de manière à la ramener à 7k,5 de pommes de terre cuites, équivalant à 2k,38 de foin. Les gorets, au moment du sevrage, reçoivent par tête et par jour 0k,67 de pommes de terre cuites, 0k,15 de farine de seigle et 0k,26 de lait écrémé et caillé. On diminue progressivement le lait et la farine en augmentant les pommes de terre, de manière qu'à l'âge de trois mois environ chaque animal reçoit 5 à 6 kil. de pommes de terre délayées dans de l'eau grasse. Cette ration d'entretien est continuée jusqu'au moment de l'engraissement.

Sept porcs de quinze mois pesant ensemble 769 kil., ont consommé à Béchelbronn, en cent quatre jours, 351 kil. de seigle, 474 kil. de pois, 4,320 kil. de pommes de terre, et une quantité d'eaux grasses et de petit lait qui n'a pu être évaluée. Ils pesaient après l'engraissement 955 kil., ce qui fait un accroissement moyen par tête et par jour de 0k,26. A l'abattage, on a obtenu de ces sept animaux :

Sang.	35 kil.
Tête, pieds et issues.	135
Corps.	785
	955

CHAPITRE VIII.

CONSTRUCTIONS RURALES.

Les bâtiments ruraux présentent généralement en France une apparence des moins satisfaisantes. Groupés sans ordre, mal exécutés, plus mal entretenus, ils n'offrent que l'aspect de la misère et de l'abandon. La bonne construction d'une ferme exerce cependant sur son exploitation une influence plus grande qu'on ne serait porté à le croire, et l'on ne saurait assez blâmer l'incurie ou l'ignorance des propriétaires qui n'apportent ni goût, ni soin dans leurs travaux de bâtisse. On peut presque toujours, sans augmenter la dépense, et avec les matériaux dont on dispose, donner à une construction une certaine élégance de forme et un degré de propreté et de convenance dont l'influence se fait constamment sentir sur les habitudes des ouvriers du domaine.

Nous n'avons ici qu'à donner quelques indications sur la disposition générale des bâtiments ruraux, et sur le mode de construction de quelques-unes de leurs parties élémentaires, sans nous arrêter aux procédés

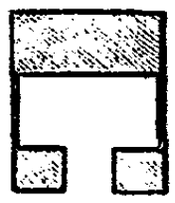
d'exécution des différents ouvrages que nos lecteurs connaissent d'avance, ou qu'ils trouveront disséminés dans les nombreux articles du *Dictionnaire* consacrés à l'art des constructions.

Choix de l'emplacement. Il est rare qu'on ait à établir complétement à nouveau les bâtiments d'une exploitation agricole et par conséquent à choisir leur emplacement. Dans le plus grand nombre des cas, on a seulement à aménager d'anciens bâtiments ou à construire dans un point rendu obligatoire par un motif ou par un autre. Mais quand on est libre de choisir l'emplacement des constructions, on ne saurait apporter trop de soin dans sa détermination, afin qu'il soit salubre, abrité des vents dangereux, voisin d'eaux vives, et le plus rapproché possible de bons chemins d'exploitation et du centre de gravité des transports.

Dans tout établissement rural doit se trouver une cour, où les attelages puissent se remuer facilement; cette cour doit avoir *au moins* 16 mètres de côté. Cette dimension minimum, combinée avec les autres nécessités auxquelles sont astreints les bâtiments, conduit à adopter comme forme générale l'une des quatre dispositions suivantes. Quand le développement des bâtiments ruraux ne doit pas dépasser 32 mètres, on adopte la première (fig. 175), consistant en une seule ligne de

Fig. 175

Fig. 176.



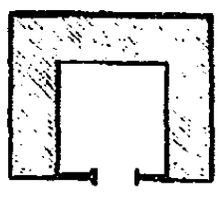


Fig. 177.

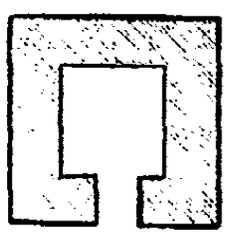


Fig. 178.

bâtiments, à l'exposition sud, et précédés d'une cour fermée de murs. Quand les bâtiments auront de 32 à 50 mètres, on pourra les disposer de chaque côté de la cour comme on le voit dans la fig. 176, ou bien en retour d'équerre (fig. 177) quand ils devront avoir de 50 à 75 mètres, et enfin entourant complétement la cour (fig. 178), quand on aura besoin de constructions plus importantes.

Il est bien entendu d'ailleurs que les limites précédentes n'ont rien d'absolu, et qu'elles peuvent être modifiées par une foule de circonstances locales; mais les dispositions générales des figures précédentes qui se rencontrent le plus généralement étaient bonnes à indiquer.

Les fig. 179, 180, 181 et 182 et les légendes qui les accompagnent donnent le détail des dispositions générales de plusieurs fermes que nous avons eu l'occasion de visiter en Angleterre. Ces constructions sont peut-être trop importantes pour les besoins de la plupart de nos exploitations rurales. Nous avons cru cependant nécessaire de les indiquer; les grandes opérations agricoles, les entreprises de dessèchement ou d'irrigation, sont à nos yeux des travaux d'intérêt général qui ne peuvent tarder à appeler sur eux l'attention de l'État et des associations; l'étude de grandes usines agricoles doit dès lors trouver place dans cet ouvrage, éminemment industriel.

Les fig. 179 et 181 représentent le plan et l'élévation de bâtiments employés à l'exploitation d'une ferme de 800 hectares environ, principalement consacrés au pâturage. Les bâtiments sont peu étendus et d'une disposition simple, ainsi qu'il convient à une exploitation de cette nature.

Les fig. 180 et 182 donnent le plan et l'élévation des bâtiments d'une ferme de 120 hectares environ, établie dans le voisinage d'une ville, pour l'exploitation de terres d'une grande valeur.

Les légendes jointes à ces différentes figures suffisent pour en faire saisir les détails. Après avoir indiqué rapidement, comme on vient de le faire, les dispositions d'ensemble des différents bâtiments destinés à l'exploitation d'un domaine, revenons à l'étude particulière de chacune de ces constructions.

Habitation. Nous n'avons rien à dire de la distribution de la maison d'habitation d'un propriétaire ou d'un riche fermier. Elle dépend du goût, des besoins et des moyens de chacun, et il convient presque toujours de s'adresser à un bon architecte pour obtenir avec la moindre dépense le plus de comfort possible. Les seules conditions dont personne ne doit s'écarter sont une bonne exposition, un aérage complet et des dimensions un peu spacieuses, toujours indispensables à la campagne.

L'habitation des petits fermiers et des ouvriers agricoles est trop souvent négligée. On ne saurait cependant apporter assez de soin à un sujet d'un intérêt aussi général; les hommes éclairés doivent d'autant plus s'en préoccuper que ceux qu'il concerne sont presque toujours incapables de donner au travail une direction convenable. Les deux exemples de construction de cette espèce que nous donnons ici sont moins des types à

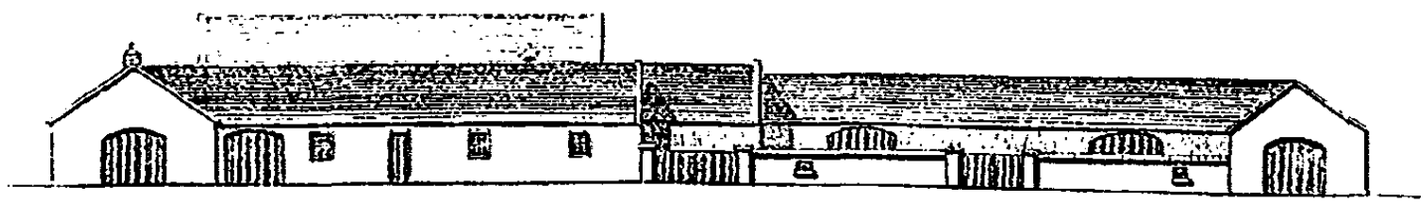


Fig. 179. (Élévation du plan fig. 181.)

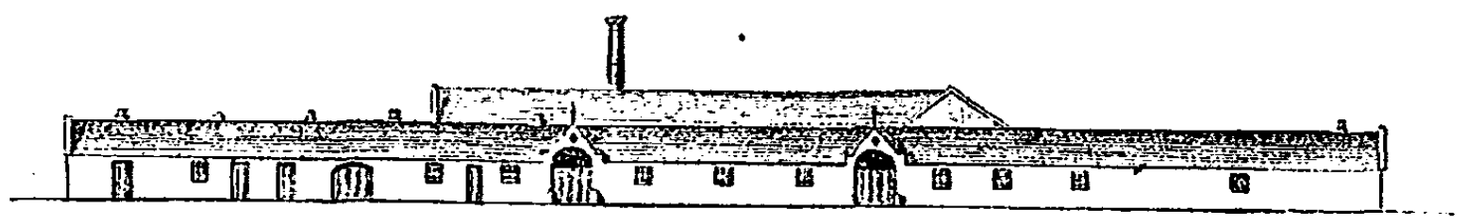


Fig. 180. (Élévation du plan fig. 182.)

AGRICULTURE.

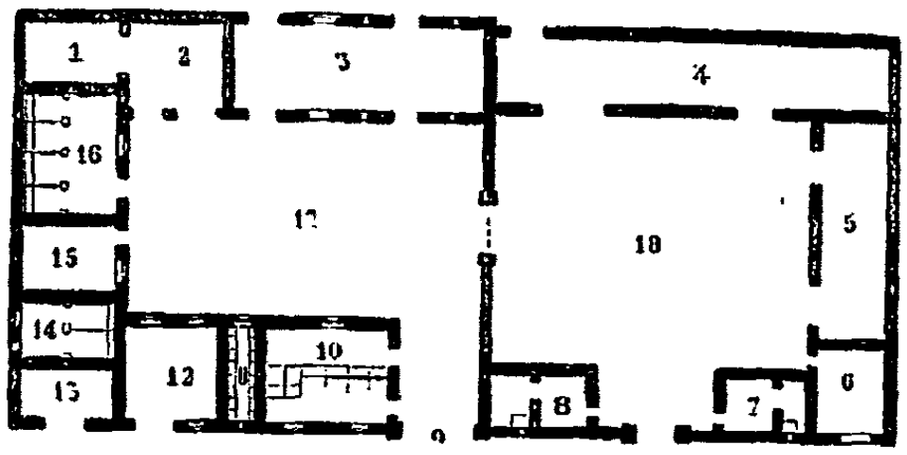


Fig. 481 (0,0013).

1, 2 Dépôt des instruments et des voitures.
3 Machine à battre.
4, 5 Hangars.
6 Dépôt de racines
7, 8 Porcherie.
9 Entrée.
10 Etable à vaches.
11 Poulailler.
12 Chaudières.
13 Remise.
14 Ecurie des chevaux de selle.
15 Grenier à foin.
16 Ecurie des chevaux de travail.
17, 18 Cours.

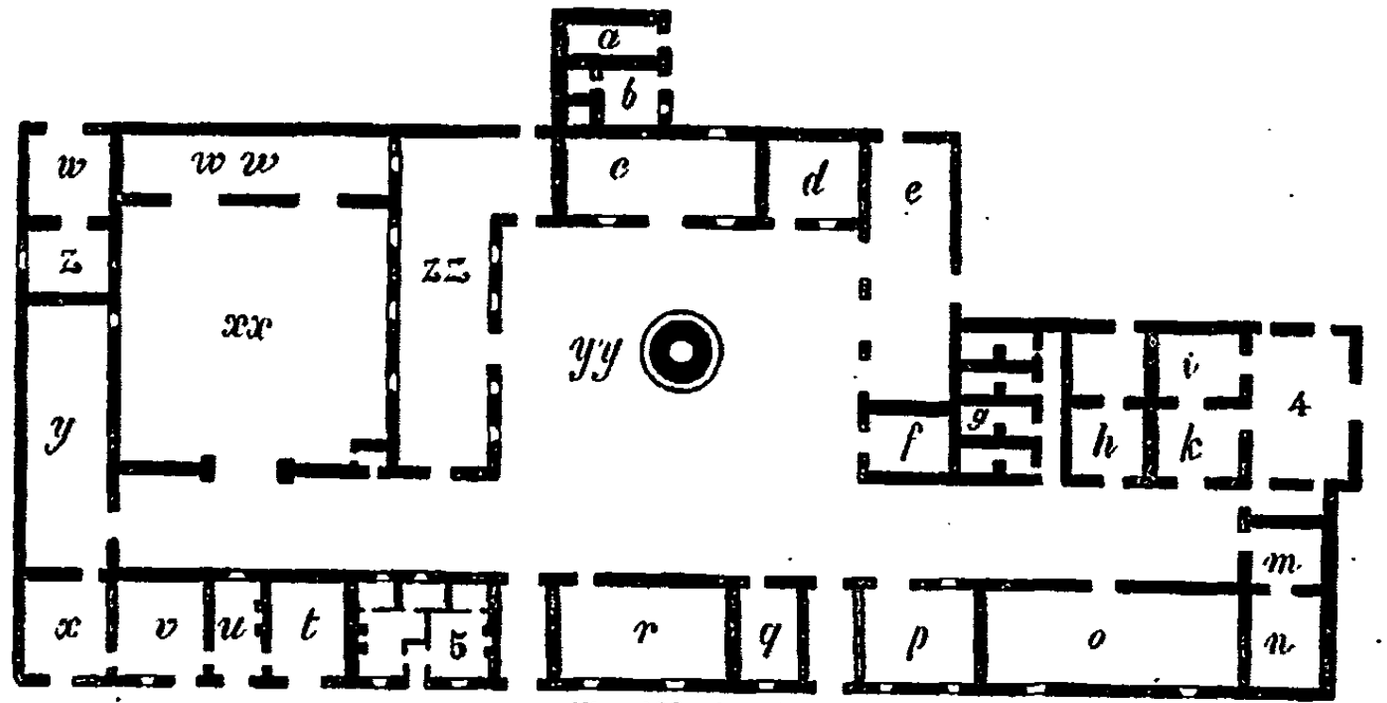


Fig. 482 (0,0013).

a, b Chaudière et machine à vapeur.
c, d Machine à battre, coupe-racines, etc.
e Hangar avec grenier.
f Instruments.
g Porcherie.
h. i, k, l Etables à vaches et cours de service.
m, n Etables pour taureaux
o Dépôt de racines.
p Menuiserie.
q Poulailler.
r Chaudières.
s Logement des domestiques.
t, u, v Remise, sellerie, écurie.
x Grenier à foin.
y Ecurie des chevaux de travail
z, w Infirmerie et cours de service.
w w Hangar.
z z Grange.
x x Cour.
y y Abreuvoir.

imiter d'une manière rigoureuse que des cadres qui permettent de fixer les principales dimensions des pièces les plus importantes.

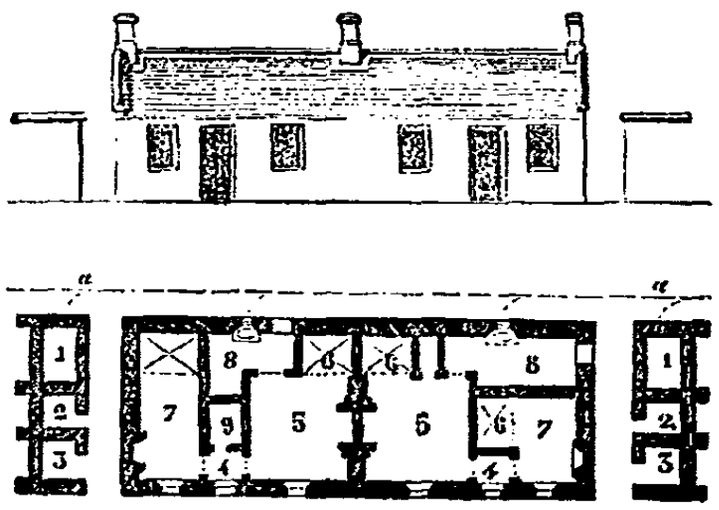


Fig. 483 (0,002).

1. 1 Dépôts de cendres.
2. 2 Latrines.
3. 3 Combustibles.
4. 4 Entrées.
5. 5 Cuisines
6, 6 Lits
7, 7 Chambres.
8, 8 Laveries et évier.
a, a Drains.

La fig. 483 indique une disposition de maison à un étage, pour deux familles d'ouvriers agricoles.

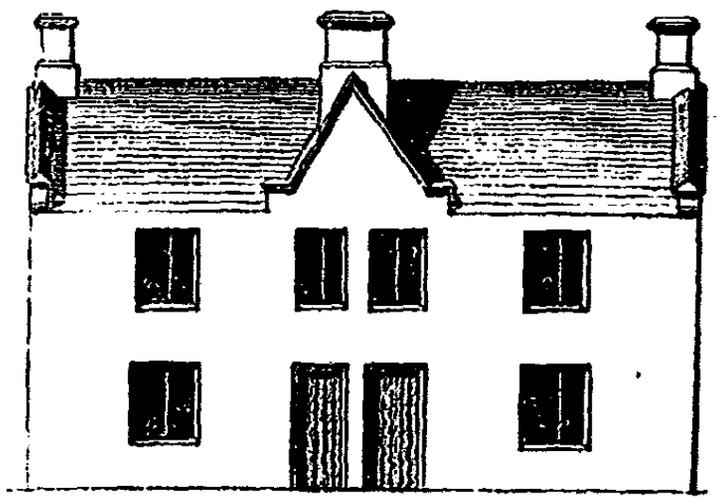
La fig. 484 donne la disposition d'un logement plus satisfaisant, à deux étages. Toutes les fois que des circonstances particulières n'y mettent pas un obstacle absolu, cette seconde disposition est préférable ; elle est plus propre, plus salubre et plus économique pour atteindre le même degré de bien-être.

Écuries. Ces bâtiments, comme tous ceux de la ferme, doivent être parfaitement assainis par des travaux de drainage quand le sol, par lui-même, ne présente pas une sécheresse absolue ; l'humidité est aussi redoutable pour les chevaux que le manque d'air et de ventilation.

Le bâtiment d'une écurie bien établie doit renfermer, outre les stalles des chevaux, une chambre à avoine, une sellerie, et le logement du garçon d'écurie.

Les chevaux, dans les écuries un peu importantes, sont placés sur deux ou sur un seul rang. Dans le premier cas, les mangeoires sont placées le long des murs, et un passage est ménagé entre les chevaux ; dans le second cas, le passage occupe un des côtés de l'écurie. La chambre à avoine, le logement du gardien et la sellerie sont, en général, placés au fond de l'écurie. On supprime souvent la sellerie dans les écuries à un seul rang de chevaux ; les harnais sont alors suspendus sur

une forte pièce de bois fixée dans le mur, derrière chacun d'eux



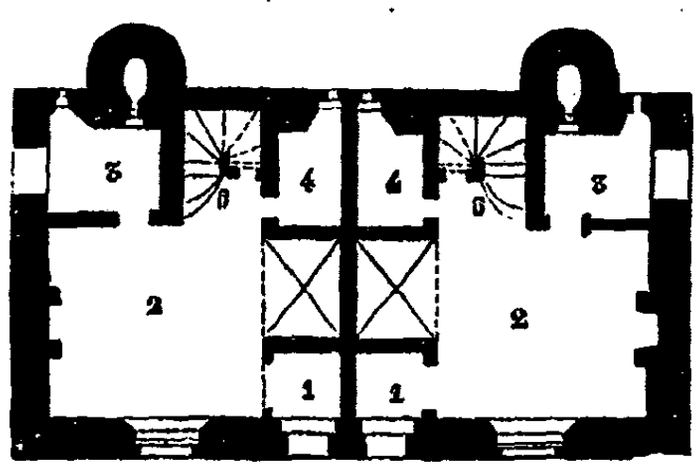


Fig. 184 (0,004).

1, 1 Entrées. — 2, 2 Cuisines. — 3, 3 Laveries et four
4, 4 Dépenses. — 5, 5 Escaliers.

L'espace nécessaire par cheval, pour que la ventilation de l'écurie se fasse convenablement, est de 30 à 35 mètres cubes. Avec les dimensions généralement adoptées pour l'emplacement des chevaux, on voit par là que l'écurie doit avoir au moins 4 mètres de hauteur.

Chaque cheval, dans une écurie bien disposée, doit avoir sa stalle assez grande pour que le cheval ne soit pas gêné, et assez restreinte cependant pour qu'il ne puisse pas s'y retourner trop facilement. Les stalles ont généralement, à partir du mur, une largeur de 2m,5 à 2m,80, y compris le râtelier et l'auge, et 1m,75 de largeur. Dans les écuries à un rang, on doit conserver derrière les stalles un passage de 1m,80 environ, dont 0m,50 sont occupés par les harnais, de sorte que la largeur totale du bâtiment, dans œuvre, est de 5m,60 environ. Dans les écuries à deux rangs, avec sellerie isolée, la largeur dans œuvre, y compris le passage entre les stalles, ne doit pas être de moins de 8 mètres. Les stalles sont séparées par des cloisons pleines en bois de 2 mètres de hauteur, du côté du râtelier, et se réduisant à 1m,50 environ du côté opposé. L'arête supérieure de ces cloisons est recouverte d'une lisse en bois ou même en fonte creuse, comme on le voit dans la coupe (fig. 185); chaque stalle est garnie d'une auge et d'un râtelier disposés comme l'indique la figure 186, qui représente la coupe et l'élévation de ces deux parties essentielles de l'écurie.

Fig. 185.

Le sol de l'écurie peut être formé de briques ou de pierres posées à bain de mortier hydraulique, de bois ou d'asphalte. Le bois se pourrit facilement; l'asphalte est d'un prix élevé et se répare difficilement; de bonnes briques posées de champ, ou des pierres bien taillées, quand on peut en avoir, paraissent ce qu'il y a de

mieux pour daller les écuries. Chaque stalle doit présenter une pente de 0m,03 par mètre dans le sens de sa longueur, et être formée de deux plans inclinés vers son axe de 0,025 à 0,03 par mètre. Un caniveau couvert règne

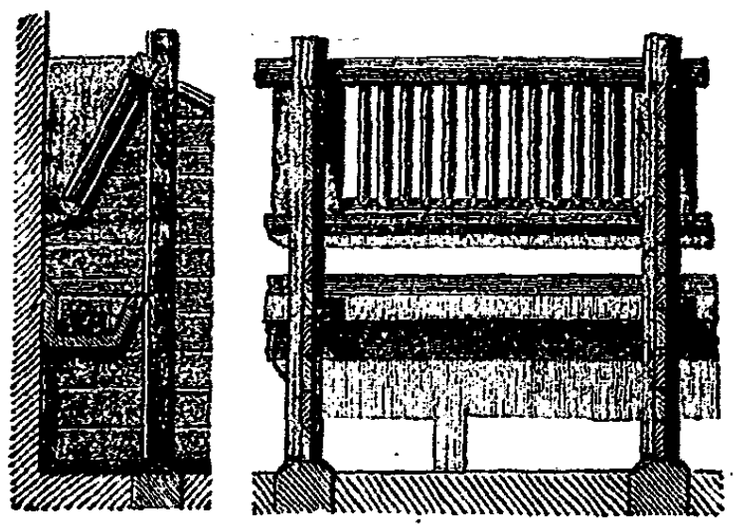


Fig. 186.

dans toute la longueur du passage de l'écurie, reçoit les urines de chaque stalle et les conduit au trou à fumier. Ce caniveau doit être établi avec soin, ne présenter ni coudes brusques ni jarrets dans son profil, afin que l'écoulement y soit facile, et qu'il ne s'y forme jamais de flaches ni de dépôts. Cette rigole peut être exécutée en ciment, en pierre, ou même en tuyaux de fonte. On l'établit à 0m,30 au moins en contre-bas du fond des stalles, et on lui donne la plus forte pente possible.

Étables. Les étables sont généralement trop basses et n'offrent pas aux animaux un cube d'air suffisant. Il convient d'accorder à chaque vache ou bœuf au moins 24 mètres cubes d'air. Les étables sont comme les écuries à un ou deux rangs. L'espace accordé à chaque bête doit avoir en moyenne 1m,50 de largeur environ et 4 mètres de longueur, y compris le passage et la mangeoire, dans les étables à un rang. La hauteur du sol au plafond, d'après ces chiffres, ne doit donc pas être inférieure à 4 mètres. Dans les étables disposées comme les écuries, il faut pouvoir jeter le fourrage de l'étage supérieur dans la crèche. Quand on ne peut adopter cette disposition, les crèches, dans les étables à deux rangs, sont placées le long du passage, les animaux tournent le dos aux murs et sont approvisionnés par ce passage. Les étables renferment un logement pour le bouvier. L'écoulement des matières liquides doit être assuré avec autant de soin que dans les écuries.

Les fig. 187 et 188 représentent le plan et la coupe des étables à un rang les plus généralement employés en Angleterre. L'appentis, à gauche, sert de magasin à racines. Les crèches sont approvisionnées par le passage placé derrière elles. La ventilation est assurée par des ouvertures en lanternes, disposées au sommet du toit, comme l'indique la coupe à grande échelle (fig. 189). Ce mode de ventilation est également applicable aux écuries et aux bergeries.

Bergeries. L'espace nécessaire est de 1 mètre carré pour chaque brebis et de 0m.c.,75 pour chaque agneau. La crèche doit avoir 0m,50 de développement par tête. La hauteur de la bergerie, avec les dimensions ordinaires, ne doit pas être inférieure à 4 mètres. En général, le cube total de la bergerie se calcule en multipliant par 3m,50 le nombre de bêtes blanches à abriter. Dans une bergerie de 8 mètres, on met un râtelier le long de chaque mur et un râtelier double au milieu.

L'urine des bêtes ovines est absorbée par la litière, l'argile ou la marne déposée sur le sol. Il est donc

Fig. 187.

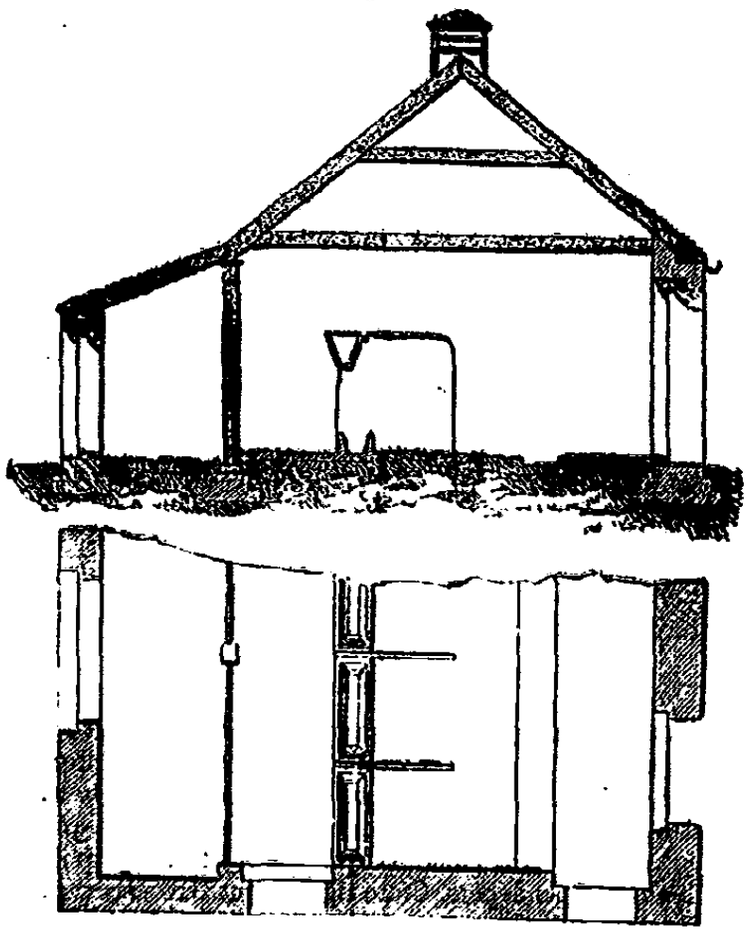


Fig. 188.

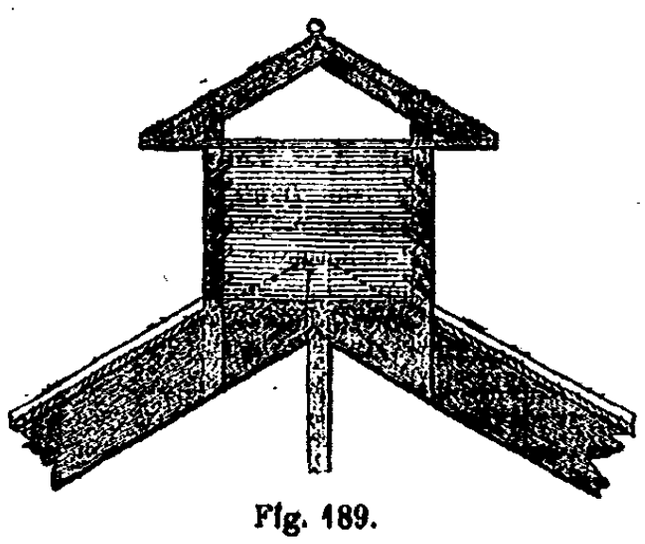


Fig. 189.

inutile de ménager dans les bergeries un ruisseau d'écoulement, comme celui dont nous avons parlé pour les écuries et les vacheries; mais il faut éviter que les matières liquides ne s'infiltrent dans le sol, où elles entrent en putréfaction, se perdent pour le fumier, et produisent des exhalaisons très nuisibles au troupeau. Il faut donc que le sol des bergeries soit rendu parfaitement étanche au moyen d'un bétonnage ou d'un pavage posé à bain de mortier.

Loges à porcs. La loge à porcs se compose d'un toit où l'animal couche et d'une cour placée en avant. Cette cour est quelquefois divisée en autant de compartiments qu'il y a de loges, et d'autres fois est commune à une série de loges. Dans ce dernier cas, il faut toujours avoir autant d'auges séparées qu'il y a d'animaux, sans quoi les plus forts s'emparent de la nourriture des plus faibles et les font dépérir. Les loges ont habituellement $1^m,60$ de largeur sur 2 mètres de longueur et $2^m,50$ de hauteur. Elles sont exposées au midi et séparées par des murs de $1^m,20$ à $1^m,50$ de hauteur. Elles sont soigneusement pavées et un peu plus élevées que le sol de la cour pour être constamment sèches. Un caniveau établi dans la cour assure son assainissement ainsi que celui des loges, et conduit le liquide à la fosse

à fumier. Les portes et toutes les parties des loges à porcs doivent être très solidement établies, car ces animaux sont très destructeurs. Il faut pouvoir donner aux porcs leur nourriture sans entrer dans leur cour. A cet effet, les auges sont établies à côté ou dans le mur de clôture, et on les remplit au moyen de l'une des dispositions indiquées par les fig. 190 et 191.

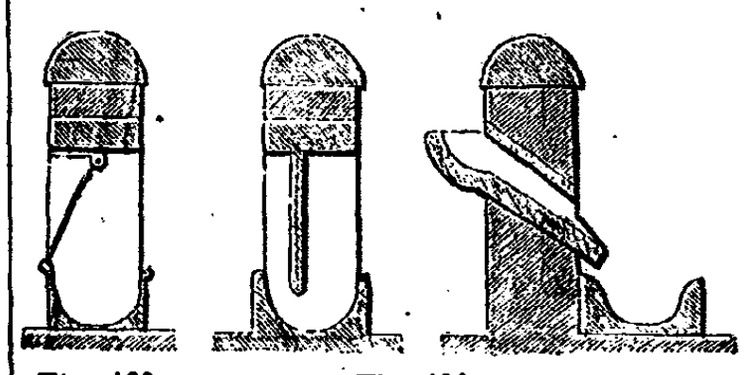


Fig. 190. Fig. 191.

Dans la première l'auge est en fonte, ainsi que la porte qui la ferme. Dans les autres figures, toute la construction est en pierre. Le nettoyage se fait plus facilement dans les deux premières dispositions que dans la dernière.

Granges. Le mode de conservation des gerbes depuis la récolte jusqu'au battage varie d'un lieu à l'autre selon le climat et les circonstances locales. Dans la plus grande partie de la France on engrange les gerbes. Dans le Midi, on fait sans beaucoup de soin des meules circulaires, que l'on bat presque immédiatement. Dans les Pays-Bas on fait des meules circulaires recouvertes d'un toit mobile, qu'on élève ou qu'on abaisse avec des verrins ou des poulies. En Allemagne, en Angleterre et dans quelques parties de la France, on fait des meules circulaires soigneusement établies et recouvertes d'un toit en chaume. Dans les pays où les vols sont fréquents, il convient de renfermer les meules dans une cour spéciale et fermée, pour les protéger contre la malveillance.

Le choix entre la conservation en meules et la conservation en granges se réduit ainsi, en général, à une question de dépense. Il faut comparer l'intérêt du capital de construction des granges et leur entretien annuel aux frais de construction du mur de la cour des meules et aux dépenses annuelles de leur établissement, qui ne laissent pas d'être assez considérables. Toutes les fois que la comparaison ne sera pas trop désavantageuse à l'engrangement, il conviendra de préférer cette méthode de conservation, qui offre toujours plus de sécurité contre l'incendie et les infidélités que les meules, même renfermées dans un enclos.

La capacité d'une grange, y compris l'aire de battage, se calcule facilement, en moyenne, en multipliant par $3^{m.c.},20$ le nombre d'hectolitres de grain que l'on doit récolter. On entasse généralement les gerbes sur une hauteur de 6 à 8 mètres, de sorte qu'on obtiendra la surface dans œuvre de la grange à établir en divisant par ce dernier nombre le volume calculé comme on l'a dit d'abord. Il faut que les charrettes chargées puissent entrer dans la grange; l'espace réservé à cet effet sert ensuite comme aire de battage. La forme la plus simple d'une grange de grandeur moyenne est celle d'un rectangle, au milieu duquel est conservée l'aire de battage, de 3 mètres de largeur environ, et l'entrée des charrettes. Le sol de la grange doit être un peu plus élevé que les terrains environnants et parfaitement sec.

Greniers à fourrages. Dans beaucoup de pays on met en meule les fourrages. Cette méthode peut convenir dans les climats secs ou pour les fourrages grossiers;

AGRICULTURE.

mais il convient, en général, de mettre dans des greniers les foins de bonne qualité. La capacité des greniers à fourrages dépend de la composition des rations des animaux. On ne peut que donner les éléments de cette détermination. Le mètre cube de foin pèse environ 100 kil., de sorte que le grenier devra contenir autant de mètres cubes que l'on devra consommer dans l'année de quintaux métriques de ce fourrage. En admettant que la ration moyenne d'un cheval ou d'un bœuf est de 12 kil. par jour, on voit que la capacité du grenier à fourrages, en mètres cubes, sera sensiblement égale à quarante-quatre fois le nombre de têtes de bétail. Pour les moutons, il suffit d'une capacité de 4 à 5 mètres au plus par tête. Les chiffres précédents sont généralement un peu forts, parce qu'une partie de la ration étant donnée en grain ou en racines conservés ailleurs, le volume du fourrage se trouve réduit d'autant. Les greniers à fourrages pour les chevaux ou le gros bétail sont, autant que possible, placés au-dessus des étables ou écuries. Pour les moutons, leur position est réglée par la convenance seule des lieux, puisque l'approvisionnement ne peut pas se faire en jetant le fourrage par le haut dans les crèches.

Greniers à blé. Les greniers à blé sont souvent placés au-dessus de la maison d'habitation. Dans tous les cas, ils doivent être établis sur de fortes poutres en fer ou en bois armé de fer, quand on veut mettre une couche épaisse de grain dont le poids, comme on sait, est de près de 800 kil. le mètre cube. Dans la plupart des petites exploitations, on se borne à remuer souvent le blé à la pelle pour le préserver des insectes et des parasites, qui l'attaquent si souvent quand on l'abandonne à lui-même. Mais cette précaution serait tout à fait insuffisante pour conserver des quantités considérables de blé. On doit avoir recours dans ce cas aux *silos* ou aux greniers mobiles.

Les *silos* employés de toute antiquité dans les pays chauds n'avaient jamais donné dans nos climats que des mécomptes dont les causes restaient incompréhensibles.

M. Doyère est parvenu à résoudre le problème de l'ensilage.

Il a déterminé les conditions du succès, et il est parvenu à les réaliser. Il a établi en effet que le blé ne pouvait se conserver qu'autant qu'il ne renferme qu'une proportion d'eau hygrométrique inférieure à une limite déterminée, et qu'il faut l'emmagasiner dans des capacités imperméables aux gaz et à l'abri des variations brusques de température.

Les silos de M. Doyère sont en tôle mince, goudronnée et entourée d'une enveloppe en béton. Le prix d'établissement est en moyenne de 5 fr. par hectolitre. Le blé peut s'y conserver sans main-d'œuvre et sans déchet d'aucune sorte, ainsi que l'ont constaté plusieurs applications portant sur des milliers d'hectolitres.

Parmi les greniers conservateurs où le blé est agité et aéré par des procédés mécaniques, on peut citer ceux de MM. Huart, Pavy et d'Auxy. Mais ces appareils, quel que soit leur degré de perfection, resteront toujours inférieurs aux silos Doyère.

Les hangars pour abriter les charrettes et les instruments agricoles sont indispensables dans toute ferme bien tenue. Il ne faut pas craindre de leur donner une étendue un peu considérable, parce que l'on trouve toujours à l'utiliser. On compte qu'il faut 10^{m} carrés par charrettes et 5^{m} c. par charrue, en moyenne. On doit ajouter à la surface, calculée sur ces bases, l'espace nécessaire au retournement et au service de ces appareils.

Fosse à fumier. Dans la plupart de nos petites fermes, on entasse le fumier au milieu de la cour, dans une espèce de mare, où il est lavé par les eaux de pluie qui entraînent en pure perte les parties les plus solubles et les plus actives de l'engrais. Cette méthode, vraiment déplorable, ne saurait être assez combattue. Il convient presque toujours de mettre le fumier en dehors de la cour de ferme, derrière les étables, en un point où puissent se réunir les tuyaux d'assainissement des étables ou écuries. Le fond et les parois du trou à fumier doivent être construits en bonne maçonnerie hydraulique, parfaitement étanche et préservée des eaux étrangères. Le fond de la fosse est formé d'un plan légèrement incliné ou par la réunion de deux plans inclinés en sens contraire. Au point le plus bas de cette fosse on ménage une citerne où se réunissent les eaux de fumier, où on les mélange avec les matières minérales ou autres que l'on veut y ajouter, et où plonge une pompe rustique qui sert à l'arrosage du tas. Les latrines de la ferme communiquent avec cette espèce de citerne ou sont établies au-dessus d'elle.

Le fumier ne doit pas être entassé sur plus de 1^{m},50 d'épaisseur dans la fosse, construite comme on vient de le dire. Cela posé, il est facile de calculer la surface d'une aire à fumier établie dans ces conditions dans une ferme donnée. La quantité de fumier produite par jour, par un cheval ou un bœuf, est en moyenne, de 50 kil., ce qui ferait par an 18,250 kil. si les animaux étaient toujours à l'étable. Mais on ne compte que sur les deux tiers de cette quantité, soit 12,170 kil. pour les chevaux; et, pour les bœufs, sur la moitié seulement, soit 9,125 kil. si le pacage dure la moitié de l'année. Pour les moutons, en admettant un pacage de six mois, la production est d'environ 1,022 kil. Le mètre cube de fumier, pesant à peu près 800 kil., on voit qu'en divisant par ce chiffre la somme des produits des coefficients précédents par le nombre de bêtes de chaque espèce, on obtiendra le cube des fumiers à recueillir chaque année. Ce cube, divisé par 1^{m},50, donnera en mètres carrés l'aire de la fosse à fumier. La surface ainsi calculée devrait être divisée par deux si on vidait la fosse deux fois par an, comme on le fait quelque fois.

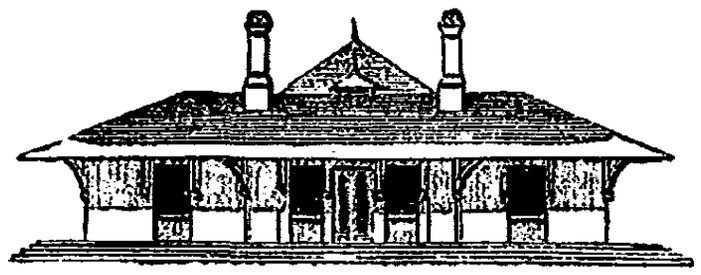
Les citernes à engrais liquides employées dans la Flandre sont de véritables caves parfaitement maçonnées et cimentées, ne représentant qu'un regard pour entrée, et dans lesquelles on emmagasine les produits de vidanges.

Laiterie. L'extrême propreté indispensable dans la laiterie, et la nécessité de l'éloigner des fumiers et de toutes les sources de mauvaise odeur, la font souvent placer dans une construction complétement séparée, bien que très-rapprochée de la ferme. Quand on dispose d'une machine à vapeur ou d'une roue hydraulique, on met en mouvement la baratte par un renvoi de mouvement. Il est très-convenable de drainer le sol sur lequel on veut établir une laiterie.

Dans tout son développement, une laiterie (voyez BARATTE) doit renfermer une salle pour le lait, une salle pour la baratte, une autre pour la fabrication des fromages, un séchoir pour leur dessiccation, et enfin une laverie commune aux pièces précédentes. On réunit souvent la baratte et la fromagerie. Les fig. 192 et 193 donnent le plan et l'élévation d'une laiterie complète. Le dépôt de lait est en 5. Ses fenêtres sont au nord et le carrelage de cette pièce est de 1 mètre en contre-bas du sol, mais les murs sont entourés d'un fossé de même profondeur garni d'un petit mur. Cette pièce doit être dallée et présenter un écoulement facile aux eaux. Les fenêtres sont doubles. Les tables où sont déposés des vases à lait doivent être en pierre. Un courant d'eau froide l'été et légèrement échauffée l'hiver l'entretient toujours à une température convenable. Toutes les ouvertures sont garnies de toiles métalliques et de gazes fines, pour arrêter les insectes et la poussière. Cette pièce, enfin, renferme un évier 7 pour se débarrasser des liquides inutiles. La fromagerie est en 2. Le séchoir est établi

dans l'étiage ; on y monte par l'escalier communiquant avec cette pièce. La baratte est en 4 et la laverie en 1. Un petit générateur placé en 3 et 9 fournit l'eau

Fig. 192.



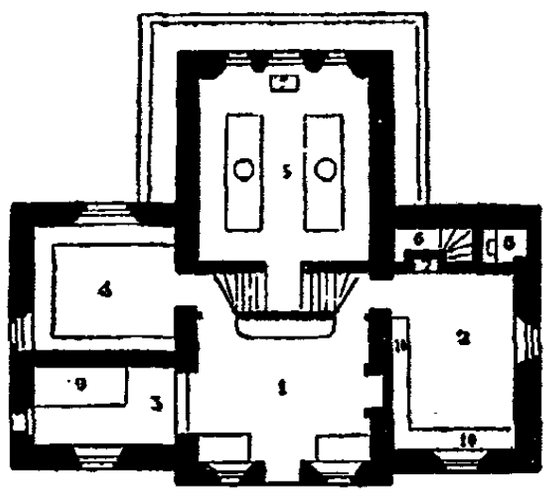


Fig. 193.

chaude nécessaire à tout le service. La capacité des diverses pièces de la laiterie est toujours facile à déterminer, selon les besoins et l'importance de la ferme.

CHAPITRE IX.

ÉCONOMIE AGRICOLE.

Ce chapitre devait renfermer le résumé des données pratiques dispersées dans le cours de cet article, sur les dépenses et les produits d'une exploitation agricole, la comptabilité rurale, des notions sur l'estimation des terres, et enfin quelques observations générales sur l'influence exercée par différents modes de cultures et par l'industrie agricole en général, sur la production et la répartition des richesses publiques.

L'étendue déjà trop considérable de cet article oblige de renvoyer plus loin ce dernier chapitre, à en réunir les principes au travail sur l'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE qui termine cet ouvrage. Aussi bien les principales questions économiques ont des solutions semblables quel que soit l'objet du travail du producteur.

HERVÉ MANGON.

AIGUILLES (*angl.* needles, *all.* næhnadeln). La fabrication des aiguilles, de ces petits outils dont la bonne qualité est si importante pour tous les arts vestiaires, et notamment pour la presque totalité du travail des femmes, est un curieux exemple de la division du travail. Avec toutes les conditions auxquelles il faut satisfaire pour exécuter une bonne aiguille, on ne comprendrait jamais comment on peut livrer à 40 ou 45 fr. le mille des aiguilles d'excellente qualité, et à 4 ou 5 fr. celles de seconde qualité, si on n'avait déjà apprécié par d'autres exemples les avantages d'une bonne organisation des travaux partagés entre les ouvriers divers qui concourent à la production.

En Angleterre on fabrique des aiguilles avec du fil d'acier ; à Aix-la-Chapelle et à Borcette (le centre de fabrication d'aiguilles le plus important du continent), et en France, on emploie le plus souvent du fil de fer qu'on cémente après que l'aiguille est fabriquée. Le travail est alors plus facile, mais on n'obtient pas des produits aussi parfaits qu'avec l'acier étiré.

Pour décrire la fabrication des aiguilles, nous nous aiderons d'un curieux article du *Magasin pittoresque*, dû à M. Léon Lalanne, dans lequel cet ingénieur a décrit ce qu'il avait fort bien vu à Borcette, et où il a décrit les derniers perfectionnements introduits dans cette fabrication.

Une aiguille passe avant d'être livrée au commerce par les mains de plus de quatre-vingts ouvriers différents. Les diverses opérations qu'elle doit subir peuvent se subdiviser en cinq séries distinctes.

La première comprend toutes les opérations relatives au façonnage de l'aiguille, c'est-à-dire à la conversion du fil métallique en aiguilles brutes.

La seconde série a pour objet la trempe et le recuit des aiguilles brutes.

La troisième série est relative au polissage.

La quatrième série a pour but d'arriver au triage des aiguilles polies.

La cinquième, enfin, comprend l'affinage et la mise en paquets des aiguilles pour les livrer au commerce.

La première série renferme une vingtaine d'opérations distinctes dont voici l'énumération :

Première opération. Choix des fils. On commence par examiner la qualité des fils d'acier, et pour cela, on en coupe quelques bouts à chaque botte. On les met chauffer dans un four ou poële dont la grandeur intérieure est de 4 à 5 décimètres, et on les trempe dans l'eau froide lorsqu'ils sont rouges ; on les casse ensuite entre les doigts pour juger de leur qualité ; on met à part les bottes auxquelles appartiennent les plus cassants ; elles servent pour les aiguilles dites *anglaises*.

Deuxième opération. Calibrage des fils à l'aide d'une jauge dont les fentes représentent toutes les grosseurs des fils dont on a besoin ; on examine si le fil d'une même botte, pris en différents points, est d'une grosseur bien uniforme. Cette opération se fait sans délier les bottes ; on renvoie à la filière celles dont le fil n'est pas rond ou n'est pas égal.

Troisième opération. Les fils qu'on renvoie à la filière ont d'abord besoin d'être décrassés, c'est-à-dire dépouillés d'un enduit noir dont on les couvre dans les tréfileries pour les garantir de la rouille. Un ouvrier décrasse ces fils à la main en les frottant avec du *mâchefer* qu'il tient dans un morceau de linge.

Quatrième opération. On passe alors ces fils à la filière pour les amener au calibre convenable.

Cinquième opération. Dévidage des bottes de fil d'acier. On place les paquets de fil sur un dévidoir A (fig. 1 et 2) un peu conique, et on les dévide à l'aide

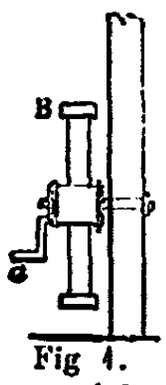


Fig. 1.

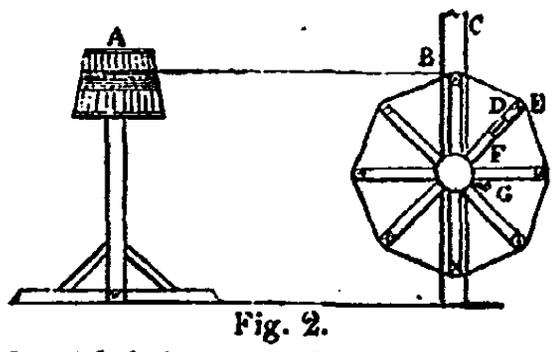


Fig. 2.

du rouet B, formé de huit rayons égaux, liés invariablement à un moyeu tournant autour d'un axe en fer solidement fixé à un des piliers C de l'atelier, et mû par la manivelle G. Chacun des rayons a une longueur de 0m,47, et l'un d'eux D est composé de deux

parties, l'une F fixée au moyen d'une manière invariable, l'autre E glissant à coulisse sur la première, et pouvant être rendue solidaire avec elle par le moyen d'une vis qu'on desserre lorsque le dévidage est terminé, ce qui permet d'enlever ensuite aisément le fil.

Sixième opération. On ôte la botte de fil qui enveloppe le rouet; on la coupe en deux endroits diamétralement opposés, soit à l'aide d'une cisaille à main, soit à l'aide d'une cisaille mue mécaniquement. Il en résulte deux faisceaux composés de quatre-vingt-dix ou cent fils longs de 26 à 27 décimètres.

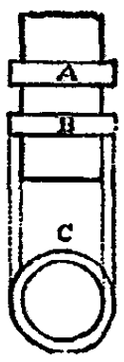


Fig. 3.

Septième opération. Ces faisceaux de fils sont alors coupés en morceaux d'une longueur égale à celle de deux aiguilles, et même un peu plus grande. Pour cela on place les fils dans un demi-cylindre fermé par un bout (fig. 3), et on les coupe tous à ras de l'ouverture, avec des cisailles; un seul ouvrier coupe en dix heures de travail 400,000 fils de chacun deux aiguilles.

Huitième opération. Les fils, coupés de la longueur de deux aiguilles, sont en partie pliés et courbés; il faut les redresser: c'est ce qu'on fait très promptement, et d'une manière aussi simple qu'ingénieuse, à l'aide d'un banc à presser, de deux anneaux et d'une règle à jour.

Cette opération consiste : 1° à placer dans deux anneaux cinq à six mille fils bien serrés et bien pressés; 2° à poser le rouleau ou faisceau qui en résulte sur un banc uni, couvert d'une plaque de fonte, après avoir chauffé préalablement ce rouleau jusqu'au rouge cerise dans un four établi à cet effet; 3° à appliquer dessus une règle à jour appelée *râpe* (fig. 4), de manière

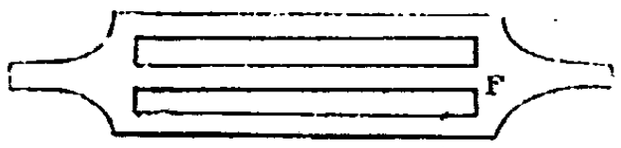


Fig. 4.

que les deux anneaux se trouvent dans les intervalles de la règle, et faire aller et venir cette règle cinq ou six fois en appuyant sur le faisceau, ce qui le fait tourner sur lui-même et redresse presque en un clin d'œil tous les fils qui la composent. Au lieu de faire cette opération avec la règle à main, on la fait plus promptement et mieux avec la règle à bascule représentée dans la fig. 5. La plaque de fonte est recouverte de sable que l'on puise, à l'aide d'une spatule, dans la caisse placée à la partie inférieure de la figure. Lorsqu'un paquet est redressé, l'ouvrier appuie le pied sur la pédale : la bascule joue, la râpe est soulevée, et on enlève facilement le rouleau.

Neuvième opération. Les fils dressés sont portés à l'aiguiserie. L'aiguiserie ou empointerie consiste ordinairement en vingt-huit ou trente meules distribuées dans les divers étages d'un bâtiment, et mues par une seule roue hydraulique ou par une machine à vapeur.

Les meules ont 5 décimètres et 12 à 13 centimètres d'épaisseur, elles sont de grès quartzeux, de couleur grise tirant sur le blanc, d'un grain brillant et d'une dureté moyenne. Comme ces meules tournent avec une grande vitesse et qu'elles sont sujettes à éclater, leur partie antérieure est cachée par une tôle forte, ouverte au milieu sur une hauteur de 2 décimètres et une largeur un peu plus grande que l'épaisseur des meules.

Chaque ouvrier qui est assis vis-à-vis de chaque meule prend en ses mains, entre le pouce et l'index, cinquante ou soixante fils, et les présente par un bout sur la partie découverte de la meule; il appuie sur ces

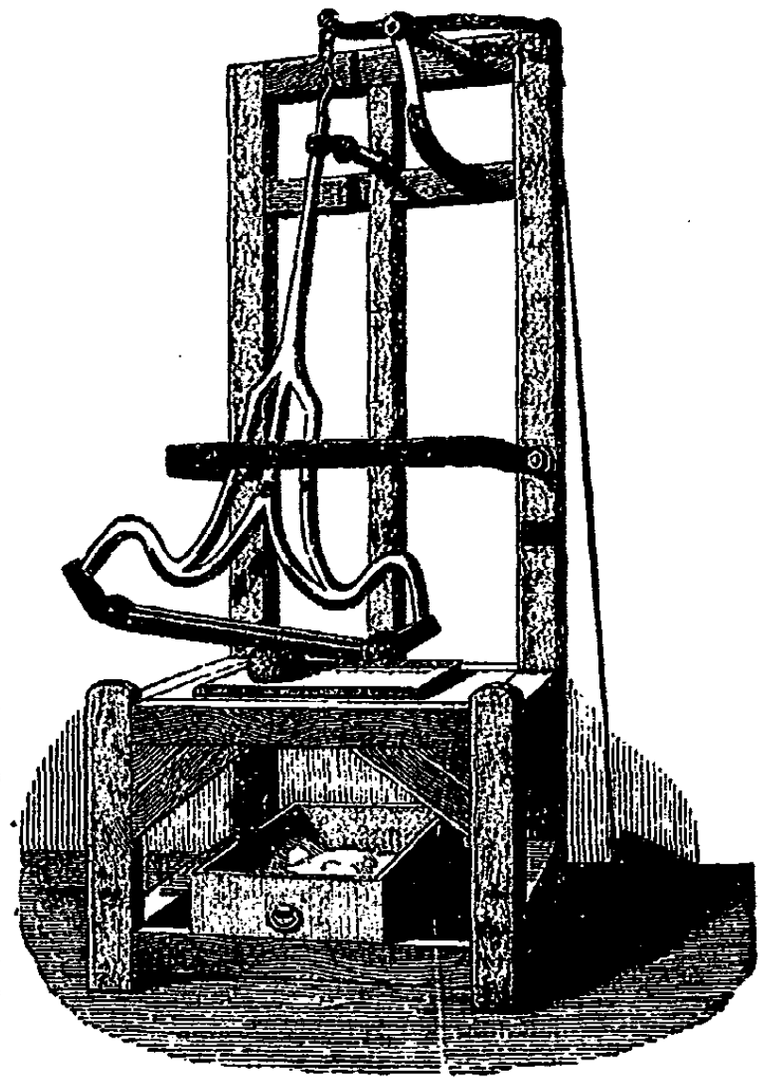


Fig. 5.

fils à l'aide d'un doigtier de cuir fort, qu'il fait aller et venir pour leur imprimer à tous à la fois un mouvement de rotation sur eux-mêmes, ce qui est nécessaire pour que les pointes soient coniques. L'habileté de l'ouvrier consiste à prendre à la fois le plus grand nombre de fils, et à leur imprimer un mouvement de rotation bien régulier pour que la conicité soit parfaite.

Ce premier travail sur la meule se nomme *dégrossissage*. Les fils, échauffés par le frottement de la meule, rougissent bientôt; l'ouvrier les éteint dans une caisse pleine d'eau qu'il a près de lui, et il continue de dégrossir les pointes d'autres fils. L'ouvrier, pour garantir sa vue des étincelles brûlantes qui s'éparpillent en tous sens, porte sur la tête un chapeau dont le large bord, rabattu sur son visage, est percé pour recevoir un verre de 12 à 15 centimètres de longueur et de 5 à 6 centimètres de largeur.

On emploie encore, à l'exemple des Anglais, un garde-vue plus commode; c'est un carré de verre dont le cadre en fer est mobile : l'ouvrier le place devant la meule et se garantit ainsi du danger des étincelles. Sa mobilité facilite le nettoyage, et sa grandeur permet de voir l'ensemble de l'opération.

Les meules sont tendres et friables, et elles s'usent rapidement et inégalement. Il faut souvent les retailler. Lorsque ce cas arrive, l'ouvrier prend un charbon qu'il tient dans une position fixe près de la meule qui tourne, et de manière à marquer en noir les endroits saillants qui ont besoin d'être enlevés; il fait ensuite arrêter la meule, et se sert d'une espèce de pioche avec laquelle il pique la meule et abat tout ce qui a été marqué par le charbon.

Dixième opération. Les fils empointés par les deux bouts reviennent au premier atelier; on les coupe alors en deux pour en faire deux aiguilles. On se sert pour cela d'un petit appareil semblable à celui représenté

fig. 3, et ayant tout justement la longueur d'une aiguille. On y place un certain nombre de fils empointés, et on les coupe tous à la fois au ras du bord à l'aide de la cisaille à main, qu'on fait mouvoir, dans ce cas, avec le genou; on agit de même sur la partie restante, ce qui donne un léger déchet; mais ce déchet est indispensable : on se rappelle (septième opération ci-dessus) qu'on a donné aux fils une longueur un peu plus grande que celle de deux aiguilles. Les empointeurs usant toujours plus ou moins les fils, ces fils seraient souvent trop courts si on ne leur donnait que la longueur juste de deux aiguilles.

Onzième opération. Les aiguilles, coupées de la longueur précise qu'elles doivent avoir, ont été rangées parallèlement les unes sur les autres dans de petites boîtes de carton ou de bois. On porte ces boîtes à l'ouvrier chargé d'aplatir la tête des aiguilles. Celui-ci, assis vis-à-vis d'une table sur laquelle est fixé un tas d'acier de forme cubique et de 8 à 9 centimètres de côté, prend de la main gauche vingt ou vingt-cinq aiguilles entre le pouce et l'index, et les arrange en forme d'éventail, c'est-à-dire les pointes serrées sous le pouce et les têtes plus écartées au dehors; il pose les têtes sur le tas d'acier, et, saisissant de la main droite un petit marteau à tête plate, il frappe plusieurs coups successifs sur toutes les têtes et les aplatit en un instant, ce qui se nomme *paumer*. L'ouvrier range ces aiguilles ainsi aplaties dans une boîte, et continue la même opération sur d'autres aiguilles.

Douzième opération. Les têtes palmées des aiguilles se sont écrouies par le choc du marteau, et elles courraient le risque de se fendre ou de se casser lorsqu'on les percera, si on ne les faisait recuire auparavant. On les porte donc dans un four, on les en retire quand elles sont chaudes, et on les laisse se refroidir lentement.

Treizième opération. Les têtes ainsi recuites, on les perce avec un poinçon. Ce poinçon est d'acier, et il a la forme et les dimensions qu'on veut donner à l'œil ou au trou des aiguilles.

Un enfant, assis devant une table garnie d'un *tas* ou petite enclume d'acier, prend de la main gauche une aiguille et le poinçon; il pose la tête de l'aiguille sur le tas et le poinçon sur la tête de l'aiguille, et frappe aussitôt un coup de marteau sur le poinçon; puis, retournant l'aiguille et y appliquant le poinçon de manière à rencontrer le trou commencé sur le côté opposé, il frappe un second coup. Cette opération se nomme *marquer*.

Quatorzième opération. Les aiguilles marquées passent dans les mains d'un autre enfant, dont la fonction est de *troquer* les aiguilles, c'est-à-dire d'enlever le petit morceau d'acier qui reste encore dans leur tête.

Cet enfant a devant lui deux petits tas, l'un de plomb et l'autre d'acier. Il place la tête de l'aiguille sur le premier tas, et, y appliquant ensuite un poinçon, il frappe dessus et fait entrer dans le plomb le petit morceau d'acier. Il pose alors à plat sur le second tas le poinçon et l'aiguille que ce poinçon traverse, et, frappant un coup sur chaque côté, il fait prendre à l'œil ou trou de celle-ci la forme exacte de celui-là.

Ces deux opérations, treizième et quatorzième, se font avec beaucoup plus de vitesse qu'il n'en faut pour les décrire. Les enfants à qui elles sont confiées sont si adroits, qu'ils se font un jeu de percer avec un poinçon le cheveu le plus fin, et de faire passer un autre cheveu au travers.

Quinzième opération. Un ouvrier qu'on nomme *évideur* s'empare ensuite des aiguilles pour faire la cannelure ou coulisse longitudinale et en arrondir la tête. Les instruments dont il se sert consistent :

En une petite lime plate qui a la forme d'une petite hache dont le tranchant est taillé en scie; elle sert à faire la cannelure;

En une lime carrée taillée sur ses quatre faces; elle sert pour arrondir la tête des aiguilles;

En une pince à bride; elle sert à tenir l'aiguille;

Enfin en un tasseau ou enclumeau de bois fixé sur la table et portant deux entailles, l'une angulaire, l'autre demi-cylindrique.

L'ouvrier place une aiguille dans la pince, de manière que l'œil corresponde au côté plat de cette pince. Il appuie ensuite la tête de l'aiguille dans l'entaille angulaire, ayant soin que l'œil de l'aiguille soit placé horizontalement. Dans le même instant il prend de la main droite la lime, la pose à plat sur le tasseau, l'approche de l'aiguille, et creuse en deux coups la coulisse longitudinale; puis, tournant l'aiguille sur elle-même sans la déplacer, il présente à la lime le côté opposé et y creuse une coulisse semblable.

Il reste alors à arrondir la tête : l'ouvrier, tenant toujours de la main gauche la pince et l'aiguille, pose la tête de celle-ci dans l'entaille demi-cylindrique, et avec la lime carrée qu'il appuie sur le tasseau il arrondit la tête de l'aiguille en deux ou trois coups. Il desserre ensuite, avec le petit doigt gauche, la bride de la pince qui tient l'aiguille, et jette celle-ci sur la table.

Seizième opération. Toutes les aiguilles évidées, jetées sur la table comme il vient d'être dit, sont mises ensuite pêle-mêle et sans ordre dans une espèce d'auge plate, légèrement concave au fond. Un ouvrier debout prend en ses mains cette auge, l'agite horizontalement de droite à gauche, d'arrière en avant, et ces mouvements d'oscillation et de trépidation, répétés plus ou moins vite et dans des directions convenables, ramènent l'ordre parmi les aiguilles; en un instant et comme par magie, elles viennent toutes se ranger parallèlement les unes aux autres sur le côté que l'ouvrier tient appuyé sur son ventre. Cette méthode simple et ingénieuse n'est pas ancienne : elle n'est connue que depuis une cinquantaine d'années; l'on était obligé auparavant de ranger les aiguilles à la main.

Variantes et procédés nouveaux dans la première série d'opération. On emploie actuellement à l'Aiglé, et probablement aussi dans d'autres établissements à l'étranger, une série de procédés très remarquables, à partir de la dixième opération. Ces procédés diffèrent des précédents, surtout en ce qu'on emploie des moyens mécaniques et en ce qu'on place dans un autre ordre les diverses phases de la fabrication. Ainsi la séparation des aiguilles jumelles ne se fait qu'après le palmage, le perçage et l'évidement,

La fig. 6 représente le mécanisme au moyen duquel on produit l'estampage. L'aiguille jumelle est placée de telle sorte que son milieu, portant sur un petit bloc d'acier, correspond à un poinçon placé à la partie inférieure d'un *mouton*, ou poids considérable en fonte de fer. L'estampeur appuie le pied sur un étrier, soulève le mouton et laisse brusquement retomber celui-ci sur l'aiguille sur laquelle l'empreinte dessine aussitôt les deux têtes et la place du trou appelé *chas* en langage de fabrique. Un homme fait de neuf à dix mille estampages dans sa journée, ce qui correspond à dix-huit ou vingt mille aiguilles.

Le perçage est une opération tout à fait analogue à la précédente. L'ouvrière (fig. 7) agit à l'aide d'un levier sur un poinçon à double pointe, adapté au bout d'une vis de pression, et les deux pointes viennent percer à jour sur chacune des deux aiguilles du couple le *chas*, qui n'était encore qu'indiqué par la première opération.

Au fur et à mesure du percement les aiguilles sont

AIGUILLES.

prises par une petite fille qui les enfile dans deux broches de fer de la manière indiquée fig. 8. Les broches ont de 15 à 20 centimètres de longueur.

C'est alors que l'on procède à la séparation des aiguilles jumelles. Pour cela, on applique les rangées d'aiguilles enfilées dans les broches sur une petite tablette à deux versants, comme un toit de maison. La double rangée ressemble ainsi à un fragment d'arête de poisson. On maintient les aiguilles au moyen d'un cadre en cuivre dont l'une des extrémités tourne autour d'une charnière, et dont l'autre extrémité porte une chaîne fixée à une pédale sur laquelle presse le pied de l'ouvrier.

Quand les deux côtés des attaches sont limés, on brise facilement ce qu'il en reste, et en opérant sur une rangée d'aiguilles simples, on achève de donner la forme brute à la tête.

Nous avons dit en commençant qu'en France, où le fil d'acier ne se fabrique pas en grand, et l'on opère sur du fil de fer, sauf à convertir plus tard l'aiguille de fer en acier. C'est sur l'aiguille brute ainsi ébauchée au point qui vient d'être décrit que l'on effectue la manipulation appelée *cémentation*, par laquelle le fer se combine avec une certaine quantité de carbone, de manière à devenir

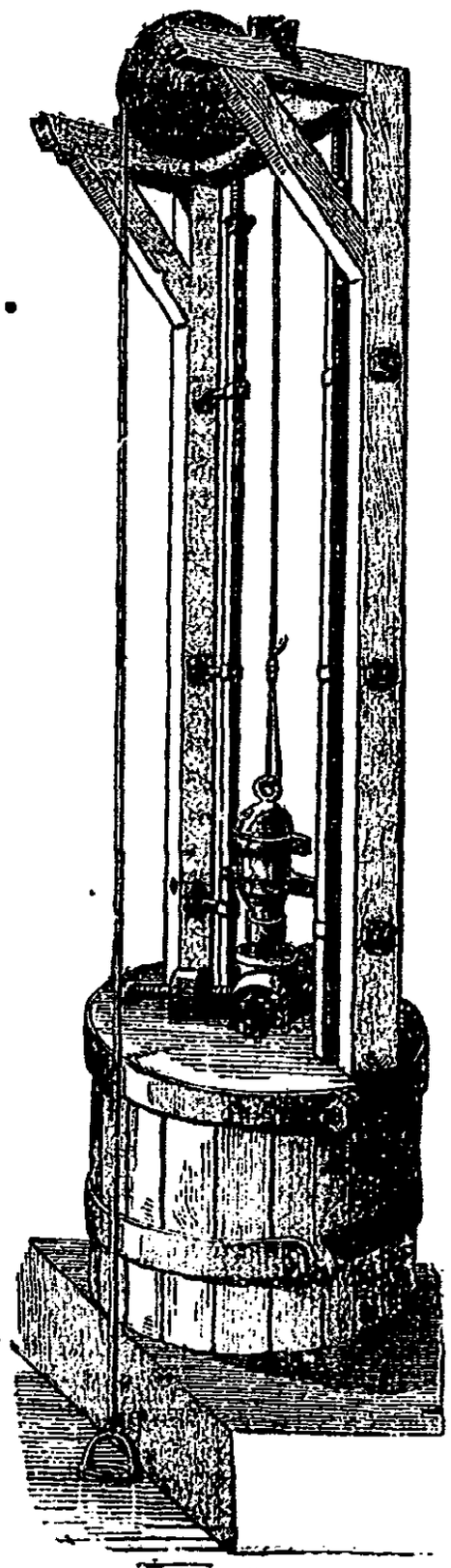


Fig. 6.

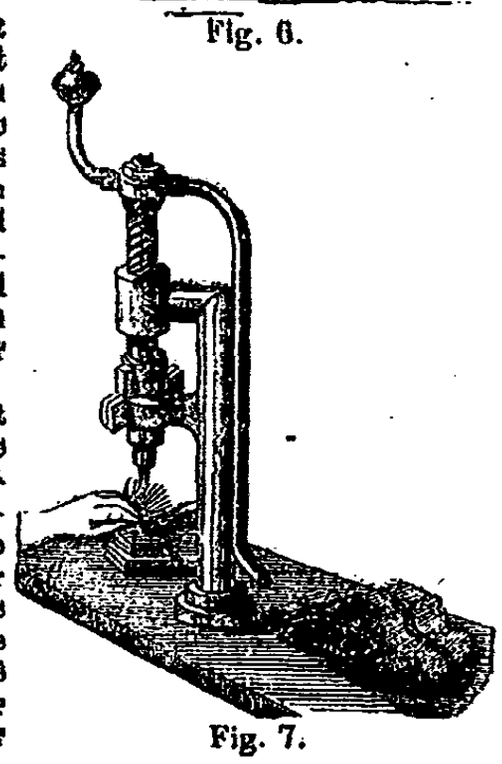


Fig. 7.

Fig. 8.

de l'acier. On range très également dans une espèce de boîte ou de marmite en fonte une quantité de deux à trois cent mille aiguilles séparées par des lits de charbon de bois; on place cette boîte dans un four, et on y *lute* le couvercle de manière à donner lieu à la plus faible déperdition possible de calorique. La cuisson dure sept à huit heures, au bout desquelles on laisse le four refroidir lentement. Alors on a des aiguilles dont le corps s'est imprégné de charbon de la surface vers le centre, et qui sont devenues de l'acier par voie de cémentation. Comme dans cette opération et dans quelques-unes des précédentes, leur rectitude a pu être altérée, on profite de la malléabilité que l'acier possède à chaud pour les redresser au feu encore une fois, à la râpe, par le procédé de la fig. 3.

Seconde série d'opérations. — Trempe.

Les aiguilles, façonnées comme on l'a expliqué ci-dessus, sont soumises à un premier examen qui en fait rejeter un certain nombre. Celles qui sont reçues subissent neuf opérations constituant la seconde série :

Première opération. On pèse par tas de 15 kilogr. environ, ce qui fait depuis 250 jusqu'à 300,000 aiguilles. On met ces tas dans des boîtes séparées et on les porte dans l'atelier de trempage. Cet atelier contient : 1° un fourneau garni d'une grille pour recevoir le charbon, de deux barreaux de terre cuite pour porter les plateaux qui contiennent les aiguilles, et d'une cheminée avec un régulateur qui permet de maîtriser la marche du feu; 2° des cuveaux ou chaudrons de cuivre toujours pleins d'eau froide et munis d'un robinet d'écoulement; 3° une table sur laquelle sont déposées les boîtes pleines d'aiguilles et les plateaux sur lesquels on les arrange; 4° un ou plusieurs poêles en fonte, couverts d'une table de même métal, lutés en terre dans tout leur pourtour.

Deuxième opération. Un ouvrier étend les aiguilles sur les plateaux, à raison d'environ dix mille pour chaque, et les arrange parallèlement à la longueur de ceux-ci.

Troisième opération. Le trempeur place ensuite deux plateaux chargés d'aiguilles sur les barreaux de terre cuite du fourneau; il chauffe au charbon de bois jusqu'à ce que les aiguilles aient atteint la couleur du rouge cerise, si elles sont grosses ou moyennes, et jusqu'à un degré moindre si elles sont fines. Alors il retire un des plateaux à l'aide d'une pince, le porte au-dessus du baquet rempli d'eau, l'incline et jette les aiguilles en les éparpillant circulairement, de manière que tombant séparément pour ainsi dire, toutes reçoivent la même trempe. Lorsqu'il a jeté de même les aiguilles de l'autre plateau, il vide les deux cuveaux, enlève les aiguilles avec deux crochets ou mains de fer, et les dépose pêle-mêle dans une boîte. Ensuite il place au four d'autres plateaux, remplit d'eau les deux cuveaux, et continue de la même manière.

Quatrième opération. Un autre ouvrier prend la boîte où l'on a jeté les aiguilles trempées, et il les met en ordre en exécutant la seizième opération de la première série.

Cinquième opération. Les aiguilles qui viennent de subir la trempe sont trop cassantes pour être employées dans cet état. Le recuit leur donne de l'élasticité sans les rendre trop molles ni pliantes. Mais avant de les recuire, il faut leur enlever la crasse dont l'opération de la trempe les a couvertes

Un ouvrier place 15 à 20,000 aiguilles tant à côté les unes des autres que bout à bout dans une toile serrée, et en fait un rouleau qu'il étrangle et lie par les deux extrémités. Il met ce rouleau sur une table et le fait rouler en avant et en arrière, en appuyant dessus avec un bâton ou une règle qu'il fait aller et venir; puis il trempe ce rouleau dans un seau d'eau, le remet sur la table, et le fait rouler de nouveau pendant quelques instants. Alors la crasse se détache successivement, et l'aiguille est assez nettoyée pour l'opération suivante.

Sixième opération. On porte les rouleaux d'aiguilles près des poëles à recuire, on ouvre et on développe ces rouleaux. Deux ouvriers à chaque poële, l'un d'un côté, l'autre de l'autre, disposent les aiguilles encore mouillées sur la table de fonte du poële, et en font chacun deux rangées parallèles, épaisses de 8 à 10 millimètres environ, longues de 5 à 6 décimètres. Leur besogne est de rouler sans cesse les aiguilles sur elles-mêmes, en appuyant dessus avec une règle de fer courbée, les pressant et les ramenant, afin que les aiguilles supérieures descendent au-dessous, que les inférieures remontent au-dessus, et que toutes soient chauffées uniformément. Quand on juge que le recuit est terminé, ce que l'on reconnaît à la couleur d'un bleu nuancé que prennent les aiguilles, on les pousse hors de la table du poële, et on les jette dans une sébille placée au bas.

Septième opération. Ces aiguilles ainsi mêlées et sans ordre, sont aussitôt rangées parallèlement les unes aux autres par une opération semblable à la seizième de la première série.

Huitième opération. Comme la trempe a déformé une partie des aiguilles, il faut les redresser. On les prend une à une entre l'index et le pouce de la main gauche, et en les roulant on reconnaît celles qui sont courbées; on les redresse aussitôt sur un tas d'acier à l'aide d'un marteau particulier, et on les jette dans une boîte. Ce marteau a un manche très court et placé obliquement, afin que l'ouvrier qui le tient très près de la tête, puisse le manœuvrer aisément sans trop coucher le poignet, et ne donner que de petits coups.

Neuvième opération. On arrange ensuite les aiguilles jetées dans la boîte en exécutant pour la quatrième fois la seizième opération de la première série.

Observations. Il y a quelques variantes dans les procédés précédents : ainsi la trempe peut se donner dans un bain de plomb chauffé au rouge. A l'Aigle, on jette les aiguilles rougies à blanc dans un bain d'huile chaude, d'une chaleur supportable à la main. Ensuite, pour dégraisser les aiguilles, on les vanne avec de la sciure de bois; enfin le recuit s'opère dans un fourneau semblable à ceux qui servent à brûler du café, mais garni à l'intérieur de pointes très saillantes pour diviser les aiguilles et les empêcher de s'accumuler.

Troisième série d'opérations. — Polissage.

Le polissage est l'opération la plus longue dans la fabrication des aiguilles. On fait la cannelure, on perce le trou en un clin d'œil; mais il faut beaucoup de temps et une dépense assez notable de force et de matière pour rendre la surface de l'aiguille lisse, unie et brillante. Il est vrai que la lenteur de l'opération est compensée par la multitude d'aiguilles qui la subissent à la fois. On perce les aiguilles une à une, on les palme par vingtaines, on les trempe par milliers; mais on les polit par centaines de milliers, et même par millions. Les paquets ou rouleaux soumis au polissage en contiennent jusqu'à 500,000 chaque, et la même machine, que dirige un seul homme et qu'un courant d'eau fait agir, polit en même temps vingt ou trente paquets, c'est-à-dire dix ou quinze millions d'aiguilles.

L'opération principale du polissage se subdivise en trois autres séries d'opérations : la première consiste à former les paquets ou rouleaux d'aiguilles; la seconde à les placer sur les tables du polissoir; la troisième à nettoyer les aiguilles.

Les principaux instruments et les machines principales qui servent au polissage, sont : 1° une table garnie d'une auge ou moule à faire les rouleaux ou paquets d'aiguilles; 2° une machine ou moulin à polir; 3° un tonneau à dégraisser, mobile autour de son axe; 4° un van en cuivre; 5° un baril de cuivre monté aussi sur un axe.

Lorsque les aiguilles ont été trempées, recuites et dressées, on les porte dans l'atelier destiné à la confection des rouleaux; on place deux ou trois carrés de toile qui ont déjà servi à cette opération dans l'auge, de manière qu'ils couvrent le fond et les côtés intérieurs, et qu'ils débordent en dehors; on augmente l'épaisseur de l'enveloppe avec plusieurs bandes de toile longitudinales. Sur le fond, on étend une couche de petites pierres de schiste quartzeux micacé, ou de silex, ou d'émeri, ou de pierre calcaire compacte, ou même de potée d'étain, quand on veut donner aux aiguilles un poli blanc. On range par dessus, et dans le sens de la longueur du rouleau, une couche d'aiguilles épaisse d'un centimètre, et longue d'environ 45 centimètres, ce qui exige sept ou huit longueurs d'aiguilles ordinaires. On recommence une couche de petites pierres, puis un lit d'aiguilles, et ainsi de suite jusqu'au cinquième lit d'aiguilles, que l'on recouvre d'un sixième lit de petites pierres, et on verse sur le tout environ un demi-litre d'huile de colza. On replie alors la toile par les deux bords, puis par les deux bouts, et on ferme le rouleau dont on étrangle les deux extrémités. Quand un certain nombre de rouleaux ont été préparés de cette manière, deux hommes les prennent successivement et achèvent de les lier ou de les serrer étroitement à l'aide d'une forte ficelle que l'on serre autour de chaque rouleau, de manière à lui faire décrire une suite de spires qui se recouvrent mutuellement (fig. 9). Dans cet état, les rouleaux sont envoyés à l'atelier de polissage.

Fig. 9.

Le polissoir est composé de deux chariots roulant sur des madriers de chêne, au moyen de roues à rainures maintenues par des rails. Un des deux chariots s'avance pendant que l'autre recule. Chaque rouleau, enfermé dans un compartiment qui correspond à l'un des montants verticaux du bâti en charpente, roule continuellement tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, soumis à la forte pression de la table du chariot. Les cailloux renfermés à l'intérieur s'écrasent peu à peu, et leur frottement finit par donner à l'aiguille le poli dont elle a besoin.

Lorsque les rouleaux d'aiguilles ont ainsi tourné sur eux-mêmes entre les tables à polir, pendant dix-huit à vingt heures, on les enlève, on les délie, on les déploie; on en retire les aiguilles toutes grasses et couvertes de cambouis; on les verse dans une sébile, on les recouvre de sciure de bois ou de paille hachée, et on les introduit dans le tonneau (fig. 40). Là, elles sont soumises à un mouvement de rotation prolongé jusqu'à ce qu'elles soient ressuyées et dégraissées sur toute leur surface, et que leurs trous soient débouchés.

Du tonneau, on les fait tomber dans le van de cuivre qu'on a eu soin de placer dessous. Le vannage s'opère comme celui du grain. La sciure vole, les pierres se séparent, les aiguilles restent au fond du vase : elles sont déjà ressuyées et presque sèches. On les verse dans un tiroir, on les met en ordre, en exécutant pour

la cinquième fois la seizième opération de la première série, et on les porte ensuite à l'ouvrier qui est chargé de faire les rouleaux d'aiguilles.

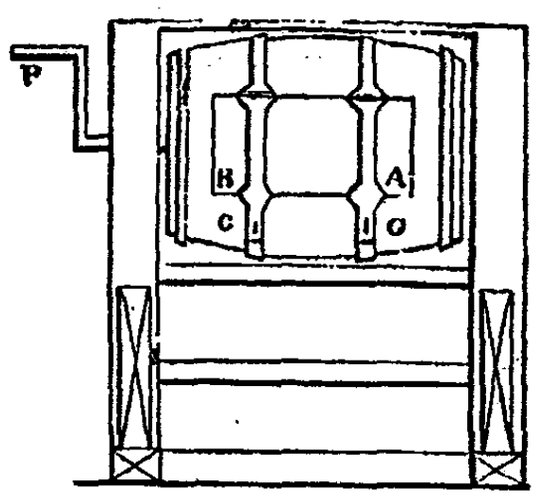


Fig. 10.

On fait alors des rouleaux semblables aux premiers, on les renvoie au moulin à polir, on roule pendant vingt heures, on dégraisse à la sciure de bois dans le tonneau, on vanne, on range et on fait de nouveaux rouleaux. On recommence ainsi sept fois de suite la même série d'opérations; on la fait même dix fois; seulement on varie la composition de la substance frottante dans les rouleaux. La huitième fois, les aiguilles ne sont arrosées que d'huile et roulées pendant six heures; la neuvième et la dixième fois, on emploie des lits de son de froment gros, sec et dépouillé de farine, et on ne roule encore que peu d'heures.

On termine enfin le polissage en essuyant les aiguilles une à une avec un linge.

Le polissage comprend donc cinq opérations distinctes qui se répètent chacune dix fois, et une dernière opération qui ne s'exécute qu'une fois, savoir : 1° confection des rouleaux; 2° position des rouleaux sur les tables du moulin à polir; 3° dégraissage dans le tonneau; 4° vannage; 5° arrangement des aiguilles; 6° essuiement des aiguilles.

Quatrième série d'opérations. — Triage des aiguilles polies.

La plupart des opérations précédentes donnent lieu à un certain déchet, et l'un des soins de l'ouvrier, en recevant les aiguilles pour les soumettre à une nouvelle main-d'œuvre, consiste à rejeter toutes celles qui sont sorties défectueuses des épreuves qu'elles ont subies; mais le principal déchet a lieu au polissage. Les rouleaux qui reviennent du moulin à polir ne sont plus serrés et ronds comme quand on les y avait portés. Ils se sont aplatis; les aiguilles ne sont plus dans le même ordre; plusieurs sont piquées dans la toile qui les enveloppe; beaucoup sont croisées, et les pointes même de quelques-unes traversent les trous de quelques autres. Toutes sont émoussées, et lorsqu'elles ont été exposées dix fois, dans des rouleaux successifs, à l'action des polissoirs, on compte, en général, un dixième d'aiguilles cassées et un vingtième d'aiguilles courbées et pliées.

Les aiguilles polies passent dans un atelier particulier qu'on a soin de tenir toujours sec, afin qu'elles ne soient pas exposées à se rouiller; là elles subissent cinq opérations.

Première opération. Elle a pour objet de détourner les aiguilles, c'est-à-dire de mettre toutes les têtes du même côté. En même temps, l'ouvrier rejette les aiguilles cassées par le milieu.

Deuxième opération. Un second ouvrier prend les aiguilles détournées et les étale sur une table; il sépare

celles qui sont cassées à la tête. Il est en outre chargé de faire deux qualités d'aiguilles, en raison du poli plus ou moins brillant.

Troisième opération. Un troisième ouvrier est chargé de mettre à part les aiguilles dont la pointe est cassée, sauf à les appointer de nouveau.

Quatrième opération. On redresse au marteau et sur une petite enclume de bois les aiguilles qui se sont courbées pendant le polissage.

Cinquième opération. On sépare chaque espèce d'aiguilles en trois tas, selon leurs diverses longueurs. Cette opération s'exécute promptement et simplement au tact; elle pourrait être confiée à un aveugle.

Cinquième série d'opérations. — Derniers tours de mains et mises en paquets.

Cette cinquième série d'opérations paraît avoir reçu des changements ou plutôt des additions notables depuis une cinquantaine d'années, qui ont beaucoup amélioré la qualité des produits.

Première opération. — Le bronzage. Un enfant aligne sur une table de cuivre un certain nombre d'aiguilles, les têtes dehors, et l'ouvrier vient appliquer en dessous des têtes une barre de fer rouge dont la chaleur détermine l'apparition d'une couleur bleue, utile au *drilleur* dans l'opération qui va suivre, et à la personne qui, se servant de l'aiguille, veut y entrer le fil. L'espèce de support à mouvement oscillatoire, qui est employé à cette opération, porte, d'un côté, la barre de fer rouge, et est tenu de l'autre par la main gauche de l'ouvrier qui dirige son opération de cette main; la main droite n'est employée qu'à tenir le fer rouge qui détermine le bronzage.

Deuxième opération. — Le drillage. On appelle ainsi l'achèvement ou l'arrondissement du *chas*, *œil* ou *trou*. Sur une plaque mince de cuivre, on range une trentaine d'aiguilles que l'on maintient avec les deux pouces, tandis que l'index de chaque main soutient la plaque par dessous. Le chas était déjà percé, mais bien imparfait; l'ouvrier le présente à la *drille*, espèce de burin d'acier très fin, animé d'un mouvement de rotation rapide qui arrondit le trou et régularise les bords, de manière à empêcher le fil d'être coupé. Il faut pour cette main-d'œuvre beaucoup d'attention, du coup d'œil et une grande habitude. Mais c'est chose merveilleuse que de voir la promptitude avec laquelle opèrent les ouvriers exercés. A peine la drille paraît-elle toucher les aiguilles; l'outil ne manque jamais de tomber où il le faut; la rangée s'avance successivement de gauche à droite, et tout est fini, que le spectateur a eu à peine le temps de suivre les détails de l'opération.

Troisième opération. — Le brunissage. Cette main-d'œuvre, la dernière de la confection, à proprement parler, ne laisse pas d'être fort importante. Elle consiste à donner le poli le plus fin à l'aiguille, sur une bobine de buffle, recouverte de matières pulvérulentes d'une nature variable, mais qui toutes remplissent

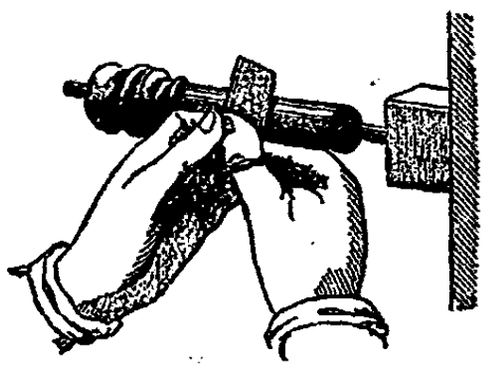


Fig. 11.

le même but. C'est dans le brunissage qu'excellent les ouvriers anglais. La fig. 11 représente cette opération.

AIGUILLES.

Quatrième opération. — La mise en paquets. Elle se subdivise elle-même en une dizaine d'autres :

1° On coupe le papier en petits carrés d'une grandeur proportionnée aux aiguilles, en général de dimension triple de la longueur de l'aiguille. Le papier est bleu ou violet, d'une composition particulière qui le rend peu susceptible d'attirer l'humidité ;

2° Un enfant plie ces papiers au tiers, et forme le premier pli ;

3° Un ouvrier compte cent aiguilles et les met dans un des plateaux d'une petite balance ; il met en même temps dans l'autre plateau des poids équivalents au poids des cent aiguilles ; puis il verse celles-ci dans un des papiers dont le premier pli a été fait par l'opération précédente. Il continue à peser des poids égaux aux cent premières aiguilles, et il obtient ainsi successivement des centaines d'aiguilles.

Le comptage des aiguilles est une opération longue, fastidieuse et sujette à erreur quand elle se fait à la main. C'est pour l'éviter que l'on fait ces pesages successifs ; mais on perd peut-être alors en précision ce que l'on gagne en promptitude. Heureusement on peut opérer mécaniquement d'une manière très simple. Il suffit d'employer la règle en fer imaginée par un Allemand, M. Pastor. Le bord supérieur de cette règle porte des cannelures proportionnées à la grosseur des aiguilles ; les cannelures sont assez larges et assez profondes pour qu'en jetant dessus une certaine quantité d'aiguilles que l'ouvrier tient entre le pouce et l'index, il ne s'en loge qu'une à la fois dans chaque cannelure ;

4° Un ouvrier prend les paquets et achève de les plier, il les range ensuite dans une botte qui porte les numéros des aiguilles ;

5° On écrit sur les paquets le numéro des aiguilles, le nom du fabricant et les marques particulières adoptées pour chaque espèce et chaque qualité d'aiguilles. Pour certaines aiguilles, le papier est en outre revêtu d'un timbre à sec ;

6° On réunit en un seul dix paquets de cent, ce qui forme des paquets de mille aiguilles ; on les enveloppe de papier bleu ou violet, qu'on lie avec du fil blanc ou rouge. On recouvre quelquefois les paquets de mille d'une feuille de papier blanc, portant des figures et des caractères dorés ;

7° On réunit encore tous ces paquets au nombre de cinquante, ce qui forme des paquets de 50,000, qu'on enveloppe immédiatement de papier blanc, puis d'une ou deux vessies de bœuf séchées, et on recouvre le tout de papier ciré ou de toile cirée, et on y ajoute une dernière enveloppe de toile grise. Sur celle-ci, on écrit l'assortiment des aiguilles avec une marque qui en indique la qualité.

De l'insalubrité de l'empointage et des moyens de l'atténuer.

Parmi les opérations précédentes, il y en a surtout une qui a des effets nuisibles pour la santé de l'ouvrier : c'est l'empointage qui se fait ordinairement à sec pour prévenir la rouille. La poussière qui se produit dans l'empointage, ainsi fait sur les meules de grès, est extrêmement dangereuse. Sans l'emploi de certains préservatifs, les empointeurs ne peuvent guère exercer leur métier plus de dix à quinze ans. Ils meurent à la fleur de l'âge, atteints de phthisie pulmonaire, à moins qu'ils n'aient renoncé de très bonne heure à cette partie de la fabrication. Un médecin de Reddith a observé, pendant une longue pratique, que sur plusieurs milliers d'ouvriers empointeurs, il y en a un à peine qui atteint l'âge de quarante ans. Dès le commencement de ce siècle (vers 1810), des tentatives ont été faites en Angleterre pour remédier à l'insalubrité reconnue de l'empointage. M. Prior imagina une espèce de soufflet mû par le pied de l'ouvrier ou par le moteur qui fait tourner la meule, et dont le vent, chassé à travers un tube percé de fentes longitudinales qui embrasse la meule, produit un courant assez fort pour entraîner la poussière. La fig. 12 montre cet appareil vu en perspective. Un autre appareil fondé sur le même principe, fut construit, en 1816, par M. Thomas Roberts ; enfin M. Abraham inventa en 1822 un

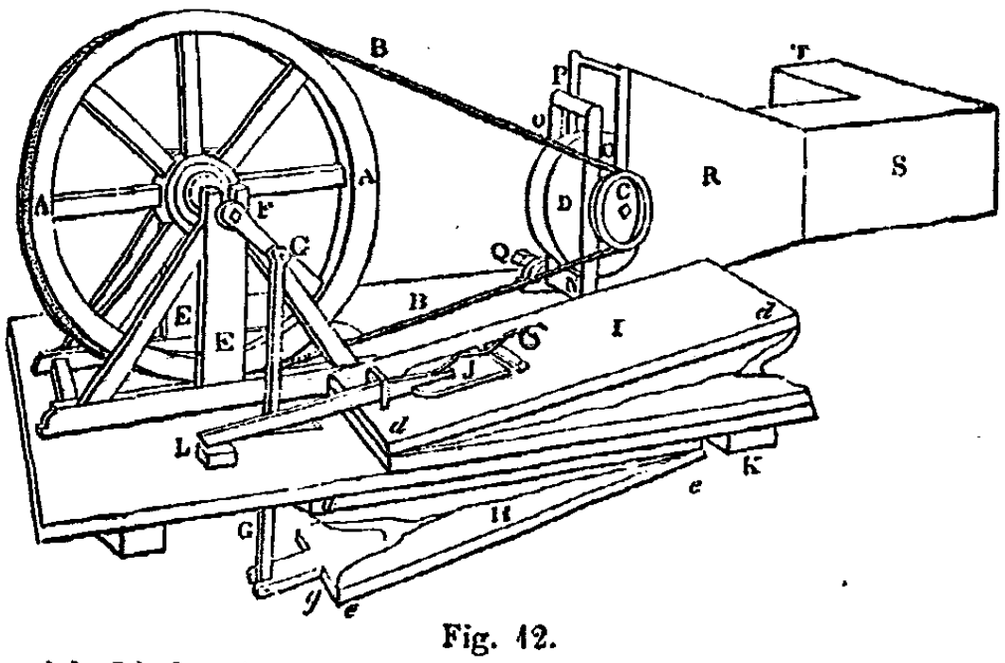


Fig. 12.

appareil simple qui a le double avantage d'entraîner la poussière de grès et de préserver les ouvriers des particules fines d'acier qui s'élèvent pendant le travail. C'est à l'aide de barreaux aimantés qu'il arrêtait les poussières qui échappaient à la ventilation.

Le moyen qu'a imaginé et employé avec succès M. Pastor, fabricant à Borcette, près d'Aix-la-Chapelle, consiste à faire de la meule elle-même un ventilateur qui entraîne les particules de grès et d'acier. Cette meule est revêtue d'une enveloppe en tôle, qui ne laisse qu'un étroit passage pour les aiguilles, et qui porte en un autre endroit une plaque de verre à travers laquelle l'ouvrier suit les progrès du travail. La chambre vide, comprise entre la meule et l'enveloppe, est en communication avec un tuyau aboutissant à une cheminée, et dans lequel l'air se précipite avec violence, entraînant la poussière siliceuse et métallique.

Considérations et faits divers qui se rattachent à la fabrication et au commerce des aiguilles.

Conditions auxquelles satisfait une bonne aiguille. — Nous pouvons maintenant résumer et compléter ce qui précède, de manière à établir les conditions d'une bonne fabrication.

Pour être réputées bonnes, les aiguilles doivent satisfaire à diverses conditions. Il faut que le fil soit d'acier de bonne qualité, bien trempé, que la partie cylindrique soit d'une rectitude parfaite ; que la cannelure soit faite avec une très grande régularité ; que l'œil soit percé dans l'axe, bien rond, et que ses bords ne coupent pas le fil ; que la tête ait assez de résistance pour ne pas se rompre sous l'effort de traction qu'on exerce sur le fil au travers de certaines étoffes ; que la pointe soit aiguë, bien conique, ne déviant pas de l'axe ; que le poli soit parfait ; que l'entrée dans l'étoffe soit facile et qu'il n'y ait pas de *ventre*, c'est-à-dire qu'après l'entrée la sortie soit également facile ;

que l'élasticité soit convenable pour faciliter le passage dans des parties de couture où l'aiguille ne peut pénétrer qu'en formant à chaque point un arc très prononcé, arc qu'elle doit perdre entièrement sitôt qu'elle se trouve mise en liberté.

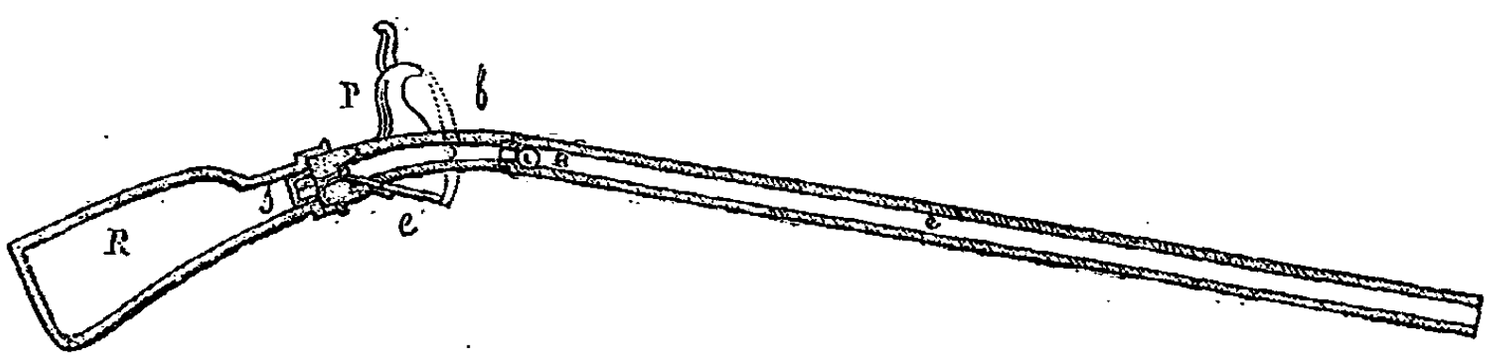
AIR (*ang.* air, *all.* luft). L'air est un mélange, en volume, de 79,2 parties d'oxygène et 20,8 parties d'azote. Le litre de ce gaz se pèse $1^{gram},3$, sous la pression barométrique de $0^{m},76$ et à 0°. Sa densité est $\frac{1}{770}$ de celle de l'eau; il renferme une quantité variable de vapeur d'eau et une très faible proportion (0,0004 à 0,0006 en vol.) d'acide carbonique. L'air est le seul gaz qui puisse entretenir la respiration, aussi doit-il être renouvelé avec soin dans tous les endroits où il se vicie constamment, tant par la respiration humaine que par la combustion des foyers, des corps éclairants, etc. Voyez VENTILATION.

AIR COMPRIMÉ. L'air comprimé au moyen de pompes foulantes ou machines de *compression*, peut être utilement employé dans certains cas comme force motrice. Souvent on se propose de faire jouer à l'air atmosphérique un rôle tout à fait analogue à celui de la vapeur dans les machines à vapeur, surtout pour les chemins de fer; nous indiquerons à ces articles les résultats déjà obtenus, en discutant l'exactitude et la portée des principes sur lesquels ils reposent, ce qui nous permettra d'en apprécier la valeur industrielle. Nous dirons seulement que c'est surtout comme réservoir de travail mécanique qu'on a fréquemment pensé à utiliser l'air comprimé, mais les résultats obtenus jusqu'à ce jour sont de faible importance. La difficulté de comprimer l'air à de fortes pressions, qui ne forcent pas à l'emploi de vaisseaux énormes, et par suite d'un grand poids, pour renfermer une faible quantité de travail, jointe à celle de le comprimer à de grandes distances, par suite des résistances produites dans les tuyaux par les coudes et étranglements, telles sont les causes qui ont rendu infructueux la plupart des essais tentés jusqu'à ce jour. C'est en renversant le problème, en raréfiant au contraire l'air pour utiliser la pression atmosphérique sur l'une des faces d'un piston se mouvant dans un cylindre alésé, qu'on a réussi dans les seuls essais qui aient donné jusqu'ici des résultats applicables en grand (voy. CHEMIN DE FER ATMOSPHÉRIQUE).

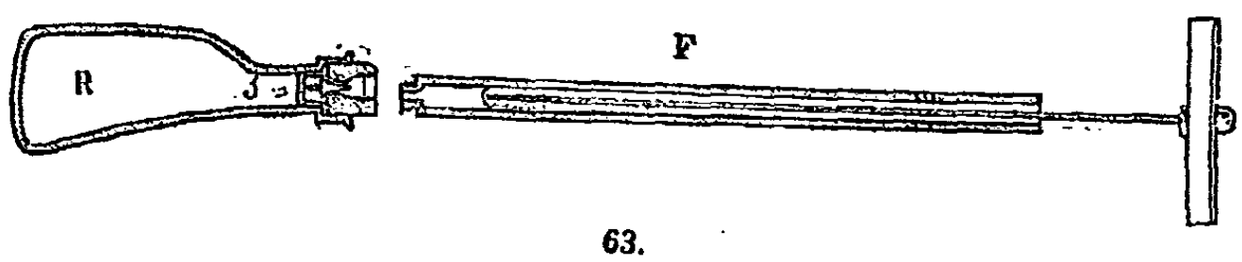
Nous nous contenterons de parler ici *du fusil à vent, du briquet pneumatique*, et enfin de l'emploi de l'air comprimé pour le passage des *niveaux* et le fonçage des puits de mines dans les terrains ébouleux et aquifères, qu'il est souvent impossible d'assécher au moyen de pompes d'épuisement, procédé qui doit trouver de bien nombreuses applications dans les travaux hydrauliques.

Fusil à vent. La fig. 62 montre en quoi le mécanisme de cet appareil diffère du fusil ordinaire. La crosse R est un réservoir en cuivre muni d'une soupape *s* s'ouvrant du dehors en dedans; on la dévisse et on y comprime de l'air sous une pression de 8 ou 10 atmosphères, à l'aide d'une petite pompe foulante F (fig. 63). On remet alors la crosse en place et on charge la balle B dans le canon *c* du fusil. Ensuite en faisant partir comme à l'ordinaire le chien P, celui-ci fait basculer le levier *b*, dont l'extrémité inférieure pousse la tige *e* et ouvre la soupape *s*, l'air sort avec violence, chasse la balle et la soupape se referme à l'instant. On peut tirer de suite plus ou moins de coups, suivant que le réservoir est plus ou moins grand. Le fusil à vent peut lancer la balle avec presque autant de vitesse que le fusil ordinaire; car, quoique la pression initiale soit bien moins considérable que celle due à l'inflammation de la poudre, d'un autre côté cette pression s'exerce sur le projectile avec une intensité à peu près constante, pendant tout le temps qu'il met à en parcourir le canon qu'on a soin de faire très long, afin d'obtenir une vitesse suffisante par l'action prolongée de l'air, sans que la pression de celui-ci dans le réservoir soit énorme; tandis qu'elle décroît considérablement dans les fusils ordinaires, par suite de l'expansion des gaz de la poudre, et de l'abaissement de température qu'ils subissent dans ce parcours. Cet effet ne se produit pas sans bruit, ni sans lumière et à l'extrémité du canon, on voit un jet de flamme qui est produit par le frottement des petites poussières solides que l'air rencontre ou qu'il emporte avec lui; car il paraît que dans un air très pur, il n'y a plus de flamme perceptible. La quantité d'air qui sort du réservoir à chaque coup, et qui est égale en volume à celui du canon de fusil, diminue rapidement la pression dans le réservoir, ce qui fait que les vitesses des coups qui se succèdent décroissent rapidement. C'est là un des principaux inconvénients qui ont toujours empêché de faire du fusil à vent un usage sérieux.

Briquet pneumatique. Ce briquet consiste en un tube de verre cylindrique très fort, garni d'une armature en cuivre à son extrémité inférieure qui est fermée; il s'y meut à frottement un piston plein, muni d'une tige servant à le manœuvrer et portant en dessous une cavité où l'on peut fixer un morceau d'amadou. Lorsque l'on comprime brusquement l'air renfermé dans le cylindre en verre à l'aide du piston, de manière à le réduire à une très petite partie de son volume primitif, il se dégage une quantité de chaleur, auparavant latente et employée à maintenir l'écartement moléculaire, suffisante pour enflammer l'amadou.



62.



63.

AIR COMPRIME.

Appareil Triger pour la traversée des terrains éboulieux et aquifères. Pour mieux faire comprendre l'usage de cet appareil, dont le croquis fig. 64 donnera une idée, nous supposerons qu'il s'agisse d'atteindre le terrain houiller recouvert par une vingtaine de mètres de sables, dans lesquels s'infiltre l'eau d'une rivière, ce qui était précisément le but que M. Triger s'était proposé d'atteindre, lorsqu'il imagina d'employer ce procédé. On commencera par se procurer une suite de bouts de tubes en tôle, ou mieux en fonte, celle-ci s'attaquant moins par les eaux que la tôle, d'un grand diamètre (celui que l'on veut donner au puits), que l'on enfonce successivement à coups de mouton, en les réunissant à mesure, jusqu'à ce qu'on ait atteint le terrain solide. On drague ensuite le sable contenu dans le tube soit à l'aide de cylindres à soupapes (voyez SONDAGES), soit de toute autre manière ; reste encore à épuiser l'eau et à pénétrer dans le terrain solide à une profondeur telle qu'on puisse y asseoir le tube en tôle par un *picotage* (voyez MINES), qui ne laisse filtrer qu'une quantité d'eau insignifiante. On emploie à cet effet l'appareil ci-dessus, qui se compose :

64.

1° D'une machine à vapeur A qui met en mouvement deux pompes P, P', qui refoulent l'air dans le tuyau N ; les pistons sont munis ainsi que le fonds des corps de pompe de soupapes s'ouvrant de haut en bas ; on se procure aisément des soupapes très convenables pour comprimer l'air à plusieurs atmosphères, en leur donnant une forme analogue aux âmes des soufflets domestiques.

2° D'un sas à air S, supporté par un câble C et fixé dans le tube T par un presse-étoupe I,I, ayant pour but de s'opposer à toute communication directe entre l'intérieur du puits et l'atmosphère. Ce sas renferme : deux soupapes trous d'homme L, M, destinées à la manœuvre du sas pour l'introduction des ouvriers et l'extraction des déblais ; deux robinets Q, R, destinés au même usage ainsi qu'un manomètre et une soupape de sûreté pour prévenir tout accident. Il est en outre traversé par deux tuyaux, dont l'un NN, est destiné à l'introduction de l'air comprimé dans le puits, et l'autre OO à faciliter la sortie de l'eau, lorsque par suite de la compression de l'air, cette eau est forcée de sortir avec plus de vitesse que ne le permettent les ouvertures qui peuvent exister au bas du puits au contact imparfait du tube T avec le terrain solide.

Dès que la machine à vapeur sera en activité, les pompes foulantes injecteront au-dessous du sas à air, de l'air qui s'y comprimera, et si le puits est rempli d'eau, cette eau cédant alors à la pression de l'air, s'échappera par le tuyau OO, de sorte qu'au bout d'un certain temps, toute celle contenue dans le puits se trouvera remplacée par de l'air comprimé, et si la manœuvre continue ce puits se trouvera constamment à sec.

Quant à l'introduction des ouvriers dans le puits, elle se fait au moyen du sas à air S. Supposons pour un instant la soupape M fermée et l'air comprimé dans le puits à la pression de deux ou trois atmosphères, ce qui correspond à une hauteur d'eau de 20 à 30 mètres. La soupape L étant ouverte, les ouvriers pourront descendre dans le sas à air, puis fermer au-dessus de leur tête cette soupape et ouvrir en même temps le robinet inférieur Q, pour se mettre en communication avec l'air comprimé du puits ; à l'instant même la soupape L se trouvera collée contre ses parois, et dès que l'équilibre se sera établi entre la tension de l'air dans le puits et dans le sas à air, la soupape inférieure M s'ouvrira d'elle-même par son propre poids, et les ouvriers pourront s'introduire dans le puits. Pour en sortir, il suffira de faire une manœuvre pareille en sens inverse, c'est-à-dire de fermer la soupape M et d'ouvrir le robinet supérieur R pour se mettre de suite en communication avec l'atmosphère. La tension de l'air diminuant alors au-dessous de la soupape L, celle-ci s'ouvrira d'elle-même, et les ouvriers pourront sortir et faire enlever leurs déblais.

Lorsqu'on passe de l'air libre dans l'air comprimé, on ressent dans les oreilles une douleur plus ou moins forte de peu de durée, et le meilleur moyen de la faire disparaître est d'opérer un mouvement de déglutition en avalant sa salive. Cette espèce d'engourdissement est d'autant moins sensible que l'appareil est plus grand et que l'on met plus de temps à passer de l'air libre dans l'air comprimé et réciproquement, temps qu'il est facile de faire varier à volonté en tournant plus ou moins les robinets Q, R.

Un autre phénomène produit par l'air comprimé, est une accélération sensible de la combustion avec l'intensité de la compression, au point que sous une pression de trois atmosphères cette accélération devient telle, qu'on doit remplacer les chandelles à mèches de coton qui brûlent avec une telle rapidité qu'elles durent à peine un quart d'heure en répandant en outre une fumée intolérable, par des chandelles à mèches de fil, ce qui diminue très notablement la vitesse de combustion et le dégagement de la fumée.

L'assèchement du puits étant ainsi opéré, on s'enfonce dans le terrain solide jusqu'à ce qu'on rencontre une couche imperméable dans laquelle on PICOTE (voyez MINES) par les procédés ordinaires, deux ou plusieurs trousses porteuses sur lesquelles on monte un cuvelage qui se relie au tube en tôle ou en fonte.

Il convient pour diminuer la tension de l'air comprimé dans le puits d'adapter au bas du tube de dégagement de l'eau OO et sur l'une de ses parois un robinet permettant l'introduction de l'air; par ce moyen, il s'échappe par l'extrémité de ce tube un mélange artificiel d'eau et d'air qui, étant spécifiquement plus léger que l'eau, peut être élevé à une hauteur plus considérable, sous la même pression.

L'heureuse conception de M. Triger est devenue le point de départ d'un immense perfectionnement de l'art de l'ingénieur, en fournissant le moyen d'exécuter des travaux hydrauliques offrant des difficultés qui eussent été autrefois insurmontables. Nous citerons pour exemple les piles du célèbre pont du Rhin à Strasbourg. (Voy. *Complément* FONDATIONS TUBULAIRES.)

L'air comprimé peut servir de force motrice, et est employé pour faire mouvoir de petits appareils de démonstration. Un homme fort ingénieux, M. Andraud, avait cru ouvrir une voie nouvelle à la mécanique en se servant des moteurs naturels, chutes d'eau, air en mouvement, pour comprimer l'air dans des réservoirs que l'on pouvait transporter, et qui représentaient des quantités de travail moteur disponible. Mais il aurait dû voir que ces quantités étaient trop minimes pour mettre aucune machine, un peu puissante, en mouvement pendant un temps quelque peu notable. Aussi, ces essais n'ont ils conduit à aucun résultat.

ALAMBIC (angl. *still*, all. *blase*). L'alambic est un appareil dont on se sert pour distiller les liquides; il est formé de deux pièces : la *cucurbite*, où s'opère la distillation, et le *réfrigérant* où les vapeurs se condensent. Il sert surtout dans la préparation des spiritueux.

Dans les opérations de la chimie, l'emploi de la vaporisation par la chaleur et de la liquéfaction, par refroidissement, est de chaque instant pour séparer un corps volatil d'un autre qui l'est moins. Le petit appareil qui est alors employé vient, pour les opérations de l'industrie, prendre des dimensions considérables, les proportions des surfaces de chauffe et de refroidissement doivent alors être étudiées avec soin. Nous donnons à l'article DISTILLATION du *Complément* l'historique de la transformation de l'alambic par les heureuses combinaisons d'Édouard Adam et de ses rivaux; nous donnerons ici l'appareil en quelque sorte définitif, que l'industrie doit à M. *Cellier-Blumenthal*, qui eut l'idée de combiner tout ce qu'il y avait de bon dans les divers systèmes, et d'appliquer à l'appareil qui en est résulté le système de la continuité si fécond dans toutes les opérations industrielles.

Les principes de la distillation des spiritueux reposent sur le fait, que l'on peut séparer par l'action de la chaleur l'alcool des matières aqueuses avec lesquelles il est mélangé, et que cette séparation est d'autant plus complète que la température à laquelle on opère est plus basse. Cela est rendu évident par le tableau ci-joint dû à Grœning.

La teneur alcoolique d'un liquide augmentant, dans une proportion très-rapide, au fur et à mesure que le point d'ébullition s'abaisse, comme le montre ce tableau, il s'ensuit qu'à l'aide d'une série de condenseurs successifs, les produits de la distillation venant de l'alambic, sont d'abord condensés dans le premier flacon; mais celui-ci s'échauffant peu à peu, acquerra bientôt une température normale inférieure à celle de l'alambic, par suite de laquelle il passera dans le second condenseur un liquide alcoolique d'une teneur plus considérable, etc. Et en définitive, on obtiendra dans les divers flacons des produits de plus en plus riches en alcool.

D'après le même auteur, l'alcool absolu a une densité de 0,791 à la température de — 20° centigrades et

LIQUEURS ALCOOLIQUES.

TEMPÉRATURE de L'ÉBULLITION.	TENEUR ALCOOLIQUE DU LIQUIDE en ébullition pour 100.	TENEUR ALCOOLIQUE DE LA VAPEUR qui se dégage pour 100.
76°,7c	92	93
77°,7c	90	92
77°,8c	85	91
78°,2c	80	90 1/2
79°,0c	70	90
79°,2c	70	89
80°,0c	65	87
81°,3c	50	85
82°,7c	40	82
83°,9c	35	80
85°,0c	30	78
86°,3c	25	76
87°,7c	20	71
88°,9c	18	68
90°,0c	15	66
91°,3c	12	61
92°,5c	10	55
93°,9c	7	50
95°,0c	5	42
96°,3c	3	36
97°,6c	2	28
98°,9c	1	13
100°,0c	0	0

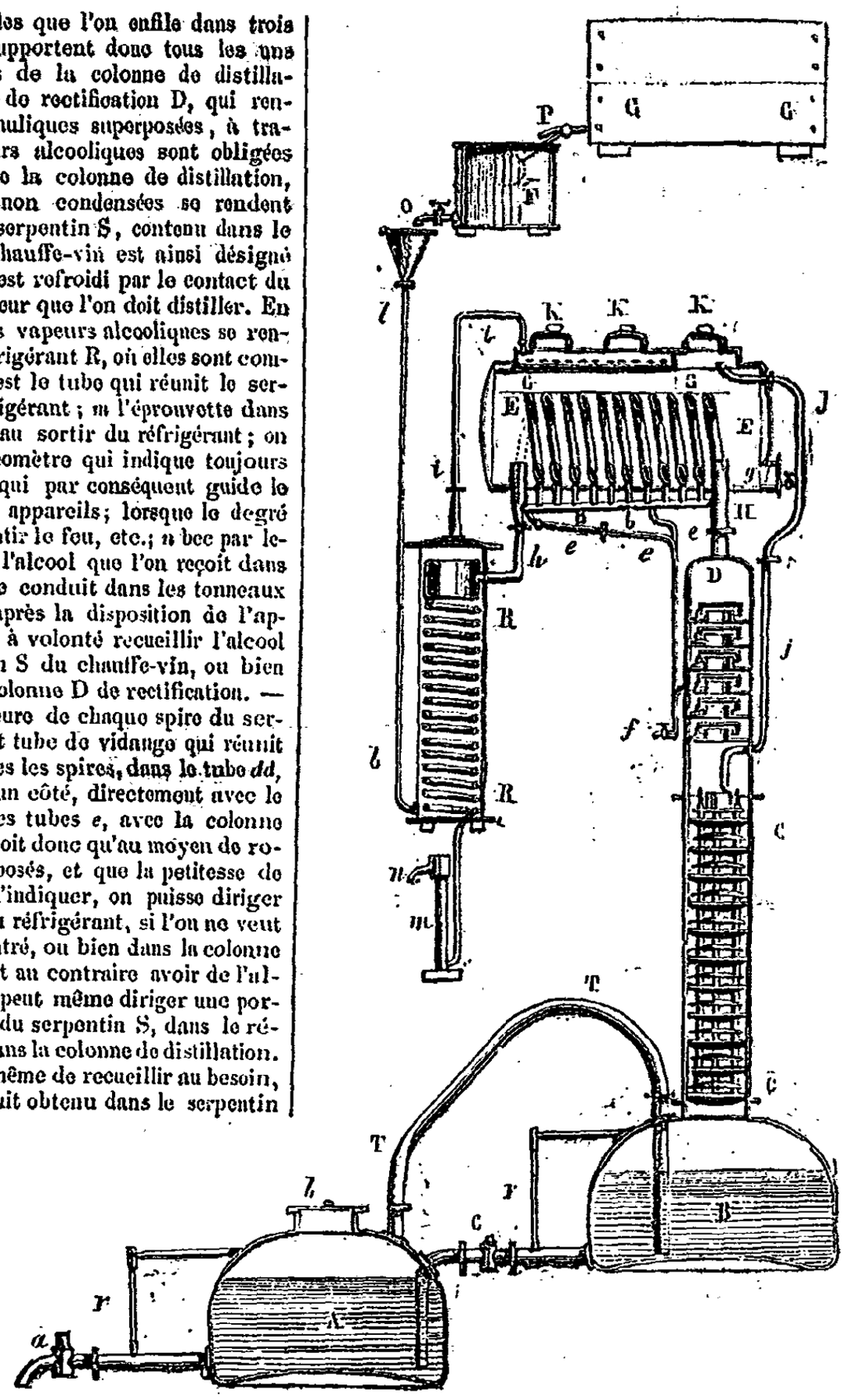
bout à 75°,8 centigrades; ce qui ne s'accorde pas tout à fait avec les nombres donnés par M. Gay-Lussac (voy. ALCOOL).

L'appareil de M. Cellier-Blumenthal est certainement de tous les alambics de distillation celui qui réunit les plus grands avantages; on peut le dire sans exagération, il est en quelque sorte le type de la perfection : il marche avec continuité sans exiger presque de surveillance, il donne de l'alcool rectifié ou non rectifié à un degré voulu, enfin et surtout il dépense très peu de combustible. Cette dépense qui s'élève souvent dans les alambics discontinus jusqu'à trois fois le poids de l'alcool à trois-six ou à 33° Cartier obtenu, n'est dans les appareils construits d'après le système Cellier-Blumenthal, que le quart environ du poids de cet alcool, c'est-à-dire plus de dix fois moins considérable. La description que nous allons donner d'un de ces appareils continus, construit par M. Derôsne, montrera par quels moyens on est arrivé à cette grande économie.

A et B (fig. 65) sont deux chaudières de distillation; la première A est placée immédiatement au-dessus du foyer, la seconde B est chauffée par la chaleur perdue des produits de la combustion. La chaudière A se vidange par le robinet *a*, et se remplit par le robinet *c* avec le contenu de la chaudière B; le tube T conduit les vapeurs de la chaudière A dans la chaudière B. Les niveaux *r*, *r* indiquent la hauteur du liquide dans les deux cucurbites. Le trou d'homme *b* sert au besoin à nettoyer la chaudière A. Au-dessus de la chaudière B se trouve fixée la *colonne de distillation C*; cette colonne renferme dix couples superposées de calottes mobiles, présentant alternativement leur concavité en haut et en bas, et rayonnées à leur surface par des fils de cuivre soudés qui transmettent goutte à goutte le liquide condensé, d'une calotte supérieure sur la calotte inférieure; chacun des

ALAMBIC.

couples porte trois douilles que l'on enfile dans trois tringles en fer; ils se supportent donc tous les uns sur les autres. Au-dessus de la colonne de distillation se trouve la colonne de rectification D, qui renferme six soupapes hydrauliques superposées, à travers lesquelles les vapeurs alcooliques sont obligées de passer En sortant de la colonne de distillation, les vapeurs alcooliques non condensées se rendent par le tube H, dans un serpentin S, contenu dans le vase *chauffe-vin* E. Ce chauffe-vin est ainsi désigné parce que le serpentin S est refroidi par le contact du vin lui-même ou de la liqueur que l'on doit distiller. En sortant du serpentin S, les vapeurs alcooliques se rendent enfin dans le vase réfrigérant R, où elles sont complétement condensées; *h* est le tube qui réunit le serpentin S avec celui du réfrigérant; *m* l'éprouvette dans laquelle se rend l'alcool au sortir du réfrigérant; on place dans ce vase un aréomètre qui indique toujours le degré de l'alcool, et qui par conséquent guide le chauffeur qui conduit les appareils; lorsque le degré est trop fort, on doit ralentir le feu, etc.; *n* bec par lequel s'écoule en définitive l'alcool que l'on reçoit dans un tube à entonnoir qui le conduit dans les tonneaux destinés à le contenir. D'après la disposition de l'appareil, on voit qu'on peut à volonté recueillir l'alcool condensé dans le serpentin S du chauffe-vin, ou bien le faire retourner dans la colonne D de rectification. — En effet à la partie inférieure de chaque spire du serpentin S se trouve un petit tube de vidange qui réunit le liquide condensé de toutes les spires, dans le tube *dd*, ce tube *dd* communique d'un côté, directement avec le tube *h* et de l'autre, par les tubes *e*, avec la colonne de rectification D; on conçoit donc qu'au moyen de robinets convenablement disposés, et que la petitesse de la figure n'a pas permis d'indiquer, on puisse diriger l'alcool dans le serpentin du réfrigérant, si l'on ne veut pas avoir un produit concentré, ou bien dans la colonne de rectification, si l'on veut au contraire avoir de l'alcool à un haut degré. On peut même diriger une portion seulement de l'alcool du serpentin S, dans le réfrigérant et l'autre partie dans la colonne de distillation. Enfin un robinet *f*, permet même de recueillir au besoin, tout à fait à part, le produit obtenu dans le serpentin S. Toutes ces combinaisons ont été adoptées dans le but d'obtenir à volonté des alcools à un degré voulu.



65.

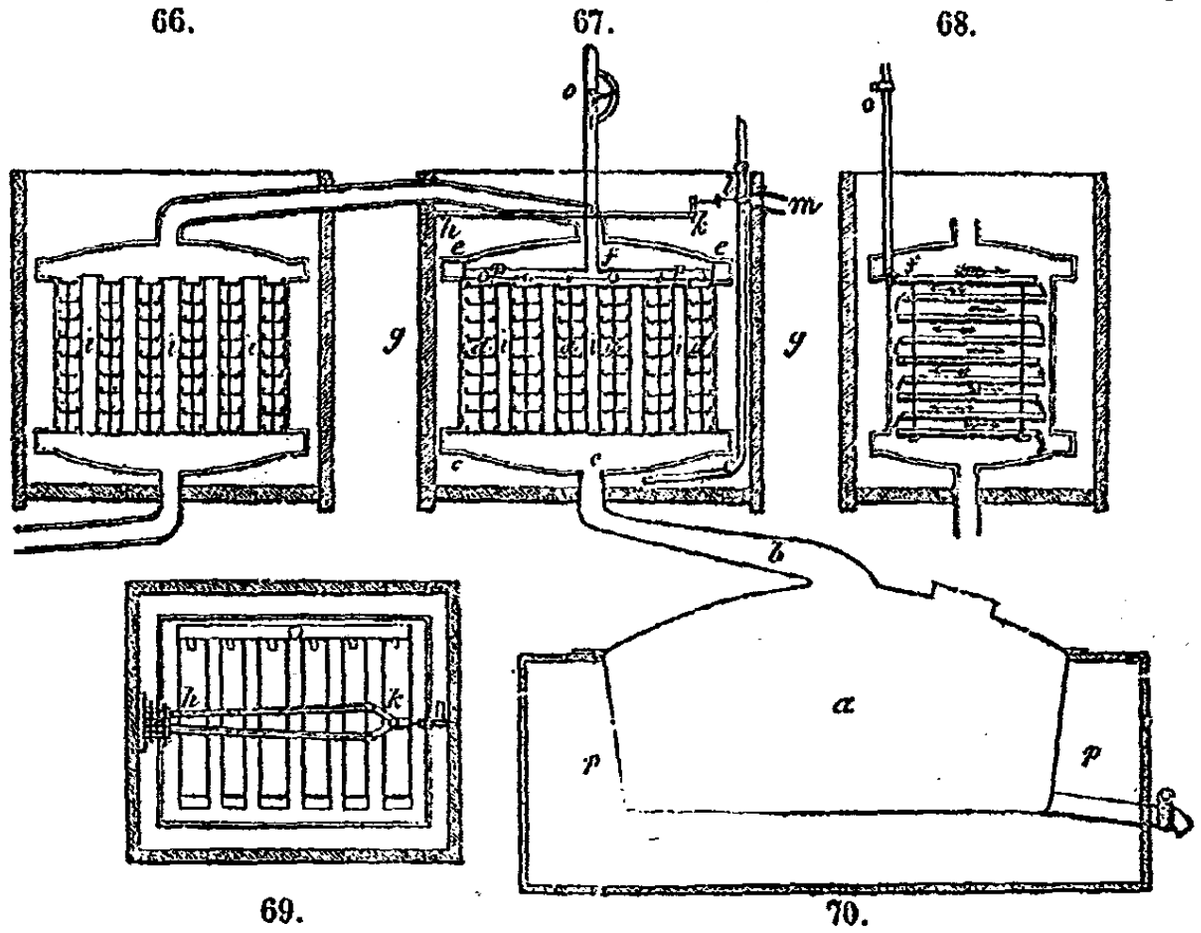
G est le réservoir contenant le liquide que l'on veut distiller; *p* robinet à niveau qui maintient toujours rempli le vase F, ce dernier alimente avec continuité l'appareil de distillation au moyen du robinet *o* placé au-dessus d'un entonnoir. *ll* Tube conduisant le vin ou la liqueur alcoolique dans le réfrigérant R; on fait arriver ce tube à la partie inférieure du réfrigérant pour que la condensation des vapeurs alcooliques soit plus parfaite; après avoir refroidi le serpentin du réfrigérant, le vin se rend par le tube *ii* dans le *chauffe-vin* E; avant d'y entrer il tombe dans une rigole percée de trous qui le répartit uniformément. Au sortir du vase E, le vin très chaud se rend par le tube *j* à la partie supérieure de la colonne de distillation C, là il se répand successivement sur les calottes et arrive enfin dans la chaudière B, puis on le fait couler dans la chaudière A, et enfin la vinasse épuisée se vidange par le robinet *a*.

En définitive, on voit que dans cet appareil modèle, les vapeurs alcooliques cheminent toujours en sens contraire de la liqueur distillée, de manière à ce que celle-ci profite le mieux possible de toute la chaleur qu'abandonnent les vapeurs en se condensant. D'un autre côté, l'appareil étant disposé de manière à ce que l'on puisse ramener, dans la colonne de rectification, l'alcool qui n'a pas le degré voulu, on évite ainsi les rectifications successives que l'on était obligé de faire dans les anciens appareils. Ces causes réunies, ainsi que la continuité du travail, expliquent l'énorme économie de combustible que réalisent les appareils fondés sur le système Cellier-Blumenthal, qui est aujourd'hui généralement adopté en France, et nous verrons même que les appareils les plus employés à l'étranger reposent toujours sur les mêmes principes, quoique au premier coup d'œil leur forme paraisse tout à fait différente.

L'alambic représenté dans les figures 66, 67, 68, 69, et 70 est généralement employé en Angleterre dans les distilleries de grains, et mérite d'être cité à cause de sa

simplicité, et tout à la fois de sa perfection; il est à distillation continue comme l'appareil ci-dessus de Collier-Blumenthal. Cet appareil se compose de trois parties distinctes : l'alambic proprement dit, le rectificateur et le réfrigérant ou condensateur. Quand l'eau, les huiles et l'alcool passent à l'état de vapeur dans les conduits repliés sur eux-mêmes du rectificateur où la température est maintenue à 77° centig., l'alcool seul conserve sa forme élastique et se rend dans le réfrigérant placé à la suite, tandis que l'eau et l'huile sont en grande partie condensées, et retombent dans le corps de l'alambic, d'où on les retire avec les résidus.

66.



69.

70.

Le système représenté dans les fig. 66, 67 et 70 est combiné de manière que les vapeurs de toute nature, qui s'élèvent de l'alambic *a*, soient en contact intime avec des surfaces métalliques chaudes, maintenues à une température constante par le moyen d'un manchon rempli d'eau qui les entoure, et dont la chaleur est réglée par un appareil que nous décrirons plus loin.

Le col de l'alambic *b* (fig. 70) se joint en c (fig. 67) au fond du rectificateur c, *f*; des canaux rectangulaires *i*, *i*,... servent à multiplier le contact de l'eau du manchon *gg*, avec les diverses parties du rectificateur. Les canaux *d*, *d*,... de celui-ci, résultant de cette disposition, sont garnis de nombreuses rangées de tablettes métalliques munies de rebords sur leurs longs côtés, légèrement inclinées tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, et dans le sens de leur longueur, de telle sorte (fig. 67 et 68) que l'eau condensée dans une partie de l'appareil soit ramenée à la partie inférieure, et de là dans l'alambic.

Les tablettes de chaque canal sont enfilées sur des baguettes verticales, et y sont maintenues à l'aide de boulons ou de chevilles; de sorte qu'on peut, en ôtant le couvercle *f*, retirer les tablettes de l'appareil pour les nettoyer.

La fig. 69 donne le plan du rectificateur, que l'on a déjà vu représenté de deux manières différentes dans les fig. 67 et 68. *h*, *k*, fig. 67 et 69, est l'appareil qui sert à maintenir l'eau du manchon à une température à peu près constante. Il ressemble un peu par la forme à une paire de pincettes. Chaque bras est une barre formée d'une feuille d'acier et d'une de cuivre, soudées ensemble et placées de champ, de telle sorte que les deux lames de cuivre de chaque bras se regardent; les bras composés s'écartent quand la température s'élève, et se rapprochent quand elle baisse, par suite de l'inégale dilatation des métaux qui les composent, et agissent par un levier sur le robinet *l* du bassin d'eau froide qui est en arrière. Ils sont disposés de telle sorte que, quand la température de l'eau du manchon *gg* s'élève au-dessus du degré convenable, le robinet *l* s'ouvre, l'eau froide descend par le tuyau *n* au fond du rectificateur, et déplace l'eau chaude qui s'écoule par le tuyau de décharge *m*. La température, de cette façon, est toujours sensiblement uniforme, et les vapeurs alcooliques qui arrivent au réfrigérant ont toutes la même tension.

La fig. 66 représente le réfrigérant; sa construction est celle du rectificateur, fig. 67, seulement les intervalles *i*, *i*,... sont beaucoup plus larges par rapport aux canaux de condensation *d*, *d*... Cet appareil est excellent, et il offre l'avantage de pouvoir être aisément visité à l'intérieur et nettoyé. Il est doublé avec de l'étain laminé dont on augmente la durée en y alliant une petite quantité de cuivre.

Voici comme on opère avec cet appareil. On introduit dans l'alambic *a* la quantité de liqueur fermentée nécessaire pour empêcher le feu d'en endommager le fond. Quand l'ébullition de l'alambic a porté au point convenable la température de l'eau contenue dans le manchon *gg*, soit à 78°, 80° ou 82°, on y ajuste avec une vis l'instrument régulateur *h*, *k*; puis on ouvre le robinet *o* du réservoir d'alimentation, en se réglant, pour cela, sur son cadran. La liqueur fermentée coule alors en mince filet par le tuyau o, *f*, dans le tube horizontal *p*, *p*, et se répand par les orifices de distribution qui la portent dans les différentes cases à tablettes, le long desquelles elle descend en zig-zag en suivant le sens des flèches, fig. 68.

La liqueur froide, arrivant en minces filets sur des surfaces aussi multipliées, détruit, sans dépense de combustible, la tendance continuelle qu'a l'eau du manchon *gg* à s'échauffer. Elle s'échauffe elle-même pendant ce parcours et s'évapore en abondance. Avec cette disposition, il suffit que le robinet *l* fournisse une faible quantité d'eau froide pour que la chaleur du bain soit aussitôt tempérée, car le vin, en descendant le long

des tablettes, a une action réfrigérante bien supérieure à la chaleur produite par la distillation de l'alcool qu'il renferme. Il est à remarquer que l'on obtient ainsi, sans la moindre pression de vapeur dans l'alambic, le résultat distillatoire le plus complet; c'est-à-dire qu'en fort peu de temps, avec très-peu de main-d'œuvre et de combustible, on produit une quantité considérable d'alcool pur. La vapeur ne rencontre de résistance sur aucun point de l'appareil, tandis que, dans presque tous les alambics rectificateurs inventés auparavant, les vapeurs avaient à percer plusieurs couches du liquide, ce qui ralentissait le travail et nécessitait une augmentation de température ordinairement préjudiciable. On peut, avec le régulateur que nous avons décrit, refroidir autant qu'on le veut les vapeurs qui traversent le rectificateur.

On peut éviter l'odeur empyreumatique que les spiritueux sont sujets à prendre lorsqu'on les distille à feu nu, en faisant plonger l'alambic dans un bain de lessive de potasse p p (fig. 70); on pourra encore, de cette manière, porter l'intérieur de la cucurbite à une température de 150°, ce qui est bien plus que suffisant. Du reste, on se sert le plus souvent de l'alambic chauffé à feu nu.

ALBATRE. Pierre ordinairement blanchâtre ou jaunâtre, qui se laisse facilement rayer au couteau. Il y a deux espèces d'albâtre : l'*albâtre gypseux*, qui est purement un sulfate de chaux hydraté ou pierre à plâtre saccharoïde et translucide; et l'*albâtre calcaire* qui est un carbonate de chaux. *L'albâtre oriental*, présentant les mêmes caractères intérieurs que le précédent, est toujours calcaire; c'est le plus estimé de tous à cause de ses couleurs vives et agréablement variées, offrant une série de zones alternatives, jaune de miel, jaune brun, rouges, etc. Il est, en outre, susceptible de prendre le poli du marbre.

La finesse du grain de l'albâtre, l'uniformité de sa texture, l'éclat du poli, et sa demi-transparence sont autant de qualités qui le rendent précieux pour un sculpteur ou un fabricant d'objets d'ornement.

On trouve fréquemment l'albâtre calcaire sous forme d'un dépôt blanc jaunâtre dans certaines sources minérales. Aux bains de *San Felippo* en Toscane, l'eau thermale, presque bouillante, coule sur une énorme masse de stalactites qu'elle a formée, et tient en dissolution du carbonate de chaux, probablement à l'état de bicarbonate, qui se décompose au contact de l'atmosphère et se dépose à l'état de carbonate neutre. On a tiré parti de cette propriété pour obtenir des bas-reliefs d'une grande dureté, en plaçant des moules de soufre très-inclinés, et presque verticaux dans des cuves de bois ouvertes par le fond. L'ouverture supérieure de ces cuves est surmontée d'une grande croix de bois; on fait d'abord déposer à l'eau de la source, dans un réservoir extérieur, son sédiment le plus grossier, puis on la fait couler sur cette croix de bois, où elle se distribue en petit filets, qui en tombant dans les creux du soufre, y déposent un précipité d'un grain d'autant plus fin que le moule est plus rapproché de la position verticale. Il faut de un à quatre mois pour cette opération selon l'épaisseur que l'on veut donner à l'incrustation. C'est par des procédés semblables que les artistes sont parvenus à mouler en relief des vases, des figures d'animaux et d'autres objets de différentes formes qui ne demandent plus que d'être un peu retouchés et ensuite polis.

L'albâtre commun est un sulfate de chaux analogue à la pierre à plâtre. Il y a cependant quelques variétés qui font effervescence avec les acides, et qui, par conséquent, contiennent du carbonate de chaux. Cet albâtre se rencontre avec diverses couleurs et différents degrés de dureté; mais il est toujours plus tendre que le marbre; il forme ordinairement les couches inférieures des carrières de gypse. Les sculpteurs préfèrent les plus durs, les plus blancs, et ceux qui sont d'une texture granulaire, comme le marbre de Carrare, auquel ils ressemblent parfois tellement, qu'on ne peut les en distinguer que par la dureté.

ALBATRE.

On travaille l'albâtre avec les mêmes outils que le marbre; plus il est tendre, plus il est facile à tailler, mais aussi plus il est difficile à polir à cause de son peu de solidité. Lorsqu'on lui a donné la forme voulue, on l'adoucit en le passant à la pierre ponce, puis on le polit avec une espèce de bouillie faite avec de la craie, du savon et du lait; on lui donne ensuite le dernier fini en le frottant avec de la flanelle. Il est susceptible d'acquérir une teinte jaunâtre.

Indépendamment des variétés plus dures qui sont employées pour sculpter des figures de grande dimension, il y a un albâtre plus tendre, d'un blanc pur et demi-transparent dont on fait de petits objets d'ornement, tels que des boîtes, des vases, des lampes, des supports, etc. Cette branche d'industrie est très-exploitée à Florence, à Livourne, à Milan, etc., et y occupe un grand nombre de tours. De tous les albâtres, celui de Florence mérite la préférence pour sa beauté et son uniformité qui le rendent apte à être taillé en figures de très-grandes dimensions. Il existe, dans ce but, de grands ateliers où on le scie, avec des scies d'acier, en blocs et en masses de différentes formes.

Il y a d'autres espèces de gypse, tels que ceux de Salzbourg et d'Autriche, qui renferment des veines de sable, et des nodules durs, ce qui oblige à extraire les blocs de la carrière par des opérations de clivage et par l'emploi de la poudre à canon, qui les mettent dans le cas de se fendre, et les rendent impropres à être façonnés en objets délicats de sculpture. Ce genre d'albâtre est, en outre, d'une nuance grise, et souvent taché de noir. L'albâtre le plus propre à la fabrication des objets d'ornement est déjà assez blanc quand on le détache de la carrière, et il devient plus blanc encore à sa surface en se séchant. Il se taille aisément au couteau ou au ciseau, et on lui donne facilement toutes les formes voulues avec des outils d'acier appropriés à cet usage. On le travaille, soit à la main, soit au tour; les outils du tour ne doivent pas être trop minces ni trop tranchants; ceux qui servent à travailler l'ivoire et le cuivre jaune conviennent tout à fait à l'albâtre, on les emploie principalement à raser et à gratter la surface. Les statuettes et objets analogues, se travaillent à la râpe et au ciseau.

Pour bien polir des ouvrages de ce genre il faut avoir recours à un procédé particulier. La pierre ponce réduite en poudre en adoucit très-bien la surface, mais elle altère la blancheur de l'albâtre. La prêle sèche (*equisetum*), si employée par les tourneurs, convient beaucoup mieux pour faire disparaître les inégalités; en frottant avec cette plante et de l'eau on polit les aspérités que le ciseau a laissées; ensuite on fait disparaître les petites stries que laisse la prêle elle-même, en frottant la pièce avec de la chaux éteinte, réduite en poudre fine et passée au tamis, dont on forme une pâte ou une espèce de mastic avec de l'eau. Le poli et le lustre satiné de la surface s'obtiennent en frottant avec de l'eau de savon et de la chaux, et finalement avec du talc ou de la craie de France réduite en poudre et décantée (*blanc d'Espagne*); quand les articles sont composés de plusieurs pièces, on joint celles-ci avec un ciment composé de chaux vive et de blanc d'œuf, ou avec du plâtre de Paris bien calciné et bien tamisé, gâché avec la plus petite quantité d'eau possible.

Les objets d'albâtre sont susceptibles de jaunir avec le temps; ils sont spécialement gâtés par la fumée, la poussière, etc. On peut alors les restaurer jusqu'à un certain point en les lavant avec du savon et de l'eau,

puis avec de l'eau pure seulement, et en les polissant de nouveau avec de la prêle. Les taches de graisse peuvent s'enlever soit en les frottant avec du talc en poudre, soit avec de l'essence de térébenthine.

On peut graver à la surface de l'albâtre en recouvrant les parties qui ne doivent pas être touchées, avec une dissolution de cire dans de l'essence de térébenthine épaissie avec du blanc de céruse (carbonate de plomb), puis, plongeant dans l'eau pure les objets ainsi préparés, on les y laisse de 20 à 50 heures, plus ou moins, selon la profondeur que l'on veut donner à la gravure. Après les avoir retirés on enlève la couche de vernis avec de l'essence de térébenthine; les endroits qui ont été en contact avec l'eau ont perdu leur poli, on les frotte alors avec une brosse et du plâtre réduit en poudre fine, lequel leur donne une espèce d'opacité qui fait contraste avec le reste de la surface polie.

On peut colorer l'albâtre de la même manière que les marbres, soit avec des dissolutions métalliques, soit avec des teintures alcooliques de plantes colorantes, soit enfin avec des huiles colorées.

On peut durcir, dit-on, l'albâtre gypseux en l'exposant à la température d'un four de boulanger pendant un intervalle de 10 à 20 heures, au sortir de la carrière, et après l'avoir dégrossi sous la forme qu'on a l'intention de lui donner. Au sortir du four on le fait tremper pendant deux minutes dans l'eau courante; lorsqu'il est refroidi, il faut l'y faire tremper une seconde fois, et pendant le même temps; après avoir été exposé à l'air pendant plusieurs jours, l'albâtre ainsi traité acquiert une dureté qui approche de celle du marbre. Cela peut avoir lieu surtout lorsque l'albâtre est très impur, et ce serait un phénomène bien connu qui se rapporte à la qualité des plâtres de diverses localités; ainsi le gypse très pur ne produit qu'un plâtre qui offre peu de consistance, tandis que le gypse de Montmartre qui contient une quantité très notable de carbonate de chaux donne, par la cuisson, un plâtre qui gâché avec un peu d'eau prend rapidement consistance et acquiert une dureté et une résistance beaucoup plus grandes que celles qu'il possédait auparavant. (Voyez PLATRE).

ALBUMINE. L'albumine est une substance qui fait partie d'un grand nombre de liquides animaux. Elle entre en forte proportion dans le sang. A l'exception d'un peu d'eau et de quelques sels en très petite quantité, elle constitue le blanc d'œuf, d'où elle a tiré son nom.

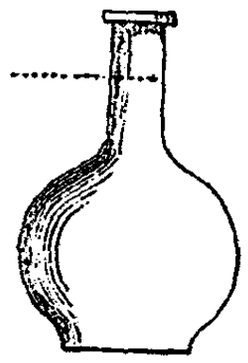
Elle se coagule avec facilité par l'action de la chaleur, et aussi par la présence de l'alcool, du tannin; elle perd alors sa transparence pour devenir d'un blanc opaque.

En se coagulant l'albumine fait l'effet d'un réseau qui masse toutes les substances solides répandues dans le liquide. C'est ainsi qu'elle opère dans la clarification des vins, où elle se trouve coagulée par l'action du tannin et de l'alcool. Il suffit après l'avoir étendue d'un peu d'eau de l'introduire dans la pièce de vin, que l'on fouette et soutire ensuite.

Le sang est employé dans le même but dans les raffineries de sucre, mais c'est par la chaleur du bain que l'albumine est coagulée, le liquide ne doit pas être trop agité au moment de l'ébullition afin que le réseau albumineux ne soit pas brisé.

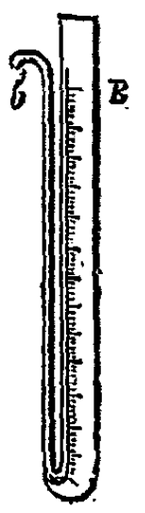
ALCALIMÈTRE. Instrument servant à apprécier la valeur des alcalis et particulièrement de la potasse et de la soude. La valeur des alcalis s'exprime ordinairement en centièmes d'acide nécessaire pour la saturation (alcalimètre de Decroizilles) ou en centièmes d'alcali pur ou réel (alcalimètre de Gay-Lussac). Les premiers se nomment *degrés alcalimétriques* ou simplement *degrés*, et les seconds représentent le *titre pondéral*. Nous décrirons seulement le procédé de M. Gay-Lussac qui est le plus généralement suivi, en faisant remarquer qu'on peut déduire les degrés alcalimétriques des *poids pondéraux* donnés par l'expérience en divisant les nombres obtenus, pour la potasse par 0,9614 et pour la soude par 0,637. Le *titre pondéral* d'un alcali étant le nombre de kilogrammes d'alcali réel qu'il renferme au quintal, il faut pour le déterminer, prendre d'une part, une certaine quantité d'acide qu'on divise en 100 parties, et de l'autre une quantité d'alcali telle que si elle était pure, elle saturât exactement les 100 parties d'acide : le nombre de parties d'acide employées pour la saturation d'un alcali impur en exprimera le *titre pondéral*. 5 grammes d'acide sulfurique concentré à 66° Baumé saturant exactement 4ᵍ,807 de potasse pure, la prise d'essai est de 4ᵍ,807 de la potasse à essayer. Si c'était de la soude le poids de la prise d'essai serait de 3ᵍ,202.

L'acide sulfurique à 66° a une densité de 1,8427 à 15° C.; 100ᵍ de cet acide doivent donc occuper à cette température un volume de 54ᶜᶜ,268; on pourra en conséquence au besoin se procurer très exactement, sans balance ce poids d'acide, à l'aide d'un tube en verre gradué. Cela fait on prend un ballon en verre (fig. 77) de la capacité d'un litre, on y introduit 400 à 500 grammes d'eau, puis on y verse peu à peu les 100 grammes d'acide concentré, en imprimant au vase un mouvement rapide et continuel de rotation; on rince à plusieurs reprises le flacon dans lequel l'acide était contenu, on réunit les eaux de lavage à la liqueur, on laisse refroidir, et l'on complète ensuite le litre avec de l'eau; on agite de nouveau et la préparation de l'acide normal est terminée.



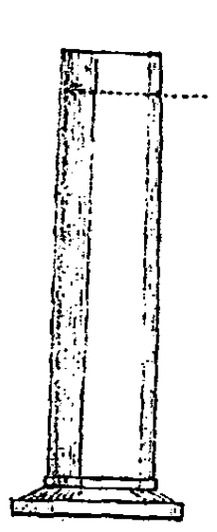
77.

La mesure de l'acide normal se fait aisément à l'aide d'une burette B à tube latéral (fig. 78). Cette burette est graduée avec soin et divisée en demi centimètres cubes de sorte que 100 divisions ou degrés représentent 5 grammes d'acide sulfurique concentré: après l'avoir remplie d'acide titré, un peu plus haut que la division *o*, on incline légèrement la burette, et on en fait sortir l'excédant goutte à goutte par le bec *b*, qui doit être enduit d'une très légère couche de cire. Comme toutes les gouttes que l'on fait tomber occupent sensiblement le même volume, on subdivise avec facilité chaque division en autant de parties qu'elle contient de ces gouttes. En quelques minutes, on acquiert avec cet instrument une dextérité telle que l'on répond facilement d'une seule goutte.



78.

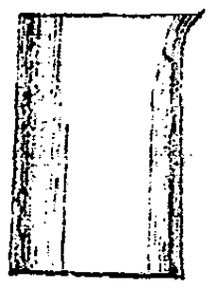
Si l'on pesait directement 4ᵍ,807 de la potasse à essayer, on serait sujet à quelques erreurs, surtout si l'on n'avait pas à sa disposition de balance très sensible. Pour les éviter, on en prend dix fois plus, c'est-à-dire 48ᵍ,07 qu'on forme de divers échantillons pris çà et là dans toute la masse d'alcali à essayer et qu'on dissout dans de l'eau en faisant en sorte que le volume de la liqueur soit exactement d'un demi-litre; à cet effet on se sert de l'éprouvette (figure 79). Alors, au moyen de la pipette (figure 80) de



79.

80.

50 centim. cubes, on en prend la dixième partie que l'on introduit dans le verre (fig. 81) où la saturation doit avoir lieu, puis on lave la pipette avec un peu d'eau pure que l'on verse également dans le verre.



81.

Le réactif que l'on emploie pour reconnaître le point de saturation est le papier bleu de tournesol : on prend du papier bien collé, coupé en bandes étroites que l'on colore au pinceau, d'un côté seulement, avec une teinture aqueuse de tournesol qui se prépare en dissolvant dans l'eau le tournesol en pains du commerce. L'acide normal, la potasse et le réactif coloré étant ainsi préparés on procède à la saturation. A cet effet, on verse dans le verre (fig. 81), contenant déjà 4ᵍ,807 de la potasse à essayer en dissolution, une quantité de teinture de tournesol suffisante pour lui donner une couleur bleue prononcée. On remplit, d'autre part, la burette B d'acide titré jusqu'au 0, et la tenant d'une main, puis le verre de l'autre, on verse peu à peu l'acide, dans la dissolution alcaline, en ayant soin d'imprimer au verre un mouvement continuel. Aussitôt qu'on a versé plus de la moitié de l'acide nécessaire à la saturation, la couleur bleue, qui ne changeait pas d'abord, commence à virer au *rouge vineux*. Dès que l'acide ne produit plus en tombant dans la liqueur qu'une faible effervescence, on ne le verse plus que par deux gouttes à la fois ; et l'on a soin après chaque addition, de faire un trait sur un papier bleu de tournesol soit avec une baguette de verre soit avec un bout d'allumette. Aussitôt que le point de saturation est dépassé, la liqueur prend une couleur *pelure d'ognon*, et le trait fait sur le papier bleu est rouge et *persistant*. Pour mieux saisir le point de saturation on continue à faire une ou deux additions d'acide de deux gouttes chacune (représentant par exemple un quart de centième) : on lit sur la burette le nombre de centièmes d'acide titré employés pour la saturation, et de ce nombre on retranche autant de quarts de centième que l'on a de traits rouges persistants, plus un. Le nombre restant sera le titre de la potasse.

Il est bon de recommencer une seconde fois l'essai ; ce qui n'exige que fort peu de temps, parce que les dissolutions sont déjà préparées, et que l'on peut verser de suite, à un ou deux centièmes près, la quantité d'acide nécessaire à la saturation. Ce procédé donne facilement, à quatre ou cinq millièmes près, le titre réel d'un alcali. Quand l'alcali que l'on doit essayer contient des sulfures et des sulfites, ce qu'on reconnaît à ce que l'acide sulfurique en dégage des gaz hydrogène sulfuré et sulfureux, on doit avant de procéder à la saturation, les convertir en sulfates ; à cet effet on calcine l'alcali jusqu'au rouge avec une petite quantité (un dixième environ) de chlorate de potasse, et l'on opère ensuite comme il a été dit ci-dessus. Sans cette précaution, les sulfures et les sulfites neutraliseraient une certaine quantité d'acide, et l'on commettrait une erreur qui pourrait être très notable. Le chlorate de potasse ajouté se transforme par la calcination en chlorure de potassium, sel tout à fait neutre, de sorte qu'il n'y a pas lieu à en tenir compte.

ALCALIS. On distingue sous ce nom, les alcalis proprements dits, potasse et soude ; l'alcali volatil, ammoniaque ; et les alcalis terreux, chaux, baryte et strontiane. Les premiers sont extrêmement solubles dans l'eau et l'alcool, verdissent la teinture du chou rouge et le sirop de violette, ramènent au bleu la teinture de tournesol rougie par les acides, font passer au brun la couleur du curcuma ainsi que celle de plusieurs autres teintures jaunes ; et sont enfin des bases salifiables très énergiques. Les alcalis terreux présentent également les mêmes propriétés mais beaucoup moins prononcées, et donnent des carbonates insolubles sans action sur les réactifs ci-dessus, tandis que les carbonates de potasse, de soude et d'ammoniaque sont très solubles et ont une forte réaction alcaline sur les teintures végétales. Tous les alcalis jouissent de la propriété de former des savons avec les huiles et les corps gras, ceux de potasse, de soude et d'ammoniaque sont seuls solubles et on n'emploie que les deux premiers. Nous verrons cependant le savon insoluble de chaux préparé comme produit intermédiaire dans la fabrication des bougies stéariques.

ALCOOL. Liqueur enivrante bien connue que l'on obtient par la distillation de divers sucs végétaux et d'infusions d'une nature sucrée, qui ont éprouvé la fermentation vineuse. L'alcool ordinaire contient la moitié environ de son poids d'eau. On peut le concentrer jusqu'à ce que sa densité se réduise à 0,825 par simple rectification au bain-marie. Mais pour l'obtenir anhydre, il faut le distiller sur du carbonate de potasse sec ou mieux du chlorure de calcium ; on obtient alors un liquide incolore, brûlant sans fumée, avec une légère flamme bleuâtre, d'une odeur agréable et d'une saveur forte et brûlante ; sa densité n'est plus que de 0,7947 à la température de 18° centigrades ; à la densité de 0,825 il contient encore 11 p. 100 d'eau, et dans cet état est aussi volatil que l'alcool absolu. Selon Fuchs, le point d'ébullition de l'alcool absolu est plus élevé que celui de l'alcool qui contient 2 ou 3 p. 100 d'eau ; d'où il résulte que, dans la distillation de l'alcool à 94 centièmes, les premières portions qui se vaporisent sont plus aqueuses que les suivantes. L'alcool absolu bout à 75°,8 centigrades d'après le docteur Ure. Mais quand il contient plus de 6 p. 100 d'eau, les premières portions qui se distillent sont les plus riches en alcool, et le point d'ébullition s'élève à mesure que la distillation avance, comme on peut le voir dans le tableau que nous avons inséré à l'article ALAMBIC.

Il résulte de ce fait que l'on peut obtenir, d'un seul coup, un esprit aussi privé d'eau que possible par la simple distillation ; à cet effet, on place au-dessus du chapiteau un bain d'eau à travers lequel on fait passer un tuyau en spirale venant de l'alambic, qu'on fait ensuite descendre obliquement dans le réfrigérant. Si on maintient ce bain à une température constante, ce qui s'exécute comme nous l'avons dit à l'article ALAMBIC, il ne passera en vapeur que la quantité d'alcool correspondante à cette température ; tout le reste sera condensé et retombera dans l'alambic. Si on maintient, par exemple, la température de l'eau à 79° centigrades, la vapeur spiritueuse qui passera contiendra, d'après la table que nous venons de citer, 90 p. 100 d'alcool absolu. L'application de ce principe constitue l'amélioration la plus importante qui ait été introduite dans les distilleries modernes. Voy. DISTILLATION et ALAMBIC.

Soemmering a découvert une autre méthode pour concentrer l'alcool ; elle est fondée sur la propriété qu'ont les vessies de bœuf de laisser transsuder l'eau en dehors, où elle s'évapore, et de ne pas permettre à l'alcool de passer à travers leurs pores, si ce n'est en très petite quantité. De là il résulte que, si on remplit d'esprit-de-vin une vessie de bœuf, qu'on en lie soigneusement l'ouverture et qu'on la tienne suspendue dans un endroit chaud, l'eau s'évaporera continuellement, et l'alcool deviendra presque anhydre ; car on peut obtenir par ce moyen de l'alcool à 97 ou 98 centièmes.

D'après Soemmering, on doit choisir pour cela une vessie de bœuf ou de veau, la faire tremper pendant quelque temps dans l'eau, la gonfler, la débarrasser de sa partie graisseuse et de tous les filaments vasculaires qui y sont adhérents et en faire autant à la surface intérieure en retournant la vessie de dedans en dehors. Après l'avoir gonflée de nouveau et fait sécher, on passe

ALCOOL.

à l'extérieur deux couches et intérieurement quatre couches d'une dissolution de colle de poisson, qui en rend la texture plus serrée, et fait que l'alcool se concentre mieux. Une vessie ainsi préparée peut servir plus de cent fois. On doit la remplir de manière à laisser un petit espace vide; on lie le col en le serrant fortement, et on la suspend dans une étuve maintenue à une température de 50° centigrades, ou bien au-dessus d'un bain de sable ou dans le voisinage d'un four. La surface de la vessie reste humectée d'eau tant que la densité de l'alcool qu'elle renferme reste au-dessus de 0,952. L'esprit-de-vin faible perd son eau plus promptement que le fort; toutefois, quand la température est propice, la concentration de l'alcool peut ne durer que six à douze heures. Cette méthode économique est particulièrement applicable pour obtenir l'alcool qui doit servir à la préparation des vernis. Lorsqu'on destine l'alcool à d'autres emplois, on doit le dépouiller ensuite par une distillation ultérieure de certaines matières en dissolution provenant de la vessie. L'alcool peut encore se concentrer, ainsi que Soemmering s'en est assuré, lorsque le vaisseau qui le contient est recouvert d'une vessie liée sur ses bords, qui n'est point en contact avec le liquide. On peut de même, par ce moyen, rendre plus spiritueux tous les autres liquides qui contiennent de l'alcool, tels que le vin, le cidre, etc.

Pour se procurer de l'alcool absolu, on prend du chlorure de calcium récemment fondu, qu'on concasse grossièrement et qu'on mêle avec son poids d'esprit-de-vin ayant une densité de 0,833 dans une bouteille qu'on a le soin de bien boucher, et qu'on agite jusqu'à ce que le sel soit entièrement dissous. La dissolution s'étant éclaircie, on la verse dans une cornue, on la soumet à une douce chaleur, et on en retire par la distillation la moitié du volume de l'alcool employé. On peut obtenir sans distillation l'alcool presque privé d'eau en ajoutant du carbonate de potasse sec à de l'esprit-de-vin ayant une densité de 0,825. L'eau se combine avec la potasse, et tombe au fond du vase en un liquide épais, tandis que l'alcool pur surnage au-dessus et s'enlève à l'aide d'un siphon; ainsi obtenu, il contient toutefois un peu d'alcali qu'on ne peut séparer que par distillation.

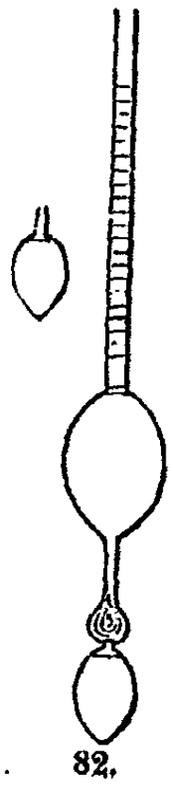
L'alcool anhydre est composé en poids de 52,66 de carbone, de 12,90 d'hydrogène, et de 34,44 d'oxygène. Son poids atomique se compose de

4 at. de carbone, 12 at. d'hydrog., 2 at. d'oxygène,	1 at. d'éther, $C^4H^{10}O$ =	468,137
	1 at. d'eau, H^2O =	112,479
		580,616

Il est très avide d'eau, et il absorbe avec énergie celle de l'atmosphère; on doit par conséquent, pour le conserver, le tenir dans des vases hermétiquement bouchés. Il s'empare aussi de l'humidité des végétaux et de celle des corps morts, d'où résulte son emploi si répandu pour la conservation des préparations anatomiques. A l'état anhydre, il agit comme un poison mortel, non seulement par son action extrêmement stimulante sur le système nerveux, mais encore parce qu'il s'empare des parties aqueuses des membranes de l'estomac, avec lesquelles il se trouve en contact, et les désorganise. L'alcool est un dissolvant très énergique pour un grand nombre de substances : on s'en sert beaucoup pour dissoudre les résines, les huiles essentielles, le camphre, etc., dans la préparation des vernis, des parfums, etc. La dissolution d'une résine, ou d'une huile essentielle dans l'alcool, devient laiteuse quand on y ajoute de l'eau, parce que celle-ci, par son affinité pour l'alcool, sépare ces substances. Divers sels et particulièrement les sels déliquescents sont également dissous par l'alcool, et plusieurs d'entre eux en colorent la flamme; ainsi les dissolutions des sels de strontiane brûlent avec une flamme cramoisie, celles des sels de cuivre et de borax donnent une flamme verte, celles des sels de chaux rouge, et celles des sels de baryte jaune.

Lorsqu'on mêle de l'eau à de l'alcool, il en résulte un dégagement de chaleur et une condensation de volume. Ces effets sont à leur maximum lorsque le mélange est de 54 p. 100 d'alcool, et de 46 p. 100 d'eau; ils vont en diminuant à mesure qu'on ajoute une plus grande proportion d'eau. Lorsque l'alcool contient 90 p. 100 d'eau, la contraction du volume est de 1,94 p. 100; lorsque la proportion d'eau est de 80 p. 100, la contraction est de 2,87, celle-ci est de 3,44 à 70 p. 100 d'eau, de 3,73 à 60 p. 100, de 3,44 à 40 p. 100, de 2,72 à 30 p. 100, de 1,72 à 20 p. 100, et de 0,72 à 10 p. 100. D'où il suit que, pour apprécier la quantité d'alcool qu'il y a dans un esprit, il devient nécessaire de s'assurer de la pesanteur spécifique qui correspond à chaque proportion déterminée d'alcool et d'eau mêlés ensemble. Cela fait on peut, au moyen d'un aréomètre construit pour les liquides plus légers que l'eau, déterminer la force d'un esprit, soit d'après une échelle des densités, soit d'après une graduation arbitraire correspondante à certains objets de commerce. Un aréomètre construit dans ce but s'appelle un alcoomètre, particulièrement lorsque l'échelle est graduée de manière qu'au lieu d'indiquer la pesanteur spécifique, elle indique immédiatement le nombre de centièmes d'alcool anhydre qui est contenu dans un poids ou un volume donné de liquide.

Les plus employés de ces appareils sont l'*alcoomètre centésimal* imaginé par M. Gay-Lussac, et les aréomètres de *Baumé* et de *Cartier*, dont nous parlerons à l'article ARÉOMÈTRE. D'après le principe de la graduation de l'alcoomètre centésimal, la force d'un liquide spiritueux est le nombre de centièmes (en volume) d'alcool pur que ce liquide renferme à la température de 15° centig., d'où il suit que l'on obtiendra toujours facilement et, immédiatement la quantité d'alcool réel contenu dans un esprit, en multipliant le nombre qui exprime le volume de cet esprit par la force de ce même liquide; force donnée par l'instrument.



82.

L'alcoomètre (fig. 82) a la forme d'un aréomètre ordinaire, son échelle est divisée en 100 parties ou degrés, dont chacun desquels indique un centième d'alcool; la division 0, au bas du tube correspond à la densité de l'eau pure, et la division 100 vers le haut, à celle de l'alcool absolu. Lorsqu'il est plongé dans un liquide spiritueux à la température de 15° centig., il en donne immédiatement la force, si on le plonge dans un esprit à la température de 15° centig., et qu'il s'y enfonce, par exemple, jusqu'à la division 50, c'est que la force du liquide est de 50 p. 0/0, ou qu'il contient 50 centièmes d'alcool pur.

Déjà les gouvernements de France, de Suède et de Prusse ont adopté exclusivement l'alcoomètre centésimal, et il serait à désirer qu'on le substituât partout à l'aréomètre de Cartier, qui est beaucoup moins exact et surtout moins commode.

Nous rapporterons ici quelques tables extraites du travail de M. Gay-Lussac, qui est imprimé sous le titre de : *Instruction pour l'usage de l'alcoomètre centésimal et des tables qui l'accompagnent*, et se vend ainsi que les instruments, chez M. Collardeau, rue du Faubourg-St-Martin, 60.

Le tableau suivant donne les densités de l'alcool absolu, et de son mélange avec l'eau, à la température de 15° centig. d'après M. Gay-Lussac.

Alcool en centièmes.	Densité de la liqueur.
100	0,7947
95	0,8168
90	0,8346
85	0,8502
80	0,8645
75	0,8779
70	0,8907
65	0,9027
60	0,9144
55	0,9248
50	0,9348
45	0,9440
40	0,9523
35	0,9595
30	0,9636

Nous extrayons encore les tables ci-jointes, des grandes tables dressées par M. Gay-Lussac, et servant à déterminer la richesse alcoolique. La première colonne verticale indique les températures auxquelles on opère; les colonnes suivantes, le degré marqué par l'instrument, à ces diverses températures, et pour les différents centièmes de richesse réelle; enfin, les nombres écrits en petits chiffres au-dessous des précédents expriment le volume que prendraient à 15° centig., 1000 parties du liquide soumis à l'essai :

Pour montrer la manière de se servir de ces tables nous allons en donner un exemple : supposons qu'à la température de 24° C. l'alcoomètre marque 72°,2, dans une liqueur qui occupe un volume de 725 litres; en rapportant le tout à la température de 15° C., la liqueur occuperait un volume de $725 \times 0{,}992$ litres, et marquerait 75°, de sorte que la quantité d'alcool absolu renfermé dans la liqueur, ou sa richesse, est $725 \times 0{,}992 \times 0{,}75 = 539{,}4$ litres.

Quelquefois, après une automne humide, lorsqu'une certaine quantité de grain s'est détériorée, l'alcool qu'on obtient par la distillation de ces grains fermentés contient un corps volatil huileux, d'une nature particulière, ayant à peu près l'odeur d'une dissolution alcoolique de cyanogène, et irritant le nez et les yeux lorsqu'on le respire. Les esprits qui en contiennent enivrent avec beaucoup plus d'énergie qu'un esprit pur de même force; cette substance se produit également dans la fermentation des pommes de terre. On peut en dépouiller presqu'en totalité les liqueurs alcooliques, en les laissant digérer pendant quelque temps avant leur rectification avec du noir animal bien calciné, ou bien en agitant le liquide spiritueux impur avec une certaine quantité d'huile grasse, telle que l'huile d'olive, qu'on décante ensuite, et redistillant après avoir ajouté un peu d'eau. Cette matière huileuse, purifiée par lavage et par digestion avec du chlorure de calcium, se présente sous la forme d'un liquide incolore qui bout à 130°C.; sa densité est de 0,812; la densité de sa vapeur est de 3,343; il solidifie au-dessous de — 20° C; sa composition est donnée par la formule $C^{10}H^{22}O^2 = C^{10}H^{20} + 2H^2O$, qui représente 4 vol. de vapeur. En le traitant par l'acide phosphorique vitreux, on enlève les deux atomes d'eau, et on obtient un liquide huileux *(amylène)* qui bout à 160°, et dont la composition est représentée par la formule $C^{10}H^{20}$.

L'*amylène* forme une série de composés tout à fait analogues à ceux de l'*éthyle* et du *méthylène* dont nous ne parlerons pas ici, vu qu'ils n'ont aucun emploi dans l'industrie. Voyez pour ce qui se rapporte à la préparation des liqueurs alcooliques les articles ALAMBIC, EAUX-DE-VIE, DISTILLATION et FERMENTATION.

Extrait des Tables alcoométriques pour l'évaluation de la force réelle, dressées par M. Gay-Lussac.

Temper C.	31e	32e	33e	34e	35e	36e	37e	38e	39e	40e	41e	42e	43e	44e	45e
Degrés.															
10	33,0 1002	34 1002	35 1003	36 1003	37 1003	38 1003	39 1003	40 1003	41 1003	42 1003	43 1003	44 1004	45 1004	46 1004	46,9 1004
11	32,6 1002	33,6 1002	34,6 1002	35,6 1002	36,6 1002	37,6 1002	38,6 1002	39,6 1002	40,6 1003	41,6 1003	42,6 1003	43,6 1003	44,6 1003	45,6 1003	46,6 1003
12	32,2 1001	33,2 1001	34,2 1002	35,2 1002	36,2 1002	37,2 1002	38,2 1002	39,2 1002	40,2 1002	41,2 1002	42,2 1002	43,2 1002	44,2 1002	45,2 1002	46,2 1002
13	31,8 1001	32,8 1001	33,8 1001	34,8 1001	35,8 1001	36,8 1001	37,8 1001	38,8 1001	39,8 1001	40,8 1001	41,8 1001	42,8 1001	43,8 1001	44,8 1002	45,8 1002
14	31,4 1001	32,4 1001	33,4 1001	34,4 1001	35,4 1001	36,4 1001	37,4 1001	38,4 1001	39,4 1001	40,4 1001	41,4 1001	42,4 1001	43,4 1001	44,4 1001	45,4 1001
15	31 1000	32 1000	33 1000	34 1000	35 1000	36 1000	37 1000	38 1000	39 1000	40 1000	41 1000	42 1000	43 1000	44 1000	45 1000
16	30,6 1000	31,6 1000	32,5 999	33,5 999	34,5 999	35,5 999	36,5 999	37,5 999	38,5 999	39,5 999	40,6 999	41,6 999	42,6 999	43,6 999	44,6 999
17	30,2 999	31,2 999	32,1 999	33,1 999	34,1 999	35,1 999	36,1 999	37,1 999	38,1 999	39,1 999	40,2 999	41,2 999	42,2 999	43,2 998	44,2 998
18	29,8 999	30,8 999	31,7 998	32,7 99	33,7 998	34,7 998	35,7 998	36,7 998	37,7 998	38,7 998	39,8 998	40,8 998	41,8 998	42,8 998	43,8 998
19	29,4 998	30,4 998	31,3 998	32,3 998	33,3 998	34,3 998	35,3 998	36,3 998	37,3 997	38,3 997	39,4 997	40,4 997	41,4 997	42,5 997	43,5 997
20	29 998	30 998	30,9 997	31,9 997	32,9 997	33,9 997	34,9 997	35,9 997	36,9 997	37,9 997	39 997	40 997	41 997	42,1 997	43,1 996
21	28,6 997	29,6 997	30,5 997	31,5 997	32,5 997	33,5 997	34,5 997	35,5 996	36,5 996	37,5 996	38,6 996	39,6 996	40,6 996	41,7 996	42,7 996
22	28,2 997	29,2 997	30,1 996	31,1 996	32,1 996	33,1 996	34,1 996	35,1 996	36,1 996	37,1 996	38,2 996	39,2 995	40,2 995	41,3 995	42,3 995
23	27,8 996	28,8 996	29,7 996	30,7 996	31,7 996	32,7 996	33,7 996	34,7 995	35,7 995	36,7 995	37,8 995	38,8 995	39,8 995	40,9 994	41,9 994
24	27,4 996	28,4 996	29,3 995	30,3 995	31,3 995	32,3 995	33,3 995	34,3 995	35,3 995	36,3 994	37,4 994	38,4 994	39,4 994	40,5 994	41,5 994
25	27 995	28 995	28,9 995	29,9 995	30,9 995	31,9 994	32,9 994	33,9 994	34,9 994	35,9 994	37 994	38 994	39 995	40,1 995	42,1 995

Extrait des Tables alcoométriques pour l'évaluation de la force réelle, dressées par M. Gay-Lussac.

Tempér C.	46c	47c	48c	49c	50c	51c	52c	53c	54c	55c	56c	57c	58c	59c	60c
Degrés															
10	47,9 1004	48,9 1004	49,9 1004	50,9 1004	51,8 1004	52,8 1004	53,8 1004	54,8 1004	55,8 1004	56,8 1004	57,8 1004	58,8 1004	59,7 1004	60,7 1004	61,7 1004
11	47,6 1003	48,6 1003	49,5 1003	50,5 1003	51,5 1003	52,5 1003	53,5 1003	54,4 1003	55,4 1003	56,4 1003	57,4 1003	58,4 1003	59,4 1003	60,4 1003	61,4 1003
12	47,2 1002	48,2 1002	49,2 1002	50,2 1002	50,2 1002	52,1 1002	53,1 1002	54,1 1002	55 1002	56 1002	57 1002	58 1002	59 1002	60 1002	61 1002
13	46,8 1002	47,8 1002	48,8 1002	49,8 1002	50,8 1002	51,8 1002	52,7 1002	53,7 1002	54,7 1002	55,7 1002	56,7 1002	57,7 1002	58,7 1002	59,7 1002	60,7 1002
14	46,4 1001	47,4 1001	48,4 1001	49,4 1001	50,4 1001	51,4 1001	52,3 1001	53,3 1001	54,3 1001	55,3 1001	56,3 1001	57,3 1001	58,3 1001	59,3 1001	60,3 1001
15	46 1000	47 1000	48 1000	49 1000	50 1000	51 1000	52 1000	53 1000	54 1000	55 1000	56 1000	57 1000	58 1000	59 1000	60 1000
16	45,6 999	46,6 999	47,6 999	48,6 999	49,6 999	50,6 999	51,6 999	52,6 999	53,6 999	54,6 999	55,6 999	56,6 999	57,6 999	58,6 999	59,6 999
17	45,2 998	46,2 998	47,2 998	48,2 998	49,2 998	50,3 998	51,3 998	52,3 998	53,3 998	54,3 998	55,3 998	56,3 998	57,3 998	58,3 998	59,3 998
18	44,9 998	45,9 998	46,9 998	47,9 998	48,9 998	49,9 998	50,9 998	51,9 998	52,9 998	53,9 998	54,9 998	55,9 998	56,9 997	57,9 997	58,9 997
19	44,5 997	45,5 997	46,5 997	47,5 997	48,5 997	49,5 997	50,6 997	51,6 997	52,6 997	53,6 997	54,6 997	55,6 997	56,6 997	57,6 997	58,6 997
20	44,1 996	45,1 996	46,1 996	47,2 996	48,2 996	49,2 996	50,2 996	51,2 996	52,2 996	53,2 996	54,2 996	55,2 996	56,2 996	57,2 996	58,2 996
21	43,7 996	44,8 996	45,8 996	46,8 995	47,8 995	48,8 995	49,8 995	50,8 995	51,8 995	52,9 995	53,9 995	54,9 995	55,9 995	56,9 995	57,9 995
22	43,3 995	44,3 995	45,3 995	46,4 995	47,4 995	48,4 995	49.4 995	50,4 995	51,4 994	52,5 994	53,5 994	54,5 994	55,5 994	56,5 994	57,5 994
23	42,9 994	43,9 994	44,9 994	46 994	47 994	48 994	49,1 994	50,1 994	51,1 994	52,1 994	53,1 994	54,1 994	55,1 993	56,1 993	57,1 993
24	42,5 994	43,6 994	44,6 994	45,6 993	46,6 993	47,6 993	48,7 993	49,7 993	50,7 993	51,8 993	52,8 993	53,8 993	54,8 993	55,8 993	56,8 992
25	42,2 993	43,2 993	44,2 993	45,2 993	46,3 993	47,3 993	48,3 993	49,3 993	50,3 992	51,4 992	52,4 992	53,4 992	54,4 992	55,5 992	56,5 992

Tempér. C.	61c	62c	63c	64c	65c	66c	67c	68c	69c	70c	71c	72c	73c	74c	75c
Degrés															
10	62,7 1004	63,7 1004	64,7 1004	65,7 1004	66,7 1004	67,6 1004	68,6 1004	69,6 1004	70,6 1004	71,6 1004	72,6 1004	73,5 1004	74,5 1003	75,5 1003	76,5 1003
11	62,4 1003	63,4 1003	64,4 1003	65,4 1003	66,4 1003	67,3 1003	68,3 1003	69,3 1004	70,3 1004	71,3 1004	72,3 1004	73,2 1004	74,2 1004	75,2 1004	76,2 1004
12	62 1002	63 1002	64 1002	65 1002	66 1002	67 1002	68 1003	69 1003	70 1003	71 1003	72 1003	72,9 1003	73,9 1003	74,9 1003	75,9 1003
13	61,7 1002	62,7 1002	63,7 1002	64,7 1002	65,7 1002	66,7 1002	67,7 1002	68,7 1002	69,6 1002	70,6 1002	71,6 1002	72,6 1002	73,6 1002	74,6 1002	75,6 1002
14	61,3 1001	62,3 1001	63,3 1001	64,3 1001	65,3 1001	66,3 1001	67,3 1001	68,3 1001	69,3 1001	70,3 1001	71,3 1001	72,3 1001	73,3 1001	74,3 1001	75,3 1001
15	61 1000	62 1000	63 1000	64 1000	65 1000	66 1000	67 1000	68 1000	69 1000	70 1000	71 1000	72 1000	73 1000	74 1000	75 1000
16	60,6 999	61,7 999	62,7 999	63,7 999	64,7 999	65,7 999	66,7 999	67,7 999	68,7 999	69,7 999	70,7 999	71,7 999	72,7 999	73,7 999	74,7 999
17	60,3 998	61,3 998	62,3 998	63,3 998	64,3 998	65,3 998	66,3 998	67,3 998	68,3 998	69,3 998	70,3 998	71,3 998	72,3 998	73,3 998	74,3 998
18	59,9 997	61 997	62 997	63 997	64 997	65 997	66 997	67 997	68 997	69 997	70 997	71 997	72 997	73 997	74 997
19	59,6 997	60,6 997	61,6 997	62,7 997	63,7 997	64,7 997	65,7 997	66,7 997	67,7 996	68,7 996	69,7 996	70,7 996	71,7 996	72,7 996	73,7 996
20	59,2 996	60,3 996	61,3 996	62,3 996	63,3 996	64,3 996	65,4 996	66,4 996	67,4 996	68,4 996	69,4 996	70,4 996	71,4 995	72,4 995	73,4 995
21	58,9 995	59,9 995	61 995	62 995	63 995	64 995	65 995	66 995	67 995	68,1 995	69,1 995	70,1 995	71,1 995	72,1 994	73,1 994
22	58,5 994	59,5 994	60,6 994	61,6 994	62,7 994	63,7 994	64,7 994	65,7 994	66,7 994	67,8 994	68,8 994	69,8 994	70,8 994	71,8 994	72,8 993
23	58,1 993	59,2 993	60,2 993	61,3 993	62,3 993	63,3 993	64,3 993	65,4 993	66,4 993	67,4 993	68,4 993	69,4 993	70,5 993	71,5 993	72,5 993
24	57,8 992	58,9 992	59,9 992	61 992	62 992	63 992	64 992	65 992	66 992	67,1 992	68,1 992	69,1 992	70,1 992	71,2 992	72,2 992
25	57,5 992	58,5 992	59,5 992	60,6 991	61,6 991	62,6 991	63,7 991	64,7 991	65,7 991	66,7 991	67,8 991	68,8 991	69,8 991	70,8 991	71,8 991

Extrait des Tables alcoométriques pour l'évaluation de la force réelle, dressées par M. Gay-Lussac.

Tempér. C.	76e	77e	78e	79e	80e	81e	82e	83e	84e	85e	86e	87e	88e	89e	90e
Degrés.															
10	77,5 1005	78,5 1005	79,5 1005	80,5 1005	81,5 1005	82,4 1005	83,4 1005	84,4 1005	85,4 1005	86,4 1005	87,4 1005	88,3 1005	89,3 1005	90,2 1005	91,2 1005
11	77,2 1004	78,2 1004	79,2 1004	80,2 1004	81,2 1004	82,2 1004	83,1 1004	84,1 1004	85,1 1004	86,1 1004	87,1 1004	88 1004	89 1004	90 1004	91 1004
12	76,9 1003	77,9 1003	78,9 1003	79,9 1003	80,9 1003	81,9 1003	82,9 1003	83,9 1003	84,8 1003	85,8 1003	86,8 1003	87,8 1003	88,7 1003	89,7 1003	90,7 1003
13	76,6 1002	77,6 1002	78,6 1002	79,6 1002	80,6 1002	81,6 1002	82,6 1002	83,6 1002	84,6 1002	85,5 1002	86,5 1002	87,5 1002	88,5 1002	89,5 1002	90,5 1002
14	76,3 1001	77,3 1001	78,3 1001	79,3 1001	80,3 1001	81,3 1001	82,3 1001	83,3 1001	84,3 1001	85,3 1001	86,3 1001	87,3 1001	88,2 1001	89,2 1001	90,2 1001
15	76 1000	77 1000	78 1000	79 1000	80 1000	81 1000	82 1000	83 1000	84 1000	85 1000	86 1000	87 1000	88 1000	89 1000	90 1000
16	75,7 999	76,7 999	77,7 999	78,7 999	79,7 999	80,7 999	81,7 999	82,7 999	83,7 999	84,7 999	85,7 999	86,7 999	87,7 999	88,7 999	89,7 999
17	75,4 998	76,4 998	77,4 998	78,4 998	79,4 998	80,4 998	81,4 998	82,4 998	83,4 998	84,4 998	85,4 998	86,4 998	87,4 998	88,4 998	89,5 998
18	75,1 997	76,1 997	77,1 997	78,1 997	79,1 997	80,1 997	81,1 997	82,1 997	83,1 997	84,1 997	85,2 997	86,2 997	87,2 997	88,2 997	89,2 997
19	74,7 996	75,8 996	76,8 996	77,8 996	78,8 996	79,8 996	80,8 996	81,9 996	82,9 996	83,9 996	84,9 996	85,9 996	86,9 996	87,9 996	88,9 996
20	74,4 995	75,5 995	76,5 995	77,5 995	78,5 995	79,5 995	80,5 995	81,6 995	82,6 995	83,6 995	84,6 995	85,6 995	86,6 995	87,7 995	88,7 995
21	74,1 994	75,2 994	76,2 994	77,2 994	78,2 994	79,2 994	80,2 994	81,3 994	82,3 994	83,3 994	84,3 994	85,3 994	86,4 994	87,4 994	88,4 994
22	73,8 993	74,8 993	75,9 993	76,9 993	77,9 993	78,9 993	79,9 993	81 993	82 993	83 993	84 993	85 993	86,1 993	87,1 993	88,2 993
23	73,5 992	74,5 992	75,5 992	76,6 992	77,6 992	78,6 992	79,6 992	80,7 992	81,7 992	82,7 992	83,8 992	84,8 992	85,8 992	86,8 992	88,9 992
24	73,2 992	74,2 992	75,2 991	76,3 991	77,3 991	78,3 991	79,3 991	80,4 991	81,4 991	82,4 991	83,5 991	84,5 991	85,5 991	86,5 991	87,6 991
25	72,8 991	73,9 991	74,9 991	76 991	77 991	78 991	79 991	80,1 990	81,1 990	82,1 990	83,2 990	84,2 990	85,2 990	86,3 990	87,4 990

Alambic d'essai. Lorsqu'en 1824, Gay-Lussac publia le travail auquel on doit l'alcoolomètre centésimal, on construisit, pour l'application de cet instrument à l'essai des vins, un petit alambic dans le but d'extraire rapidement l'alcool contenu dans un échantillon de vin. Pour éviter cette opération, on a tenté de remplacer les appareils d'essai ayant la distillation pour base par des instruments fondés sur d'autres principes. En 1833, M. Tabarié, de Montpellier, proposa son *œnoscope centésimal* fondé sur le principe de la variation du point d'ébullition de mélanges alcooliques de richesse différente. En 1841, M. l'abbé Brossard-Vidal, de Toulon, fit connaître son *ébullioscope alcoolométrique*, fondé sur le même principe. Des modifications plus ou moins heureuses de ces alcoolomètres à ébullition ont été indiquées par le docteur Ure, M. Conati, mademoiselle Vidal, etc.

On peut citer encore l'appareil de M. Silbermann pour mesurer la richesse en alcool au moyen de celle des dilatations; celui de M. Arthur, pour la déduire de l'élévation du liquide dans des tubes capillaires; celui de M. Geisler de Bonn, pour la déduire de la tension de la vapeur; mais il a fallu en revenir toujours à l'alambic, qui offre l'avantage d'isoler le principe qu'il s'agit de doser. Ce genre d'appareil est aujourd'hui très-simplement construit par M. Salleron.

Fabrication de l'alcool. — La fabrication de l'alcool peut, comme théoriquement celle de tout composé, être obtenue par deux voies, par l'analyse ou par la synthèse. La première consiste dans la décomposition des matières d'une composition plus complexe, susceptibles de fournir de l'alcool; ce sont les matières sucrées que le règne végétal offre en grande abondance; la seconde consiste à ajouter aux molécules de composés voisins de l'alcool, les éléments qui leur manquent. Le savant qui a le plus fait pour montrer la valeur de la synthèse pour la production des composés organiques, grande découverte fondée sur une méthode qui, quelque jour, trouvera dans l'industrie de nombreuses applications, a bien voulu nous fournir l'étude ci-après sur la fabrication de l'alcool par cette voie.

Fabrication de l'alcool par la décomposition du sucre. — Nous avons consacré à la pratique industrielle de la production de l'alcool, les articles Vin et Distillation (*Complément*), et nous discutons à l'article Fermentation la nature des réactions sur lesquelles elle repose. Nous rappellerons seulement ici que, en bloc, la réaction peut se représenter, comme l'avait établi Lavoisier, comme une séparation des éléments du sucre en alcool et acide carbonique. P.

Fabrication de l'alcool par synthèse. — Depuis quelques années on s'est préoccupé dans l'industrie de fabriquer l'alcool par synthèse, au moyen de l'hydrogène bicarboné. Quoique ces tentatives n'aient pas encore fourni de résultats pratiques, nous croyons utile de donner les procédés de laboratoire qui conduisent à cette fabrication, et d'indiquer les conditions qu'il semble nécessaire de remplir pour résoudre le problème industriel.

Exposons d'abord le principe de cette synthèse, réalisée en 1855 par M. Berthelot.

Pour former l'alcool ordinaire, il suffit d'ajouter deux équivalents d'eau à l'éthylène (autrement dit

hydrogène bicarboné). Cette addition est représentée par la formule suivante :

$$C^4H^4 + H^2O^2 = C^4H^6O^2$$
Éthylène Eau Alcool

Elle se réalise par deux degrés successifs. On combine d'abord l'éthylène avec l'acide sulfurique, ce qui donne naissance à un composé désigné sous le nom d'acide éthylsulfurique. Ce composé, mis en présence d'une grande quantité d'eau, se détruit avec production d'alcool et régénération d'acide sulfurique. Le dernier corps joue donc le rôle d'intermédiaire et reparaît théoriquement sans perte à la fin des réactions.

Décrivons maintenant l'expérience, telle qu'on la réalise dans les laboratoires : les circonstances dans lesquelles elle se produit ont une grande importance au point de vue de l'avenir industriel de la fabrication.

Dans un flacon bouché à l'émeri et rempli en grande partie d'éthylène, on introduit sur la cuve à mercure et à l'aide d'une pipette courbe, une certaine quantité d'acide sulfurique monohydraté. Cet acide doit être concentré à l'avance, et en vue de l'expérience même, par l'ébullition ; pour peu qu'il contienne de l'eau, il ne donne aucun résultat. Tout d'abord, aucune réaction n'apparaît, si ce n'est une légère absorption, comparable à celle que l'eau pourrait produire à l'égard de l'éthylène. Pour opérer la combinaison, il faut recourir à une condition mécanique nouvelle, à une agitation opérée dans des circonstances tout à fait exceptionnelles. En effet, après avoir bouché le flacon qui contient de l'acide sulfurique, de l'éthylène et du mercure, on le secoue vivement et pendant un temps très-long : trois quarts d'heure environ et trois mille secousses sont nécessaires. En opérant sur 30 litres de gaz, on a dû employer 53,000 secousses. On fait ainsi intervenir des phénomènes mécaniques tout particuliers, produits par le choc et qui semblent faciliter la combinaison. Sous cette influence, le gaz s'absorbe graduellement et complétement, s'il est pur.

Sans attendre ce résultat, à mesure que la quantité de gaz diminue, on peut en faire passer une nouvelle proportion dans le flacon. En faisant intervenir un nombre de secousses convenable, on réussit alors à faire absorber à l'acide sulfurique jusqu'à 120 fois son volume d'éthylène. Toutefois, l'absorption des dernières portions de gaz étant d'autant plus lente et plus difficile que l'on se rapproche davantage du point de saturation de l'acide, il est bon de s'arrêter lorsque 80 volumes environ ont été absorbés.

En disposant les appareils de façon à pouvoir exercer sur le gaz une pression de plusieurs atmosphères, et en élevant la température avec modération, on réussirait sans doute à abréger beaucoup la durée de la réaction et à augmenter la quantité totale du gaz absorbé.

Il s'agit maintenant d'effectuer la seconde phase de la réaction, c'est-à-dire de décomposer l'acide éthylsulfurique et d'obtenir l'alcool.

A cette fin, on verse le liquide des flacons avec précaution, et en évitant une trop forte élévation de température, dans un volume d'eau égal à 8 ou 10 fois le volume de la liqueur acide. Le tout est ensuite introduit dans une cornue et distillé. Comme l'alcool bout à une température plus basse que l'eau, il suffit de recueillir les premiers produits de la distillation : ils renferment tout l'alcool formé. Pour concentrer cet alcool, on se sert des mêmes artifices sur lesquels repose la préparation industrielle de ce corps au moyen du vin et des liquides fermentés.

Telles sont les conditions de l'expérience de laboratoire. Examinons maintenant jusqu'à quel point elles peuvent être transportées dans l'industrie.

A ce point de vue, ces conditions peuvent être ramenées à trois catégories, savoir :

1° Matières premières ;
2° Manipulations ;
3° Produits obtenus.

1° *Matières premières.* — Le gaz d'éclairage se présente en apparence tout naturellement comme source économique d'éthylène, puisqu'il est fabriqué dans l'industrie en très-grandes quantités. Cependant c'est une mauvaise matière première. En effet, la quantité d'éthylène qu'il renferme est très-faible ; en général on ne peut guère l'évaluer au-dessus de 1 à 2 pour 100.

Ce chiffre surprendra peut-être ; dans la plupart des Traités de Chimie, on le porte à 5, 6 et 8 centièmes. C'est que l'on comprend dans le gaz de l'éclairage, sous le nom de *gaz oléfiant* (éthylène), tous les gaz absorbables par le chlore, par le brôme, ou, ce qui revient au même, par l'acide sulfurique de Nordhausen. Mais cette appréciation, entendue strictement, est très-peu exacte. En effet, le chlore, le brôme, ou l'acide sulfurique fumant, enlèvent au gaz de l'éclairage non-seulement de l'éthylène, mais aussi un grand nombre d'autres gaz et vapeurs, tels que l'acétylène, divers autres carbures gazeux, enfin les vapeurs de certains corps volatils, tels que la benzine, la naphtaline, etc. Tous ces carbures contribuent, autant et plus encore que l'éthylène, à donner au gaz ses propriétés éclairantes. A ce point de vue, l'estimation du volume total absorbé par le brôme ou l'acide sulfurique fumant fournit un renseignement précieux. Mais il n'en est pas de même quand il s'agit de fabriquer l'alcool ordinaire : l'éthylène seul concourt à cette production, et sa proportion est très-inférieure au volume total des gaz qui concourent aux propriétés éclairantes.

Il résulte de cette pauvreté en éthylène que, pour obtenir une très-faible quantité d'alcool, il faudrait employer un volume énorme de gaz de l'éclairage, ce qui entraîne des difficultés de diverse nature. Soit, par exemple, 5,000 mètres cubes de gaz renfermant 1 pour 100 d'éthylène, ils fourniront au plus 2 litres d'alcool.

Ce n'est pas tout : les substances diverses contenues dans ce gaz réagissent sur l'acide sulfurique concentré, en donnant des produits étrangers à l'alcool. Leur formation est facile à démontrer : il suffit de faire passer un courant de gaz dans un matras contenant une mince couche d'acide sulfurique concentré, pour voir ce liquide jaunir, puis brunir très-rapidement. Au bout d'un jour de contact, l'acide est complétement noirci. Au contraire, l'éthylène pur colore à peine en jaune clair l'acide sulfurique. Ces impuretés contenues dans le gaz de l'éclairage ont le double inconvénient de souiller l'alcool et l'acide sulfurique qui doivent être régénérés plus tard.

2° *Manipulations.* — Les manipulations relatives à l'absorption de l'éthylène par l'acide sulfurique, dans l'état présent de nos connaissances, sont très-difficiles à réaliser économiquement sur une grande échelle. Nous avons vu, en effet, que ce n'est pas par une agitation ordinaire que l'on arrive à faire absorber à l'acide sulfurique l'éthylène pur ; mais il faut recourir à une agitation excessivement prolongée et compliquée de phénomènes mécaniques particuliers. Pour réaliser une telle agitation dans l'industrie, il faudrait recourir soit à une grande dépense de force, soit à une disposition spéciale d'engins plus ou moins coûteux. A la vérité, il est à peu près certain qu'en opérant avec le concours d'une pression élevée, les masses mises en contact sous le même volume étant plus considérables, la réaction aurait lieu plus rapidement. Mais, même dans ce cas, il faudrait toujours dépenser un certain travail pour comprimer le gaz et se servir à cet effet d'appareils très-coûteux. Toutes ces difficultés se présenteraient déjà si l'on pouvait opérer

ALCOOL.

avec l'éthylène pur ; elles seraient nécessairement bien plus grandes et presque insurmontables avec un gaz aussi pauvre en éthylène que le gaz de l'éclairage.

3° *Produits obtenus.* — La nature des produits que l'on obtiendra demande aussi à être examinée. Ces produits sont de deux natures : l'alcool et l'acide sulfurique.

Commençons par l'alcool. L'alcool obtenu avec le gaz de l'éclairage, du premier jet, sera certainement d'une très-mauvaise qualité et doué d'une forte odeur empyreumatique. Il contiendra, en effet, diverses impuretés provenant des matières absorbées par l'acide sulfurique. L'alcool acétylique, entre autres, s'y rencontrera nécessairement. En effet, le gaz de l'éclairage renferme des quantités sensibles d'acétylène et le procédé par lequel nous réalisons la synthèse de l'alcool ordinaire est applicable, de point en point, à celle de l'alcool acétylique. Or, cet alcool acétylique est un corps analogue à l'alcool ordinaire par sa formation, sa solubilité et sa volatilité ; mais il en diffère extrêmement par ses propriétés organoleptiques. Il est doué d'une odeur piquante et analogue à celle des produits de la décomposition des huiles grasses par la chaleur ; ses vapeurs irritent extrêmement la gorge et les yeux.

La séparation de ces diverses substances, qui rendraient nécessairement impur l'alcool préparé avec le gaz de l'éclairage, n'est assurément pas impossible ; mais elle entraînerait évidemment des frais considérables.

Venons à l'autre produit de la réaction finale, c'est-à-dire à l'acide sulfurique régénéré, en même temps que l'alcool, par l'action de l'eau. Cet acide ne peut être rejeté sans autre examen : son poids est trop considérable, et son prix suffirait pour rendre la fabrication de l'alcool impossible. En effet, il faut 14 grammes environ d'acide concentré pour absorber 1 gramme d'éthylène. Même en supposant que cette quantité pût être réduite à moitié ou moins, par des tours de main convenables, il n'est pas moins certain qu'une semblable fabrication exigerait des masses énormes d'acide sulfurique, et qu'il faudrait régénérer constamment cet acide. Théoriquement l'acide sulfurique, après la production de l'alcool, ne contient plus que de l'eau, et il semble qu'il suffise de le concentrer pour pouvoir le faire servir à une nouvelle opération. Mais, sans parler des frais de combustible qu'exigera l'évaporation des masses d'eau dont il est étendu, l'acide sulfurique demeure souillé par les produits de diverses réactions secondaires ; il en est ainsi, même avec l'éthylène pur et à plus forte raison avec le gaz de l'éclairage. Il faut, pour purifier l'acide, le chauffer à une température assez élevée pour brûler la matière charbonneuse qui se forme alors, aux dépens de l'oxygène de l'acide sulfurique, tandis qu'une partie de ce dernier se transforme en acide sulfureux ; de là des pertes considérables et cependant inévitables d'acide sulfurique.

En raison des circonstances que je viens de développer, je ne pense pas que le gaz de l'éclairage, avec sa composition actuelle, puisse jamais devenir une source industrielle d'alcool.

Cependant, il en serait autrement si l'on venait à découvrir une source naturelle de gaz oléfiant, analogue aux sources de pétrole d'Amérique ; si même on arrivait, en utilisant un résidu quelconque de fabrication, à se procurer artificiellement, et pour ainsi dire sans frais, un gaz contenant 20 ou 30 pour 100 d'éthylène. Dans ces conditions, ce mode de fabrication de l'alcool pourrait devenir applicable industriellement et lutter contre le procédé généralement employé, et qui consiste à produire l'alcool par fermentation.

Le grand avantage que présente ce dernier procédé, c'est que nous ne dépensons rien pour produire les réactions chimiques qui lui donnent naissance. L'alcool de fermentation, en effet, provient toujours du sucre, lequel se produit chaque jour naturellement par le travail chimique de la lumière solaire, qui convertit gratuitement en sucre, l'acide carbonique de l'atmosphère : toute la dépense réside dans les manipulations de culture et de distillation. Au contraire, en opérant sur l'éthylène, il faut faire intervenir les affinités chimiques de l'acide sulfurique, c'est-à-dire d'un produit qui a coûté déjà des frais de fabrication. La distillation intervient d'ailleurs dans les deux circonstances. Il faudrait donc que les manipulations fussent moins coûteuses que les frais de culture mis en œuvre. M. Berthelot.

ALCOOL MÉTHYLIQUE ou Esprit de bois. Lorsqu'on distille le bois par l'action de la chaleur, on produit, outre l'acide pyroligneux et le goudron, divers autres produits. Parmi ceux-ci, le plus remarquable est l'esprit de bois, qui a de nombreux points de ressemblance avec l'alcool ordinaire. Il se trouve en dissolution dans la partie aqueuse des produits de la distillation. Celle-ci étant décantée, pour la séparer du goudron non dissous, on la soumet à la distillation dans les fabriques, afin d'en extraire, au moins en partie, le goudron qu'elle tient en dissolution.

On recueille les dix premiers litres provenant de chaque hectolitre de liqueur mise en distillation, et on soumet ce produit brut à des rectifications répétées, comme s'il s'agissait de concentrer de l'eau-de-vie. Pour abréger, on peut, dès la première des rectifications, mettre dans l'alambic de la chaux vive qui retient l'eau sans altérer l'esprit de bois. Dans tous les cas, on ne parvient à une rectification absolue du produit, qu'en faisant usage de ce réactif.

D'après M. Dumas, qui a fait, avec M. Péligot un travail excellent sur l'esprit de bois, celui-ci forme environ 1 p. 100 des produits aqueux de la distillation. Cette proportion est, dit-on, notablement plus forte quand on évite les décompositions qui résultent de la trop haute température de l'appareil distillatoire, en employant par exemple le chauffage au bain de plomb.

L'esprit de bois est un liquide très-fluide, incolore, d'une odeur particulière ; il brûle avec une flamme semblable à celle de l'alcool. Son point d'ébullition est à 66°,5 sous la pression 0m,76 ; sa densité 0,798 à 20°, c'est-à-dire sensiblement la même que celle de l'alcool vinique.

ALCOOLS (classe des). Le mot *alcool*, appliqué vers le treizième siècle par les Arabes au produit le plus volatil de la distillation du vin, a reçu en chimie organique une signification beaucoup plus étendue. Après avoir été réservé d'abord à une substance particulière, ce mot désigne aujourd'hui toute une classe de composés, généralisation qui n'est pas rare dans l'histoire des sciences. Plusieurs de ces substances et de leurs dérivés jouent un rôle important dans les applications industrielles ; aussi croyons-nous utile de donner quelques notions générales à ce sujet.

On désigne sous le nom d'*alcool* tout corps formé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, et susceptible de se combiner directement avec les acides pour former des *éthers*. Les éthers se produisent avec séparation des éléments de l'eau ; ils peuvent régénérer l'alcool et l'acide, en fixant ces mêmes éléments de l'eau.

Voici comment la classe des alcools a été établie.

En 1834, MM. Dumas et Péligot donnèrent le nom d'alcool méthylique à une substance obtenue par la distillation du bois (esprit de bois), et dont ils avaient démontré les remarquables analogies avec l'alcool ordinaire. Ils appliquèrent le même nom d'alcool à l'éthal, matière préparée par M. Chevreul au moyen du blanc de baleine et dont ce savant avait déjà remarqué la ressemblance avec l'alcool ordinaire. Tel est le

point de départ de la classe des alcools. L'alcool amylique (huile de pommes de terre), caractérisé par MM. Cahours et Balard, les alcools cérotique et mélissique, extraits des cires de Chine et d'abeilles par M. Brodie, l'alcool caprylique, préparé avec l'huile de ricin par M. Bouis, et beaucoup d'autres découverts depuis vinrent se ranger dans la même classe. Tous les alcools précédents renferment 2 équivalents d'oxygène et ne s'unissent qu'à un seul équivalent d'acide pour former des éthers : nous disons maintenant que ce sont des alcools monoatomiques.

En 1854, M. Berthelot a démontré que la glycérine, c'est-à-dire l'un des produits constants de la saponification des corps gras neutres, était un *alcool polyatomique*, renfermant 6 équivalents d'oxygène et capable de s'unir avec 1, 2, 3 équivalents d'un acide quelconque pour former plusieurs groupes d'éthers : de là résulte la synthèse des corps gras naturels, stéarine, margarine, oléine, etc. Le caractère d'alcool polyatomique appartient encore, d'après les recherches du même savant, à la mannite, principe cristallisable de la manne, à la quercite, principe contenu dans le gland de chêne, à l'érythrite, principe extrait des lichens à orseille, enfin aux glucoses et à la plupart des sucres. La constitution chimique d'une multitude de substances contenues dans les plantes s'explique par cette théorie générale : ce sont les éthers ou les dérivés des alcools polyatomiques. — Depuis, M. Wurtz a découvert le groupe des glycols ou alcools diatomiques, intermédiaires entre les anciens alcools et la glycérine.

Aujourd'hui la classe des alcools comprend une quarantaine de composés connus, soit naturels, soit artificiels, et il est permis de prévoir l'existence de plusieurs milliers d'alcools, susceptibles d'être formés par des méthodes générales. Voici la liste des principaux alcools.

Alcools monoatomiques :

Alcool méthylique (esprit de bois). . .	$C^2H^4O^2$
Alcool ordinaire (ordinaire) ou éthylique.	$C^4H^6O^2$
Alcool amylique (huile de pommes de terre).	$C^{10}H^{12}O^2$
Alcool caprylique.	$C^{16}H^{18}O^2$
Alcool éthalique (éthal ; alcool cétylique, générateur du blanc de baleine). . .	$C^{32}H^{34}O^2$
Alcool cérotique.	$C^{52}H^{54}O^2$
Alcool mélissique (générateurs des cires).	$C^{60}H^{62}O^2$
Alcool acétylique.	$C^4H^4O^2$
Alcool allylique (générateur des essences d'ail, de moutarde, etc.).	$C^6H^6O^2$
Alcool campholique (camphre de Bornéo, générateur du camphre ordinaire). .	$C^{20}H^{18}O^2$
Alcool benzylique (générateur de l'essence d'amandes amères).	$C^{14}H^8O^2$
Alcool cholestérique (cholestérine, principe très-répandu dans les organes des animaux).	$C^{52}H^{46}O^2$

Alcools polyatomiques :

Glycol.	$C^4H^6O^4$
Glycérine (générateur des corps gras neutres).	$C^6H^8O^6$
Erythrite (principe contenu dans les lichens tinctoriaux).	$C^8H^{10}O^8$
Mannite et corps analogues.	$C^{12}H^{14}O^{12}$
Glucoses et sucres.	$C^{12}H^{12}O^{12}$

Parmi ces alcools, les plus importants au point de vue des applications sont l'alcool ordinaire, l'alcool méthylique, la glycérine et les sucres.

L'alcool ordinaire joue un rôle fondamental dans le vin et dans les liqueurs spiritueuses. En nature, il est employé principalement comme dissolvant et comme combustible spécial ; étendu d'eau, il forme la masse principale des eaux-de-vie. Son oxydation produit le vinaigre, et, dans des conditions spéciales, les fulminates. Enfin ses combinaisons avec les acides constituent les éthers dont plusieurs ont reçu des applications en parfumerie (essence de pommes, d'ananas, etc.), et dont d'autres concourent à former le bouquet des vins et des eaux-de-vie.

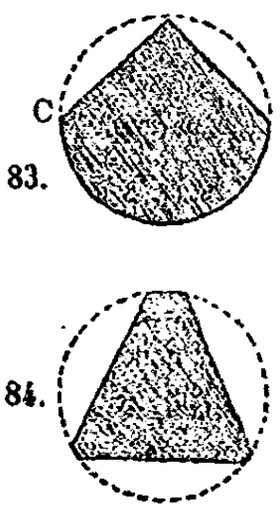
L'alcool méthylique ou esprit de bois est usité, surtout en Angleterre, comme dissolvant et combustible analogue à l'alcool du vin.

La glycérine a été proposée dans l'industrie comme lubréfiant depuis quelques années. Mais c'est surtout à l'état de combinaison qu'elle joue un rôle capital. Presque tous les corps gras naturels, huiles, beurres, graisses, etc., sont des éthers de la glycérine.

Les sucres enfin, sont employés soit comme aliments, soit comme substances propres à produire de l'alcool ordinaire par la fermentation. Parmi leurs combinaisons utilisées dans l'industrie, on compte les tannins et un grand nombre de substances amères et astringentes naturelles. M. BERTHELOT.

ALÉSOIR. L'alésoir est une machine destinée à terminer des surfaces cylindriques concaves, comme l'intérieur d'un coussinet, d'un cylindre de machine à vapeur, d'un tube, etc. — Les *outils* et machines destinés à remplir ce but sont assez variés, leur forme dépendant du diamètre des trous à aléser. Quand les trous à aléser ne dépassent pas 15 à 20 millimètres de diamètre et 10 à 15 centimètres de profondeur, on emploie des alésoirs pleins en acier, que l'on fait tourner à la main, soit au moyen d'un vilebrequin, soit au moyen d'un tourne-à-gauche. Le trou est d'abord exécuté avec un foret, puis agrandi avec des équarrissoirs ; on le termine complétement au moyen des alésoirs. Ce sont des barreaux d'acier ayant en coupe la forme indiquée dans les figures 83 et 84.

L'alésoir (fig. 83) se fait avec un barreau d'acier de 13 centim. de longueur, que l'on place sur le tour et que l'on tourne conique sur le tiers de la longueur ; la partie tournée cylindrique a exactement le diamètre du trou à aléser et se termine par une partie carrée que l'on place dans le trou du vilebrequin ou du tourne-à-gauche ; les deux pans se font à la machine à raboter ou à la lime. On introduit l'alésoir dans le trou par sa partie conique ; on le tourne et on le fait descendre au moyen d'une vis qui pèse sur le vilebrequin.



83.

84.

La forme de l'alésoir (fig. 84) est préférable, la matière est attaquée à la fois par trois angles, par conséquent l'outil s'use moins ; de plus, les angles restent toujours sur la circonférence extérieure, tandis que l'angle de l'outil (fig. 83) étant usé, cet outil ne coupe plus la matière que par l'arête C ; en second lieu, trois parties cylindriques discontinues guident mieux qu'une partie cylindrique continue.

Dans les coupes de ces deux outils, les parties abattues sont planes, on les fait quelquefois concaves. La matière à attaquer est alors moins refoulée, l'outil présente moins de résistance, et la limaille et les copeaux sortent plus facilement du trou.

Ces outils se trempent au rouge cerise ; on les fait ensuite revenir plus ou moins, suivant la nature de l'acier employé et la matière sur laquelle ils sont destinés à agir. Quand les angles sont émoussés, on les affûte sur une meule cylindrique ou sur une pierre.

Dès que les trous à finir prennent des dimensions un peu fortes, on doit rejeter l'emploi de ces outils qui coupent la matière sur toute la longueur du trou et qui exigeraient pour les faire marcher un effort considérable, on fixe alors sur un arbre un ou plusieurs outils ; on fait passer cet arbre dans le trou, et on le fait tourner en lui donnant en même temps un mouvement très lent dans le sens de sa longueur. Les outils n'attaquent alors la matière que sur une épaisseur peu considérable, et quand l'arbre est bien guidé dans ses coussinets et qu'il n'éprouve pas de vibrations, on obtient des surfaces parfaitement unies et régulières.

Tel est le principe d'après lequel sont construits les divers alésoirs employés dans les ateliers de construction, et dont on se sert pour travailler l'intérieur des cylindres à vapeur, des moyeux de roues, des coussinets, etc.

Les alésoirs pour les cylindres à vapeur sont établis en général sur de très fortes proportions, on les divise suivant la position de l'arbre qui porte les outils en deux classes : les alésoirs horizontaux et les alézoirs verticaux.

Quelquefois l'arbre et les outils sont fixes et c'est le cylindre qui tourne ; cette disposition est en général fort peu employée.

Les alésoirs horizontaux sont employés pour l'alésage des petits cylindres à vapeur. Quand on doit aléser de grands cylindres sur une machine horizontale, il est presque impossible d'obtenir un résultat convenable, parce que l'épaisseur du cylindre étant très faible relativement au diamètre, surtout si ce sont des cylindres de machines soufflantes, son poids seul suffit pour déformer la pièce qui une fois sortie de la machine peut fort bien être elliptique.

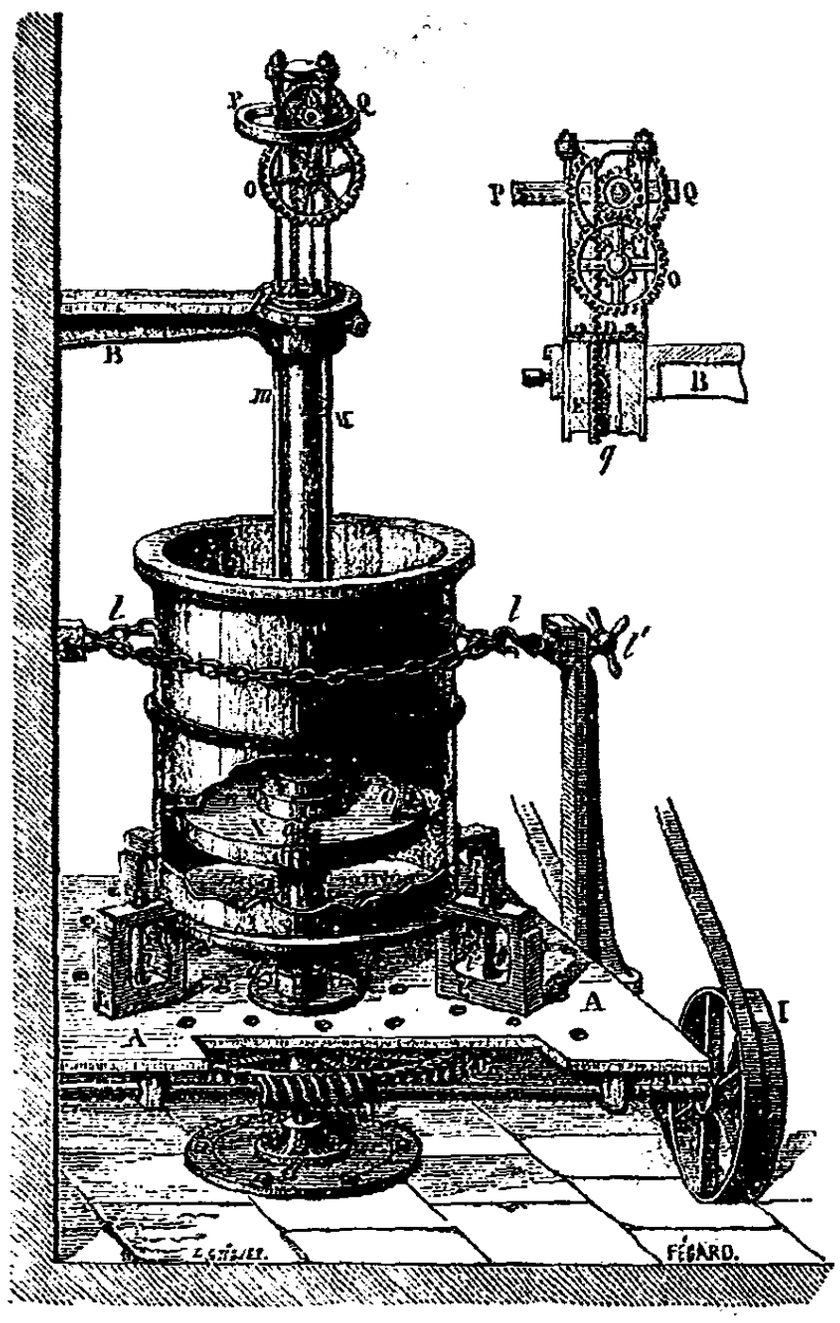
Ces inconvénients ne se présentent pas sur une machine verticale, si l'on prend les précautions convenables pour ne pas trop serrer le cylindre dans certaines parties ; en outre, il est plus facile de mettre la pièce en place, et les copeaux enlevés par les outils tombent par leur propre poids, tandis qu'il remplissent le cylindre quand il est placé horizontalement.

Ces considérations ont fait rejeter l'emploi des alésoirs horizontaux pour l'alésage des grands cylindres. Il faut aussi remarquer que quand l'arbre est horizontal son poids et celui du plateau où sont placés les outils tendent à le faire fléchir, et lui font éprouver des vibrations sensibles qui nuisent au résultat final, c'est-à-dire à la perfection des surfaces obtenues.

Pour de petits cylindres, l'alésoir horizontal est généralement employé. Le porte-outils est fixé à l'arbre qui le transporte avec lui ; le cylindre est placé sur plusieurs pièces de bois perpendiculaires à son axe et fixées sur deux jumelles, on change ces pièces de bois suivant le diamètre du cylindre, qu'on réunit solidement aux jumelles au moyen de chaînes fortement tendues. La vitesse des outils qui attaquent la fonte est de 4 à 5 centimètres par seconde, elle est d'autant moindre que la fonte est plus dure. Le mouvement de translation est toujours communiqué à l'arbre par la machine elle-même.

On alése quelquefois des cylindres sur des tours parallèles, le porte-lames n'a alors qu'un mouvement de rotation, et c'est la pièce qui avance. Dans ce cas, on est toujours limité par la hauteur du centre des poupées au-dessus du banc, on ne peut jamais y placer des pièces qui auraient un rayon extérieur plus grand que cette distance.

Nous donnons ici (fig. 86) la description d'un grand alésoir vertical sur lequel on peut placer des cylindres ayant jusqu'à deux mètres de diamètre. Sa construction est à la fois simple et solide. Tout le système est placé près d'un mur à la partie supérieure duquel se trouve un support B portant un coussinet où tourne le haut de l'arbre F. Cet arbre, à la partie inférieure, porte un pivot *e* qui repose dans une crapaudine *a* située au-dessous d'une grande plaque en fonte A placée au niveau



86.

du sol de l'atelier ; l'arbre est encore soutenu par un support *d* boulonné sur cette plaque. Cet arbre, dont le diamètre est de 30 centimètres, est ainsi fixé d'une manière très solide, condition fort importante, car il est nécessaire, si l'on veut aléser le cylindre en une seule passe, que les outils n'éprouvent aucune vibration. Au-dessous de la plaque A est une roue d'engrenage G à laquelle une vis sans fin I communique le mouvement de rotation. Comme l'arbre doit marcher très lentement, cette disposition est préférable comme simplicité, à tout autre système d'engrenages que l'on pourrait employer pour diminuer la vitesse du moteur.

Des pièces L, placées sur le grand plateau A et pouvant s'éloigner plus ou moins de l'arbre, supportent le cylindre et serrent fortement au moyen de boulons et d'écrous la bride placée à sa partie inférieure. Plus haut le cylindre est entouré par des chaînes *l* fixées à des supports extérieurs, et qui servent encore à augmenter sa stabilité.

Pour placer le cylindre sur le plateau, on enlève l'arbre au moyen de poulies et de cordes placées au-dessus, on amène le cylindre sur les pièces L, on laisse

redescendre l'arbre, on règle la position du cylindre au moyen des vis *f*, et on serre fortement les écrous et les chaînes.

Pendant la marche, l'arbre creux tourne, mais il est immobile dans le sens de sa longueur, c'est le plateau N où sont fixés les burins qui descend peu à peu au moyen de la disposition suivante :

Une pièce Q circulaire que l'on peut envisager comme un grand écrou, porte intérieurement un filet très peu incliné qui ne fait que deux ou trois fois le tour; une roue P, dont les dents sont taillées convenablement pour s'engager dans les filets de l'écrou et dont l'axe est horizontal, est entraînée par l'arbre F auquel elle est fixée par des supports, dans son mouvement de rotation; il est facile de comprendre que cette roue tourne autour de son axe avec une vitesse très faible; son mouvement de rotation est communiqué par l'intermédiaire d'un pignon S, à une roue O, aussi fixée sur l'arbre vertical, et dont l'arbre porte un second pignon engrenant avec une crémaillère *q*.

Cette crémaillère pénètre dans l'intérieur de l'arbre vertical, et est assemblée à sa partie supérieure avec une traverse *p* aux deux extrémités de laquelle se trouvent deux tringles méplates *m* qui soutiennent le porte-outils N. On conçoit qu'à mesure que la crémaillère descend, les tiges *m* qui sont liées avec elle, déterminent le mouvement descensionnel du porte-outils N.

Le plateau N porte à son pourtour deux outils ou burins en acier, qui attaquent simultanément la matière. Ces outils sont serrés dans des trous pratiqués dans le plateau au moyen de vis *o*. Quelques constructeurs emploient une seconde vis qui pousse le burin dans le sens de sa longueur, et qui, tout en l'empêchant de reculer permet de le fixer à la distance convenable du centre de rotation.

Quel que soit le nombre d'outils placés à la circonférence du plateau, il faut les disposer de manière à leur faire partager le travail afin d'éviter leur échauffement, et des vibrations nuisibles à la perfection de l'alésage. Les outils qui décroûtent sont situés plus bas et moins avancés vers la circonférence, ce sont eux qui fatiguent le plus, mais ils laissent moins à faire aux autres et l'alésage est plus parfait. Le dernier outil a la forme d'une plane de tourneur, c'est-à-dire, qu'il a son arête tranchante parallèle à l'axe de rotation, et qu'il ne fait, pour ainsi dire, que polir la matière. Aussi, quand on prend les précautions convenables, le cylindre est poli à l'intérieur comme une glace, sans qu'on soit obligé de donner une seconde passe. On a différents plateaux, porte-outils suivant le diamètre des cylindres à aléser.

Ordinairement on rôde les cylindres qui sortent de l'alésoir; on les place alors horizontalement ou inclinés, on fait marcher dans le sens de la longueur une masse de plomb, et on jette dans le cylindre, que l'on fait tourner peu à peu, de l'eau et de l'émeri; on obtient ainsi une surface striée dans le sens de la longueur, ce qui facilite beaucoup la marche du piston et diminue les chances d'usé.

Quelques grands alésoirs verticaux établis dans différents ateliers, présentent une disposition un peu différente de celle que nous avons décrite. Le mouvement descensionnel est communiqué au porte-outils par une vis placée dans l'intérieur de l'arbre, ou par deux vis placées de chaque côté. Enfin, l'alésoir tout entier est souvent établi dans une fosse placée dans le sol, où l'on descend le cylindre. Cette fosse est recouverte par un plateau situé au niveau du sol de l'atelier.

Nous avons dit qu'on employait encore dans les ateliers de construction, de petits alésoirs destinés à travailler des coussinets, des moyeux de roues d'engrenage, des trous de manivelles, etc. Leur disposition est en général assez simple; l'arbre est vertical et passe dans un coussinet fixé au plateau horizontal sur lequel on place la pièce à aléser; l'outil, ou burin, entre dans une mortaise pratiquée dans cet arbre, et on l'y serre par une clavette; outre son mouvement de rotation, l'arbre possède un mouvement lent dans le sens de sa longueur. Quelquefois l'arbre ne descend pas, il ne fait que tourner, et on fait marcher l'outil horizontalement; on exécute alors une surface plane, et la machine se transforme en machine à raboter.

On emploie cette disposition sur l'alésoir vertical pour dresser les parties planes par lesquelles le cylindre s'ajuste à son fond et à son couvercle, on fixe sur l'arbre une pièce horizontale, portant une coulisse où marche une petite pièce dans laquelle on place l'outil, cette pièce forme l'écrou d'une vis située dans la coulisse et qui se termine par une étoile en dehors de la pièce horizontale; à chaque tour de l'arbre, une des branches de l'étoile rencontre un arrêt, l'étoile et la vis tournent d'une petite quantité, l'outil avance dans sa coulisse, et une nouvelle portion de la matière est attaquée.

DUBIED.

ALGÉRIE. L'avenir industriel de l'Algérie, la seule question que nous puissions traiter ici, et son importance relativement à la richesse de la France, sont encore bien obscures après bien des années d'efforts peu fructueux. Le faible développement de la culture du coton, au moment où l'Europe en manquait, paraît indiquer que les irrigations sont trop rares pour sa production, au moins à un prix de revient avantageux, surtout avec les efforts que fait le gouvernement pour organiser la petite propriété, si nécessaire au point de vue politique, mais qui ne peut guère produire que les objets nécessaires à la nourriture des colons, devenus le but et non le moyen de la colonisation.

Mais si le littoral et les plaines fertiles de l'Algérie doivent être occupés par une nombreuse population européenne, les parties plus reculées, les immenses étendues qui bordent le désert, et le Sahara lui-même, où la végétation pousse encore quelques touffes d'herbes, ne peuvent être utilisés qu'au parcage et à l'alimentation des bestiaux. Au reste il n'y a pas à créer sous ce rapport; la population arabe, presque tout entière pastorale, élève d'immenses troupeaux qui constituent toute sa richesse.

On pourra cependant, nous le croyons du moins, régulariser et augmenter cette production. Que l'on étudie ce que les Hollandais ont fait à Java, où le sol, comme dans l'Algérie, est presque entièrement propriété de l'État, pour développer la culture du café, qui est pour la métropole la source d'énormes revenus, tant en faisant payer les impôts en nature qu'en assurant la jouissance paisible du sol, les moyens de production et surtout d'échange aux populations malaises, et on reconnaîtra qu'il est possible de développer dans l'Algérie, au grand profit de la France, une immense production de bestiaux, de cuirs, mais surtout de laines, la matière première de l'industrie la plus importante peut-être de la France, celle qui est le plus en avance sur les industries étrangères, et dont les progrès ne sont limités que par le prix élevé de la matière première.

La question à résoudre à cet égard se réduit à ceci : suffit-il de compter sur le commerce, sur l'intérêt de la race arabe pour le développement de son industrie, ou faudrait-il, comme l'ont fait les Hollandais à Java pour la race malaise, forcer cette production par les institutions, par exemple, profiter des traditions du droit oriental pour faire payer l'impôt, la part de propriété de l'État, en laines, et exciter à l'accroissement de cette production? Pour qui connaît les merveilleux résultats du système hollandais, et l'apathie des Arabes, nous croyons que la réponse ne saurait être douteuse.

ALLIAGES (*angl.* alloy, *all.* legirung). Les alliages métalliques peuvent être considérés, relativement à l'industrie, comme constituant de nouveaux métaux, jouissant de propriétés spéciales plus ou moins différentes de celles qui appartiennent aux métaux qui les composent.

Peu de métaux sont employés isolément; on ne peut guère citer que le fer, le cuivre, le plomb, l'étain, le zinc, le platine, le mercure et enfin l'aluminium.

Le plus souvent on les utilise à l'état d'alliage; ainsi parmi les métaux ci-dessus indiqués, il n'y a que le fer qui ne donne pas naissance à des alliages utiles (l'acier et la fonte étant des combinaisons d'un autre ordre que les alliages formés par des métaux seulement). Pour les autres il en est tout autrement. Le cuivre, par exemple, sert surtout à l'état d'alliage sous forme de laiton. L'or et l'argent ne sont jamais employés à l'état de pureté; ils sont toujours associés à une quantité de cuivre déterminée, pour l'alliage monétaire, la bijouterie, l'orfévrerie. L'antimoine, le bismuth, le nickel, ne sont jamais employés seuls, ces métaux étant trop cassants.

En définitive, il y a environ treize métaux employés qui forment aujourd'hui une cinquantaine d'alliages utiles. Certains métaux sont trop cassants ou trop mous pour être employés seuls, comme l'or et l'argent, qu'on emploie toujours associés à une certaine quantité de cuivre, comme il vient d'être dit, ce qui offre l'avantage important d'assurer la durée des objets, en leur donnant un certain degré de dureté. Il en est de même du cuivre : le cuivre rouge est d'un prix assez élevé; associé au zinc, ce prix se trouve diminué, et l'on obtient un alliage plus dur qui se conserve mieux à l'air. Le rôle que jouent les métaux dans l'industrie est d'une telle importance, qu'on ne peut mettre en doute l'immense intérêt qui doit s'attacher à l'étude des alliages qu'ils fournissent par leurs combinaisons mutuelles. Malheureusement cette partie de la science a été peu cultivée jusqu'à ce jour, surtout sous le rapport de ses applications; espérons que cette lacune sera bientôt comblée par quelque savant plus jaloux de l'utilité que de l'éclat de ses travaux! C'est le désir de montrer tout l'intérêt que mérite une étude semblable, qui nous a engagés à donner à cet article un développement peut-être exagéré; mais tant que les lois des variations de dureté, de fusibilité, etc., des alliages, en raison des métaux employés, seront inconnues, on ne saurait faire rien de plus utile que d'enregistrer de nombreux résultats d'expérience, pouvant guider le praticien dans une question fondamentale pour une foule d'industries.

Les alliages ont été fort longtemps considérés comme de simples mélanges, et cela parce qu'il est possible de mélanger en proportions quelconques des métaux fusibles, qui restent unis par la solidification qui résulte du refroidissement. Mais, sauf ce phénomène accessoire, le cas est absolument le même que celui d'un acide dissous dans l'eau; en conclut-on que l'acide ne persiste pas et qu'il change de nature à mesure qu'on augmente le volume de l'eau? Aussi, aujourd'hui, admet-on que les métaux se combinent comme tous les corps en proportions définies, malgré leur dissolution dans un métal ou dans d'autres combinaisons. Ce qui le prouve, c'est que, si on laisse un alliage fondu se refroidir, on reconnaît qu'il se sépare en deux ou plusieurs couches qui sont des composés différents à proportions déterminées; c'est surtout ce qu'il est facile de constater dans tous les cas où il y a cristallisation, indice certain d'un composé défini, qui se constate pour nombres d'alliages. Je citerai l'amalgame de sodium, certains alliages de cuivre et d'étain, comme exemples; ceci n'empêche pas le mélange de pouvoir accompagner les combinaisons définies, ce qui est le cas de la plupart des cas dans la pratique, mais nous ne pouvons étudier tous les mélanges possibles dans lesquels des alliages entrent pour des quantités minimes, bien qu'il en résulte quelquefois des modifications très-utiles de propriétés du composé, que l'on pourra prévoir en raison de celles des alliages que nous allons étudier.

ALLIAGES.

L'étude scientifique des alliages doit donc avoir pour base celle des composés à proportions définies, qu'il faudrait bien déterminer. Ce sont les combinaisons et mélanges de ces alliages atomiques entre eux, et avec les métaux constituants, qui forment les alliages qu'emploie l'industrie.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES ALLIAGES EN GÉNÉRAL. *Densité.* La densité des alliages est tantôt moindre, tantôt plus grande que celle qui serait déduite des densités et des proportions des métaux dont ils sont formés. Aucune loi n'a été reconnue à cet égard. On connaît seulement, par expérience, pour un certain nombre d'alliages, dans quel sens marche la densité.

Lorsque, dans un alliage, il n'y a ni contraction, ni dilatation, la pesanteur spécifique ou densité de l'alliage est donnée par la formule $\Delta = \frac{(P+p)\,D\,d}{P\,d+p\,D}$ dans laquelle P et p désignent les poids des métaux composants qui entrent dans l'alliage, et D et d leur densité respective. Lorsque l'expérience donne pour densité de l'alliage un nombre différent de Δ, on en conclut qu'il y a contraction, si ce nombre est plus grand, et dilatation, s'il est plus faible; c'est ainsi qu'on a pu dresser les tables ci-dessous qui se rapportent aux principaux alliages binaires :

ALLIAGES. dont la densité est plus grande que la densité moyenne des métaux qui les constituent.	ALLIAGES. dont la densité est moins grande que la densité moyenne des métaux qui les constituent.
Or et zinc.	Or et argent.
Or et étain.	Or et fer.
Or et bismuth.	Or et plomb.
Argent et zinc.	Or et cuivre.
Argent et plomb.	Argent et cuivre.
Argent et étain.	Étain et plomb.
Argent et bismuth.	Étain et antimoine
Argent et antimoine.	Cuivre et plomb.
Cuivre et zinc.	Zinc et antimoine.
Cuivre et étain.	Fer et bismuth.
Cuivre et bismuth.	Fer et plomb.
Cuivre et antimoine.	Fer et antimoine.
Plomb et bismuth.	Plomb et antimoine.

Si l'on voulait absolument déduire de ce tableau la loi qu'il renferme, quoiqu'il soit beaucoup trop incomplet pour arriver à aucun résultat certain, on serait amené à admettre qu'il y a en général condensation quand l'alliage est composé de deux métaux ayant une grande affinité réciproque, et que par suite la combinaison est intime, qu'il y a formation de composé défini, et *vice versa* qu'il y a dilatation quand les deux métaux ont peu d'affinité l'un pour l'autre et ne sont pour ainsi dire que mélangés. Ainsi le cuivre, qui a beaucoup d'affinité pour le zinc et l'étain, forme avec ces métaux des composés d'une densité plus grande que la densité moyenne, tandis qu'avec le plomb, métal avec lequel il forme plutôt des mélanges que des combinaisons, il donne des alliages d'une densité au-dessous de la densité moyenne. Pour un même métal, la même loi devrait s'appliquer, si on augmentait au delà du point de saturation du premier métal composant l'alliage, la proportion du second. C'est ce que paraîtraient démontrer des expériences de Muschenbroeck sur les variations de densité des alliages dans lesquels on fait varier la proportion des métaux. Elles tendraient à

établir qu'il existe un point de combinaison plus intime pour chaque alliage correspondant sans doute à un composé défini.

La densité des alliages peut servir à faire connaître, au moins d'une manière approximative, la proportion des éléments. Tel est *l'essai à la balle* employé pour reconnaître la pureté de l'étain. On coule de l'étain dans un moule à balle et on pèse celle-ci comparativement avec une balle semblable d'étain pur. La proportion de plomb est indiquée par l'augmentation du poids.

Dureté. — Ductilité. — Ténacité. Les alliages sont en général plus durs, plus aigres et ont moins de ductilité et de ténacité que celui des métaux constituants le plus ductile et le plus tenace.

Élasticité des alliages. Nous extrayons du rapport fait par M. Babinet, à l'Institut, sur un intéressant mémoire de Wertheim, traitant de l'élasticité des métaux et des alliages, ce qui est relatif à ces derniers, recherches dont nous donnons plus loin les résultats numériques. Wertheim a cherché à constater le rapport qui peut exister entre les propriétés mécaniques des métaux et celles des alliages afin d'en déduire la connaissance de l'état moléculaire de ces composés.

Les alliages ont été préparés avec des métaux purs. Après les avoir suffisamment mêlés et brassés à plusieurs reprises pendant la fusion, il les a coulés dans une lingotière de 50 centim. de longueur qui fut quelquefois chauffée jusqu'au rouge. Les alliages ductiles furent ensuite étirés, les autres furent calibrés à la lime.

Chaque alliage a été soumis à l'analyse chimique, quoique, pour la plupart d'entre eux, les métaux eussent été combinés dans le rapport de leurs poids atomiques ou des multiples les plus simples de ces poids. Mais l'inégale oxydabilité des constituants, ou la volatilité de l'un d'eux avait souvent notablement changé ces rapports. Il a fallu avoir égard, en outre, à la non homogénéité de leur composition ; ceux surtout dans lesquels entrent des métaux dont les poids spécifiques diffèrent beaucoup entre eux, offrent souvent de grandes inégalités de composition, qui se trahissent déjà par des différences de couleur et de malléabilité, mais que l'on reconnait sûrement au moyen de deux analyses faites sur des parties que l'on prend aux deux extrémités des verges. L'auteur a rejeté toutes celles qui offraient de trop grandes inégalités.

Les expériences de M. Wertheim portent sur 54 alliages binaires et 9 alliages ternaires de composition simple et connue ; dans ce nombre se trouvent la plupart des alliages qu'on emploie si fréquemment dans les arts, sans bien mesurer leurs propriétés mécaniques ; tels sont le laiton, le bronze, le tombac, le packfong, le métal des tam-tam trempé et non trempé, l'alliage des caractères d'imprimerie.

Ces expériences ont conduit l'auteur aux résultats suivants :

1° Les coefficients d'élasticité des alliages s'accordent assez bien avec la moyenne des coefficients d'élasticité des métaux constituants ; les condensations et les dilatations qui ont lieu pendant la formation de l'alliage n'influent pas sensiblement sur ce coefficient.

On peut donc déterminer d'avance quelle doit être la composition d'un alliage pour qu'il ait une certaine élasticité, ou pour qu'il conduise le son avec une vitesse donnée ; pourvu que cette élasticité ou cette vitesse tombe entre les valeurs extrêmes des mêmes quantités des métaux connus.

2° Ni la cohésion, ni la limite d'élasticité, ni l'allongement maximum ne peuvent être déterminés *a priori* au moyen des quantités connues pour les métaux simples qui les composent.

3° Les alliages se comportent comme les métaux simples quant aux vibrations et quant à l'allongement.

4° Si l'on suppose que toutes les molécules des alliages sont à la même distance les unes des autres, on trouve que plus cette moyenne distance est petite, plus le coefficient d'élasticité est grand. Toutefois, cet accord n'est pas suffisamment exact pour qu'on en puisse conclure avec sûreté que l'arrangement moléculaire est réellement tel qu'il a été supposé.

Fusibilité. Les alliages sont toujours plus fusibles que le moins fusible des métaux composants et souvent plus que chacun d'eux pris séparément. L'alliage fusible de Darcet, en est un exemple remarquable.

Chaleur spécifique. M. Régnault dans ses belles recherches sur les chaleurs spécifiques, a démontré que la chaleur spécifique des alliages était exactement la moyenne des chaleurs spécifiques des métaux composants ; les observations étant faites à une distance suffisante des points de fusion et de ramollissement.

Point de fusion. Un beau travail de M. Rudberg, le plus curieux qui ait été fait dans ces dernières années sur les alliages en général, repose sur les propriétés de la chaleur latente.

Il a observé que quand on laisse refroidir un alliage fondu, le thermomètre devenait en général deux fois stationnaire entre le point de fusion et de solidification, s'arrêtant une fois à un point commun à tous les alliages des deux mêmes métaux et une autre fois à un point qui varie avec leurs proportions. Il explique ainsi ce phénomène.

Deux métaux fondus ensemble et bien mélangés doivent former une combinaison à proportions définies, qui se trouve répandue dans celui d'entre eux qui est en excès. L'alliage chimique quand il est seul, se solidifie à un degré déterminé que M. Rudberg appelle le *point fixe*. Mais quand il y a excès d'un des métaux, la solidification du métal et de l'alliage n'ayant plus lieu au même degré, l'excès de métal qui généralement se solidifie le premier, dégage alors sa chaleur latente, ce qui produit un retard dans la marche du thermomètre. Ce métal solidifié reste ainsi disséminé dans l'alliage chimique encore fluide, qui lors de sa solidification occasionne à son tour un second arrêt du thermomètre, par le dégagement de sa chaleur latente. Ainsi d'après M. Rudberg le plomb se solidifie à 334°, l'étain à 230° et pour les alliages d'étain et de plomb le point fixe est à 186°, c'est le point de fusion de l'alliage chimique $Pb\,Sn^3$. Il a trouvé pour les points de fusion des divers alliages formés par l'alliage du métal et de l'alliage chimique les points de fusion suivants :

5 Sn	1 Pb	—	194°
4 Sn	1 Pb	—	149
3 Sn	1 Pb	—	186
2 Sn	1 Pb	—	196
1 Sn	1 Pb	—	214
1 Sn	3 Pb	—	189

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES ALLIAGES. En général les alliages se comportent comme le feraient les métaux séparés. L'état de combinaison modifie cependant dans certains cas, d'une manière très-notable, l'action des divers agents chimiques.

Oxydation. L'action de l'air est en général moindre sur les alliages que sur les métaux qui les composent. Il y a cependant des cas où elle est plus grande, ainsi l'alliage de 3 parties de plomb et 1 d'étain brûle et s'oxyde au rouge avec une extrême rapidité. Cet effet résulte de la combinaison rapide qui se produit entre les deux oxydes avec dégagement de chaleur, et sans doute d'un état électrique favorable à l'oxydation qui en provient, l'oxyde de plomb étant une base énergi-

que et l'oxyde d'étain un acide véritable, l'acide stannique.

Quand l'un des métaux qui entrent dans un alliage s'oxyde avec facilité, tandis que le second n'est pas oxydable, on peut les séparer en convertissant le premier en oxyde, tandis que le second reste intact; c'est sur cette propriété que reposent les procédés de coupellation qui permettent de séparer l'argent du plomb.

On séparerait encore en grande partie par ce procédé deux métaux différemment oxydables, celui qui jouit de cette propriété au plus haut degré, s'oxydant bien plus rapidement que le second. C'est ainsi qu'on est parvenu pendant la Révolution à séparer le cuivre de l'étain, pour convertir en bronze à canons le métal des cloches.

En général, on évite de fabriquer des alliages qui s'altèrent à l'air; on cherche au contraire à faire qu'ils résistent au contact des agents atmosphériques, et à l'action de l'acide carbonique. Si les deux métaux présentent la même tendance, l'alliage est alors extrêmement peu oxydable, c'est ce qui arrive pour l'alliage de cuivre et de zinc, ou laiton, qui est moins oxydable que le cuivre. Si l'on se place dans des conditions inverses, si l'on vient à allier un métal électro-positif avec un autre métal électro-négatif, on obtient un alliage extrêmement oxydable, tantôt à la température ordinaire, tantôt à une température plus élevée : comme l'alliage de bismuth et d'antimoine, qu'on ne peut conserver au contact de l'air. Quand on en prend une certaine quantité qu'on réduit en poudre, et qu'on l'introduit dans un vase qui renferme de l'eau, de manière à pouvoir recueillir l'hydrogène, on a un dégagement très-sensible de ce gaz; cela dépend, du reste, des conditions physiques, car si l'on en prend dans un grand état de division, il s'oxyde avec une rapidité telle, qu'exposé au contact de l'air humide, il a la propriété de détoner, tant il absorbe d'oxygène. Pourquoi ce composé est-il aussi oxydable? C'est qu'on a employé, d'une part, un métal ayant une tendance électro-positive prononcée : c'est le bismuth, et un métal ayant une tendance électro-négative : c'est l'antimoine; ce dernier donne naissance à des acides, l'autre donne naissance à une base extrêmement énergique. (M. Péligot.)

Parmi les alliages qui s'oxydent très-facilement, sans doute à cause des tendances électriques des métaux qu'ils renferment, et aussi de la dissolution dans la masse d'un métal oxydable, il faut citer l'alliage formé par le zinc et l'antimoine, métaux qui ont des tendances contraires; on peut l'obtenir à l'état cristallisé. Même facilité d'oxydation pour l'alliage connu sous le nom d'*alliage de Réaumur*, et qui est composé de fer et d'antimoine.

Action des acides. Ils agissent en général sur l'alliage comme sur le métal prédominant.

Préparation des alliages. *Premier procédé.* — Le procédé le plus généralement suivi consiste à fondre ensemble les deux métaux à allier, lorsqu'ils sont facilement fusibles, soit en les renfermant tous deux dans le même creuset, soit en ajoutant l'un des métaux au premier quand il est fondu. Il se développe souvent une forte chaleur au moment du mélange qui indique une action chimique énergique.

Deuxième procédé. — Quand l'un des métaux est volatil, ou que la réduction des oxydes isolés est très-difficile, on prépare les alliages en réduisant par le charbon les oxydes des métaux à allier mélangés, ou l'un des métaux à l'état d'oxyde mélangé avec l'autre à l'état métallique. Le mélange des oxydes a sur le mélange des métaux l'avantage de fournir des alliages beaucoup plus homogènes; néanmoins ce procédé est bien plus fréquemment employé dans les laboratoires que dans les ateliers.

Moulage des alliages. Quand un alliage a été formé, on le coule dans des moules de formes déterminées, ou dans des lingotières. Avant de le couler, il faut brasser le bain avec soin, autrement l'alliage ne serait pas homogène s'il y avait une grande différence de pesanteur spécifique entre les métaux alliés; la partie inférieure contiendrait le métal le plus pesant en plus grande quantité que la partie supérieure. Aussi a-t-on soin de faire les lingotières larges et peu profondes pour diminuer autant que possible cet effet.

La pesanteur n'est pas la seule cause de la séparation qui se produit pendant la solidification. Dès que l'alliage commence à se figer, il se partage le plus souvent en un alliage moins fusible qui se solidifie le long des surfaces suivant lesquelles le refroidissement a lieu, et un autre alliage plus fusible et plus léger qui remonte vers le haut. C'est cet effet de séparation qui fait la grande difficulté de la fabrication des bouches à feu, dans lesquelles se rencontrent parfois des taches blanches, composées d'un alliage très-riche en étain et qui forment des cavités lorsque la chaleur produite par l'explosion de la poudre les a fait fondre. Le seul moyen de lutter contre de semblables effets par le mode de moulage est d'activer le refroidissement; il n'y a pas de séparation, si le métal est solidifié presque aussitôt qu'il a touché le moule.

Un autre effet qui cause souvent une altération fâcheuse dans la ténacité des alliages, c'est la cristallisation qu'engendre le refroidissement lent qui se produit lors de la solidification dans des moules non métalliques. L'alliage chimique forme alors dans la masse, des cristaux qui augmentent généralement la dureté de la matière, mais en diminuent considérablement la ténacité. Il faut éviter autant que possible cet effet de cristallisation qui, trop considérable dans certains alliages, contraint à renoncer à leur emploi dans beaucoup de cas. On y parvient en accélérant le refroidissement et aussi quelquefois en soumettant l'alliage pendant son refroidissement à une forte pression qui gêne ce mouvement moléculaire. Cet effet s'obtient souvent en partie par l'emploi de masselottes ou masses considérables qu'on coule à la partie supérieure des pièces qu'il s'agit de fondre. Dans d'autres cas, cet effet est produit, et plus sûrement par une percussion sur la masse fluide, au moment où elle va se figer, ce qui évite une cristallisation nuisible en général, car les corps cristallisés ne présentent pas la résistance des corps qui ont un grain plus fin. C'est sur des alliages fondus dans cette condition que devraient être faites les comparaisons de densité, de dureté, de ténacité qui se font trop souvent sur des produits fondus dans des conditions différentes, ce qui ne peut conduire à aucun résultat.

De la liquation. Si l'on chauffe un alliage à une température insuffisante pour déterminer sa fusion, et s'il peut se former par certaines proportions des métaux un alliage fusible à cette température, celui-ci prendra naissance et abandonnera la masse métallique qui subsistera sous forme d'une carcasse. C'est sur cette propriété qu'est basé le procédé de liquation fort usité dans la métallurgie. Ainsi pour séparer l'argent du cuivre, on commence par fondre cet alliage avec une quantité de plomb, telle que le plomb et le cuivre soient atome à atome dans le composé. Lorsqu'on vient à chauffer l'alliage à un certain degré de chaleur, il se forme 2 alliages dont l'un beaucoup plus fusible, contient 12 atomes de plomb et 1 atome de cuivre; et l'autre moins fusible renferme au contraire 12 atomes de cuivre et 1 atome de plomb. Le premier entraîne les douze treizièmes de l'argent, que l'on peut en retirer par la coupellation. Ces phénomènes sont intimement liés à ceux constatés par les expériences de Rudberg sur la nature différente des alliages qui sont solides à des températures différentes.

IMPORTANCE DE L'ORDRE DE PRÉPARATION DES ALLIAGES ÉLÉMENTAIRES QUI CONSTITUENT L'ALLIAGE COMPOSÉ. Du fait bien avéré de la séparation d'un alliage simple ou compliqué en plusieurs alliages suivant leur ordre de fusibilité, il nous paraît qu'on doit tirer une conséquence importante relativement à leur préparation et qui ne se trouvant pas jusqu'à ce jour nettement formulée, est cependant la base de recettes pour la préparation de qualités estimées dans le commerce; c'est qu'il n'est nullement indifférent de préparer un alliage en ajoutant les métaux dans un ordre quelconque, et que deux alliages dans lesquels l'analyse chimique fait reconnaître des proportions identiques des mêmes métaux peuvent néanmoins être doués de propriétés très-différentes. Un exemple nous servira à bien faire comprendre ce principe.

C'est une chose bien connue dans l'artillerie que les bouches à feu en bronze fabriquées aujourd'hui, ne valent pas celles fondues sous le règne de Louis XIV, par les frères Keller. Le général Gassendi le dit positivement dans son aide-mémoire, et il ne faisait que proclamer un résultat que venait de constater l'usure de nombre de pièces de canon de cette époque. Rien n'était plus facile néanmoins que de faire l'analyse du métal employé par les frères Keller, et on reconnut qu'il contenait 2 à 3 parties de zinc. M. Dusaussoy, qui fit en 1825 des expériences nombreuses en vue de déterminer les avantages qui résulteraient de l'addition du zinc dans l'alliage, a conclu des résultats obtenus qu'elle ne produisait pas d'effet utile. La tradition s'était-elle trompée? Nous ne le pensons pas.

Ce n'était pas du zinc que les frères Keller ajoutaient à leur bronze, mais bien un alliage de cuivre et de zinc déjà préparé. Leurs proportions étaient: 100 parties de cuivre, 9 d'étain, 6 de laiton. Or, n'y a-t-il pas grande différence à ajouter à un bain de cuivre et d'étain quelques centièmes de zinc, ce qui constituera un alliage ternaire, ou du laiton, composé de cuivre et de zinc intimement alliés, qui, restant unis, formeront un alliage quaternaire. Il est probable que des expériences faites dans cette direction eussent donné des résultats plus avantageux, et qu'on eût positivement reconnu (ce que les expériences ont à peine indiqué) que le mélange plus intime qui résultait de l'introduction du laiton, diminuait l'effet des liquations intérieures.

On peut par une expérience bien simple constater l'influence de l'ordre suivi dans la préparation des alliages. Qu'on combine 90 étain et 10 de cuivre, et qu'à cet alliage on ajoute 10 parties d'antimoine, ou qu'on combine 10 parties d'antimoine à 10 parties de cuivre, et qu'on ajoute 90 parties d'étain, on aura deux alliages chimiquement les mêmes, et pourtant il sera facile de reconnaître que sous tous les autres rapports, fusibilité, ténacité, etc., ils diffèrent totalement. D'où cela peut-il résulter? Évidemment de la nature de leur combinaison qui résulte de l'ordre suivi dans la préparation, et qui persiste après le mélange. L'expérience indique encore dans beaucoup de cas, notamment dans la préparation des alliages de plomb et d'antimoine, que si on élève la température de l'alliage à un degré bien supérieur au point de fusion, l'alliage devient aigre et cassant. Cela provient probablement d'alliages qui se sont formés à cette température élevée qui ne peuvent plus ensuite se redissoudre dans la masse. Souvent la pratique force à avoir égard au principe posé ici, l'alliage ne pouvant s'obtenir qu'en opérant dans un ordre convenable. Ainsi il est difficile d'unir directement le fer au bronze; on y parvient facilement en employant du fer-blanc, c'est-à-dire du fer déjà en partie allié à de l'étain.

Le genre de considérations sur lesquelles nous attirons ici l'attention n'est autre que celui sur lequel repose toute la chimie organique et qui est encore trop négligé dans la chimie minérale, à savoir la nature des composés élémentaires en lesquels peut se subdiviser un même nombre d'atomes, suivant les circonstances diverses de la production du composé. C'est dans cette voie, nous le répétons après en avoir fait l'expérience, que peuvent s'obtenir les plus beaux succès dans la préparation des alliages les plus convenables pour atteindre un but déterminé.

ALLIAGES DIVERS. Passons en revue succinctement les principaux alliages qui ont fait l'objet de quelques travaux intéressants. On trouvera des détails plus complets sur ceux qui sont d'un grand intérêt dans l'industrie aux divers articles qui en traitent plus spécialement (Voir BRONZE, LAITON).

Les métaux similaires n'ayant en général que des réactions insignifiantes les uns sur les autres, et donnant lieu plutôt à de simples mélanges qu'à des alliages, tandis que les métaux de nature différente donnent des produits d'un grand intérêt, il importe de grouper les métaux dans un ordre qui simplifie l'étude, au point de vue des propriétés physiques des composés.

Les métaux d'un usage réel et étendu, en ne comptant pas le platine qui ne s'emploie guère qu'à l'état de pureté, sont au nombre de 11. Ce sont les seuls dont il y ait à s'occuper au point de vue de l'application.

Nous les diviserons en cinq classes, d'après leurs propriétés physiques, leurs caractères principaux.

DURETÉ. — RAYÉS PAR :		POINT DE FUSION.	RÉSISTANCE à la rupture en kil. par mill. carré.	DENSITÉ.	COEFFICIENTS d'élasticité.
	1° MÉTAUX CASSANTS.				
le verre.	ANTIMOINE.	Fusible un peu au-dessus du rouge.	0,67	6,70	
—	ARSENIC.	Se volatilise au-dessous du rouge.	0,97	—	
le carbonate de chaux.	BISMUTH.	256° centigr.		9,82	
	2° MÉTAL INTERMÉDIAIRE.				
le verre.	ZINC.	370° centigr.	15	7,134	7536
	3° MÉTAUX DUCTILES.				
	DANS L'ORDRE DE LEUR MOINDRE FUSIBILITÉ.				
le verre.	FER.	130° pyromètre de Wegwood.	64	7,74	20869
le carbonate de chaux.	OR.	32 — —	27	18,514	8131,5
— —	CUIVRE.	27 — —	40,30	8,89	12459
— —	ARGENT.	20 — —	29	10,360	7357,7
	4° MÉTAUX MOUS.				
l'ongle.	PLOMB.	322° centigr.	2,07	11,21	1775,0
le carbonate de chaux.	ÉTAIN.	210° centigr.	3,40	7,40	4643
	5° MÉTAL LIQUIDE.				
	MERCURE.	36° centigr. —	0	13,56	0

ALLIAGES BINAIRES DES MÉTAUX CASSANTS. — *L'arsenic, l'antimoine et le bismuth entre eux.* — Les alliages de ces métaux cassants, et qui pour cette raison ne peuvent être employés seuls dans l'industrie, sont également cassants, et par suite sans usage. Aussi, si ces métaux sont souvent mélangés, c'est qu'ils se rencontrent fréquemment ensemble dans leurs mines ; car il n'y a pas d'intérêt à les allier. Les métaux cassants forment au contraire avec les autres métaux des alliages très-utiles, parce qu'ils leur donnent de la dureté sans détruire (quand ils n'entrent que dans certaines proportions) leur ténacité.

Nous les avons rassemblés dans les tableaux qui suivent.

ALLIAGES DES DIVERS MÉTAUX AVEC LES MÉTAUX CASSANTS.

MÉTAUX COMBINÉS.	ARSENIC.	ANTIMOINE.	BISMUTH.
	Les arséniures ont tous l'éclat métallique. Très-cassants. En général très-fusibles.	Aigrit beaucoup les métaux avec lesquels il est allié, même quand il est en très-petite quantité.	Aigrit beaucoup moins les métaux avec lesquels il est allié que l'arsenic ou l'antimoine, son effet se rapproche de celui de l'étain : forme des alliages en général très-fusibles.
Métal intermédiaire.			
ZINC.	D'une préparation difficile. Très-cassant. Sans intérêt.	Très-cassant. Gris d'acier; dur et très-combustible.	Inconnu.
Métaux ductiles.			
FER.	Blanchâtre, dur, aigre, cassure approchant de celle de l'acier, susceptible de prendre un beau poli, ce qui l'a fait employer, dit-on, pour la bijouterie.	L'alliage formé d'un atome des deux métaux ou en poids de 70 ant. et 30 de fer est assez fusible, très-dur, blanc. L'alliage de 2 de fer pour 1 d'ant. plus dur encore; donne des étincelles quand on le lime rapidement.	Combinaison douteuse.
OR.	Gris métallique. Très-cassant.	L'antimoine a une très-grande affinité pour l'or et le dissout rapidement. La moindre fumée d'ant. suffit pour altérer la ductilité de l'or. Les alliages sont jaune-pâle, à cassure grenue et mate comme celle de la porcelaine.	Effet tout à fait semblable à celui de l'antimoine. Il y a de même contraction dans l'alliage formé. Couleur jaune-verdâtre, cassure terreuse.
CUIVRE.	Le composé de 62 p. cuivre et 57 arsenic, Cu^2 As, est gris éclatant, très-cassant, fusible au rouge, inaltérable par la chaleur. En augmentant la quantité de cuivre il devient blanchâtre, un peu ductile. Sert pour la fab. des boutons sous le nom de cuivre blanc ou tombac.	Combinaison rapide par la fusion des deux métaux. Alliages cassants. Celui formé de parties égales des deux métaux est d'une belle couleur violette.	Alliages cassants. Couleur rouge pâle.
ARGENT.	L'arséniure composé de 85 p. argent, 14 arsenic Ag^2 As, est gris-blanc, mat, cassant, prend l'éclat métallique par le frottement. Très-fusible, indécomposable par la chaleur.	L'antimoine et l'argent ont beaucoup d'affinité. Alliages d'autant moins blancs qu'il entre plus d'antimoine. Toujours cassants.	Alliages cassants et lamelleux. Très-fusibles; assez blancs. S'aplatissent un peu sous le marteau avant de se briser.
ALUMINIUM.	Inconnu. Sûrement très-cassant.	Inconnu. Sûrement très-cassant.	Un millième de bismuth aigrit l'aluminium et le fait se gercer sous le marteau.
Métaux mous.			
ÉTAIN.	Composés cassants, gris, lamelleux, moins fusibles que l'étain. — 6 p. d'arsenic sur 100 d'étain suffisent pour faire cristalliser l'alliage en grandes lames comme le bismuth et ôter toute ductilité au composé.	Les alliages d'antimoine et d'étain sont aussi blancs que l'étain, beaucoup plus durs et moins ductiles. Ils deviennent cassants quand l'antimoine s'y trouve en forte proportion. L'alliage formé de 90 p. étain 10 antimoine, sert à faire les ustensiles en métal dit *métal anglais*, d'un bel éclat, pour théières. Celui formé de 75 p. étain 25 antimoine est plus dur, plus brillant, mais plus cassant que le précédent (*métal d'Alger*).	L'étain et le bismuth s'allient facilement en toutes proportions par la fusion. Les alliages ont plus de dureté, d'éclat, de sonorité que l'étain; aussi ajoute-t-on habituellement un peu de bismuth à l'étain pour les objets de luxe fabriqués avec ce métal. Les alliages sont plus fusibles que chacun des deux métaux séparés. Le point fixe des alliages est à 143°, ce qui correspond à l'alliage Sn^3 Bi^2.

ALLIAGES DES DIVERS MÉTAUX AVEC LES MÉTAUX CASSANTS.

Métaux mous.	ARSENIC.	ANTIMOINE.	BISMUTH.
PLOMB.	L'arsenic rend le plomb cassant. Les arséniures de plomb sont gris-blanc; leur cassure est lamellaire et éclatante. L'arséniure non décomposable par la chaleur, signe d'une combinaison atomique intime, est composé de 84 p. plomb et 16 arsenic, et correspond à Pb^2 As. L'arséniure de plomb sert pour la fabrication du plomb de chasse amené par simple fusion à la forme globulaire. L'introduction de 2 ou 3 millièmes d'arsenic détermine la formation d'un arséniure qui, se solidifiant librement dans l'air, en tombant de haut, et entouré de plomb, forme de chaque gouttelette une petite sphère, sous l'influence de l'attraction intérieure partant du centre.	L'antimoine donne de la dureté au plomb, et ne le rend très-cassant que quand il entre en grande proportion dans l'alliage. Celui composé de 76 p. plomb et 24 p. antimoine, correspondant à Pb^2 Sb paraît le point de saturation des deux métaux. Il est plus fusible que la moyenne des composants, ductile, beaucoup plus dur que le plomb. Il sert à la fabrication des caractères d'imprimerie, sans offrir, pour les petits, toute la dureté désirable. Il se gonfle en se figeant, condition essentielle pour obtenir un moulage parfait. Quand on augmente la prop. d'antimoine, l'alliage devient bientôt très-cassant, vitreux, cristallisant facilement, et se réduit en poussière sous un faible effort.	Les alliages de bismuth et de plomb, sont moins cassants, plus ductiles que les antimoniures, mais aussi moins durs. Néanmoins l'alliage de 3 p. de plomb et 2 de bismuth est encore dix fois plus dur que le plomb. — Celui composé de 66 p. de plomb et 34 de bismuth, ou Pb^2 Bi a une couleur intermédiaire entre celle de l'étain et celle du plomb. Il est très-ductile. Fond à 166° cent. Le point fixe de ces alliages est à 129°, c'est le point de fusion de l'alliage Pb^2 Bi^1. La grande fusibilité de ces alliages comme de beaucoup d'autres où entre le bismuth rendra l'emploi de ce métal très-fréquent, le jour où on l'obtiendra abondamment, à un prix peu élevé.
Métal liquide.			
MERCURE.	Sans intérêt.	Sans intérêt. Alliages grenus, blancs, sans consistance.	Le mercure peut dissoudre beaucoup de bismuth sans cesser d'être liquide, seulement il forme alors des gouttelettes allongées, et fait la queue. L'alliage de 1 p. de bismuth, 4 de mercure est très-fusible, peut servir à étamer, et s'attache aux corps avec lesquels il est mis en contact.

ALLIAGES DU ZINC

(Métal intermédiaire entre les métaux cassants et les métaux ductiles),

AVEC LES MÉTAUX DUCTILES, MOUS ET LIQUIDES.

Il résulte de la nature du zinc que sa présence doit durcir les métaux avec lesquels il entre en combinaison; comme il n'est pas cristallisable, et qu'il a par lui-même une certaine ténacité, il s'ensuit que cet effet sera produit sans une altération de ténacité analogue à celle que font naître les métaux cristallins ordinairement cassants. — Il est encore une circonstance importante à noter et qui rend compte de la difficulté que présente la fabrication des alliages du zinc, c'est qu'il est volatil, et que son oxydation est très-rapide.

Métaux ductiles.

FER. — Alliage qui ne se produit que par une action très-prolongée des deux métaux, d'une préparation directe difficile, l'un des métaux étant volatil et l'autre très-réfractaire. L'action du zinc sur le fer n'est pourtant pas douteuse et a servi de base à la préparation d'une espèce de fer-blanc où l'étain est remplacé par le zinc (voyez FER GALVANISÉ).

OR. — Alliages jaunes-verdâtres, cassants, susceptibles de prendre un beau poli.

CUIVRE. — Les alliages de cuivre et zinc, appelés laiton, ou cuivre jaune, sont d'une très-grande importance pour l'industrie.

Le zinc pâlit la couleur du cuivre; 20 p. de zinc, alliées à 80 p. de cuivre, forment un alliage ayant une belle couleur jaune d'or, et qui fait par cette raison la base de la bijouterie d'imitation. Quand la proportion de zinc est plus grande, la couleur devient jaune-verdâtre et passe au gris-bleuâtre, quand il entre pour plus de moitié dans l'alliage. Ces alliages sont tous plus fusibles, plus durs, plus roides, moins oxydables que le cuivre, et enfin d'un prix moins élevé. Ceux qui renferment au plus le tiers de leur poids de zinc sont très-malléables et très-ductiles à la température ordinaire, mais deviennent très-fragiles à une chaleur un peu élevée. La trempe les rend malléables, les adoucit.

L'alliage le plus employé qui sert à fabriquer les ustensiles de ménage, les tringles, les fils, etc., contient 2 atomes, ou 66 p. de cuivre et 1 atome ou 34 p. de zinc. On emploie des alliages renfermant moitié de leur poids de zinc pour les objets de moulerie, qui n'ont pas besoin de malléabilité et qu'il importe d'obtenir à bas prix (Voy. LAITON).

ARGENT. — L'argent et le zinc se combinent facilement. Composés cassants, si la proportion de zinc est très-grande, blancs bleuâtres; texture grenue à grain fin.

L'alliage à 1/10 de zinc et 9/10 d'argent a été proposé par M. Péligot pour la monnaie de billon. Il est blanc, légèrement jaunâtre, se frappe fort bien. Il est bon d'observer que les sels

de zinc sont bien moins vénéneux que les sels de cuivre. Avec équivalents égaux d'argent et de zinc et avec deux équivalents d'argent pour un de zinc, on a des produits assez malléables, tandis que les composés Ag + 2 Zn et 2 Ag + 3 Zn sont trop cassants pour être laminés.

ALUMINIUM. — Inconnu. — D'après la manière dont se comporte l'aluminium dans les alliages, ce composé doit être aigre et peu susceptible d'emploi.

Métaux mous.

PLOMB. — Le zinc donne au plomb de la dureté et la propriété de pouvoir prendre un beau poli, sans diminuer sa malléabilité. Le composé est aussi plus tenace que le plomb et sa pesanteur spécifique plus grande que la moyenne des deux métaux.

ÉTAIN. — L'alliage d'étain et de zinc est extrêmement remarquable par sa grande dureté et sa ténacité, Celui composé de parties égales d'étain et de zinc est presque aussi tenace que le laiton, très-dur. il résiste aussi bien au frottement. Il fond de 460° à 500° et est très-fluide. L'alliage composé de 1 d'étain et 2 de zinc fond de 300 à 360°; celui composé de 1 d'étain et 3 de zinc fond de 250 à 300°.

Métal liquide.

MERCURE. — Composés blancs, très-cassants; pâteux quand le mercure est en proportion notable. L'amalgame de cadmium, métal bien voisin du zinc, est employé par les dentistes à cause de sa propriété de se durcir lentement.

ALLIAGES QUE FORMENT LES MÉTAUX DUCTILES ENTRE EUX.

	OR.	CUIVRE.	ARGENT.	ALUMINIUM.
FER.	Le fer et l'or s'allient facilement; l'alliage est d'une décomposition difficile. L'alliage qui renferme un douzième de fer est jaune pâle, celui qui en renferme de un cinquième à un sixième est jaune-gris. Ce dernier s'emploie dans la bijouterie sous le nom d'or gris. L'alliage qui renferme 3 ou 4 de fer pour 1 d'or est gris-blanc, très-dur. Ces alliages durcissent par la trempe. Le dernier surtout pourrait servir à fabriquer des instruments tranchants.	Le cuivre et le fer ne peuvent former de véritables alliages; on peut cependant les mélanger par la fusion, et le fer retient toujours une petite quantité de cuivre qui le rend aigre et cassant. Un dixième de cuivre combiné avec la fonte, donne un produit homogène, très-dur, plus tenace que la fonte et qui peut trouver un jour un utile emploi.	Alliage de fer et d'argent, douteux, peu étudié.	Des traces de fer altèrent la malléabilité de l'aluminium. Un vingtième de fer ou de cuivre rend l'aluminium impossible à travailler.
	L'or et le cuivre s'allient en toutes proportions; la dureté de l'alliage est plus grande que celle de l'or; le maximum appartient à l'alliage renfermant un huitième de cuivre. Il est aussi plus fusible que l'or, et un peu moins ductile. C'est à cause de sa plus grande dureté que cet alliage remplace l'or dans les monnaies, la bijouterie.		L'or et l'argent se mélangent facilement ensemble, mais ne paraissent pas former de véritable combinaison. Ces alliages sont d'un blanc verdâtre; un vingtième d'argent suffit pour changer la couleur de l'or. Ils sont plus fusibles que l'or, ductiles, plus durs, plus élastiques et plus sonores que l'or et que l'argent. Les bijoutiers emploient souvent l'*or vert* composé de 70 p. d'or et 30 p. argent qui correspond à peu près à l'alliage possédant le maximum de dureté.	Parmi les alliages où l'aluminium domine, celui qui contient 5 p. 100 d'argent se travaille comme l'aluminium pur et a l'avantage d'être plus dur et de prendre un plus beau poli. Un dixième d'or n'ôte à l'aluminium rien de sa malléabilité, et l'alliage ainsi formé est intermédiaire pour la dureté entre l'aluminium pur et l'alliage à 5 p. 100 d'argent.
			L'argent et le cuivre s'allient facilement en toutes proportions. On fait grand usage dans les arts de ces alliages, qui sont presque aussi ductiles que l'argent pur tout en ayant beaucoup plus de dureté et d'élasticité. Ils restent blancs, même quand le cuivre entre pour moitié. Le maximum de dureté appartient à l'alliage renfermant un cinquième de cuivre.	Quand au contraire l'aluminium intervient pour la moindre proportion, il modifie utilement les propriétés des autres métaux, à la condition toutefois que la quantité d'aluminium introduite soit peu considérable. C'est ainsi qu'un vingtième d'aluminium communique au cuivre l'éclat et la belle couleur de l'or en même temps qu'une dureté qui ne nuit point à sa malléabilité. Un dixième d'aluminium produit avec le cuivre un alliage couleur d'or pâle, jouissant tout à la fois d'une grande dureté et d'une assez grande malléabilité. Le bronze d'aluminium est appelé à un grand avenir industriel. Sa résistance à la rupture s'élève à 60 kil. par millimètre carré.
				5 parties d'aluminium alliées à 100 parties d'argent pur donnent un alliage presque aussi dur que l'argent monétaire.

ALLIAGES DES MÉTAUX DUCTILES AVEC LES MÉTAUX MOUS.

Métaux mous.

	FER.	OR.	CUIVRE.	ARGENT.
PLOMB.	Ne paraissent pas pouvoir former d'alliage.	Alliages très-cassants; un deux millième de plomb suffit pour altérer la ductilité de l'or. L'alliage renfermant huit pour cent de plomb, est jaune pâle, extrêmement fragile. Il y a expansion dans tous ces alliages.	Ne paraissent pas pouvoir former de véritables alliages. Toutefois le plomb est souvent combiné au laiton et au bronze pour lui communiquer des qualités spéciales. (Voir plus loin). On remarquera qu'il n'est plus alors en présence du cuivre seul.	Le plomb et l'argent s'unissent en toutes proportions; une très-petite quantité de plomb diminue beaucoup la ductilité de l'argent. Ces alliages sont cependant ductiles; ils sont aussi plus fusibles et plus denses que la moyenne des métaux composants. Le plomb fondu dissout au rouge une grande proportion d'argent.

ALLIAGES DES MÉTAUX DUCTILES AVEC LES MÉTAUX MOUS.

Métaux mous.	FER.	OR.	CUIVRE.	ARGENT.
ÉTAIN.	Les alliages d'étain et de fer sont cassants. Une très-petite quantité de fer suffit pour diminuer la malléabilité de l'étain, ternir sa couleur et lui donner de la dureté. L'alliage composé de 6 p. d'étain et 1 de fer, est dur et cassant. Son grain ressemble à celui de l'acier. Sa densité est 7,246. L'étain ferrugineux constitue un alliage dur et tenace, avantageusement employé dans la fonderie en caractères.	Les alliages d'étain et or sont cassants ; ils conservent néanmoins quelque ductilité quand la proportion d'étain ne dépasse pas un douzième. Leur couleur est pâle ou tout à fait blanche. Les deux métaux se contractent en s'unissant.	Les alliages de cuivre et d'étain sont d'une importance extrême pour les arts à cause de leur grande ténacité, de leur dureté et de leur fusibilité. L'alliage composé de 90 p. de cuivre et 10 d'étain est jaune sombre, plus fusible, beaucoup plus dur et plus tenace que le cuivre, moins oxydable à l'air, mais peu malléable. (Voyez Bronze). La dureté augmente avec la proportion d'étain. L'alliage composé de 76 p. de cuivre et 24 étain, est blanc, légèrement rosé et très-éclatant, cassant, à cassure conchoïde et unie.	Alliages aigres, très-durs, une petite quantité d'étain suffit pour détruire la ductibilité de l'argent. Il y a contraction dans l'alliage.
Métal liquide.				
MERCURE.	Le mercure est sans action sur le fer. C'est pour cela qu'on le renferme dans des vases de ce métal pour le transporter. — Les amalgames qu'on parvient à former à l'aide de la pile, sont brillants, butyreux. A l'air ils ne sont pas stables et le fer passe à l'état de peroxyde.	Le mercure a une action très-grande sur l'or; il le dissout rapidement et en grande quantité sans que l'amalgame cesse d'être liquide. Le point de saturation paraît être de 2 parties d'or pour une de mercure. Le composé est blanc, pâteux, cristallisable.	Amalgame d'une préparation assez difficile par action directe. S'obtient aisément à l'aide de la pile; en plaçant du mercure au pôle où se réduit le cuivre. D'abord pâteux, il devient très-dur en quelques heures.	Le mercure se comporte envers l'argent à peu près comme envers l'or. Aussi emploie-t-on l'amalgame d'argent pour argenter, de même que l'amalgame d'or pour dorer. Employé par les dentistes pour plomber les dents à cause de sa propriété de se durcir après quelque temps.

MÉTAUX MOUS.

ALLIAGES QU'ILS FORMENT ENTRE EUX ET AVEC LE MERCURE.

	PLOMB.
ÉTAIN.	Le plomb et l'étain s'allient facilement en toutes proportions par la fusion. Les alliages sont moins blancs que l'étain mais beaucoup plus durs. Le plus tenace et le plus dur est composé de 25 p. ou 1 atome de plomb et de 75 p. ou 3 atomes d'étain. L'alliage composé de 33 p. étain et 67 p. plomb est blanc-gris, malléable, plus fusible que l'étain, brûle à la chaleur rouge. Sa densité est 9,55. L'alliage formé par 3 p. de plomb et 1 p. d'étain brûle à l'air comme de l'amadou lorsque sa température a été suffisamment élevée. Il est remarquable que le plomb augmente la dureté de l'étain, d'autant plus qu'en général il y a dilatation dans ces alliages. Cependant celui composé de 2 p. d'étain et 1 p. de plomb, n'éprouve ni contraction, ni dilatation. C'est cette propriété, après l'économie, qui fait employer par les potiers l'étain plombeux de préférence à l'étain pur. Le point fixe dans le refroidissement des alliages de plomb et d'étain, est 187° qui correspond à l'alliage chimique $Pb\,Sn^3$.
Métal liquide.	
MERCURE.	Le mercure et l'étain se combinent à chaud en toute proportion, et s'amalgament même à froid. L'amalgame formé de parties égales des deux métaux est solide. — Celui formé de 10 p. de mercure et 1 d'étain est liquide et ressemble au mercure sinon qu'il est moins coulant. Le mercure dissout le plomb à froid par trituration, et très-rapidement à chaud. Il peut absorber moitié de son poids de plomb sans perdre sensiblement sa liquidité. L'amalgame formé de parties égales des deux métaux est susceptible de cristalliser.

ALLIAGES MULTIPLES. Les alliages binaires formant de nouveaux métaux peuvent servir eux-mêmes à préparer de nouveaux alliages jouissant de nouvelles propriétés ; s'ils sont combinés de nouveau avec un métal il en résulte ordinairement un nouvel alliage binaire, dans lequel l'atome composé du premier alliage joue le rôle d'un atome simple. Si la combinaison a lieu entre deux alliages préexistants, il se forme un nouveau composé, dans lequel un des corps joue le rôle de base et l'autre celui d'acide ; corps dont les propriétés doivent être souvent bien différentes de celles du composé qu'on obtiendrait en combinant successivement chaque métal.

Il s'en faut néanmoins beaucoup que les composés multiples aient la même importance que les alliages binaires. Ceux-ci ayant été déterminés en vue de modifier la nature du métal le plus convenable au but qu'il s'agit d'atteindre, l'addition d'un autre métal ou d'un autre alliage n'a pour but que de modifier, dans des limites bien plus restreintes, la nature du premier. Aussi les cas où les combinaisons de cette nature sont employées sont-ils peu nombreux, et le nouvel élément n'entre-t-il qu'en proportion minime dans le nouveau composé.

En général il y a avantage à faire entrer dans un alliage quelque élément nouveau, en petite quantité, dût son action propre être presque indifférente. Les effets d'affinité qu'il met en jeu tendent à maintenir un mélange plus intime et s'opposent quelquefois très-avantageusement aux effets de séparation qui tendent à se produire dans la masse, et par une combinaison plus intime en augmentent la densité et l'homogénéité.

Nous passerons en revue les métaux à ce point de vue, et nous indiquerons les quelques cas dans lesquels l'industrie les emploie, eux ou leurs alliages binaires, dans les alliages composés.

1° MÉTAL LIQUIDE. — *Mercure.* Le mercure, dont les composés sont toujours sans consistance, ne s'em-

ALLIAGES.

ploie que pour rendre quelques alliages fusibles à une très-basse température.

MÉTAUX MOUS. — 1° *Étain*. L'étain est employé pour augmenter la fusibilité et la ténacité de quelques alliages.

Le métal des caractères d'imprimerie, composé de 75 p. 100 de plomb et 25 d'antimoine, est grandement amélioré par l'addition de 8 à 10 p. d'étain; il acquiert plus de ténacité et le grain en devient plus fin; lorsqu'on dépasse cette proportion, l'alliage devient cristallin et cassant.

L'alliage de bismuth et de plomb est extrêmement fusible, celui à parties égales des deux métaux fond vers 165°. L'addition de l'étain en augmente encore la fusibilité; tellement que l'alliage dit de Darcet composé de 8 p. plomb, 5 bismuth, 3 étain, fond à 94°. En variant les proportions des trois métaux, on obtient des alliages fusibles de 94 à 300°, qui sont employés à divers usages, notamment à confectionner les plaques fusibles qu'on adaptait, il y a quelques années, aux chaudières à vapeur.

2° *Plomb*. Le plomb sert à donner de la sécheresse, empêche le composé de rester fibreux, rend plus facile le travail du burin.

Ainsi le laiton le plus estimé par les tourneurs, contient 2 ou 3 centièmes de plomb. Il n'a plus le défaut de graisser la lime, d'empâter l'outil; il peut alors se scier, se perforer avec netteté et précision. Ce laiton dont la malléabilité est diminuée, ne vaudrait rien pour le travail au marteau. Bien souvent le plomb n'est introduit qu'à cause de son bas prix, par exemple dans les planches pour gravure de musique formées de 37,5 étain, 25 antimoine, 60 de plomb.

Zinc. Le zinc en petite quantité peut durcir beaucoup les alliages dans lesquels on le fait entrer, mais le plus souvent au lieu de l'employer directement, on emploie avec avantage le laiton, combinaison intime du zinc. Nous avons déjà dit le rôle important que nous pensions qu'il jouait dans le bronze des frères Keller. Dans la plupart des bronzes du commerce il entre des alliages de ce genre, et c'est de la proportion exacte du bronze proprement dit, du laiton et quelquefois du plomb, ainsi que de l'ordre de la combinaison, que résultent les qualités que recherchent les arts.

Ainsi une analyse de M. Berthier, faite d'un fil de Jemmapes première qualité, a donné : cuivre 0,641, zinc 0,336, plomb 0,020, étain 0,003.

MÉTAUX DUCTILES. — 1° *Argent*. N'est pas employé comme accessoire d'autres alliages à cause de sa valeur.

2° *Cuivre*. Le cuivre à cause de la fusibilité de son alliage avec l'étain, et de la ténacité du composé, est souvent employé pour accroître la ténacité des alliages facilement fusibles. Ainsi un alliage formé de 9 p. alliage de plomb et d'antimoine et 1 partie bronze formé de 9 p. étain et 1 cuivre augmente la résistance des caractères d'imprimerie, des couverts en métal d'Alger.

M. Pelouze a proposé de remplacer le maillechort par l'alliage de cuivre et de nickel, en supprimant le zinc, qui par son oxydation pendant la préparation, la rend plus difficile et moins certaine. Il a reconnu que parties égales de nickel et de cuivre donnent un métal, très-dur et très-malléable; d'un beau blanc et qui reçoit le plus beau poli. Avec 2 parties de cuivre et 1 de nickel on a encore un métal qui jouit de précieuses qualités; il tire sur le rouge et se rapproche davantage de la nature du cuivre.

Ces composés sont bien plus chers que le maillechort ordinaire formé de 59 de cuivre, 30 de zinc, 1 de fer et 10 de nickel : telle est la composition du métal pour couverts argentés. Je citerai encore ici l'alliage curieux formé de cuivre 58 parties, zinc 40 et 2 parties de plomb allié d'antimoine qui a parfaitement la couleur du bronze, sans renfermer trace d'étain.

3° *Or*. Même observation que pour l'argent.

4° *Fer*. D'une combinaison souvent difficile surtout à cause de son infusibilité; produit un effet analogue à celui du cuivre, en donnant plus de ténacité. L'introduction de l'étain ferreux, de l'étain allié à une petite quantité de fer dans un alliage de plomb, est le meilleur moyen de lui donner de la dureté, sans le rendre cassant, cristallin, comme le fait toujours un peu l'alliage du cuivre contenant une forte proportion d'étain. On a pris des brevets pour des alliages de fer, nickel et cuivre, très-malléables et imitant l'or. Le maillechort est amélioré par l'introduction du fer.

MÉTAUX CASSANTS. — 1° *Bismuth*. Sert à accroître la fusibilité des alliages, et quelquefois à augmenter leur éclat et leur dureté.

2° *Antimoine*. — 3° *Arsenic*. Servent à donner de la dureté et à rendre les alliages cassants.

DES RECHERCHES A FAIRE SUR LES ALLIAGES. Nous avons cherché dans le travail qui précède à grouper tous les résultats importants que la science possède aujourd'hui sur les alliages. Ils ne sont pas, comme on le voit, en quantité suffisante pour éclairer tous les problèmes que présente la pratique. En effet, la fabrication d'un alliage, ayant des propriétés déterminées, est souvent capitale, et ce n'est que par tâtonnement que l'on s'efforce d'y parvenir le plus souvent.

Si l'on cherche comment il se fait que le nombre considérable de recherches qui ont dû être faites dans cette direction n'ait pas conduit à de meilleurs résultats, on trouvera bientôt que la cause en est que toutes les recherches faites sur ces questions ne sont pas comparables, sont en dehors de toute méthode scientifique, et que, par suite, les recherches successives n'ajoutent rien au domaine de la science. Il n'y a pas de mesure, et par suite pas de science véritable.

Prenons, pour rendre notre idée sensible, le résultat d'une expérience faite par une des personnes qui ont le mieux étudié les alliages, M. Guettier, auteur d'un ouvrage sur la fonderie de fer :

« Alliages : Étain, zinc.

« N° 1. Étain, 30; zinc, 70. — Texture d'un blanc « terne. — Tassement moyen. — Casse aisément. — « Cassures à larges facettes, plus brillantes que celles « du zinc. — Se à limer. — Prend à la lime un poli « bleuâtre. — Éclate sous le burin. — Sonne peu. — « Traces de cristallisation à la surface. »

Comment de semblables expériences déduire quelque résultat précis de la part qui revient à chaque métal dans la constitution de l'alliage?

Si au contraire on étudiait concurremment la résistance à la rupture des métaux constituants et des alliages successifs, on aurait des chiffres, des nombres mesurant la résistance, permettant de déduire d'expériences faites des résultats nouveaux pour les cas qui se présenteraient. Savoir qu'un alliage *casse aisément*, c'est ne rien savoir; savoir qu'il rompt sous des charges plus ou moins fortes, pour un millimètre carré, c'est en connaître la valeur industrielle dans la plupart des cas.

Nous ne voulons pas insister à cet égard, car pour de semblables travaux c'est peu de dire ce qui est à faire si on ne les exécute pas. Malheureusement nous n'avons jamais pu parvenir à les effectuer, et un beau travail de Wertheim est le seul qui puisse être cité comme tout à fait satisfaisant, seulement il ne s'étend qu'à quelques alliages et la méthode employée aurait besoin d'être remplacée par un mode d'investigation plus simple.

Nous ne saurions donc mieux faire que de rapporter ici les résultats du beau travail de Wertheim, qui sont renfermés dans les tableaux suivants :

Expériences sur les alliages des métaux usuels entre eux.

NOMS des MÉTAUX ALLIÉS.	FORMULES chimiques ADOPTÉES.	COMPOSITION pour 100 PARTIES.		DENSITÉS.	COEFFICIENTS d'élasticité par vibrations.	ALLONGEMENTS maxima.	COHÉSIONS pour 1 millimètre de section.
[1] Plomb, étain.	$Pb_{16} Sn_{13}$	68,50	31,50	10,073	2596	0,352	0k,93
(*Soudure des plombiers.*)	Pb Sn	63,80	36,20	9,408	2069	2,077	2,16
	$Pb_3 Sn_7$	42,50	57,50	8,750	3512	1,591	2,07
	$Pb_2 Sn_7$	33,25	66,75	8,378	3100	0,340	1,07
[2] Plomb, bismuth.	$Pb_{12} Bi_7$	62,40	37,60	11,031	2021	0,262	1,52
	Pb Bi	50	50	10,790	2367	0,440	1,79
	$Pb Bi_2$	33	66	10,403	2838	0,025	5,22
[3] Plomb, antimoine. . . .	$Pb_2 Sb$	76	24	10,101	2183	»	1,87
(L'alliage $Pb_2 Sb$ est sensiblement celui employé pour les caractères d'imprimerie.)	Pb Sb	62	38	10,064	2592	»	5,59
	$Pb Sb_2$	43	57	8,946	3242	»	»
	$Pb Sb_3$	35	65	8,499	3536	»	»
Plomb, or.	$Pb_{20} Au$	95,4	4,60	11,301	2227	0,055	4,74
Plomb, argent.	$Pb_3 Ag_2$	48	52	10,743	3095	»	»
Plomb, platine.	$Pb_{85} Pt$	98,85	1,15	11,473	2684	0,026	1,65
	$Pb_6 Pt$	85	15	12,207	3107	»	»
[4] Plomb, zinc.	$Pb_6 Zc$	95	5	11,199	2144	0,069	2,75
	$Pb_4 Zc$	92,2	7,80	11,172	2493	0,060	2,02
	$Pb_2 Zc$	87	13	11,130	2833	0,060	2,02
	Pb Zc	76,30	23,70	9,430	4007	»	3,47
	$Pb_2 Zc_3$	68,20	31,8	9,043	6647	»	3,40
	$Pb Zc_5$	39	61	8,397	6108	»	»
	$Pb Zc_{10}$	24	76	7,910	7352	0,004	4,40
Plomb, cuivre.	$Pb_5 Cu$	94,20	5,80	11,165	2113	0,043	2,13
Étain, bismuth.	$Sn_9 Bi_{10}$	33	66	8,68	3610	0,028	8,19
	$Sn_3 Bi_4$	54,60	45,40	8,89	2874	0,015	6,63
Étain, antimoine.	$Sn_4 Sb$	78,5	21,5	7,21	4033	»	8,86?
	$Sn_8 Sb_5$	68	44	7,05	4695	0,010	7,82
	$Sn_3 Sb_2$	67,7	42,3	7,007	5168	»	»
[5] Étain, zinc.	$Sn_2 Zc$	78,5	21,5	7,366	5336	0,246	5,78
	$Sn_3 Zc_2$	73,40	26,60	7,255	5982	0,252	5,00
	Sn Zc	64	36	7,143	6453	0,036	4,68
	$Sn_3 Zc$	48	52	7,193	7113	0,124	2,44
	$Sn Zc_3$	37,5	62,5	6,746	6976	0,082	4,32
	$Sn Zc_5$	26,7	73,30	6,957	7314	0,023	7,52
Étain, platine.	$Sn_{50} Pt$	96,70	3,30	7,578	5309	»	4,75
[6] Étain, cuivre.	$Sn_5 Cu_6$	61,60	38,40	8,332	6113	»	»
	$Sn Cu_2$	48,30	51,70	8,531	8280	»	»
(*Métal des tam-tams*). . .	$Sn Cu_7$	21	79	8,813	9784	»	»
Le même trempé.				8,686	7716	»	»

[1] Les alliages de plomb et d'étain sont en général plus fusibles que l'étain, surtout le second qui est fusible à basse température.

[2] et [3] La cohésion de l'alliage formé de parties égales de bismuth et de plomb, comme celle de l'alliage antimonieux Pb Sb, montrent le bon effet de l'alliage des métaux cassants avec le plomb. Leur effet est évidemment de s'opposer aux effets de glissement moléculaire, d'arrachement qui est le mode de rupture du plomb.

L'accroissement de la quantité d'antimoine dans l'alliage le rend vitreux, cassant, et nous doutons de l'exactitude du chiffre qui donne la valeur de la cohésion de l'alliage Pb Sb, nous le croyons trop fort.

[4] Le plomb s'allie difficilement au zinc, dans la pratique il se produit presque toujours un départ entre les deux métaux. Cet effet est sans doute dû en partie à la densité; toutefois si on remarque que le zinc ne s'allie pas très-bien à l'étain dont la densité est peu différente et s'allie très-bien au cuivre qui est beaucoup plus lourd que lui, on doit en conclure que l'ordre de la différence des points de fusion qui tend à solidifier un métal avant l'autre, doit avoir la plus grande influence sur cette action de séparation.

L'effet le plus utile pour la pratique est celui produit par une petite quantité de zinc qui reste toujours unie au plomb et en augmente la dureté. De même une faible proportion de plomb donne un peu plus de malléabilité au zinc.

[5] L'alliage de parties égales de zinc et d'étain a une grande dureté (non signalée dans le travail de M. Wertheim, et, d'après d'autres expérimentateurs, sa cohésion serait plus grande que celle trouvée ici.

[6] Les alliages à base principale de cuivre jusqu'à la combinaison 85 cuivre et 15 étain environ, sont nerveux, malléables. Quand la proportion d'étain augmente, ils deviennent durs, secs. Lorsque la proportion d'étain atteint 80 p. 100, les alliages reprennent de la malléabilité. Ceux compris entre les deux limites que nous venons de fixer sont les moins utiles dans l'industrie, il faut en excepter les alliages sonores, qui atteignent leur maximum de sonorité à environ 75 cuivre et 25 étain, proportion adoptée pour les cymbales et les tam-tams. La composition du métal de cloches varie de 79 cuivre et 21 étain à 77 C. et 23 S. Le métal blanc des télescopes est formé de 65 cuivre et 35 étain.

NOMS des MÉTAUX ALLIÉS.	FORMULES chimiques ADOPTÉES.	COMPOSITION pour 100 PARTIES.			DENSITÉS.	COEFFICIENTS d'élasticité par vibrations.	ALLONGEMENTS maxima.	COHÉSIONS pour 1 millimètre de section.
(*Bronze*).	$Sn\,Cu_{22}$	7,80	82,20		8,738	8115?	»	»
	Le même trempé.				8,537	6734?	»	»
Étain, fer.	$Sn_{20}\,Fe$	98,20	1,80		7,266	4881	»	»
	$Sn_{11}\,Fe$	96	4		7,418	5001	»	2,40
[7] Argent, cuivre (*alliage de la monnaie*).	$Ag_5\,Cu$	94,5	5,50		10,121	8913	»	44,05
	$Ag\,Cu$	87,4	22,6		9,603	8590	0,002	51,97
Or, platine.	$Au_7\,Pt_3$	78,2	21,80		19,650	9844	»	7,12
Or, fer.	$Au_{19}\,Fe_2$	97,25	2,75		18,842	9024	0,016	20,41
[8] Zinc, cuivre.	$Zc_{13}\,Cu_4$	76,80	23,20		7,301	7678	»	4,10
	$Zc\,Cu$	51,5	48,5		8,265	8774	»	18,68
	$Zc_3\,Cu_4$	43,3	56,7		8,310	9105	»	36,80
(*Laiton pur*).	$Zc\,Cu_2$	33,75	65,25		8,606	10163	»	60,2
(*Laiton de Berlin*).	$Zc_8\,Cu_{17}$	32,45	67,55		8,427	9823	0,002	65,10
(*Espèce de similor*).	$Zc\,Cu_6$	14,6	85,4		8,636	9778	0,001	51,90
	$Zc_2\,Cu_{11}$	15,65	84,35		8,670	10290	0,003	48,30
Plomb, bismuth, étain (*métal de d'Arcet*).	$Pb_2\,Bi_3\,Sn_2$	44,5	47,8	17,7	9,795	2626	0,695	1,74
[9] Plomb, antimoine, étain.	$Pb_4\,Sb_2\,Sn_5$	57	18	25	9,196	2735	0,032	7,80
	$Pb\,Sb\,Sn_2$	36,5	22,5	41	8,317	3232	»	5,62
Plomb, étain, zinc.	$Pb_{14}\,Sn_4\,Zc_9$	73	12	15	10,212	2486	0,162	1,44
Étain, antimoine, cuivre. .	$Sn_4\,Sb_2\,Cu_3$	51	28	21	7,751	5770	»	4,17
Zinc, cuivre, nickel. . . .	$Zc_9\,Cu_{15}\,Ni_2$	35	57,5	7,5	8,403	9517	0,001	»
(*Maillechort*).	$Zc_4\,Cu_{13}\,Ni_5$	18,6	60	21,4	8,541	10227	0,001	61,88
(*Pakfong très-ductile*). . .	$Zc_5\,Cu_6\,Ni_3$	37	43	20	8,436	11722	0,001	55,0
(*Pakfong du commerce*. . .	$Zc_2\,Cu_5\,Ni_3$	21	50,6	28,4	8,615	12250	0,002	68,10

[7] Nous devons citer ici l'alliage Levol, dont les propriétés remarquables résultent d'un alliage atomique. Cet alliage, représenté par la formule $Ag^3\,Cu^1$, est formé pour 1000 parties de 719 argent et 281 cuivre, jouit d'une homogénéité complète que ne peut avoir l'alliage à 9/10 de fin employé pour les monnaies françaises. Il a été avantageusement adopté, après de nombreuses expériences, par la Hollande pour la refonte des monnaies de Java.

[8] Les alliages qui renferment plus de 25 p. 100 de zinc sont d'une préparation difficile, le zinc brûlant avec facilité.

[9] Cet alliage est la base de la composition douée du maximum de résistance que puisse employer la fonderie en caractères. Elle est malheureusement d'un prix élevé à cause de la grande proportion d'étain.

Soudures. — On réunit les pièces métalliques soit par application mécanique, soit pour le fer en utilisant l'admirable propriété dont il jouit de se ramollir à une forte chaleur et de pouvoir alors sous l'action du marteau se réunir à la pièce qu'on applique sur lui, ce qui ne peut avoir lieu qu'avec une déformation ; soit par soudure, c'est-à-dire par fusion de parties voisines du point de contact qui rétablit la continuité. On doit distinguer deux espèces de soudures :

1° Soudures autogènes ; ce sont les soudures formées par la fusion du métal lui-même sans introduction d'aucun métal étranger. Comme en général on ne saurait fondre un point métallique sans s'exposer au danger de fondre la pièce métallique tout entière, ou au moins de la déformer considérablement dans les parties voisines du contact, on ne peut espérer réussir dans les applications de ce genre que pour les métaux facilement fusibles et au moyen d'appareils développant une chaleur très-intense, de telle sorte que la fusion soit plus rapide que la propagation de la chaleur.

La soudure de l'étain peut se faire ainsi au moyen d'un fer chaud ; M. Desbassyns de Richemont est parvenu à l'exécuter aussi pour le plomb, au moyen du dard d'un fort chalumeau, ce qui a été trouvé fort avantageux pour les soudures des plaques dont sont construites les chambres de plomb qui servent pour la fabrication de l'acide sulfurique. Dans ce cas, l'introduction d'un métal étranger fait naître des actions chimiques extrêmement nuisibles. (Voy. Chalumeau.)

2° Soudures résultant de l'introduction d'un autre métal ou alliage, au point de contact. Pour souder deux pièces métalliques, on emploie un métal ou un alliage plus fusible que ces pièces, et ayant l'action chimique la plus forte possible sur celle-ci.

Plus on emploiera des corps dont le point de fusion sera voisin de celui des pièces métalliques à souder, meilleure sera en général la soudure, puisque les parties en contact seront amenées bien près de l'état de fusion, plus aussi la soudure sera résistante et participera de la nature des pièces soudées avec lesquelles elle aura formé de véritables alliages. La partie soudée résistera alors en général aux actions mécaniques presqu'autant que les autres parties, ce sera une soudure ferme.

Le genre de soudure dont il vient d'être parlé, reposant sur l'emploi d'un alliage formé du métal à souder, combiné avec avec une faible quantité d'un autre métal qui le rend un peu plus fusible, en utilisant l'affinité que possède le métal ajouté pour celui à souder, a nécessairement le défaut de forcer l'ouvrier à chauffer fortement les pièces à souder et de les détériorer par l'action du feu. Quand cette action doit être évitée et qu'on peut atteindre un résultat satisfaisant

pour la pratique en sacrifiant quelque chose de la solidité; on emploie des soudures molles, c'est-à-dire dont la base est formée de métaux beaucoup plus fusibles que les métaux à réunir; elles ne saurnient alors supporter, à beaucoup près, les mêmes actions mécaniques que les pièces qu'elles sont destinées à réunir.

A l'article SOUDURE, on trouvera les détails de la partie mécanique de l'opération, nous nous contenterons de donner ici la composition de quelques soudures :

Soudure pour le platine, — or.

Soudure ferme pour l'or, — or, 18 parties, cuivre, 10 parties, — argent, 10 parties.

Soudure ferme pour l'argent, — argent, 66 parties, cuivre 23 parties, zinc, 10 parties.

Soudure pour fer, — cuivre rouge.

Pour les petites pièces on emploie une soudure plus fusible composée de cuivre 67, zinc, 33.

Quelquefois on emploie pour soudure molle l'étain, mais elle est sans solidité.

Soudure pour le plomb, — soudure des plombiers, plomb 2 parties, étain 1 p.

Soudure pour le fer-blanc,—plomb 7 parties, étain 1 p.

Soudure pour le cuivre, — étain pour les pièces qui ne doivent pas aller au feu. — Pour les autres un laiton très-chargé de zinc.

Soudure pour l'aluminiun, — alliages d'aluminium et de zinc.

APPLICATION D'UN MÉTAL SUR UN AUTRE. — L'étude des alliages ne saurait être complète, sans celle des applications d'un métal en couche mince sur un autre qui donnent lieu à nombre d'industries d'une grande importance. Nous ne parlerons pas ici du travail de deux métaux, tous deux d'une certaine épaisseur, soudés ensemble, à cause des détails que l'on trouvera à l'article PLAQUÉ. Nous dirons seulement que l'adhérence d'un métal sur un autre ne peut avoir lieu avec solidité qu'autant qu'il y a combinaison entre les deux métaux juxtaposés, et ne peut réussir qu'autant qu'ils peuvent s'allier ensemble; dans le cas contraire, il faut en général faire d'abord l'application d'un métal intermédiaire ayant affinité pour les deux métaux.

L'application d'un second métal en couche mince à la surface d'un premier métal forme un composé ayant toutes les propriétés intérieures du premier, c'est-à-dire dureté, ténacité, etc., et jouissant de toutes les propriétés extérieures du second, savoir : Éclat, oxydation difficile, etc.; suivant les divers besoins auxquels il s'agit de satisfaire. (Voir ÉTAMAGE, DORURE.)

Ainsi, le bronze se moule avec facilité, est d'un prix modéré, mais ne peut prendre qu'un faible éclat; doré ou argenté, il offre toute l'apparence de l'or ou de l'argent. Ainsi, les objets en fer ou en acier, c'est-à-dire durs, tranchants, mais oxydables à l'air, peuvent devenir inaltérables s'ils sont recouverts d'or ou d'argent.

EMPLOI DE LA CHALEUR. Si l'on plonge un métal bien décapé dans un métal fondu, pour lequel il ait de l'affinité, il se fera un alliage à la surface, et la pièce, retirée du bain et bien essuyée, sera recouverte d'une couche du métal composant le bain.

On prépare de la sorte le FER-BLANC et le FER GALVANISÉ au moyen de bains d'étain et de zinc, dans le but de rendre la tôle de fer inoxydable. On étame de même les vaisseaux de cuivre et de laiton employés dans l'économie domestique.

L'or et l'argent étant difficilement fusibles, et l'emploi du procédé ci-dessus donnant toujours lieu à l'application de couches fort épaisses, on emploie pour DORER et ARGENTER par la chaleur l'intermédiaire du mercure. On prépare, au moyen de ce métal, un amalgame pâteux qui, appliqué en couches minces sur la pièce bien décapée, est chauffé dans un four. Le mercure, en se volatilisant, laisse déposer une couche très-mince d'or ou d'argent qui adhère fortement à la pièce métallique, pour peu que l'or, l'argent ou le mercure aient d'affinité pour ce métal. C'est ainsi qu'on dore et qu'on argente le *cuivre*, le *laiton* et le *bronze*.

Le fer prend mal la dorure et l'argenture par ce procédé, quand on n'a pas soin de faire d'abord déposer à sa surface une légère pellicule de cuivre, ce qui se fait en plongeant la pièce en fer dans une dissolution acide d'un sel de cuivre.

APPLICATION PAR VOIE HUMIDE. On peut quelquefois faire déposer une couche infiniment mince d'un métal à la surface d'un autre métal, par la réaction de liqueurs contenant le premier en dissolution. Ce procédé est en général très-économique.

Dans la fabrication des épingles on étame le laiton par le procédé suivant :

On place dans une bassine de l'étain amalgamé avec 1/40 de son poids de mercure. On place dessus de l'étain en grenailles. On ajoute le lendemain de la crème de tartre et de l'eau et on fait bouillir pendant une heure, après avoir ajouté les épingles, et l'étamage est parfait.

La crème de tartre dissout l'étain avec dégagement d'hydrogène; il se forme un tartrate double de protoxyde d'étain et de potasse. Le zinc de la surface du laiton décompose ce sel, et l'étain se précipite à la surface.

M. Elkington est parvenu à exécuter par voie humide une dorure très-précieuse pour la fabrication de la fausse bijouterie, par l'économie que procure la simplicité du procédé et la minime épaisseur de la couche d'or qu'il permet de déposer à la surface des objets.

L'or est dissous dans l'eau régale, ce qui le convertit en perchlorure d'or; on mêle celui-ci avec un grand excès de bicarbonate de potasse (sel qui contient toujours quelques traces de matières organiques), et on fait bouillir pendant assez longtemps, ce qui paraît convertir le sel en protochlorure. Les pièces de bronze, laiton ou cuivre, bien décapées, sont plongées dans la liqueur bouillante, et la dorure s'applique immédiatement, tandis qu'une portion de cuivre se dissout pour remplacer l'or qui se précipite. Voy. DORURE.

APPLICATION AU MOYEN DE LA PILE GALVANIQUE. Un nouvel art, basé sur l'emploi de la pile galvanique, est venu fournir une brillante et complète solution de la question de l'application d'un métal quelconque sur un autre, sans qu'une affinité énergique ait besoin d'intervenir, et peut être considéré comme un admirable progrès, surtout quand on pense à tous les dangers et à toutes les maladies qu'entraîne, pour les doreurs, l'emploi du mercure.

Nous traitons à l'article DORURE de cette industrie si importante, nous donnerons toutefois ici une partie du rapport de M. Dumas, qui a si brillamment inauguré cette nouvelle industrie, l'indication de l'utilité de ces procédés. Disons seulement que l'expérience a montré que la dorure obtenue par ce procédé n'était pas aussi continue que celle obtenue par le mercure, et qu'elle ne formait qu'une espèce de réseau extrêmement serré, de sorte qu'on doit y attacher moins d'importance pour le cas où il s'agit de préserver les corps d'actions chimiques que pour ceux où il s'agit de décoration, ce qui est, au reste, le plus fréquent.

Dorure. M. de la Rive, qui parvint le premier à dorer, au moyen de la pile, après avoir dissous l'or, plongeait les deux pôles d'une pile à courant constant dans la dissolution obtenue, l'objet à dorer étant suspendu au pôle négatif, où l'or venait se déposer.

La dorure n'est solide qu'autant qu'on emploie certaines dissolutions. M. Elkington emploie une dissolution formée de 31g,25 d'or converti en oxyde, 5 hectog. de cyanure de potassium et 4 litres d'eau. Le cyanure

ALLIAGES.

double de potassium et d'or, en assurant l'alcalanité permanente des liqueurs, a fourni la solution complète du problème, et permis de dorer tous les métaux en usage dans le commerce, et même des métaux qui, jusqu'ici, n'y ont pas été employés.

« Ainsi l'on peut dorer le platine, soit sur toute sa surface, soit sur certaines parties, de manière à obtenir des dessins d'or sur un fond de platine.

« L'argent se dore si aisément, si régulièrement et avec des couleurs si pures et si belles, qu'il est permis de croire qu'à l'avenir tout le vermeil s'obtiendra de la sorte. On varie à volonté l'épaisseur de la couche d'or, sa couleur même. On peut faire sur la même pièce des mélanges de mat et de poli. Enfin, on dore avec une égale facilité les pièces à grande dimension, les pièces plates ou à reliefs, les pièces creuses ou gravées et les filaments les plus déliés.

« Tout ce qu'on vient de dire de l'argent, il faut le répéter du cuivre, du laiton, du bronze. Rien de plus aisé, de plus régulier que la dorure des objets de diverse nature que le commerce fabrique avec ces trois métaux. Tantôt l'or, appliqué en pellicules excessivement minces, constitue un simple vernis propre à garantir ces objets de l'oxydation; tantôt, appliqué en couches plus épaisses, il est destiné à résister, en outre, au frottement et à l'usage. Par un artifice très-simple, on peut varier l'épaisseur de la couche d'or, la laisser mince partout où l'action de l'air est seule à craindre, l'épaissir, au contraire, là où il importe d'empêcher les dégradations dues au frottement. La bijouterie tirera grand parti de ces moyens.

« Le packfong prend très-bien la dorure par ce procédé, et il devient facile de convertir en vermeil les couverts en packfong, déjà assez répandus et qui ne sont pas sans danger.

« L'acier, le fer paraissent se dorer bien par cette méthode, qui n'a aucun rapport, à cet égard, avec les procédés si imparfaits de dorure sur fer ou acier; seulement il faut commencer par mettre sur le fer ou l'acier une pellicule cuivreuse. Les couteaux de dessert, les instruments de laboratoire, les instruments de chirurgie, les armes, les montures de lunettes et une foule d'objets en acier ou en fer recevront ce vernis d'or avec économie et facilité.

« L'étain a été, sous ce rapport, l'objet d'expériences très-intéressantes de M. de Ruolz. Il s'est assuré qu'il ne se dore pas très-bien par lui-même; mais vient-on à le couvrir d'une pellicule infiniment mince de cuivre, au moyen de la pile et d'une dissolution cuivreuse, dès lors il se dore aussi aisément que l'argent. Le vermeil d'étain est même d'une telle beauté, qu'on peut assurer que le commerce saura trouver d'utiles débouchés à ce nouveau produit; quoiqu'il soit de notre devoir d'ajouter qu'à raison du prix élevé de l'or il devient difficile de mettre sur des couverts d'étain une couche d'or suffisante pour les rendre durables, sans élever trop leur prix.

« La commission a mis un grand intérêt à s'éclairer d'une manière précise, sur les circonstances de l'opération au moyen de laquelle on applique l'or sur les divers métaux. Diverses questions se présentaient : pouvait-on, en effet, augmenter à volonté l'épaisseur de la couche d'or de manière à produire les mêmes effets qu'au moyen du mercure, ou même de manière à aller plus loin? Le dépôt du métal se faisait-il régulièrement ou d'une manière variable? Quelle était la part de la température du liquide, de sa concentration, du nombre des éléments de la pile, de la nature des métaux employés?

« 1° La précipitation de l'or est régulière; elle est exactement proportionnelle au temps de l'immersion : circonstance précieuse qui permet de juger de l'épaisseur de la dorure par la durée de l'opération et de la varier à volonté, comme l'ont parfaitement prouvé nos expériences.

« *Argenture.* — Tout ce que nous venons de dire des applications de l'or, il faut le répéter de celles de l'argent. M. de Ruolz est également parvenu, au moyen du cyanure d'argent dissous dans le cyanure de potassium, à appliquer l'argent avec la plus grande facilité.

« L'argent peut s'appliquer sur l'or et sur le platine, comme affaire de goût et d'ornement.

« Il s'applique très-bien aussi sur laiton, bronze et cuivre, de manière à remplacer le plaqué.

« On argente aisément aussi l'étain, le fer, l'acier.

« L'application de l'argent sur le cuivre ou le laiton se fait avec une telle facilité, qu'elle est destinée à remplacer toutes les méthodes d'argenture au pouce, d'argenture par voie humide, et même en bien des cas la fabrication du plaqué.

« L'argent s'applique très-bien sur l'étain. Il fournit ainsi le moyen de faire disparaître, à bon marché, l'odeur désagréable des couverts d'étain, en leur donnant d'ailleurs l'aspect et toutes les propriétés extérieures des couverts d'argent. Ce serait là, sans nul doute, une des circonstances les plus importantes des procédés qui nous occupent, si à la place de l'étain, comme corps de la pièce, on substitue un autre métal plus économique et plus solide.

« Il s'agit du fer ou même de la fonte. Ces métaux, façonnés en couverts et revêtus d'une couche d'argent, permettront de populariser en France, par leur bon marché, des objets déjà usuels en Angleterre. On fabrique, en effet, par d'autres procédés bien plus chers et bien moins parfaits, beaucoup de couverts en fer argenté à Birmingham, et leur usage est habituel dans la plupart des familles en Angleterre. L'expérience en est donc faite, et la Commission a vu avec le plus vif intérêt les procédés de M. de Ruolz fournir une argenture égale et parfaite, sur fer, acier ou fonte, comme le prouvent les objets mis sous les yeux de l'Académie.

« Tout en reconnaissant que l'étain peut s'argenter sans difficulté, il semblerait plus convenable aux vrais intérêts du consommateur de faire des couverts en fer ou fonte argentée, et de réserver l'étain argenté pour des pièces destinées à des maniements moins fréquents, et surtout pour des pièces obtenues par des moulages délicats.

« *Platinure.* — Au premier abord, d'après l'analogie qui existe entre le platine et l'or à beaucoup d'égards, on aurait pu croire que le platine s'appliquerait aussi facilement que l'or sur les divers métaux déjà cités. Cependant ce résultat a offert de graves difficultés pendant longtemps, par la lenteur avec laquelle il obéissait à l'action de la pile. Il fallait avec les dissolutions dans les cyanures, par exemple, donner à l'expérience une durée cent ou deux cents fois plus longue pour le platine que pour l'argent ou l'or, à égales épaisseurs.

« Mais en faisant usage de chlorure double de platine et de potassium dissous dans la potasse caustique, on obtient une liqueur qui permet de platiner avec la même facilité et la même promptitude que lorsqu'il s'agit de dorer ou d'argenter. »

CH. LABOULAYE.

ALLUMETTES. Les allumettes se fabriquent en immergeant dans du soufre fondu de petits morceaux de bois bien sec, d'un décimètre environ de longueur, des chenevottes, des roseaux, ou toute autre matière de nature organique d'une facile combustion. On emploie de préférence le bois de tremble que l'on fend dans la direction de ses fibres et que l'on fait ensuite sécher dans une étuve ou un four.

On se sert encore un peu aujourd'hui des allu-

mettes dites *oxygénées*, qui sont d'un usage très commode en ce qu'il suffit, pour les enflammer, d'en plonger l'extrémité dans un petit flacon rempli d'amiante humectée avec de l'acide sulfurique concentré.

La pâte employée à leur préparation consiste ordinairement en un mélange de 1 partie en poids de soufre et de 3 parties de chlorate de potasse; mélange que l'on ne doit faire qu'avec les plus grandes précautions; après avoir séparément pulvérisé les matières aussi fin que possible, et au moyen d'une carte sur une feuille de papier, afin d'éviter des explosions qui pourraient arriver si l'on broyait les matières ensemble dans un mortier. On ajoute à la poudre un peu de lycopode, on la réduit ensuite en pâte molle à l'aide d'une dissolution de gomme adragante, et l'on colore la masse soit en bleu avec un peu d'indigo, soit en rouge avec un peu de cinabre ou de minium; après quoi on y plonge une à une les allumettes, que l'on pique ensuite par le bout non imprégné, dans un bain de sable où on les laisse sécher.

On peut encore se procurer facilement de la lumière en se servant de phosphore que l'on fond dans un petit tube de plomb ou de verre, avec un peu de magnésie, de sable ou d'oxyde de fer, en ayant soin d'agiter continuellement le mélange pendant toute la durée de son refroidissement. On ferme ensuite le tube avec un bouchon de plomb ou de liége qui doit s'y adapter exactement. Il suffit pour avoir du feu de plonger dans ce briquet un petit morceau de bois quelconque, une allumette ordinaire, le phosphore très divisé s'y enflamme aussitôt qu'il arrive au contact de l'air, et la combustion se communique immédiatement au bois.

Nous terminerons cet article en décrivant le mode de préparation des allumettes chimiques, dont l'usage est actuellement devenu général.

Pour fabriquer les allumettes *sans explosion*, préférées aujourd'hui parce qu'elles ne lancent pas des parcelles de phosphore, on opère comme suit :

Après avoir imprégné de soufre l'extrémité des allumettes, desséchées au feu, on en garnit les extrémités d'une des deux compositions dont nous empruntons la recette à M Payen :

	Pâte à la colle.		Pâte à la gomme.
Phosphore. . . .	2,5		2,5
Colle forte. . . .	2	gomme.	2,5
Eau.	4,5		3
Sable fin.	2		2
Ocre rouge. . . .	0,5		0,5
Vermillon. . . .	0,1		0,1

On peut substituer à ces deux substances colorantes 0,05 de bleu de Prusse.

On prépare le mélange à chaud, au bain-marie, pour la pâte à la colle, et à froid pour celle à la gomme. On incorpore le sable fin et la substance colorante avec la colle ou la gomme avant de mettre le phosphore, puis on étend la pâte, bien battue en émulsion et refroidie, sur une table de fonte à l'aide d'une règle La table de fonte est entretenue à une température de 30° environ par un bain-marie placé en dessous. On plonge les allumettes soufrées dans cette pâte pour qu'elles en soient imprégnées.

Dès que les allumettes sont munies de la pâte, on pose verticalement ou horizontalement les cadres qui les contiennent entre des montants, afin que la dessiccation commence à l'air. On la termine à l'étuve chauffée régulièrement par une circulation de vapeur ou d'eau chaude, car des tuyaux de poëles chauffant toujours certains filets d'air à une température élevée, mettent souvent le feu aux allumettes.

Allumettes sans soufre. On a réussi avec assez de succès à préparer des allumettes sans soufre, afin d'éviter l'odeur désagréable de l'acide sulfureux. Pour cela, on dessèche jusqu'à les faire roussir l'extrémité des allumettes placées sur une plaque de fonte chauffée, puis on les pose dans un bassin portant une couche mince d'acide stéarique fondu.

Comme l'acide stéarique est moins facilement inflammable que le soufre, il est bon d'ajouter à la pâte gommeuse un corps très oxydé, tel que du minium.

Allumettes-bougies. On rencontre encore une autre sorte d'allumettes, qui offre l'avantage de durer quelques minutes, de pouvoir servir comme de petites bougies.

Elles se fabriquent très simplement au moyen d'un système analogue à un métier à tisser ; 100 ou 200 mèches composées de brins de coton non tordus se déroulent d'un cylindre et sont maintenues écartées par un peigne. Elles passent dans un bain de cire fondue et dans une filière qui régularise la couche de cire. Un couteau mécanique coupe d'un coup toutes ces bougies suivant la longueur voulue; elles sont ensuite garnies de pâte inflammable de la même manière que les allumettes en bois. Voir *Complément*. ALLUMETTES.

ALOÈS. Une série d'expériences ont été faites, il y a peu d'années à Paris, pour vérifier la force comparative de câbles faits les uns avec du chanvre, les autres avec de l'aloès tiré de l'Algérie; et l'on dit que ces essais ont été entièrement à l'avantage de l'aloès. Pour des câbles de même grosseur, ceux d'aloès ont soutenu un poids de 2,000 kilogr.; tandis que ceux qui étaient faits de chanvre n'ont supporté qu'un poids de 400 kilogr. On remarquait, il y a quelques années, à l'exposition de l'industrie nationale de Bruxelles, des câbles d'aloès signalés comme étant de beaucoup préférables à ceux de chanvre (voy. CABLE).

ALUDEL. Vaisseaux en forme de poire, ouverts par chaque bout, dont on forme un tuyau continu, en les enfilant à la suite, ainsi que cela se pratique en Espagne pour la distillation du mercure (voyez MERCURE).

ALUMINE. L'alumine pure est encore à peine connue dans le commerce, et cependant il n'est pas douteux que cette substance ne soit destinée à jouer un rôle important dans les industries chimiques; elle remplacera avec avantage l'alun et même le sulfate d'alumine dans quelques applications considérables. En effet dans ces sels, l'alumine est le seul produit utile au consommateur; or, l'alun n'en renferme que 10 à 12 pour 100, et le sulfate d'alumine 17 à 18. Les frais de transport seraient donc diminués de plus des quatre cinquièmes, par l'emploi du nouveau produit. Mais l'avantage le plus grand est certainement celui de pouvoir transformer à volonté et avec une grande facilité l'alumine pure en sulfate, en acétate ou en chlorure, en la dissolvant dans l'acide sulfurique, dans l'acide acétique ou dans l'acide hydrochlorique. Cet avantage est évident surtout pour la préparation de l'acétate d'alumine dont l'emploi est général dans les fabriques de toiles peintes, et que l'on obtient aujourd'hui par la double décomposition de l'alun et de l'acétate de plomb (voyez ACÉTATES). En traitant directement l'alumine par l'acide acétique, on éviterait cette préparation rendue très coûteuse par l'emploi du sel plombeux.

Voici le procédé que l'on emploie pour préparer le peu d'alumine pure que les fabriques de produits chimiques livrent au commerce : on traite le sulfate d'alumine, dissous dans l'eau de manière à marquer seulement 8 ou 10° à l'aréomètre de Baumé, par une dissolution de cristaux de carbonate de soude ; pour 100 kil. de sulfate d'alumine du commerce, contenant 17 kilogr. d'alumine, on emploie à peu près 100 kilogr. de carbonate de soude, de manière en un mot à saturer tout l'acide du sulfate ; dans cette réaction, la soude déplace l'alumine qui se précipite, il se forme du sulfate de soude et il y a dégagement d'acide carbonique. Lorsque l'alumine est suffisamment précipitée, on décante la dissolution de sulfate de soude, on recueille le dépôt, on le lave pour enlever les dernières traces de sulfate de soude,

on le fait égoutter, on le dessèche à une assez basse température, et on le calcine très légèrement jusqu'à ce qu'il ne retienne plus à peu près que 10 pour 100 d'eau. Si l'on poussait plus loin la dessiccation, l'alumine, comme on le sait, deviendrait difficilement attaquable par les acides. La dissolution de sulfate de soude est évaporée dans des chaudières en plomb, ou même en tôle, et on doit terminer sa dessiccation sur la tôle d'un four à réverbère. Dans ce procédé, il est évident que le carbonate de soude employé est à peu près complétement perdu; en effet 100 kilogr. de carbonate cristallisé coûtent 33 fr., on en retire à peu près 50 kilogr. de sulfate sec à 16 fr. les 100 kilogr., soit 8 fr.; la perte est donc des trois quarts. Or, comme il faut près de 500 kil. de carbonate de soude pour produire 100 kil. d'alumine, on voit que le prix de revient de cette dernière en est sensiblement augmenté; malgré ces frais considérables, les teinturiers trouvent déjà de l'avantage à préparer leur acétate avec l'alumine pure plutôt qu'avec l'alun; si donc on parvient par un procédé quelconque à éviter la perte de la soude, il est évident que les débouchés ne pourront que s'agrandir. Les fabricants doivent diriger leurs recherches sur ce point important, car il nous paraît probable que l'avenir des aluns et du sulfate d'alumine est en grande partie subordonné à celui de l'alumine pure.

ALUMINE (sulfate d'). Le sulfate neutre d'alumine est composé de 3 équivalents d'acide sulfurique, d'un équivalent d'oxyde d'aluminium et de 18 équivalents d'eau; ou bien, 100 de sulfate renferment : 36 pour 100 d'acide sulfurique anhydre, 15 pour 100 d'alumine et 49 d'eau. Ce sel est très soluble, déliquescent même, en sorte qu'il est impossible de le faire bien cristalliser en grand. On l'obtient et on le livre au commerce en morceaux amorphes.

Le sulfate d'alumine est un produit tout nouveau dans l'industrie, et qui a pris en deux ou trois ans une grande extension. Il est destiné à remplacer les aluns à base de potasse ou d'ammoniaque, qui en définitive n'agissent que par l'alumine qu'ils contiennent. L'emploi du sulfate d'alumine présente donc cela d'avantageux, qu'il économise tout à fait les sulfates de potasse ou d'ammoniaque qui entrent dans la composition des aluns, et que par conséquent l'alumine qu'il contient revient à un prix beaucoup moins élevé que celle de ces sels doubles.

Malheureusement, il y a un revers à la médaille : le sulfate d'alumine que l'on trouve dans le commerce n'a pas toujours une composition identique; souvent il renferme un grand excès d'acide sulfurique et une quantité d'eau plus ou moins considérable. L'alun cristallisé, au contraire, a une composition invariable et qui ne dépend pas de la volonté ou de l'habileté des ouvriers.

Un autre inconvénient du sulfate d'alumine, que n'ont pas les aluns, c'est que les qualités ordinaires contiennent toujours une petite proportion de fer, très nuisible dans quelques applications; on peut, il est vrai, enlever complétement ce métal, mais le procédé est assez coûteux, et nous ne croyons pas qu'il soit encore applicable aux qualités à bas prix.

Les restrictions que nous venons de poser prouvent que la fabrication qui va nous occuper a encore des progrès à faire; mais il n'en est pas moins certain que le sulfate d'alumine, préparé avec soin, est un produit qui remplace l'alun avec avantage dans plusieurs circonstances.

En principe, la préparation du sulfate d'alumine consiste à traiter une argile par l'acide sulfurique, à lessiver le produit de manière à séparer les substances insolubles, à précipiter le fer, enfin à évaporer la dissolution de sulfate jusqu'au degré nécessaire pour qu'il puisse se prendre en masse, par le refroidissement.

L'argile que l'on emploie doit être riche en alumine et très pauvre en fer; à Paris, on fait généralement

usage de l'argile de Vanvres. La première opération qu'elle doit subir est un lavage par décantation qui doit séparer le sable, les cailloux et en général les substances inutiles. L'argile est ensuite soumise à une dessiccation dans un four à réverbère; la température ne doit pas être trop élevée, parce que dans ce cas l'argile serait difficilement attaquable par l'acide sulfurique; 1,000 kilog. d'argile brute sont réduits, après la dessiccation, à 800 kilog. L'argile sèche et concassée est placée dans des cuves ou *bacs* doublés de plomb; on la délaie avec 1,125 kilog. d'acide sulfurique à 53° Baumé, et on laisse séjourner le mélange pendant vingt-quatre heures; au bout de ce temps, on le porte dans une chaudière ou *bastringue* en plomb, où l'on termine l'attaque en élevant la température jusqu'à l'ébullition. La chaudière en plomb n'a que 30 à 40 centimètres de profondeur sur une grande surface; on peut la fermer au moyen d'un couvercle doublé de plomb, que l'on lute tout autour.

La flamme du foyer s'introduit d'abord sous le couvercle de la chaudière, de manière à lécher la surface de la matière; puis on fait revenir en dessous de la chaudière les produits de la combustion, qui entraînent avec eux toutes les vapeurs acides développées pendant l'attaque.

On emploie du bois pour chauffer la *bastringue;* il salit moins la matière et il donne une chaleur plus uniforme.

L'attaque dure de huit à dix heures, et on obtient environ 1,904 kilog. de sulfate d'alumine brut pour les 800 kilog. d'argile sèche employée, soit 100 kilog. pour 42 kilog. de glaise sèche; l'attaque ne se termine pas entièrement dans la *bastringue :* au sortir de celle-ci, le sulfate brut est porté dans un four à réverbère, où l'on élève la température plus qu'on ne peut le faire dans une chaudière en plomb, mais cependant pas assez pour le décomposer.

Il s'agit maintenant de dissoudre le sulfate brut, pour le séparer de toutes les matières insolubles; le lessivage se fait méthodiquement dans un système de quatre cuviers doublés de plomb, et on amène ainsi la dissolution à 21° Baumé, si on ne veut pas précipiter le fer. Si, au contraire, on veut obtenir du sulfate parfaitement pur, la dissolution n'a pas besoin d'être aussi concentrée, dans ce cas, on traite la liqueur par une dissolution de prussiate de potasse, qui précipite tout le fer à l'état de bleu de Prusse. Cette précipitation se fait dans de grands bacs doublés de plomb; si la dissolution de sulfate d'alumine était trop concentrée, le bleu de Prusse se déposerait difficilement.

Au bout de huit à dix heures de repos, on décante le liquide clair, qui ne contient plus alors que du sulfate d'alumine et quelques sels incolores en minime quantité; il ne reste plus qu'à l'évaporer pour l'amener à l'état solide.

L'évaporation de la liqueur se fait dans des chaudières en plomb ordinaires, si ce n'est qu'à l'une de leurs extrémités elles sont munies d'une large soupape, qui sert à en évacuer le contenu. L'évaporation doit être poussée jusqu'au moment où un échantillon pris avec une spatule se prend en masse par le refroidissement; à ce point de concentration, la liqueur marque 32° Baumé; on la retire immédiatement en enlevant la soupape placée à l'extrémité de la chaudière. Le sulfate liquide est reçu sur une aire dallée ou sur une feuille de plomb très épaisse, disposée bien horizontalement sur le sol de l'atelier. Par le refroidissement, le sulfate se prend en masse; on le découpe en morceaux et on l'emballe immédiatement dans des tonneaux.

Le bleu de Prusse qui est resté pour résidu est purgé du sulfate d'alumine par des lavages successifs, et en définitive par la filtration, qui l'amène à l'état de pâte. Si l'on n'a pas le débouché de ce bleu, il est nécessaire

de le revivifier pour épurer une nouvelle quantité de sulfate d'alumine; mais il est évident que dans cette manipulation il y a une perte considérable, surtout au prix où se trouve le prussiate de potasse. Jusqu'à présent, toutes les recherches imaginables n'ont pu amener la découverte d'un procédé d'épuration plus économique que par le prussiate.

L'alun à base d'ammoniaque coûte plus cher que le sulfate d'alumine et ne contient pas autant d'alumine; aussi cette fabrication a-t-elle eu un succès certain.

Nous allons voir que d'autres méthodes sont encore nées pour fournir à l'industrie les quantités d'alumine, encore assez limitées, dont elle a besoin.

PRÉPARATION INDUSTRIELLE DE L'ALUMINE. — L'industrie de la préparation de l'alumine est surtout née dans ces dernières années des recherches auxquelles a donné lieu l'extraction de l'aluminium. Nous extrairons les détails qui suivent d'une notice de M. Lechatelier, le savant ingénieur des mines, qui a réuni ses efforts à ceux de M. Deville pour la mise en pratique de cette conquête de la chimie.

La nouvelle industrie repose essentiellement sur la préparation des aluminates alcalins, des composés dans lesquels l'alumine joue le rôle d'acide et non celui de base comme dans les aluns.

Aluminate de soude. — La matière qui sert de base à la fabrication de l'aluminate de soude est un minéral particulier ferrugineux, dit *Minerai des Baux*, du lieu de son extraction, très-riche en alumine et contenant très-peu de silice; on le trouve dans les Bouches-du-Rhône, le Var, en Calabre et au Sénégal. Sa composition est la suivante :

Alumine	60 à 75 p. 100
Peroxyde de fer. . .	12 à 20 —
Silice	1 à 3 —
Eau.	Variable.

Il y a, en outre, d'après M. Deville, un peu de vanadium, de chrôme et peut-être de tungstène.

Si on traite le minéral par l'acide muriatique, on se débarrasse aisément du fer, mais ce travail, utile pour obtenir des produits d'une très-grande pureté, n'est pas absolument nécessaire.

Deux procédés sont employés; celui de la cuite analogue au travail des savons, et un second semblable à celui de la fabrication de la soude, qui est tout à fait convenable pour une grande fabrication annexée à celle des usines à soude.

Dans le premier, le minerai pulvérisé est mis en digestion avec une lessive de soude caustique très-concentrée; on chauffe dans une chaudière de fer ou de fonte, en ayant soin de remuer de temps en temps; on obtient par lixiviation une solution d'aluminate de soude.

La dissolution décantée mise à déposer dans des vases en bois, ou mieux en métal, fer, zinc, cuivre, plomb, etc., se clarifie en laissant déposer l'oxyde de fer extrêmement divisé qu'elle peut tenir en suspension. Elle doit d'ailleurs être filtrée immédiatement avant ou après le dépôt.

La soude dans l'aluminate normal $2Al'O^3 + 3NaO$ étant un peu inférieure à la quantité d'alumine, on pourra en général employer une lessive contenant une quantité de soude caustique anhydre, égale à celle de l'alumine contenue dans le minerai à traiter. Suivant qu'il y a intérêt à économiser la soude ou le minerai, on peut réduire ou augmenter cette proportion d'alcali.

Dans l'attaque du minerai des Baux, par la cuite à la soude caustique, il se forme un composé insoluble de silice, d'alumine et de soude, hydraté, qui reste avec l'oxyde de fer; il ne nuit pas à la réaction, mais il fait passer dans le résidu une petite quantité de soude, qui est environ le tiers du poids de la silice.

Dans le cas où on opère la cuite sur le minerai des Baux, débarrassé de son oxyde de fer, le résidu sera très-faible, les lixiviations seront très-faciles et la liqueur pourra être filtrée sans qu'il y ait à craindre de voir de l'oxyde de fer excessivement divisé passer à travers le filtre; dans un appareil d'une capacité donnée, on traitera plus de matière.

La cuite, au lieu d'être faite avec une lessive caustique préparée *ad hoc*, peut aussi être opérée avec un mélange de sel de soude ou de cristaux de soude et de chaux caustique, en proportion convenable pour mettre en liberté la totalité de la soude caustique. Il conviendra cependant de mettre un petit excès de carbonate de soude pour prévenir la formation d'un aluminate de chaux insoluble ou pour le détruire une fois qu'il sera formé.

Le second procédé consiste à mêler le minerai broyé avec du sel ou du carbonate de soude et à le calciner dans un four à réverbère, où le brassage de la masse et la circulation des gaz facilitent l'opération. Il est bon que le mélange soit aussi intime que possible afin d'obtenir des rendements plus considérables; à cet effet, on mélange les poussières à sec, puis on humecte la masse pour faire pénétrer dans toutes ses parties le carbonate de soude auquel l'eau sert de véhicule. On calcine au rouge vif et on reprend la masse par l'eau bouillante; par décantation et filtration, on obtient une lessive d'aluminate de soude renfermant, s'il y a lieu, le carbonate de soude employé en excès ou qui n'aurait pas concouru à la réaction faute d'un mélange assez intime.

En mettant le minerai d'alumine en excès, on sursature la soude d'alumine, et l'excès de celle-ci, après le lessivage à chaud, se précipite spontanément.

L'aluminate de soude ainsi obtenu renferme, en général, de petites quantités de fer, qui se trouve probablement à l'état de ferrate de soude.

Nous recommandons, pour prévenir cet inconvénient, l'emploi d'une petite quantité de charbon de bois, de houille ou de coke, même insuffisante pour réduire tout l'oxyde de fer à l'état métallique ou pour décomposer tout le carbonate de soude, qui sera mêlée grossièrement dans la masse; l'oxyde de carbone qui se dégagera pourra empêcher la suroxydation du fer et la formation des ferrates solubles; la présence du charbon pourra favoriser la décomposition du carbonate de soude et rendre la réaction plus complète.

Le produit prêt à être employé dans l'industrie se présente sous forme d'une poudre d'un vert-jaunâtre léger, sèche au toucher et par conséquent facile à emballer. L'analyse y indique 48 p. 100 d'alumine, c'est-à-dire une richesse très-grande.

Préparation de l'alumine au moyen de l'aluminate de soude. On fait circuler à travers un cylindre horizontal en fer un courant continu de solution d'aluminate qu'on a soin d'agiter constamment. On fait passer en même temps dans ce cylindre un courant d'acide carbonique. Le liquide qui s'écoule du cylindre est une solution de carbonate de soude renfermant l'alumine en suspension. Malgré les lavages les plus soignés, l'alumine ainsi préparée retient toujours une certaine quantité de carbonate de soude (carbonate double insoluble de soude et d'alumine).

Le bicarbonate de soude précipite l'alumine de l'aluminate, le carbonate neutre de soude étant l'autre produit de la réaction. Si l'on emploie avec précaution le bicarbonate, on peut obtenir l'alumine complétement exempte de carbonate de soude.

Préparation de l'acétate d'alumine. — Autrefois, on

préparait toujours l'acétate d'alumine par la décomposition partielle de l'alun au moyen de l'acétate de plomb ; on perdait ainsi les sulfates de potasse ou d'ammoniaque qui restaient dans le liquide, et aussi le sulfate de plomb. On prépare très-bien l'acétate au moyen de l'aluminate, mais pour que l'alumine soit soluble dans l'acide acétique, il faut la précipiter par l'acide chlorhydrique plutôt que par l'acide carbonique.

ALUMINIUM. Voy. *Complément*. Analyse des procédés de M. H. Deville.

ALUN (*ang.* alum, *all.* alaun). L'alun est un sulfate double d'alumine et de potasse ou d'ammoniaque. L'alun à base de potasse est composé de

1 at. sulfate de potasse.	1089,07	18,34.
4 at. sulfate d'alumine.	2149,80	36,20.
24 at. d'eau.	2699,52	45,46.
	5938,39	100,00.

et l'alun ammoniacal est formé de

1 at. sulfate d'ammoniaque. . .	716,7	12,88.
4 at. sulfate d'alumine.	2149,8	38,64.
24 at. d'eau.	2699,5	48,48.
	5566,0	100,00.

Il se présente ordinairement sous forme de cristaux octaédriques, a une saveur âpre un peu acide, et rougit la teinture bleue de tournesol.

Il existait des fabriques d'alun, il y a plusieurs siècles, à Roccha, appelée autrefois *Edessa*, en Syrie, et c'est de là qu'est venu l'ancien nom d'alun de *roche* que l'on donnait à ce sel. On le fabriqua ensuite à *Foya nova*, près de Smyrne et dans les environs de Constantinople. Les Génois, et les autres peuples commerçants de l'Italie importaient l'alun de ces lieux de fabrication dans l'Europe occidentale, pour l'usage des teinturiers en rouge. Vers le milieu du quinzième siècle, on commença à le fabriquer à la *Tolfa*, à *Viterbe*, et à *Volaterra*, en Italie. Après cette époque l'importation de l'alun oriental fut prohibée par le pape, comme préjudiciable aux intérêts de ses états. La fabrication de ce sel s'introduisit en Allemagne au commencement du seizième siècle, et un peu plus tard en Angleterre où elle fut importée par Thomas Chaloner, sous le règne d'Élisabeth.

Tout l'alun employé dans la grande Bretagne, provient du lessivage des schistes alumineux de *Whitby*, en Angleterre, et de *Hurlett* et *Campsie*, près de Glasgow, en Écosse. L'alun qui se fabrique en Angleterre est à base de potasse. Celui qu'on fait en France est tantôt à base d'ammoniaque, tantôt renferme à la fois de la potasse et de l'ammoniaque et quelquefois est à base de potasse. On peut reconnaître en général l'alun en le dissolvant dans l'eau bouillante et y versant de l'ammoniaque, qui sépare l'alumine sous la forme d'un précipité floconneux blanchâtre. Si la dissolution est froide et très étendue, le précipité restera longtemps suspendu, sous la forme d'une nuage opalescent, avant de se déposer.

Ce précipité recueilli sur un filtre et lavé avec soin à l'eau bouillante est de l'alumine pure, en le dissolvant encore humide dans de l'acide sulfurique faible on obtient du sulfate d'alumine, sel soluble dans deux parties en poids d'eau froide. En versant de l'ammoniaque dans une dissolution froide et concentrée de sulfate d'alumine, il se précipite une poudre blanche insoluble qui est du sous-sulfate d'alumine tribasique. En versant dans la dissolution concentrée de sulfate neutre d'alumine une dissolution également concentrée de sulfate de potasse il se précipitera une poudre blanche, grenue; du véritable *alun;* mais si l'on a employé des dissolutions étendues et si l'on fait évaporer leur mélange, et qu'on laisse ensuite refroidir; on obtiendra de l'alun cristallisé.

Lorsque l'on fait bouillir une dissolution d'alun, sur de l'alumine en gelée précipitée, une portion de celle-ci entre en combinaison avec le sel, et constitue un composé insoluble qui se précipite sous la forme de poudre blanche, le même phénomène se produit en ajoutant à une dissolution bouillante d'alun une dissolution de potasse caustique jusqu'à ce que le mélange qui rougissait d'abord fortement le papier de tournesol y paraisse presque neutre. Cet alun basique insoluble, qui a reçu le nom d'alun *aluminé*, est composé de

1 at. sulfate de potasse.	1089,07	19,71.
3 at. sous-sulfate d'alumine tribasique.	3433,44	62,11.
9 at. d'eau.	1004,92	18,18.
	5527,43	100,00.

On le transforme en alun ordinaire soit en le traitant par une quantité convenable d'acide sulfurique, soit en le calcinant assez pour décomposer le sous-sulfate d'alumine en sulfate neutre et en alumine, puis reprenant par l'eau.

L'alun se présente rarement tout formé dans la nature; on le rencontre accidentellement à l'état d'efflorescences superficielles, et dans certaines eaux minérales des Indes orientales. L'alun du commerce en Europe est fabriqué artificiellement ; on le prépare au moyen de la pierre d'alun ou *alunite*, des schistes alumineux, ou de l'argile.

4° *Fabrication de l'alun au moyen de l'alunite*. L'alunite ou pierre d'alun est un minéral assez rare; on l'a trouvée à la *Tolfa* près Civita Vecchia, à *Piombino* en Italie, et en quantité plus considérable en Hongrie, à *Bereghszasz* et à *Muszag*, où elle forme des lits entiers dans une roche dure, caractérisée par de nombreuses cavités ou *druses* dont l'intérieur est tapissé de cristaux d'alunite. L'*alunite* pure se compose d'après une analyse de M. Cordier de

2 at. sulfate de potasse.	2178	18,53.
2 at. sulfate d'alumine.	4293	38,50.
5 at. hydrate d'alumine.	4903	42,97.
	11374	100,00.

c'est un véritable alun aluminé qui est insoluble. Les gros morceaux contiennent plus ou moins de quartz disséminé dans leur masse, et sont, selon leur qualité, ou mis à part pour en faire de l'alun, ou laissés de côté. Les morceaux choisis sont grillés ou calcinés et c'est dans cette opération que l'hydrate d'alumine, qui est associé avec le sulfate d'alumine perd son eau, et son affinité pour l'alun, de sorte que celui-ci devient libre, et par une exposition subséquente à l'air, l'alunite calcinée se désagrège, et l'alun devient soluble dans l'eau.

La calcination se fait dans des fours à plâtre à la manière ordinaire. Il faut régler le feu, de manière à prévenir la fusion ou le tassement des pierres, et même tout dégagement d'acide sulfurique ou d'acide sulfureux, qui causerait une perte correspondante dans le produit et l'alun. On doit donc pour cette raison éviter autant que possible le contact des pierres incandescentes avec les matières charbonneuses. Aussi est-il infiniment préférable de réduire l'*alunite* en poudre grossière, et d'effectuer ensuite le grillage dans des fours à réverbère, ce qui permet de le rendre plus complet et plus uniforme, tout en opérant à une température beaucoup plus basse.

L'*alunite*, ainsi calcinée est ensuite empilée en tas de 80 à 90 centimètres de haut, à l'air libre, et entretenue continuellement humide à l'aide d'un peu d'eau qu'on y fait arriver. A mesure que l'eau se combine avec

l'alun les pierres se délitent, et finissent par se changer en une masse pâteuse qu'on lessive avec de l'eau chaude; on laisse les eaux de lavage s'éclaircir dans un grand réservoir; le liquide clarifié qui surnage est décanté, puis on le fait évaporer et cristalliser; enfin on purifie les premiers cristaux en les dissolvant dans de l'eau chaude et les faisant cristalliser de nouveau; on obtient ainsi un alun propre à être livré au commerce. C'est ainsi qu'on fabrique l'alun de Rome qui est recouvert d'une légère couche rouge de peroxyde de fer. On retirerait de l'alunite une quantité notablement plus considérable d'alun, en la traitant par une quantité d'acide sulfurique suffisante pour transformer tout l'hydrate d'alumine en sulfate; l'attaque se fait avec la plus grande facilité, et il est certain que dans un grand nombre de cas on trouverait beaucoup d'économie à employer ce procédé.

2° *Fabrication de l'alun au moyen des schistes alumineux.* — La plus grande partie de l'alun que l'on trouve dans le commerce, en Angleterre et en Allemagne, s'extrait d'un schiste ardoisier, et alumineux et d'autres minéraux du même genre, contenant plus ou moins de pyrites de fer et de matières charbonneuses ou bitumineuses. Celles-ci sont parfois si abondantes qu'elles rendent le minerai jusqu'à un certain point combustible. Dans les couches de lignite et de bois bitumineux, les lits supérieurs immédiatement recouverts par des couches d'argile, sont composés de matières charbonneuses, mélangées avec de l'argile et des pyrites. On les incinère en tas et on lessive les cendres pour en retirer de l'alun comme nous l'avons vu pratiquer en grand dans tout le nord-ouest de la Bohême. Si l'on y trouve des rognons isolés de pyrites on met celles-ci de côté et on les emploie pour la fabrication de l'acide sulfurique fumant (voyez *acide* SULFURIQUE). Ce triple mélange constitue le caractère de tous les bons schistes alumineux, le charbon sert à économiser le combustible, rend la texture poreuse, et facilite ainsi la sulfatisation. En calcinant ces schistes, les pyrites de fer qu'ils renferment perdent la moitié environ de leur soufre sous forme de soufre sublimé et passent à l'état de sulfure noir magnétique qui exposé à l'action de l'air humide, en attire promptement l'oxygène et l'eau et se change en sulfate de protoxyde de fer hydraté, ou *vitriol vert*. Les lignites terreux contiennent souvent des cristaux de vitriol vert qui se sont formés spontanément au milieu d'eux. Le sulfate de fer transmet peu à peu son acide à l'argile, tandis que le fer se peroxyde, par l'action de l'air sous une faible élévation de température, et c'est ainsi que le sulfate d'alumine se produit. Une portion du vitriol vert reste toutefois indécomposée, et il y en a d'autant plus qu'il peut se trouver moins des autres bases salifiables dans l'ardoise alumineuse, pour peu qu'il s'y trouve de magnésie ou de chaux, le vitriol se décompose plus complétement, et il se produit alors une certaine quantité de sel d'epsom et de gypse.

La fabrication de l'alun au moyen des schistes alumineux peut se diviser en six opérations principales qui sont les suivantes : 1° Préparation des schistes alumineux; 2° lessivage; 3° concentration des eaux de lessivage; 4° brevetage; 5° lavage des cristaux; et 6° purification de l'alun.

1° *Préparation des schistes alumineux.* Quelques-uns de ces schistes sont d'une nature telle qu'étant mis en tas en plein air, et humectés de temps à autre, ils s'échauffent spontanément, et s'affaissent par degrés en une masse pulvérulente propre à être lessivée. Mais généralement, il y a beaucoup d'avantage à calciner ou à griller les schistes alumineux; la cohésion se trouve par ce moyen tellement diminuée, que leur décomposition en devient beaucoup plus rapide; les pyrites ayant perdu une portion de leur soufre, se sont transformées en un sulfure qui se sulfatise avec une grande facilité, et les vapeurs sulfureuses qui se dégagent pendant le grillage attaquent une certaine quantité d'argile, et produisent du sulfate d'alumine.

Lorsque le schiste contient trop peu de matière bitumineuse ou de charbon pour suffire au grillage, on doit le stratifier avec de la houille menue, du bois de fagots ou des branchages, de manière à en former des tas très étendus en surface, et ayant 1m,00 à 1m,50 de hauteur; on met le feu sur différents points de la couche inférieure de combustible, et lorsque la masse est bien embrasée, on ajoute successivement des lits de schistes, et au besoin de combustible, au-dessus du tas. A *Whitby*, ce mode d'empilement successif se continue jusqu'à ce que le tas ait atteint une hauteur de 30 à 33 mètres, et l'aire horizontale est augmentée en même temps jusqu'à ce qu'elle offre une surface à la base d'environ 60 mètres de côté, de sorte que la masse totale offre un solide d'environ 100,000 mètres cubes. On modère la rapidité de la combustion en tassant sur les crevasses, du schiste en petits morceaux humectés. Lorsqu'une masse aussi prodigieuse se trouve embrasée, la chaleur est assurément trop forte, et il doit s'en dégager une immense quantité de soufre et d'acide sulfurique. Cette perte a été remarquée aux fabriques de Whitby. A *Hurlett* la hauteur à laquelle on élève les tas est seulement de quelques pieds, tandis que l'aire horizontale est très étendue, ce qui est une disposition beaucoup plus judicieuse. A Whitby, il faut 130 tonnes de schiste calciné pour produire une tonne d'alun. Sous le climat humide de l'Angleterre, il serait convenable de recouvrir les strates formées de broussailles ou de houille menue et de schiste, d'un chapeau de schiste menu tassé, dont la surface serait unie et n'offrirait que quelques soupiraux pour faciliter la circulation de l'air; une pareille masse ainsi disposée protégerait le tas entier contre la pluie, et empêcherait en même temps la combustion de devenir trop active. Si une pluie trop forte survenait, on creuserait une gouttière autour du tas pour recevoir la lessive alumineuse, et la conduire dans un réservoir.

On doit chercher à produire une chaleur continue, mais lente, et un feu égal; lorsque le feu est trop vif, le sulfate de fer peut former avec les matières terreuses une espèce de scorie, ou le soufre s'échapper à l'état de vapeur; ce sont là deux accidents qui diminuent notablement le produit en alun. Les schistes bitumineux qui ont été employés comme combustible sous les chaudières à vapeur, y éprouvent une combustion si violente que leurs cendres ne contiennent presque plus d'alun. Les tas mêmes qui sont les plus régulièrement conduits sont susceptibles de brûler trop vivement lorsque le vent est fort; on doit, en pareille circonstance, tenir les carneaux bouchés avec soin. On peut admettre comme une règle générale, que plus la combustion sera lente, plus le minerai calciné sera riche en sulfate d'alumine. Lorsque la calcination est complète, le tas a diminué de la moitié de son volume primitif; il est recouvert d'une cendre fine rougeâtre, et est devenu très poreux à l'intérieur, de sorte que l'air peut circuler librement à travers la masse; pour en favoriser l'accès, les tas ne doivent pas être trop élevés, et par un temps sec, on doit parfois les arroser avec une petite quantité d'eau, laquelle dissout et entraîne un peu de matière saline, et rend par ce moyen l'intérieur de la masse plus accessible à l'atmosphère.

Lorsque le minerai calciné s'est entièrement refroidi, on doit procéder au lessivage. Mais comme depuis l'établissement des premières assises des tas jusqu'à leur calcination complète, il peut s'écouler plusieurs semaines et même des mois entiers,, on doit avoir soin d'en construire un nombre suffisant ou de les étendre assez, pour être en état de continuer le lessivage et les opérations subséquentes pendant tout le cours de l'année,

ou du moins pendant toute la mauvaise saison, durant laquelle la calcination doit être suspendue. On reconnaît que le grillage est suffisamment avancé : 1° à ce que le tas se recouvre de nombreuses efflorescences salines, et que les cendres ont acquis une forte saveur alumineuse; et 2° par un essai qui consiste à lessiver une certaine quantité du schiste grillé, et à constater ensuite la quantité d'alun que les eaux de lavage donnent, en y ajoutant du sulfate de potasse ou d'ammoniaque et faisant cristalliser.

2° *Lessivage*. Le lessivage se fait mieux dans des réservoirs construits en pierres, que dans des cuves en bois; quelques fortes que soient d'abord celles-ci, elles sont bientôt endommagées et exigent de fréquentes réparations. On doit les établir à proximité des tas de grillage afin de diminuer les frais de transport, et les disposer en cascade. Sous ce rapport, une terrasse en pente est la localité la plus convenable pour établir une fabrique d'alun. A la partie inférieure de la terrasse et dans le voisinage de l'atelier de concentration, il y a deux ou trois bassins abrités sous un hangard, assez profonds, et plus ou moins grands pour laisser déposer les eaux brutes du lessivage. On doit établir à un niveau un peu plus élevé les réservoirs destinés aux eaux de lessivage clarifiées. On charge le schiste grillé dans les réservoirs supérieurs, en ayant le soin de placer au fond les gros morceaux, et de les recouvrir avec les cendres les plus fines. On y fait alors couler par-dessus une quantité d'eau suffisante, et on laisse reposer pendant quelque temps, puis on soutire les eaux de lavage à l'aide d'un tuyau à robinet placé au fond du réservoir, et on les laisse couler dans le réservoir suivant dont le niveau est tant soit peu plus bas. On verse ensuite une nouvelle quantité d'eau sur le schiste, en partie épuisé; on laisse encore reposer pendant un temps suffisant, et on soutire l'eau de lavage affaiblie qui en résulte dans un réservoir à part. Dans quelques cas, on lave avec une troisième eau, et l'on réserve l'eau de ce dernier lavage pour le premier lavage d'une nouvelle portion de schiste grillé. Afin d'économiser les frais d'évaporation, il convient toujours d'augmenter la force des eaux faibles, en les employant, au lieu d'eau pure, pour lessiver de nouvelles portions de schiste grillé. L'économie et le succès d'une fabrique d'alun dépendent beaucoup de la disposition relative et de la forme des bassins de lessivage. On doit toujours avoir recours à l'aréomètre pour déterminer le degré de concentration des dissolutions.

La pierre ainsi lessivée étant épuisée de ses parties solubles, est retirée des réservoirs, et tantôt mise en tas dans un endroit convenable, où on la laisse se décomposer par l'action des agents atmosphériques, tantôt soumise à un nouveau grillage après dessiccation à l'air libre.

La densité de la dissolution peut être portée moyennement par lessivage de 1,09 à 1,15. Cette dernière densité peut toujours s'obtenir, en concentrant les dissolutions les plus faibles sur du schiste récemment calciné. On laisse alors déposer le sulfate de chaux, l'oxyde de fer et les matières terreuses, et on décante. Il est avantageux de laisser le liquide exposé à l'air pendant un certain temps, durant lequel le vitriol vert peut se transformer en sulfate de peroxyde de fer, qui réagit, par une partie de son acide, qu'il retient avec très peu de force, sur une certaine quantité de l'argile en présence, et augmente par là la quantité de sulfate d'alumine. La fabrication de l'alun est d'autant plus imparfaite qu'il reste plus de sulfate de fer non décomposé dans la liqueur. On doit donc essayer autant que possible à convertir tout le sulfate de fer en sulfate d'alumine.

3° *Evaporation des eaux de lessivage du schiste alumineux*. Comme les eaux de lessivage, quelque soit le temps qu'on les ait laissé reposer pour les clarifier, sont néanmoins encore susceptibles de laisser déposer une grande quantité de matières terreuses pendant leur concentration par la chaleur, on les évapore beaucoup mieux en faisant agir le feu sur la surface que par dessous. C'est ainsi qu'on procède à *Hurlett* et à *Campsie* (Angleterre). On construit un réservoir en pierre bien étanche; on met un lit d'argile bien battue derrière les dalles ou carreaux qui revêtent le fond et les côtés. Cette espèce de cuve peut avoir 1m,25 à 2m,00 de large, 0m,70 à 1m,00 de profondeur, et 10 à 12 mètres de longueur; elle est recouverte dans toute sa longueur d'une voûte en pierre ou en briques. A l'une des extrémités de ce tunnel ou de cette espèce de canal couvert, on établit une grille, et à l'autre extrémité on construit une haute cheminée d'appel. La cuve étant remplie jusqu'au bord avec des eaux de lavage des schistes, on charge de la houille sur la grille; la flamme ainsi que l'air chaud sont forcés de raser dans toute sa longueur la surface du liquide, de manière à le maintenir dans un état permanent d'ébullition et à entraîner toute la vapeur aqueuse qui se forme. La suie qui se condense pendant l'opération tombe au fond du liquide et en clarifie la masse. A mesure que la concentration avance, on introduit une nouvelle quantité d'eau de lavage crue, qu'on fait couler du bassin d'alimentation, qui est placé à un niveau un peu plus élevé. L'on continue ainsi jusqu'à ce que toute la cuve soit remplie d'un liquide clarifié, ayant une pesanteur spécifique suffisamment élevée pour être porté dans les chaudières de plomb.

A *Whitby*, les chaudières de plomb ont 3 mètres de longueur, 1m,45 de largeur, 0m,66 de profondeur à l'une des extrémités et 0m,81 à l'autre. Cette différence de niveau de 0m,15 entre les deux extrémités facilite la décantation de la lessive concentrée; cette décantation se fait par le moyen d'un siphon qu'on place à l'extrémité inférieure. Le fond de la chaudière est supporté par une série de barres de fer parallèles, placées très près l'une de l'autre. On porte le liquide à l'ébullition, en chauffant les chaudières par dessous. Tous les matins les chaudières sont vidées, et le liquide transvasé dans un cristallisoir en pierre ou en plomb. La densité du liquide doit être ordinairement d'environ 1,4 à 1,5 : toutefois, elle doit varier selon les différentes espèces de lessives et d'après le but que se propose le fabricant. En effet, pour un liquide dans lequel il entre deux parties de sulfate d'alumine et une partie de sulfate de fer, il ne faut concentrer la liqueur que jusqu'à ce qu'elle atteigne une densité de 1,25; tandis que, pour une dissolution qui contient deux parties de sulfate de fer et une partie de sulfate d'alumine, il faut, pour que le sulfate de fer puisse se séparer le premier par cristallisation, que la densité du liquide bouillant ne soit pas inférieure à 1,4.

La construction d'un fourneau évaporatoire convenablement adapté à la concentration des eaux de lessivage, alumineuses ou autres, se trouvera décrite à l'article SOUDE. Le bassin qui doit contenir le liquide doit être construit en dalles ou en carreaux, joints par du bon ciment hydraulique. On dit qu'un mortier fait de chaux vive, mêlée avec du schiste en poudre complétement épuisé et de la limaille de fer, constitue un ciment très propre à cet usage. Quelquefois au-dessus du four à réverbère on met un bassin plat au lieu d'une voûte, et on y verse le liquide cru pour l'y concentrer en partie. En Allemagne, ce bassin est en cuivre, parce que s'il était en fer il s'userait trop rapidement, et qu'en plomb il serait trop susceptible de fondre. Par cette disposition, la cuve d'évaporation placée par-dessous se trouve graduellement alimentée avec du liquide chaud. Sur l'un des côtés de cette cuve inférieure, on place une porte par laquelle on peut faire sortir, à l'aide d'un râteau, le sédiment à mesure qu'il s'accumule au fond. Cette disposition est très convenable pour ce mode d'évaporation,

et permet aussi de faire promptement toutes les réparations nécessaires. Du reste, une construction ainsi faite et bien établie tout d'abord peut servir bien des années.

Pendant la concentration finale, on est dans l'usage d'ajouter une certaine quantité d'eaux mères provenant d'une opération antérieure; cette quantité doit être réglée d'après une analyse spéciale et la connaissance qu'on doit avoir de leur composition. Si ces eaux mères contiennent beaucoup d'acide sulfurique libre provenant de la formation du sous-sulfate de fer, elles peuvent devenir avantageuses en dissolvant une partie de l'alumine du sédiment, dans lequel il y en a toujours en plus ou moins grande quantité.

4° *Précipitation de l'alun par l'addition de sels alcalins* (ou *brevetage*). En règle générale, il est plus avantageux de séparer d'abord des dissolutions clarifiées et concentrées l'alun à l'état de poudre ou de petits cristaux, par l'addition d'un sulfate alcalin, et de laisser dans les eaux mères les sels étrangers tels que le sulfate de fer ou de magnésie, plutôt que d'essayer à séparer ces sels par une cristallisation préalable. Par cette méthode, non seulement on simplifie et on accélère la fabrication de l'alun, en laissant provisoirement de côté les eaux mères, que l'on retraite plus tard, mais on ne court pas le risque d'enlever une partie du sulfate d'alumine avec le sulfate de fer ou de magnésie. Dans ce cas, on ne doit pas pousser la concentration assez loin pour que le liquide donne des cristaux, mais seulement faire en sorte que la concentration se rapproche de ce point. On peut à cet égard déterminer d'avance et par expérience la densité ou le degré de concentration le plus convenable.

Arrivé à ce point, on fait passer le liquide clarifié dans la cuve à précipitation, et on y ajoute la quantité convenable de sulfate de potasse ou d'ammoniaque. Au lieu des sulfates, on peut employer du chlorure de potassium ou du carbonate d'ammoniaque; le chlorure de potassium a sur le sulfate de potasse, lorsqu'on peut se le procurer à bon marché, l'avantage d'être plus soluble et de se transformer en sulfate de potasse aux dépens du sulfate de fer, qu'il change en chlorure, lequel cristallise très difficilement, et est par conséquent moins apte que le sulfate à souiller les cristaux d'alun. Le carbonate d'ammoniaque réagit d'une manière analogue sur le sulfate de fer, en donnant lieu à la formation de sulfate d'ammoniaque et à la précipitation d'une quantité correspondante d'oxyde de fer.

La quantité de sels alcalins nécessaire pour précipiter l'alun en poudre granulaire d'une eau de lavage concentrée à un degré convenable dépend, d'un côté, de leur richesse en potasse ou en ammoniaque, et de l'autre, de la teneur des eaux en sulfate d'alumine. L'on doit s'assurer de ces quantités réciproques par une expérience préliminaire faite en petit. Une approximation exacte n'est pas praticable quand on opère sur une grande échelle; mais, comme les eaux mères sont ensuite mêlées ensemble dans une cuve, s'il y a eu un excès de précipitant dans une opération, il sera compensé par un excès de sulfate d'alumine qui sera resté dans une autre, et l'alun qui en résulte se rassemble au fond de la cuve. Lorsque la liqueur est parfaitement refroidie et éclaircie, on décante l'eau mère qui surnage avec une pompe, ou, mieux encore, avec un siphon ou un robinet, et on la fait passer dans une cuve inférieure. Plus le soutirage aura été complet, plus aussi il sera facile de purifier l'alun.

Cette eau mère a généralement une densité de 1,4 à la température moyenne de l'atmosphère, et consiste en une dissolution saturée de chlorure ou de sulfate de protoxyde et de peroxyde de fer, mêlée à du sulfate de magnésie dans certaines localités, à du chlorure de sodium, et enfin du sulfate d'alumine. En ajoutant de temps en temps une certaine quantité de cette eau à des eaux de lessivage neuves, une portion de ce dernier sulfate se convertit en alun; mais il y a des occasions où il convient de faire évaporer cette eau mère de manière à en retirer, par cristallisation, du sulfate de protoxyde de fer ou vitriol vert, avant de la traiter de nouveau pour alun.

Lorsque les eaux de lessivage contiennent une grande quantité de sulfate de fer, il est bon de commencer par en séparer une partie par cristallisation avant de précipiter l'alun. Dans ce cas, on doit faire évaporer le liquide jusqu'à ce qu'il ait atteint une densité de 1,40, puis, le transvaser dans les cristallisoirs en pierre. Lorsque le vitriol vert s'est séparé, on ramène le liquide à l'aide d'une pompe en plomb dans la cuve d'évaporation, et on le réduit de nouveau à la densité de 1,40. Si on y ajoute alors l'un des précipitants alcalins que nous avons énumérés plus haut, l'alun se séparera de cette solution concentrée, et se précipitera sous forme d'une poudre très fine, très facile à laver, et à purifier. Mais cette méthode exige plus de vaisseaux et plus de manipulations que la méthode précédente, et l'on ne doit y avoir recours que lorsque la nécessité le commande; de plus, il est à remarquer que la couperose ou vitriol vert, extraite en premier lieu des eaux de lavage, entraîne, ainsi que nous l'avons dit, une portion du sulfate d'alumine, et acquiert par là un aspect terne; tandis que celle qu'on retire des eaux mères après la séparation de l'alun, a au contraire un aspect brillant.

5° *Lavage ou édulcoration de l'alun en poudre*. L'alun pulvérulent et cristallin est d'une couleur brunâtre, ce qui tient à ce qu'il est sali par des eaux ferrugineuses; mais on peut faire disparaître cette couleur par un lavage avec de l'eau très froide qui ne dissout pas plus d'un dix-huitième de son poids d'alun. Après avoir bien agité ensemble la poudre et l'eau, on doit laisser déposer l'alun, et puis on décante l'eau de lavage; on procède ensuite à un second lavage qui rend l'alun presque pur, et même à un plus grand nombre, s'il est nécessaire. Moins on emploie d'eau, et mieux elle est décantée, plus l'opération est complète. La deuxième eau peut être employée au lieu d'eau pure, pour le premier lavage d'une portion de poudre d'alun non encore lavée, etc. Ces eaux de lavage sont toujours saturées d'alun et servent de nouveau dans le lavage de la poudre d'alun, à l'exception de la première eau de lavage qui est préalablement évaporée et donne du sulfate de fer par cristallisation.

6° *Cristallisation*. L'alun lavé est mis dans une cuve de plomb avec la quantité d'eau justement nécessaire pour le dissoudre à la température de l'ébullition : on chauffe et on facilite la dissolution en agitant. Lorsque la solution est arrivée à l'état de saturation, on la fait couler dans les cristallisoirs qu'on appelle en anglais *working casks*, et en français *masses*. Ce sont des tonneaux qui ont à peu près 1m,50 de haut, 0m,90 de large au ventre et un peu moins aux extrémités. Ils sont construits avec de très fortes douves en bois bien ajustées l'une contre l'autre, et maintenues par des cercles de fer épais, qu'on enfonce provisoirement de manière à pouvoir ensuite aisément les enlever, afin d'écarter les douves quand cela devient nécessaire. La dissolution concentrée forme pendant son refroidissement lent dans ces vaisseaux fermés une couche épaisse sur toutes les faces du tonneau, intérieurement tapissée de gros cristaux bien réguliers d'alun. Après huit ou dix jours, plus ou moins, selon le temps, on enlève les cercles et les douves, et on trouve une masse d'alun ayant la forme même du tonneau. L'ouvrier perce alors avec un pic, cette masse sur le côté près du fond, et donne issue à l'eau mère de l'intérieur, qui s'écoule sur les dalles en pente de l'atelier, et se rend dans un bassin destiné à la recueillir. On l'en retire ensuite pour l'ajouter à une nouvelle quantité de poudre lavée, et la faire ser-

vir à sa cristallisation. L'alun est immédiatement brisé en gros morceaux et mis à sécher dans un lieu convenable, puis emballé dans des tonneaux et porté au magasin, où il reste jusqu'à ce qu'il soit livré au commerce. Il se trouve quelquefois au fond du tonneau une petite quantité d'alun basique insoluble (sous-sulfate) qu'on y laisse, et qui, lorsqu'on y verse de nouveau les eaux mères, s'empare de leur acide sulfurique, ou bien qui étant mêlé directement avec une petite quantité d'acide sulfurique se convertit également en alun.

Lorsqu'au lieu de se servir de la potasse ou de ses sels, on emploie des sels ammoniacaux ou de l'urine putréfiée, on produit de l'alun ammoniacal qui est tout à fait semblable à l'alun de potasse par l'apparence et par les propriétés. Soumis à une douce chaleur, ils perdent l'un et l'autre leur eau de cristallisation.

A une température suffisamment élevée, l'alun ammoniacal perd son acide sulfurique et son ammoniaque, il ne reste plus que l'alumine pure, mais en cet état elle est insoluble dans les acides. L'alun ammoniacal se distingue facilement des autres aluns par l'odeur d'ammoniaque qu'il exhale lorsqu'on le triture avec de la chaux vive.

L'alun de Rome, extrait de l'alunite, possède la plupart des propriétés des aluns tirés des schistes alumineux, mais il présente quelques caractères particuliers; il cristallise toujours en cubes opaques, tandis que l'alun commun cristallise en octaèdres transparents. Il est probable que l'alun de Rome est un sulfate double d'alumine et de potasse combiné avec une petite quantité d'hydrate d'alumine. Il reste permanent lorsqu'on le dissout dans l'eau froide, car après une évaporation lente, il reprend sa forme cubique ; mais lorsqu'on le dissout dans de l'eau ayant une température supérieure à 40° centigr., ou bien lorsque sa dissolution est chauffée au-delà de ce point, il se précipite une petite quantité d'alun basique ou *alun alumine*, et par l'évaporation, on obtient des cristaux octaèdres d'alun ordinaire. La composition exacte de l'alun de Rome n'a pas encore été déterminée, du moins à notre connaissance, il diffère probablement aussi de l'alun ordinaire par la quantité d'eau de cristallisation qu'il renferme. L'alun de Rome contient, d'après MM. Thénard et Roard, seulement $\frac{1}{2200}$ de sulfate de fer, tandis que les aluns du commerce ordinaires en contiennent $\frac{1}{1000}$. Il peut être facilement purifié par la dissolution, la granulation, la cristallisation et le lavage, ainsi qu'il a déjà été expliqué.

L'alun se fabrique en France sur une grande échelle avec un sulfate d'alumine artificiel. Dans ce but, on choisit des argiles aussi exemptes que posssible de carbonate de chaux et d'oxyde de fer. On les calcine dans des fours à réverbère afin d'en chasser l'eau, de peroxyder le fer, et de rendre l'alumine plus attaquable par l'acide. L'expulsion de l'eau rend l'argile poreuse et capable d'absorber l'acide sulfurique par l'attraction capillaire. La peroxydation du fer rend celui-ci moins soluble dans l'acide sulfurique ; la silice de l'argile, par sa réaction sur l'alumine, diminue son agrégation et la rend plus facile à attaquer par l'acide sulfurique. L'argile doit en conséquence n'éprouver qu'une calcination modérée, et ne pas être réduite au degré de dureté de la poterie, car alors elle subit une espèce de fusion qui en condense les molécules et la rend très difficile à attaquer par les acides. On calcine ordinairement l'argile dans un four à réverbère dont on utilise les flammes perdues pour chauffer deux chaudières évaporatoires et un bassin destiné à l'attaque de l'argile calcinée par l'acide sulfurique. Aussitôt que l'argile chargée dans le four est devenue friable, on l'en retire, on la pulvérise, et on la passe au travers d'un tamis fin ; on met pour 100 parties d'argile pulvérisée, 45 parties d'acide sulfurique ayant pour densité 1,45 ; on mêle bien le tout ensemble dans un bassin de pierre voûté en briques. La flamme et l'air chaud d'un fourneau à réverbère sont dirigés le long de la surface du mélange de la manière que nous avons déjà décrite pour l'évaporation des liquides provenant du lessivage des schistes. On agite le mélange de temps en temps, et au bout de quelques jours on le retire, on le met à part dans un lieu bien chaud, et on laisse l'acide agir sur l'argile pendant six ou huit semaines. Au bout de cet intervalle, on doit le laver pour en extraire le sulfate d'alumine; ce lavage s'exécute comme ceux que nous avons décrits ci-dessus. Si l'on se propose de faire de l'alun de potasse, on évapore ce sulfate d'alumine jusqu'à la densité de 1,38. Mais si c'est de l'alun ammoniacal que l'on veut obtenir, la pesanteur spécifique doit être seulement de 1,24, parce que le sulfate d'ammoniaque étant soluble à froid, dans deux fois son poids d'eau, il donnera un précipité d'alun pulvérulent avec une solution plus faible de sulfate d'alumine qu'avec le sulfate de potasse, qui est moins soluble, et que par conséquent on ne peut employer en dissolution aussi concentrée.

L'alun est très employé dans les arts, et particulièrement dans la teinture, dans la fabrication des laques, la préparation des peaux de mouton, le collage du papier, pour clarifier les liquides, etc. La pureté de celui qui est destiné à la teinture peut être constatée par le prussiate de potasse qui donnera en quelques minutes à la solution d'alun une teinte bleue si elle contient la moindre trace de fer. La noix de galle est également un bon réactif pour signaler la présence du fer, quoiqu'un peu moins sensible que le précédent.

Quelques schistes pyriteux traités pour alun, et particulièrement celui de Whitby (Yorkshire), contiennent des quantités considérables de magnésie qu'on extrait des eaux mères de l'alun sous forme de sulfate. La majeure partie du sel d'Epsom, si généralement employé en Angleterre, provenait autrefois de cette source. Mais aujourd'hui on importe, dans ce pays, de grandes quantités de carbonate de magnésie naturel (magnésite) provenant de la Grèce, et on le convertit en sulfate par l'action de l'acide sulfurique. On extrait aussi des quantités très-considérables de sulfate de magnésie des eaux mères des salines du midi de la France.

Fabrication de l'alun à l'aide de l'acide sulfurique.— Nous avons vu comment le bas prix de l'acide sulfurique a conduit à la préparation du sulfate d'alumine à l'aide d'argiles pures, et surtout du kaolin, soit pour l'utiliser directement, soit pour l'employer à la fabrication de l'alun, système qui permettant d'extraire l'alumine d'un produit cristallisé, offre plus de garanties de pureté, d'absence de fer que la seule action de l'acide sur les argiles.

Nous avons vu que l'argile, qui à première vue paraît la source par excellence de l'alumine, était loin d'être le corps le plus avantageux dans tous les cas, par exemple pour la fabrication de l'aluminate de soude. On est arrivé en Angleterre à l'emploi d'une substance autre que l'argile pour la fabrication directe de l'alun à l'aide de l'acide sulfurique. M. Spener, qui a fait breveter ce procédé en 1845, emploie les schistes situés au-dessous des couches de houille dans le sud du Lancashire. Ce schiste, dont la couleur noire est due à la matière organique qu'il contient, est accumulé en tas de 0m,50 de hauteur, et calciné lentement à une température approchant à peine de la chaleur rouge; ce grillage a pour objet de rendre l'alumine du schiste soluble dans l'acide sulfurique. Une température trop élevée empêcherait la réalisation de ce but en provoquant une vitrification partielle, ce qui rendrait l'alumine tout à fait

insoluble dans l'acide. Cette calcination dure environ dix jours, et l'on ajoute journellement du schiste nouveau aux premiers tas. Après avoir été suffisamment calcinée, la matière est tendre, poreuse et d'un rouge brique pâle. Le schiste calciné est ensuite placé dans des cuves munies d'un couvercle et pouvant contenir chacune 20 tonnes de cette matière; on l'y fait digérer, pendant 36 à 48 heures, avec de l'acide sulfurique d'une densité de 1,35. On maintient le liquide à une température de 100°c. d'un côté en chauffant les cuves en-dessous, ou plutôt en faisant circuler à travers la masse liquide des tuyaux métalliques formant la cheminée d'un foyer placé près de chaque cuve, et de l'autre on y introduisant les vapeurs d'une chaudière contenant les eaux ammoniacales des usines à gaz. Les sels ammoniacaux volatils pénètrent dans les cuves et y sont décomposés par l'acide sulfurique; en ajoutant de la chaux dans la chaudière, on met en liberté l'ammoniaque que cette liqueur pourrait encore contenir à l'état de combinaison. La solution bouillante d'alun est ensuite écoulée dans les citernes, et l'on a soin de l'agiter continuellement pendant qu'elle se refroidit, afin de favoriser la formation de petits cristaux. On laisse égoutter la farine cristalline et on la lave avec les eaux mères des blocs d'alun; ces eaux contiennent une forte proportion de sulfate ferrique, et cependant les cristaux d'alun n'accusent aucune trace de fer.

Il est inutile d'observer combien ce travail de purification de l'alun par lavage se rapproche du raffinage des sucres; il est fondé sur les mêmes principes.

A cette opération en succède une autre qui consiste en une recristallisation rapide et qu'on nomme *roching*. M. Spence opère la redissolution par l'action de la vapeur seulement, et sans ajouter de l'eau comme dissolvant. On introduit les cristaux dans une trémie au fond de laquelle arrive un jet de vapeur qui les dissout rapidement, et qui doit être bien privée d'air, de telle sorte qu'elle se condense parfaitement à mesure que la dissolution se poursuit. En opérant ainsi, on peut dissoudre 4 tonnes de cristaux dans l'espace d'une demi-heure à trois quarts d'heure. La solution s'écoule directement dans un réservoir en plomb, où elle s'éclaircit par un repos de trois heures, en déposant en abondance une matière également insoluble dans l'eau et dans les acides, et qu'on suppose être une combinaison constituée par du sulfate d'alumine basique ou en renfermant. On écoule ensuite le liquide clarifié dans des tonneaux dont les fonds se composent de dalles, ayant chacun 1m,80 de diamètre, et dont les parois sont formées de douves mobiles de 2 mètres de long, qu'on maintient en place au moyen de cercles et de vis. Après un repos de 5 à 8 jours, on dévisse les cercles, on enlève les douves et l'on met à découvert une masse d'alun cristallisé ayant la forme du tonneau. On laisse de nouveau reposer pendant 8 jours, puis on perce un trou à une distance de 25 centimètres du fond, par où s'échappe une certaine quantité de liquide. Cette masse d'alun présente généralement 0m,45 d'épaisseur au fond et 0m,30 sur les côtés; elle contient 3 tonnes d'alun commercial, tandis que le liquide, qui en renferme encore une tonne, retourne aux chaudières et sert à une autre opération.

La moitié de la quantité totale d'alun fabriqué aujourd'hui en Angleterre (300 tonnes par semaine) est faite d'après le procédé qui vient d'être décrit, et l'on voit qu'il ne fournit que de l'alun ammoniacal. Cependant la substitution de l'ammoniaque à la potasse n'appartient pas d'une manière particulière aux fabricants qui emploient le procédé direct par l'acide sulfurique. Par suite de l'élévation, sans cesse croissante, du prix des sels potassiques, l'emploi de l'alcali volatil est aussi très-généralement répandu dans toutes les fabriques qui suivent l'ancienne méthode, en France, en Angleterre et en Allemagne.

Alumine-alun. — M. Barthe, ingénieur civil des mines, a eu l'idée de traiter par l'acide sulfurique l'alunite du Mont-Dore. On a donné le nom d'alumine-alun au produit ainsi fabriqué et qui permet, comme on le voit, d'après ce qui a été dit plus haut, de tirer un utile parti de l'alumine qui se trouve dans l'alunite associée à l'alun, et qui était perdue et était une cause de frais dans l'ancien procédé. Le produit définitif est formé d'un mélange d'alun potassique et de sulfate d'alumine, et remplace avec avantage l'une ou l'autre de ces deux substances dans la fabrication du papier. Il est aisé de voir, d'après la composition du minerai, que le rendement doit être considérable. En effet, 100 kilogrammes de minerai peuvent donner jusqu'à 200 kil. d'alumine-alun.

AMADOU. Nom donné en France à une substance combustible spongieuse appelée en allemand *Zunderschwamm*, qu'on prépare avec une espèce d'agaric ou de champignon (le *Boletus ignarius*) qui croit sur les vieux troncs des chênes, des frênes, des hêtres, etc. On doit le récolter dans les mois d'août et de septembre. On le prépare en enlevant avec un couteau l'enveloppe extérieure, et en séparant avec soin la substance spongieuse intérieure, qui a une couleur jaune brun, d'avec la substance ligneuse qui se trouve par dessous. On coupe la partie spongieuse en plaques minces, que l'on bat avec un maillet, pour les adoucir, jusqu'à ce qu'elles puissent se déchirer facilement avec les doigts. Dans cet état le *Boletus* est une substance précieuse pour arrêter les hémorrhagies lentes, et pour plusieurs autres emplois en chirurgie. Pour le convertir en amadou, il doit recevoir une dernière préparation qui consiste à le faire bouillir dans une forte dissolution de nitre, à le faire sécher, à le battre de nouveau, et à le mettre tremper une deuxième fois dans la dissolution. Quelquefois aussi pour le rendre très-inflammable, on l'imbibe avec de la poudre à canon, et c'est de là que vient la distinction entre l'amadou noir et l'amadou brun.

Depuis l'invention des allumettes chimiques, l'amadou qui formait avec le briquet de silex et d'acier le moyen par excellence d'obtenir du feu, a été complétement abandonné, sauf pour quelques fabrications de petite importance. Telle est celle de l'amadou destiné aux chasseurs et aux marins, pour se procurer du feu malgré le vent, et qui est formé de petites gouttes de la matière inflammable des allumettes déposées sur un petit rectangle d'amadou. Par frottement, l'inflammation de cette substance a lieu et se communique à l'amadou facilement combustible, sans flammes, et le vent ne saurait empêcher la combustion de se continuer.

Toutes les vesses du loup qui appartiennent au genre lycopode, et qui ont une structure charnue ou filamenteuse, fournissent un amadou tout de suite prêt si on les plonge dans de l'eau où l'on a délayé de la poudre à canon. Les Hindous font usage, dans le même but, d'une plante légumineuse qu'ils appellent *solu*. Cette plante a une tige épaisse spongieuse qu'ils réduisent en charbon qui prend feu comme l'amadou.

AMALGAMATION. C'est le nom d'un des procédés par lesquels on sépare en grand l'argent et l'or de quelques-uns de leurs minerais. Ce procédé repose sur la propriété qu'a le mercure de dissoudre et de liquéfier en quelque sorte ces deux métaux quand ils sont disséminés à l'état natif ou à l'état de chlorure dans les minerais, ce qui permet de les séparer ainsi de leurs matières terreuses par de simples lavages. (Voyez les articles MERCURE, ARGENT et OR.)

AMALGAME. Nom générique des alliages formés

par le mercure; ainsi les alliages de mercure et de cuivre, de mercure et d'étain, ... portent le nom d'amalgames de cuivre, d'étain, ... quelques-uns de ces amalgames sont très employés dans certaines industries (Voyez DORURE, ARGENTURE, et étamage des GLACES, etc...)

AMANDE (*angl.* almond; *all.* mandel). On distingue dans le commerce deux sortes d'amandes : les amandes douces et les amandes amères : les amandes douces servent à faire des dragées et du nougat; leur émulsion mêlée avec de l'eau d'orge et du sucre, forme l'orgeat; elles entrent dans beaucoup de préparations pharmaceutiques. On fait avec les amandes amères des massepains, des patisseries et des sucreries. Elles servent à préparer l'*amygdaline;* pour cela on écrase les amandes mondées, et on les soumet à une forte pression, dans des sacs en toile, après les avoir légèrement chauffées pour coaguler les matières mucilagineuses; on en sépare ainsi une huile fixe et onctueuse; enfin on traite à plusieurs reprises le résidu par de l'alcool absolu bouillant qui dissout l'amygdaline, et la laisse déposer par le refroidissement sous la forme de paillettes blanches et nacrées. Mais, si on écrase les amandes amères dans de l'eau, on obtient une dissolution laiteuse qui contient un ferment très soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool, et qui par sa réaction sur l'amygdaline donne naissance à de l'essence d'amandes amères que l'on reconnait de suite à l'odeur qui se dégage; aussi pour préparer l'amygdaline faut-il employer de l'alcool absolu. En distillant l'émulsion d'amandes amères, on obtient un mélange d'essence d'amandes amères ou *hydrure de benzoïle* et d'acide hydrocyanique. Les amandes douces ne présentent pas de phénomène analogue. Voici les résultats de l'analyse immédiate des deux espèces d'amandes :

	AMANDES DOUCES. d'après Boullay.	AMAND. AMÈR. d'après Vogel.
Pellicules.	5	8,5
Huile fixe.	54	28,0
Sucre incristallisable. . .	6	6,5
Gomme	3	3,0
Légumine et albumine. .	24	30,0
Fibres.	4	5,0
Eau, amygdaline et perte.	4	19,0
	100	100,0

AMANDES (huile d'). Voyez HUILES.

AMBRE GRIS (*angl.* amber gris; *all.* ambra). Sécrétion morbide du foie du cachalot (physeter macrocephalus), qu'on trouve ordinairement surnageant à la surface de la mer, sur les côtes de Coromandel, du Japon, des Moluques et de Madagascar. On en a quelquefois extrait du rectum des cachalots pêchés dans la mer du Sud. Sa couleur est d'un gris blanchâtre; il est souvent rayé de noir, ou marbré de jaune et de noir. Il a une odeur forte, mais assez agréable; une saveur graisseuse. Il est plus léger que l'eau, fond à 60° centigr., se dissout promptement dans l'alcool absolu, l'éther et les huiles grasses et volatiles. Il contient 85 pour 100 d'une substance inflammable appelée *ambréine*. On extrait celle-ci de l'ambre gris en le faisant digérer dans de l'alcool à la densité de 0,827, filtrant la solution et l'abandonnant à une évaporation spontanée. On l'obtient ainsi sous forme de houppes blanches et déliées, que l'acide nitrique convertit en acide ambréique. On fait usage de l'ambre gris dans la parfumerie.

AMBRE JAUNE ou SUCCIN (*angl.* amber; *all.* bernstein). Minéral solide d'une couleur jaune diversement nuancée, qui brûle entièrement avec flamme, et est formé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Sa pesanteur spécifique varie, d'après le docteur Ure, entre 1,080 et 1,085. Il devient négativement et puissamment électrique par la friction; à la flamme d'une bougie, il prend feu et se boursouffle considérablement en répandant une fumée blanche d'une odeur piquante, mais il ne coule pas. Le copal, qui lui ressemble sous plusieurs rapports, en diffère en ce qu'il est plus mou, et en ce qu'il coule par gouttes à la flamme; tandis que le *mellite*, ou *pierre de miel*, qui est un minéral de même couleur, devient blanc lorsqu'on le pose sur un charbon incandescent.

Le succin est d'une texture résino-vitreuse, sa cassure est conchoïdale et a un éclat vitreux. Il est parfaitement homogène; assez dur pour rayer le gypse et pour prendre un beau poli; toutefois il est rayé par le spath calcaire. Lorsqu'on distille du succin dans une cornue, le dôme de celle-ci se recouvre d'aiguilles cristallines d'acide succinique, et il passe dans le récipient une huile essentielle. Les résines fossiles, telles que celles de Highgate, qu'on a trouvées dans la formation argileuse de Londres, ne donnent point d'acide succinique par la chaleur, le copal non plus. On trouve parfois du succin ayant une couleur blanchâtre ou brunâtre.

On ne rencontre le succin ni en lits continus, comme les silex de la craie, ni en veines, mais en fragments ou rognons isolés, de grosseur variable, très souvent accompagnés de pyrites et disséminés dans des sables, des argiles ou des lignites, appartenant à la formation de l'*argile plastique*.

Le succin nous vient principalement des bords de la mer Baltique. Il se trouve quelquefois interposé en plaques minces entre les couches de lignites, plutôt près de l'écorce des lignites fibreux provenant de végétaux dicotylédons, qui ont conservé la texture ligneuse que vers le milieu du tronc de l'arbre; position qui est analogue à celle des matières résineuses sécrétées par nos végétaux actuels; on est donc porté à lui attribuer une origine analogue.

Quelques échantillons de succin présentent à leur surface des empreintes de mailles irrégulières, indiquant une espèce de rétrécissement pendant la consolidation, et par conséquent une matière qui a été à une certaine époque fluide, visqueuse, ou du moins molle.

Les différents corps qui se trouvent renfermés dans le succin et qu'on peut distinguer à cause de sa transparence, démontrent, en effet, de la manière la plus convaincante, son état primitif de liquidité ou de molesse. Ces corps ont longtemps exercé le talent des naturalistes. Ce sont généralement des insectes, ou des restes d'insectes, et quelquefois des feuilles, des pétioles, ou d'autres portions de végétaux. Certaines familles d'insectes s'y rencontrent plus abondamment que d'autres. Ainsi, celles des *Hyménoptères*, insectes à quatre ailes membraneuses nues, comme l'abeille, la guêpe; et celle des *Diptères*, insectes munis seulement de deux ailes, comme les moucherons, les mouches, les taons, etc., sont les plus fréquentes; viennent ensuite la tribu des araignées; quelques *Coléoptères*, (insectes armés d'écailles crustacées, ou d'élytres qui se joignent ensemble et forment une suture longitudinale sur le dos), ou des *Scarabées;* principalement de ceux qui vivent sur les arbres, tels que les *Élatérides*, ou les sauteurs, et les *Chrysomélides*. Les *Lépidoptères*, insectes ayant quatre ailes membraneuses, ainsi que les *Ptérigostes* qui sont recouverts d'écailles en forme de mailles, se rencontrent rarement dans le succin. On voit par cette énumération qui résulte des travaux de Germar de Schweiger, etc., que les insectes qui se trouvent enveloppés dans cette matière résineuse sont en général ceux qui se tiennent sur les troncs des arbres ou qui vivent dans les fissures de leur écorce. Jusqu'à présent, néanmoins, on n'a pu encore parvenir à les rapporter à des espèces vivantes; mais on a observé, qu'en général, ils

ressemblent plus aux insectes des climats chauds qu'à ceux des zones tempérées.

Les districts où le succin se rencontre dans des conditions convenables pour donner lieu à des travaux de mines ne sont pas en grand nombre ; mais les localités où on le trouve en petits morceaux dispersés sont très nombreuses. On le recueille principalement dans la Poméranie prussienne, sur les côtes de la mer Baltique, entre Mémel et Dantzick, et particulièrement, dans le voisinage de Kœnigsberg, le long du rivage, entre Grossdirschheim et Pillau, et sur divers autres points près de Dantzick.

On le ramasse sur cette côte de plusieurs manières : 1° Dans les lits de petits ruisseaux qui coulent près des villages où on le trouve en fragments arrondis sans écorce, ou bien dans les bancs de sable des rivières, en galets, rejetés par la mer et arrondis par les vagues. 2° Si les morceaux qui sont soulevés par les eaux ne sont pas nombreux, des pêcheurs, revêtus d'habits de peau, entrent dans la mer, ayant de l'eau jusqu'au cou, ils cherchent à découvrir le succin en regardant à travers la surface, et le saisissent avec des filets en forme de sacs, attachés à l'extrémité de très longues perches. Ils concluent que la mer a détaché une grande quantité de succin de la falaise, lorsqu'ils voient beaucoup de morceaux de lignites surnager. Cette manière de se procurer le succin, n'est pas exempte de danger ; c'est pourquoi les pêcheurs, s'avancent en troupes dans l'eau, afin de se porter mutuellement secours en cas d'accident ; mais malgré toutes ces précautions leur succès est très précaire. 3° La troisième méthode pour se procurer le succin est une véritable exploitation à ciel ouvert, qui consiste à creuser dans les dunes de sable des fossés qui atteignent quelquefois 40 à 50 mètres de profondeur. 4° Le dernier procédé consiste à explorer en bateaux les falaises escarpées, et à en détacher les masses de terre peu adhérentes ; on fait usage pour cela de longues perches terminées par des crochets de fer, ce qui est encore un moyen fort hasardeux ; on explore avec un grand soin la roche au niveau où se trouvent ordinairement les nodules de succin, et on enfonce les crocs partout où l'on aperçoit des fissures. Dans ce travail, les bateaux vont quelquefois se briser contre les rochers, ou sont coulés bas par une avalanche de terres ou de quartiers de roches éboulées.

Le succin se rencontre en Sicile, disséminé dans les couches d'argile ou de marne qui reposent sous le calcaire grossier. Il y est accompagné de bitume ; et quoique le dépôt soit peu riche, on l'exploite néanmoins pour le commerce. Les morceaux sont recouverts d'une espèce d'écorce blanchâtre, ils sont variés en couleurs et renferment beaucoup d'insectes. Le succin se trouve encore dans un très grand nombre de localités des districts sablonneux de la Pologne, à une très grande distance de la mer ; il est là mêlé a des pommes de pin. On le trouve également en Saxe, dans le voisinage de Pretsch et de Wittemberg ; dans une couche d'argile bitumineuse mêlée à du liguite, à l'embouchure du Jenissey (Sibérie) ; il en est de même au Groënland ou il accompagne aussi le lignite.

Les beaux morceaux de succin sont très estimés pour la fabrication de certains objets d'ornement ; les échantillons de moindre valeur trouvent leur emploi en chimie, en médecine, et dans certains arts. Les Orientaux font plus de cas que les Européens des bijoux en succin ; c'est pourquoi la plus grande partie de l'ambre jaune, recueilli en Poméranie, se vend en Turquie. On dit que le gouvernement prussien tire de ce minéral un revenu annuel de 85,000 à 90,000 fr. Un morceau du poids d'un demi-kilogr. vaut 250 fr. Il n'y a pas longtemps, on en a trouvé en Prusse, un échantillon pesant 12 kilogr. 1/2, pour lequel on a offert 25,000 fr., et qui, d'après l'opinion de marchands arméniens rapporterait à Constantinople, de 150,000 à 200,000 fr. Autrefois, on avait l'habitude de faire chauffer les morceaux de succin opaques, à une douce chaleur dans le sable, pendant plusieurs heures, afin de les rendre transparents, ou bien on les mettait tremper pour le même but dans de l'huile de navette chaude ; mais rien n'indique jusqu'à quel point ces procédés pouvaient être avantageux.

Lorsque le succin doit être travaillé en bijoux, on le dresse d'abord sur le tour, contre une plaque de plomb (voyez taille des *pierres gemmes*) ; ensuite, on lui donne diverses formes avec une pierre à aiguiser, de Suède. On le polit sur le tour avec de la craie et de l'eau ou avec une huile végétale, et on lui donne le fini en le frottant avec de la flanelle. Pendant ces opérations, le succin est susceptible de devenir très électrique, de s'échauffer considérablement, et même de voler en éclats ; c'est pourquoi les artistes ne travaillent leurs pièces qu'aussi longtemps de suite, qu'elles ne se sont que peu échauffées. Les ouvriers éprouvent souvent des tremblements nerveux dans les poignets et dans les bras, provenant de l'électricité qui se dégage par le frottement. Des morceaux de succin peuvent être proprement réunis ensemble, en passant sur leurs bords une couche d'huile de lin, et en les pressant fortement l'un contre l'autre ; tandis qu'on les tient au-dessus de charbons de bois incandescents. Il existe dans le garde-meuble de la couronne, à Dresde, des échantillons de succin solide qu'on dit avoir été complétement fondus par une application particulière de la chaleur.

On obtient un vernis fort et durable en dissolvant du succin dans de l'huile de lin siccative. Il faut, toutefois, pour cela, que le succin soit préalablement chauffé dans un pot de fer, sur un feu clair, jusqu'à ce qu'il soit ramolli ou à demi-liquéfié. On verse alors l'huile siccative (625 gram. d'huile pour un kilogr. de succin) chauffée d'avance, et on agite vivement. Après que les deux substances se sont complétement incorporées, et que le liquide est un peu refroidi, on ajoute 1 kilogr. d'essence de térébenthine. On dit que le vernis noir fin des carrossiers, se prépare en fondant 1 kilogr. de succin dans un pot de fer, ajoutant un tiers de litre d'huile de lin siccative bouillante, 190 gram. de résine en poudre et autant d'asphalte ; après avoir bien malaxé le tout sur le feu, on le retire, on laisse refroidir pendant quelque temps, et on y verse deux tiers de litre d'essence de térébenthine chaude.

L'huile de succin, entre dans la composition d'un ancien article de parfumerie, connu sous le nom d'*eau de Luce*. Elle se convertit par l'action d'une petite quantité d'acide nitrique concentré, en une masse visqueuse analogue à la poix des cordonniers, qui exhale une forte odeur de musc, et qui, sous le nom de musc artificiel, a été prescrite, en solution alcoolique, comme un remède contre la coqueluche, et contre d'autres maladies spasmodiques.

L'acide du succin (acide succinique) est à l'état de sel ammoniacal employé dans la chimie analytique comme un réactif très délicat pour séparer le peroxyde de fer d'un grand nombre d'autres oxydes métalliques.

AMBRE LIQUIDE (*angl.* liquid amber). L'ambre liquide provient d'un arbre appelé *liquidamber styraciflua*, qui croît au Mexique, dans la Louisiane et dans la Virginie. Quelques échantillons de ce liquide ont la fluidité de l'huile ; d'autres sont aussi épais que la térébenthine. Il est transparent, a la couleur de l'ambre, exhale une odeur forte, et possède une saveur aromatique et piquante. Il se dissout presque entièrement dans l'alcool. Il renferme une grande quantité d'acide benzoïque.

AMIANTE, ASBESTE, substance minérale qui se rapporte généralement par sa composition à l'*amphi-*

voie, et est très remarquable par sa flexibilité, son éclat soyeux, sa texture fibreuse, et un arrangement moléculaire tel qu'on la confondrait aisément, quant à ses propriétés extérieures, avec la soie ou le lin. Les caractères de ce corps inorganique, incombustible et très difficilement fusible, ont toujours beaucoup attiré l'attention. On s'est souvent proposé d'en faire des étoffes, et on est parvenu à le filer et à le tisser, soit seul, soit, ce qui est bien plus facile, en le mélangeant avec du coton, dont on se débarrasse ensuite en passant l'étoffe au feu. On en a aussi fait du papier. Mais les filaments d'amiante ne sauraient avoir l'élasticité ni la propriété de se feutrer comme du coton ou du fil ; et les produits qu'ils donnent présentent, sous le rapport de la solidité et de la durée, une grande infériorité, ce qui joint au peu d'abondance de la matière première et aux difficultés qu'elle présente à la mise en œuvre, suffit pour expliquer leur rareté et leur peu d'emploi. Il est cependant extraordinaire que l'amiante n'ait pas encore reçu d'applications importantes ; il est très probable que cela aura lieu quelque jour, surtout en vue de recevoir les métaux fusibles à une haute température, dans des circonstances analogues à celles que nous rapporterons à l'article FONDERIE EN CARACTÈRES *par procédé mécanique*, pour fondre le cuivre dans des moules métalliques.

On a proposé de faire avec l'amiante des mèches de lampes, qui ne seraient pas susceptibles de se charbonner. On l'emploie comme éponge pour retenir l'acide sulfurique concentré dans les briquets dits *oxygénés* (voyez ALLUMETTES).

AMIDON, FÉCULE (*angl.* starch; *all.* stærke). L'amidon ou fécule est une poudre blanche formée de granules sphéroïdes, ovoïdes, ou plus ou moins allongés, suivant la nature et l'âge de la plante qui les a produits. On peut l'extraire : 1° des grains de toutes les plantes acotylédones, et par conséquent des blés et autres graminées ; 2° d'un grand nombre de racines ou tubercules charnus, tels que les pommes de terre, les *convalvulus batatas* et *edulis*, l'*helianthus tuberosus*, le *jatropha manichot*, etc., qui en contiennent une quantité très considérable ; 3° des tiges de plusieurs plantes monocotylédones, particulièrement du palmier qui donne le *sagou*, et 4° des racines d'*inula helenium*, des *dahlias*, de la plupart des plantes de la famille des radicées et de quelques espèces de lichens. L'amidon qui provient de cette quatrième catégorie porte le nom d'*inuline*. L'*inuline* a la même composition chimique que l'amidon ordinaire, et à peu près les mêmes propriétés ; on la distingue en ce qu'elle prend par la teinture d'iode une teinte jaune ou brunâtre, tandis que l'amidon est coloré en bleu ou en violet.

On donne plus particulièrement le nom d'*amidon* à celui retiré des céréales, et celui de *fécule* à l'amidon extrait des pommes de terre. Nous décrirons successivement leur mode de préparation et leurs usages.

AMIDON. Les matières d'où l'on extrait l'amidon livré au commerce, sont ordinairement les farines des céréales et les remoulages de ces farines. On peut encore, sans inconvénient, se servir de farines altérées, car tandis que le gluten, l'albumine et le sucre qui s'y trouvaient ont été décomposés en tout ou en partie, l'amidon y est resté presque en totalité intact.

On emploie deux procédés différents pour séparer l'amidon du gluten; l'un, le plus ancien, surtout en usage dans l'ouest de la France, consiste à altérer profondément les farines par une longue fermentation ; le gluten devient soluble et l'on peut alors facilement, mais non sans perte, en séparer l'amidon. L'autre procédé, plus nouveau, évite les longueurs, l'insalubrité et les pertes occasionnées par une fermentation putride, et n'exige en retour qu'un peu plus de main-d'œuvre ; le rendement en amidon est d'ailleurs plus considérable, et le gluten intact peut servir à différents usages.

Le premier procédé consiste à prendre des grains grossièrement concassés, ou des remoulages de farines, et à les mettre tremper dans de grandes cuves avec de l'eau ordinaire à laquelle on ajoute un huitième à un dixième d'eaux sûres, provenant des opérations précédentes. Ces eaux, rendues acides par la production d'un peu d'acides acétique et lactique, provenant de la fermentation du sucre que contiennent toujours les farines, renferment en outre des matières organiques qui servent de levain pour déterminer ou activer la fermentation. Il faut de 2 à 4 semaines, suivant la température, pour rendre le gluten entièrement soluble; les eaux contiennent alors des acides carbonique, sulfhydrique, acétique et lactique, de l'acétate d'ammoniaque, des matières azotées, du phosphate de chaux, de la dextrine et du gluten soluble. La fermentation terminée, on lave à plusieurs reprises successives, par repos et décantation, pour enlever le gluten, les autres parties solubles et les substances très divisées en suspension. Quand la dernière eau sort claire, on délaie de nouveau l'amidon brut dans de l'eau pure, et on le passe à travers un tamis grossier en crin ou en toile métallique, qui retient les débris de tissu végétal et la plupart des matières étrangères insolubles. Un second tamisage, au travers d'un tamis de soie plus fin que le précédent, épure plus complétement l'amidon. On le laisse ensuite déposer ; et avec une spatule, on enlève la couche supérieure qui contient encore du son et quelques substances brunes légères qu'on relave avec une nouvelle quantité d'amidon brut. L'amidon épuré, et qui doit être d'une blancheur éclatante, est égoutté dans des caisses percées de trous, ou des paniers intérieurement recouverts d'une toile, et qui ont ordinairement $0^m,50$ de long, $0^m,34$ de large et $0^m,28$ de profondeur. On complète l'égouttage en renversant les pains sur une aire en plâtre qui absorbe une partie de l'humidité; puis on les divise en pains de moindre dimension, que l'on expose pendant vingt-quatre à trente-six heures dans un séchoir à air libre, jusqu'à ce que leur surface commence à s'écailler légèrement ; on les enveloppe alors dans du papier maintenu par de la ficelle, et on termine la dessiccation dans une étuve à courant d'air chaud, où la température, graduellement croissante, ne doit pas dépasser dans le commencement 40° centigrades, mais qui vers la fin peut sans inconvénient être portée à 50, 60 et même 80°, sans aucun inconvénient. Les aiguilles obtenues sont d'autant plus grandes que les pains sont plus gros, et proviennent du retrait régulier qui s'opère dans la masse quand la dessiccation est bien ménagée.

Le second procédé, que l'on suit pour préparer l'amidon, est dû à M. Émile Martin, de Vervins, et consiste à faire une pâte de la matière dont on veut extraire l'amidon, et à soumettre cette pâte à un lavage continu sur un tamis en toile métallique n° 120. On obtient d'une part, dans le liquide, l'amidon en suspension et la matière sucrée dissoute; de l'autre, sur le tamis, le gluten sans altération, si l'on opère sur de la farine de froment de bonne qualité.

La pâte se fait de la même manière que pour la confection du pain, en ajoutant à la farine environ 40 pour 100 de son poids d'eau. On laisse reposer la pâte pendant une demi-heure en été, et une heure ou deux en hiver, avant de la laver, afin de bien hydrater le gluten. La pâte faite avec les farines les plus belles peut être lavée vingt minutes après sa confection en été, les farines très grossières exigent un temps plus long, et qui peut varier de deux à six heures.

Le lavage de la pâte se fait sur une cuve à eau convenablement disposée et proportionnée au nombre de laveurs qu'on veut employer. Au-dessus d'elle est placé un tamis métallique n° 120, doublé pour plus de soli-

dité d'une toile n° 15, et ayant des rebords de 20 centimètres à peu près. Enfin au-dessus de ce tamis, un tube terminé en pompe d'arrosoir projette de nombreux filets d'eau très fins sur presque toute sa surface, et un robinet, qui alimente ce tuyau, règle à volonté l'écoulement.

Le laveur ou la laveuse prend un morceau de pâte de 4 à 5 kilogr. et le présente sous le tube; puis le posant sur le tamis, il le malaxe avec les deux mains, d'abord doucement, puis à mesure que le gluten se forme en filaments, avec plus de vivacité, jusqu'à ce que l'eau cesse de s'écouler blanchâtre.

Si la matière première n'est pas assez riche en gluten pour former avec l'eau une pâte liante, ce qui est le cas des recoupes et des sons gras, l'ouvrier la délaie sur le tamis et l'y promène avec une brosse molle, de manière à la laver aussi complétement que possible; l'opération terminée, il ferme le robinet, fait égoutter la matière en la pressant légèrement avec la main, la jette dans un baquet, et recommence une nouvelle opération.

L'eau qui tombe sous le tamis entraîne tout l'amidon que contient la pâte. Le liquide est d'un blanc laiteux parfait, si la matière employée est riche; mais comme il renferme toujours une petite quantité de gluten, on le soumet, dans une chambre chauffée à 20° centigrades environ, à une fermentation de vingt-quatre heures, aidée par le levain que produit l'espèce d'écume ou de levure de l'opération précédente.

On purifie et on dessèche l'amidon de la même manière, et en suivant les mêmes précautions que nous avons indiquées pour l'ancien procédé.

On peut par ce moyen retirer du froment de bonne qualité jusqu'à 50 pour 100 de bel amidon; tandis que par l'ancien procédé, on n'en obtiendrait, toutes choses égales d'ailleurs, que de 35 à 40 pour 100.

Pendant l'épuration de l'amidon, on obtient en outre de l'amidon un peu impur qui, égoutté et desséché, donne 10 pour 100 environ d'amidon de deuxième qualité, d'un très bon emploi pour apprêter les étoffes de couleur, surtout les nuances foncées et grises. Dans quelques amidonneries on fait de la bière avec ce produit pâteux saccharifié par l'orge germé.

Le gluten frais obtenu forme à peu près le quart de la farine employée. Des expériences dues à M. Robine, portent à croire que les pommes de terre seules, bouillies et mélangées avec une certaine quantité de gluten, qui en ferait un pain artificiel en augmentant leur qualité nutritive, formeraient un aliment économique et d'une bonne qualité.

Le gluten frais et pur peut encore servir à la fabrication du vermicelle. En y ajoutant assez de farine pour le durcir, on peut obtenir d'aussi bonne pâte à macaroni qu'en employant les plus belles farines de blés d'Asie. La quantité de farine doit être calculée de façon à conserver la consistance du vermicelle au délayage. On se sert le plus souvent du gluten ainsi obtenu pour nourrir les bestiaux et surtout les porcs; le gluten de 500 kil. de farine, pétri avec 75 kilogr. de son, donne 200 kil. de pain. Les animaux le mangent avec plus de plaisir encore si on ajoute à la pâte un peu de sel ou de mélasse de betteraves.

Le gluten frais se conserve sans altération vingt quatre à trente-six heures pendant l'été, et deux ou trois jours en hiver; le seul moyen de le conserver plus longtemps consiste à le dessécher à une douce température.

FÉCULE. Après la fabrication du sucre de betteraves, l'extraction de la fécule des pommes de terre est, en France, l'une de nos industries agricoles les plus importantes. On peut s'en faire une idée exacte, en se rappelant que ce produit d'une conservation extrêmement facile, peut jusqu'à un certain point, remplacer la farine du blé et met ainsi les pays qui cultivent la pomme de terre à l'abri de toutes chances de disette, en réalisant le vœu du célèbre *Parmentier*, qui voulait qu'en rendant susceptibles de conservation les pommes de terre ou leurs produits, on pût résoudre cette grande question des réserves; *faire venir les années d'abondance au secours des années de disette*.

Outre son mélange avec les farines dont elle augmente la blancheur, la fécule sert à la confection du vermicelle, de pâtes dites *semoules*, *tapioka*, *gruau*, *polenta*, et d'une foule d'autres préparations alimentaires; enfin, ses transformations diverses en *sucre de raisin*, *sirops*, *mélasses*, *vin*, *bière*, *boissons diverses*, *alcool*, *vinaigre*, etc., lui ouvrent chaque jour de plus grands et de nouveaux débouchés. La meilleure variété de pommes de terre à employer dans la fabrication de la fécule est celle connue sous le nom de *patraque jaune;* en général les pommes de terre renferment de 15 à 24 pour 100 de fécule sèche et 3 pour 100 au plus de tissu cellulaire; le reste se compose d'eau et de quelques sels particuliers.

Dans une grande usine on est obligé de conserver des quantités considérables de pommes de terre pour pouvoir marcher une grande partie de l'année; on emploie à cet égard les mêmes procédés que pour la conservation des betteraves. Voyez SUCRE (fabrication du).

Rien n'est plus facile que l'extraction de la fécule; il suffit en effet pour l'obtenir, de réduire par un moyen quelconque la pomme de terre en pulpe très fine, et de laver celle-ci sur un tamis métallique; la fécule entraînée par l'eau, traverse le tamis, tombe dans une cuve placée au-dessous et s'y rassemble au fond par le repos. La pulpe épuisée, au contraire, reste sur le tamis et peut servir à différents usages, notamment, à la nourriture des bestiaux. Enfin la fécule est épurée d'une manière analogue à l'amidon.

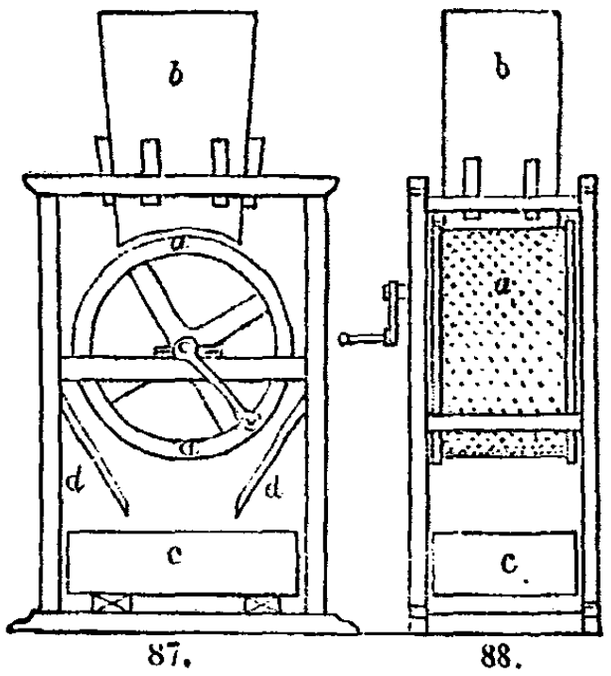
La fabrication de la fécule propre à être versée dans le commerce se compose de 7 opérations distinctes savoir :

1° Lavage des tubercules.
2° Râpage des tubercules.
3° Tamisage de la pulpe.
4° Lavage de la fécule brute.
5° Egouttage de la fécule lavée.
6° Dessiccation de la fécule.
7° Blutage de la fécule, mise en magasin, etc...

Le lavage des tubercules s'exécute à la main, ou mieux dans un trommel ou cylindre à claire-voie tournant, autour d'un axe horizontal dans une auge remplie d'eau jusqu'au niveau de l'axe. Ce trommel se compose de deux joues circulaires, réunies sur leur pourtour par des barres en bois, convenablement espacées; de manière à former une grille à travers laquelle les pommes de terre ne puissent passer.

Les tubercules lavés sont réduits en pulpe à l'aide d'une râpe représentée figures 87 et 88. *a*, est un tambour en bois recouvert d'une feuille de tôle, rendue tranchante sur toute sa surface, au moyen des rebords qui entourent des milliers de trous faits à l'emporte-pièce du côté opposé. On charge les pommes de terre dans la trémie *b*, où coule constamment un petit filet d'eau, afin de nettoyer la surface de la râpe que l'on fait tourner à l'aide de la manivelle fixée sur son axe. La pulpe tombe sur les plans inclinés *d*,*d*, et de là dans la caisse *c* qui est mobile et que l'on change lorsqu'elle est pleine. Avec une telle machine, mue par deux hommes relayés par un troisième, on peut râper en douze heures de 2 1/2 à 3 tonneaux de pommes de terre. Lorsqu'on opère en grand on emploie pour râpe ou *cylindre dévorateur*, un cylindre de 50 centimètres de diamètre sur 40 à 50 centimètres de long garni à sa circonférence d'un grand nombre de lames de scie, dentées très court et très régulièrement à la mécanique, posées parallèlement à l'axe, et séparées par des tasseaux en fer. Ces cylindres mus par une roue hydraulique ou un manége à chevaux qui

dessert tout l'atelier, doivent être animés d'une très grande vitesse et font en général de 600 à 900 tours par minute.



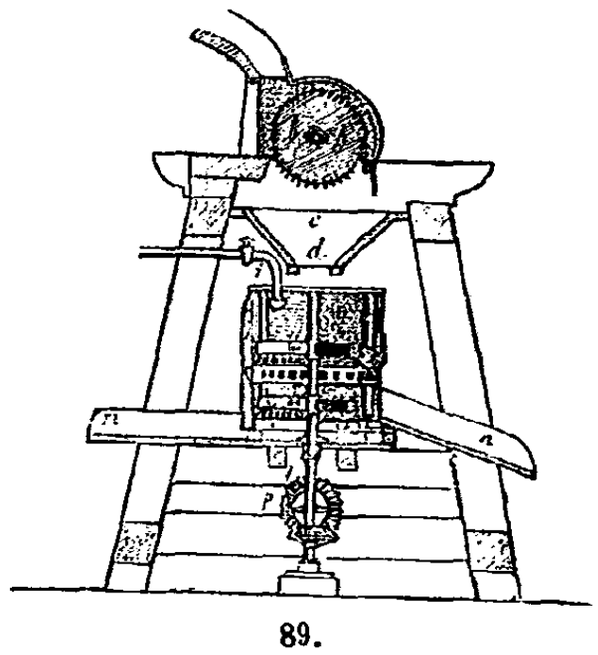
87. 88.

Un seul cylindre des dimensions ci-dessus et faisant 800 à 900 tours par minute peut réduire en pulpe 16 à 18 hectolitres de tubercules par heure.

Le but de la *réduction en pulpe* étant de *déchirer le plus grand nombre possible des cellules végétales qui renferment tous les grains de fécule*, les meilleures râpes sont celles qui donnent la pulpe la plus fine.

La pulpe obtenue est lavée soit à la main, soit mécaniquement. Le lavage à la main se fait sur un tamis métallique, absolument comme nous l'avons décrit plus haut en parlant de la fabrication de l'amidon.

Lorsque l'on opère plus en grand, on emploie pour le lavage mécanique, l'appareil de M. Saint-Etienne; cet appareil qui est mis en mouvement par un manége, se compose (fig. 89) d'un cylindre vertical E formé de trois tamis superposés. Un axe *q* mis en mouvement par



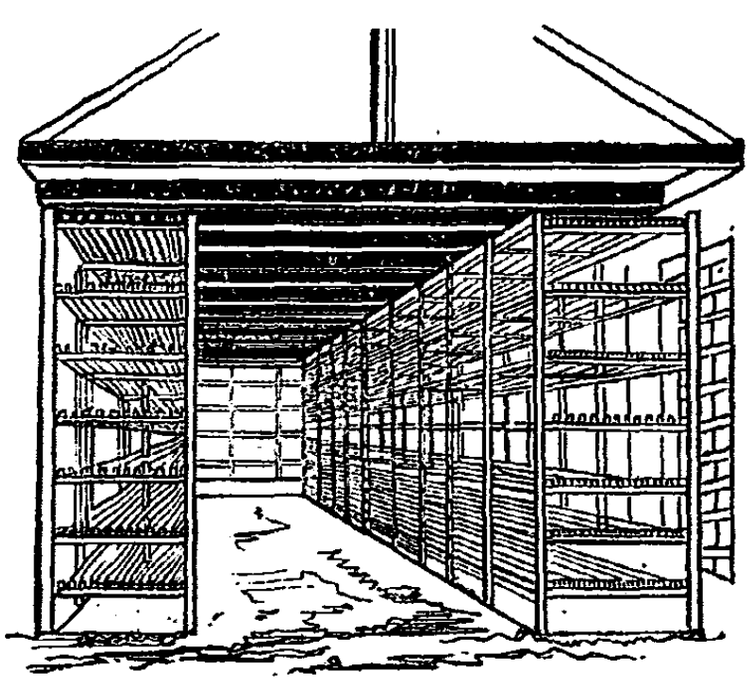
89.

l'engrenage conique *p* et qui est armé d'ailettes munies de brosses mobiles, tourne sur lui-même, au milieu du cylindre, avec une grande vitesse. La pulpe arrive avec une certaine quantité d'eau, de la râpe *bb*, par le tuyau *f*, sur le tamis supérieur, où elle est soumise à l'action mécanique de brosses, animées d'une très grande vitesse et laisse la plus grande partie des matières cellulaires qui la composent, tandis que la fécule passe successivement sur les deux autres tamis qui sont de plus en plus serrés, et y abandonne une nouvelle partie de ses impuretés. L'eau qui a traversé les tamis entraîne la fécule par le canal *m* dans une série de tonneaux de bois où elle se dépose. Des portes pratiquées dans le cylindre laveur permettent de retirer la pulpe dès qu'elle est épuisée; on la jette alors de côté et on la remplace par de la pulpe nouvelle. Le tamisage de la fécule se fait aussi à travers les parois du cylindre, qui sont formées de toiles métalliques. La pulpe ainsi traitée, n'est pas complétement épuisée et retient toujours de 2 à 5 p. 100 de fécule; cela tient à ce que toutes les cellules n'ont pas été déchirées; on la soumet de nouveau à l'action d'une râpe plus fine que la première, spécialement employée pour cet objet et on la lave de nouveau.

Pour de grandes exploitations on emploie des râpes séparées et de longs tamis cylindriques qui permettent de prolonger le lavage en opérant sur de grandes proportions. (Voyez FÉCULE.)

Quel que soit le mode d'extraction que l'on ait employé, la fécule se rend avec l'eau ayant servi au tamisage dans une série de tonneaux où on la laisse reposer pendant deux ou trois heures et où elle se dépose : on décante le liquide surnageant; on agite bien la fécule avec son volume d'eau pure; et on passe dans un tamis très fin tout le mélange liquide. Le sable et les matières terreuses plus lourdes que la fécule sont restées dans les tonneaux; une partie des débris du tissu cellulaire reste sur le tamis. On répète ce lavage à une ou deux reprises en se servant à chaque fois de tamis de plus en plus fins. Enfin comme il reste toujours quelques impuretés qui sont plus légères que la fécule et qui par conséquent ne se déposent, qu'en dernier lieu, on enlève mécaniquement sur une certaine épaisseur la superficie du dépôt, à l'aide d'une racloire en fer-blanc. La partie ainsi enlevée doit être soumise à un nouveau lavage, lorsqu'on en a réuni une certaine quantité.

La fécule qui s'est déposée après le dernier lavage est en masse assez dure, pour qu'on puisse la couper en morceaux ou pains d'un volume déterminé, que l'on porte dans des paniers légèrement coniques, intérieurement garnis de sacs en toile, et que l'on y tasse par quelques secousses. Après vingt-quatre à trente-six heures, la fécule a pris assez de consistance pour qu'on puisse retirer les pains et les renverser sur une aire en plâtre, de 20 à 30 centim. d'épaisseur, qui forme ordinairement le plancher du séchoir à air libre et qui, en très peu de temps, absorbe toute l'eau encore apparente. Après vingt-quatre heures environ d'exposition sur le plâtre, on la porte dans un séchoir à air libre (fig. 90),



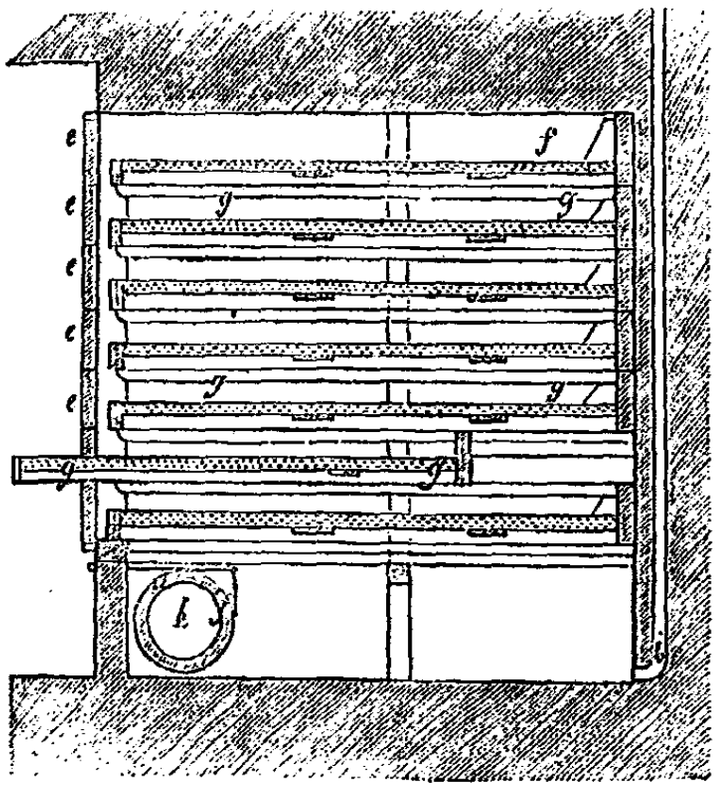
90.

vaste, bien aéré et garni à l'entour de persiennes qui permettent de régler l'affluence de l'air; le séchoir pro-

AMIDON.

prement dit, se compose de plusieurs séries de montants verticaux, qui soutiennent des traverses sur lesquelles des tringles horizontales espacées de 2 à 3 centim., forment des planchers à claire-voie superposés qui reçoivent les pains de fécule et laissent circuler l'air atmosphérique.

Enfin le séchage de la fécule se termine dans un séchoir ou étuve à courant d'air chaud (fig. 91).



91.

Le tuyau *h* d'un bon calorifère amène l'air chaud à la partie inférieure du séchoir; ce dernier après avoir circulé au-dessus des 7 tiroirs *f, f,* sur lesquels on place la fécule à dessécher, s'échappe chargé d'humidité par la cheminée d'appel *b*.

Les tiroirs *f, f* sont des châssis en bois tendus de toile qui glissent sur les tasseaux *g, g;* leurs rebords ne sont en saillie que d'un pouce au-dessus de la toile, excepté à leur face antérieure qui a 4 pouces de hauteur, afin qu'elle ferme comme un tiroir chaque ouverture par laquelle on introduit le châssis; la fig. 91 fait aisément comprendre cette forme; on voit que tous les châssis à tiroirs étant placés, la devanture est entièrement close, tandis qu'à l'intérieur il reste entre tous les lits de fécule environ 3 pouces d'espace libre pour la circulation de l'air chaud. Les châssis du premier rang en bas ont un fonds plein afin qu'ils ne perdent rien de la fécule qui passe au travers des fonds en toile des châssis superposés.

On ne porte habituellement la fécule à l'étuve qu'après qu'elle a perdu de 6 à 10 et quelquefois 15 centièmes de son poids d'eau; on la rend pulvérulente en la frottant légèrement entre les mains ou à la pelle, puis on l'étend en couche d'un pouce environ sur chaque châssis que l'on pose ensuite chacun à sa case.

Des bandes en fer-blanc doublées de lisières en drap, couvrent les joints extérieurs entre les tiroirs. Des taquets en bois *e, e,* les maintiennent; il est important que la température de l'air dans l'étuve ne s'élève pas au delà de 55° surtout lorsque la fécule y est portée très humide, car tous les grains se gonfleraient, seraient déchirés et adhéreraient les uns aux autres de manière à former des grumeaux que l'on ne pourrait plus ramener à la forme commerciale.

On s'assure aisément de l'avancement de la dessiccation en ouvrant plusieurs tiroirs, et prenant la fécule que l'on fait rouler entre les doigts; on peut, pour vérification, achever la dessiccation d'une petite quantité de fécule sur une assiette ou une lame de verre; lorsque la dessiccation est suffisante, on répand la fécule sur une aire unie ou carrelage devant l'étuve, on écrase les plus grosses mottes à l'aide d'un rouleau en fonte semblable à celui qu'emploient les jardiniers, mais moins pesant; on relève ensuite la fécule en tas, puis on la porte au blutoir mécanique.

Le blutoir mécanique se compose d'une trémie ou entonnoir, dans lequel on verse la fécule; de deux tamis superposés à travers lesquels la fécule est successivement obligée de passer par l'action de brosses mues rapidement par un arbre vertical; enfin, d'un espace, placé au-dessous des tamis et qui reçoit la fécule blutée. Des brosses, semblables aux précédentes, expulsent la fécule hors de l'appareil; on la reçoit directement dans des sacs, ou bien elle se rend dans les magasins, où on la conserve jusqu'à la vente.

Le peu d'altérabilité de la fécule permet de la conserver à tous les étages d'une maison; toutefois, il importe qu'elle soit à l'abri des poussières qui pourraient la salir, et que d'un autre côté elle ne perde ni ne gagne d'eau; puisqu'on l'a amenée au terme de siccité commercial; il convient de la tenir dans un magasin, au rez-de-chaussée, ou même au-dessous du sol; le sol et les parois sont d'ailleurs planchéiés, et des courants d'air ménagés entre les lambourdes, préservent le bois du contact de la maçonnerie.

La fécule se vend sous les dénominations de *fécule sèche* et *fécule verte*. Cette dernière, simplement égouttée, représente, terme moyen, seulement les deux tiers du poids de la première, et se vend à un prix moins élevé encore que dans cette proportion, puisqu'elle coûte moins de main d'œuvre et n'exige pas de combustible pour le séchage, mais l'élévation des frais de transport ne permet pas de la consommer avantageusement loin des lieux de production.

On distingue encore quelquefois dans le commerce la fécule bien lavée et épurée, comme nous l'avons dit, de la *fécule brute* ou *non lavée*. Celle-ci, recueillie sans autre lavage, après le premier dépôt, se vend moins cher, et sous ce rapport, est quelquefois préférée par les grands consommateurs; tels que les fabricants de sirops communs, les brasseurs, etc.

En quelque état que se vende la fécule, les transactions devraient toujours être basées sur la *proportion de substance sèche* et pure; on éviterait ainsi bien des mécomptes. Par exemple, la fécule dite *sèche* contient une proportion d'eau variable entre 8 et 15 centièmes sans que son prix change; la fécule vendue comme verte contient de 33 à 40 p. 0/0 d'eau et son cours ne varie pas. Cependant les quantités de sirops ou d'alcool obtenues varient dans le même rapport, et les calculs de rendement deviennent illusoires.

Ces variations peuvent le plus souvent être accidentelles; mais il n'en est pas de même de quelques mélanges vraiment frauduleux, dont nous allons dire un mot. Il est arrivé plusieurs fois que des fécules sèches ou humides ont présenté des déficits énormes aux fabricants de sirops; cela tenait à des additions d'*argile blanche* ou d'*albâtre gypseux* (sulfate de chaux) inaperçues longtemps, car ces corps inertes restaient dans les mares. Mais les fraudeurs y ayant substitué de la craie, il arriva que la conversion en sucre par l'acide sulfurique, fut complétement entravée, puisque l'acide étant saturé avant sa réaction sur la fécule, celle-ci ne devait plus donner et ne donna plus en effet que de l'empois. Une expertise décela cette fraude et donna lieu à la découverte des autres.

Le moyen le plus simple de *constater ces falsifications,* se réduit à faire brûler complétement dans une capsule en platine chauffée au rouge une quantité connue (5 ou 10 gram., par exemple,) de la fécule à essayer, puis à peser le résidu de la combustion. Si la fécule est d'une pureté commerciale ordinaire, elle devra laisser moins d'un

demi-centième de résidu incombustible, tandis que falsifiée elle laissera probablement au moins dix fois davantage, et jusqu'à quarante fois plus. La fécule très bien épurée laisserait moins d'un demi-millième de son poids de résidu non combustible.

Un procédé plus certain encore pour le cas où la fécule serait mélangée avec quelques matières insolubles dans l'eau, mais combustibles, consisterait à la traiter par la *diastase*, ou une solution d'orge germée, avec les mêmes précautions que celles indiquées ci-après, relativement à l'essai des farines, du pain, du riz et autres matières féculentes ou amylacées. Le même moyen, d'ailleurs, ferait aussi connaître la proportion de toutes substances insolubles dans l'eau combustibles ou non.

Nous donnons plus loin (voyez FÉCULE) quelques détails sur l'organisation des grandes féculeries, considérées comme annexes des entreprises agricoles. Nous donnerons ici le compte de l'extraction de la fécule, d'après M. Payen, compte qui se rapporte, nous pensons, à une exploitation des environs de Paris :

	Par jour de travail.	
Pommes de terre, 200 hectolitres à 1 fr. 50 c.	300 fr.	
Emmagasinage et soins dans les silos.	15	
Main-d'œuvre dans la fabrique.	60	
Direction.	10	
Combustible.	20	
Chevaux (neuf, dont trois attelés et six au repos).	27	
Loyer, entretien.	25	
Transport.	10	
Intérêts, frais imprévus, emballage.	12	
	479 fr.	
Produit : Fécule, 2,295 kil. à 21 fr. les 100 kil.	481 fr.	544 fr.
Produit : Pulpe pressée, 4,400k à 75 c.	33	
Bénéfice.		35 fr.

La pulpe, épuisée après les lavages, pèse, égouttée, environ 15 p. 100 du poids primitif des tubercules, elle contient à peu près 5 p. de matières sèches dont 3 de fécule. Ce marc est vendu aux nourrisseurs, pour être mélangé aux aliments moins aqueux, des vaches et des cochons ; on parviendrait à le conserver et à l'améliorer beaucoup en en exprimant l'eau et le faisant sécher sur une touraille.

Outre la fécule de pommes de terre, on trouve dans le commerce plusieurs autres fécules alimentaires dont nous allons dire quelques mots.

La racine de la *maranta arundinacea*, plante qui croît aux Indes-Orientales, étant pilée dans des mortiers, et décantée à travers des tamis, fournit une espèce particulière de fécule qu'on appelle généralement, mais improprement, *arrow-root*. Cette fécule est reconnue pour être plus nourrissante que celles du froment et de la pomme de terre ; elle est aussi généralement exempte de toute saveur et de toute odeur particulière ; ce qui fait que comme aliment elle est plus agréable au goût que les précédentes. La racine, dans l'état frais, se compose, d'après Benzon, de 0,07 d'huile volatile, de 26 parties de fécule (dont 23 sont obtenues sous forme de poudre, et 3 doivent être extraites de la matière cellulaire réduite à l'état de pâte et traitée par l'eau bouillante) ; de 1,58 d'albumine végétale ; de 0,6 d'une gomme extractive ; de 0,25 de chlorure de calcium ; de 6 parties de fibrine insoluble, et de 65,6 parties d'eau.

Le *sagou* est une fécule extraite de la moelle du *sagus farinaria*, espèce de palmier qui atteint une hauteur de 9 à 10 mètres, et croît aux Moluques et dans les îles Philippines. On abat l'arbre, et, après l'avoir fendu dans le sens de sa longueur, on enlève la moelle qu'on lave sur un tamis avec de l'eau pour en extraire la fécule qui passe au travers du tamis, et se dépose dans une cuve placée au-dessous, on la laisse sécher jusqu'à ce qu'elle ait acquis une certaine consistance, puis on la force à passer, à l'aide d'une certaine pression, au travers d'une plaque métallique percée de trous, à peu près comme s'il s'agissait de faire du vermicelle, afin de la granuler. Enfin, on dessèche la fécule dans une chaudière en cuivre très plate, chauffée en dessous, en ayant soin de l'agiter constamment.

Le *salep* est le nom que l'on donne aux racines tuberculeuses de plusieurs espèces d'*orchis*, et notamment de l'*orchis mascula*, qui nous viennent de la Perse, et de l'Asie-Mineure. On le rencontre dans le commerce sous la forme de petits grains ovales jaune-blanchâtres, à demi-transparents, d'un aspect corné, très durs, ayant une légère odeur qui leur est particulière et un goût analogue à celui de la gomme adragante mais légèrement salé. Le salep est très recherché dans le Levant comme un restaurant très énergique. Ses propriétés aphrodisiaques sont apocryphes. En lavant les bulbes de l'*orchis mascula* qui croît dans nos pays, puis les faisant bouillir pendant quelque temps dans l'eau pour enlever l'odeur forte qu'elles possèdent, et les desséchant ensuite à l'air, on pourrait préparer du salep aussi nourrissant que celui de Turquie, et qui reviendrait à un prix beaucoup moins élevé.

Le *tapioka* s'extrait principalement de la racine du manioc (*jatropha manihot*. Linnée). Cette plante qui croît aux Indes-Occidentales, sur les côtes d'Afrique et dans les régions tropicales de l'Amérique, appartient à la famille des euphorbiacées.

On lave ces racines et on les réduit en pulpe à l'aide d'une râpe. Cette pulpe est chargée dans des sacs en toile forte et grossière, que l'on soumet à l'action d'une puissante presse. On sépare ainsi la plus grande partie du suc vénéneux de cette plante, qui est employé par les Indiens pour empoisonner leurs flèches. Comme le principe actif de ce jus est volatil, on a reconnu que c'était de l'acide hydrocyanique ou prussique qui se développait par l'action de la chaleur. On s'en débarrasse aisément en séchant sur une plaque de fer chauffée en dessous la pulpe préalablement comprimée. En distillant 80 kilogr. de jus récemment exprimé, et recueillant les premiers produits de la distillation, on obtient 1 kilogr. d'une dissolution extrêmement vénéneuse ; 35 gouttes de cette dissolution administrées, à Cayenne, à un esclave convaincu du crime d'empoisonnement, amenèrent sa mort, au bout de six minutes, au milieu de convulsions tétaniques épouvantables, d'après un mémoire de M. le docteur Fermin, présenté à l'Académie des sciences de Berlin.

La pulpe séchée comme nous l'avons dit ci-dessus, s'agglomère en pelotes, qui deviennent dures et friables en se refroidissant. On les concasse en fragments plus petits que l'on achève de faire sécher au soleil, et qui, sous le nom de pain de cassave, constituent un aliment très sain qui forme la nourriture principale des nègres et d'un grand nombre de colons. Le pain de cassave est la seule provision que les naturels du Brésil et de la Guyane emportent avec eux dans leurs voyages, sur la rivière des Amazones. En le faisant bouillir dans l'eau, avec un peu de bœuf ou de mouton, ils obtiennent une sorte de soupe très agréable au goût.

Le pain de cassave, envoyé en Europe, se compose presque entièrement de fécule, mélangée seulement d'une petite quantité de matière ligneuse. On peut le purifier en le ramollissant dans l'eau chaude, et passant le liquide laiteux, que l'on obtient, à travers un linge, puis l'évaporant sur le feu en ayant soin de le maintenir dans une agitation continuelle. La fécule qui s'était dissoute par l'action de la chaleur, s'épaissit à mesure que l'eau s'évapore et se granule lorsqu'on l'agite con-

stamment, enfin, on finit la dessiccation dans une étuve ; sa densité en cet état est de 1,530.

Le produit de ce traitement est connu dans le commerce sous le nom de *tapioka*, et il est souvent recommandé par les médecins comme un aliment très facile à digérer, étant presque absolument composé de fécule pure. On l'imite en traitant la fécule de pommes de terre d'une manière analogue.

Le jus de manioc, séparé par expression, contient en suspension une fécule très fine, qu'il dépose lentement au fond des vases où on le reçoit. En enlevant par décantation, le liquide surnageant, lavant à plusieurs reprises, et desséchant, on obtient une fécule magnifique qui craque quand on la roule entre les doigts. Elle porte, dans la Guyane Française, le nom de *cipipa*, et est employée pour la préparation de divers articles culinaires délicats, surtout dans la pâtisserie ; comme poudre à poudrer, etc...

L'amidon ou fécule, quelque soit le procédé par lequel on l'ait préparé, est toujours une poudre blanche et douce qui craque lorsqu'on la roule entre les doigts, comme la fleur de soufre; elle est insipide, inodore et inaltérable dans l'air sec ; sa pesanteur spécifique est de 1,53.

On peut très aisément reconnaître la nature des fécules et leur pureté, d'après l'observation microscopique de leur forme et de leur grosseur. M. Payen s'est livré sur ce sujet à des recherches fort intéressantes dont nous allons citer quelques-uns des résultats :

La fécule de pommes de terre se distingue par la grosseur de ses grains (0^{mm},140 à 0^{mm},185 de diamètre), par les portions de sphéroïdes et d'ellipsoïdes qui les composent, et enfin par la marque du *hile* (point par lequel la substance amylacée s'est introduite), et les traces ou lignes d'accroissement plus faciles à distinguer que sur les autres fécules. L'amidon retiré du blé est en grains à peu près sphériques, ou plutôt lenticulaires et à rebords arrondis, ayant 0^{mm},050 de diamètre. L'arrow-root, le sagou, le salep et le tapioka sont toujours en grains agglomérés; le salep est en grains généralement ovoïdes, plus ou moins irréguliers, ayant 0^{mm},045 de diamètre, et où le hile est situé sur le gros bout du grain ; les grains de sagou importé ont 0^{mm},070 de diamètre ; et ceux de sagou frais, non altéré par une sorte de torréfaction, ont seulement 0^{mm},045 de diamètre ; l'arrow-root du commerce est en grains sphéroïdaux irréguliers, de 0^{mm},140 de diamètre ; et le tapioka est en grains sphériques de 0^{mm},045 à 0^{mm},050 de diamètre.

L'amidon est complétement insoluble dans l'eau froide ; mais si l'on chauffe graduellement l'eau, il arrive un point où le tout se prend en masse, en formant une gelée mucilagineuse à laquelle on a donné le nom d'*empois*. Si l'on observe au microscope ce qui se passe pendant cette opération, on remarque que les grains amylacés s'hydratent et se gonflent énormément, puis se soudent ensemble de manière à former l'empois. La température à laquelle l'empois prend une consistance gélatineuse n'est pas la même pour toutes les fécules ; ainsi pour l'amidon retiré des céréales, cette température est de 85 à 90° centigrades, et seulement de 60 à 70° pour la fécule de pommes de terre. Par le refroidissement, l'empois se prend en masse opaque et consistante, qui se sèche à l'air, se fendille quelquefois et se transforme en une matière translucide semblable à de la gomme.

L'amidon est complétement insoluble dans l'alcool même bouillant, et par conséquent n'y forme aucun empois.

La présence des alcalis caustiques détermine même à froid la dissolution de l'amidon dans l'eau ; les acides faibles ne le dissolvent que par l'action de la chaleur. Si l'on fait bouillir de l'eau avec de l'amidon, et qu'à l'empois ainsi obtenu, on ajoute une très faible quantité d'acide sulfurique étendu, la liqueur devient presque immédiatement parfaitement liquide et limpide ; en maintenant le mélange pendant quelque temps à la température de 60 à 70° centigrades, l'amidon se transforme en une substance gommeuse qui porte le nom de *dextrine*. Le principe actif de l'orge germé, qui porte le nom de *diastase* (voyez ce mot), agit sur l'amidon d'une manière tout à fait analogue.

Le nom de *dextrine* vient de ce que cette substance, en dissolution aqueuse ou en plaque mince, détourne à droite plus que toute autre substance connue le plan de polarisation ; elle est d'un blanc légèrement jaunâtre, insipide et sans odeur, transparente en plaques minces et à cassure vitreuse, aigre et friable lorsqu'elle est complétement desséchée. Chauffée à 140° centigrades, elle commence à éprouver une sorte d'altération, se colore en brun et répand l'odeur du pain que l'on retire du four.

Pour préparer en grand la dextrine au moyen de la diastase, on met dans une chaudière 400 kilogrammes d'eau avec 5 kilogr. d'orge finement moulu ; on chauffe le tout à 60° centigrades, et on y ajoute 100 kilogr. de fécule de pommes de terre par petites portions, et en maintenant le mélange dans une agitation continuelle. On maintient la température à 70° centigrades environ, jusqu'à ce que tout l'amidon se soit dissout et que la liqueur ne se colore plus en bleu violet par la teinture d'iode, puis on fait bouillir pendant quelque temps pour détruire le ferment, sans quoi la dextrine se transformerait subséquemment en sucre de raisin. On laisse ensuite refroidir jusqu'à 50° centigrades environ ; on y verse du blanc d'œuf délayé dans une petite quantité d'eau, on mêle bien le tout et on fait bouillir de nouveau ; l'albumine se coagule et vient former des écumes que l'on enlève. La liqueur ainsi clarifiée est évaporée, autant qu'il est possible de le faire sans brûler le résidu, qui, par le refroidissement, se prend en une gelée d'une certaine consistance que l'on peut soit employer immédiatement, soit dessécher dans une étuve pour la conserver.

Pour préparer la dextrine à l'aide de l'acide sulfurique, on fait bouillir 25 parties d'acide sulfurique avec 125 parties d'eau, et on y ajoute par petites portions une bouillie de 100 parties d'amidon et de 125 d'eau froide, en ayant soin d'agiter continuellement. La température s'abaisse de 60 à 70° centigrades, où on la maintient ; sans cela une grande partie de la fécule se transformerait en sucre. Aussitôt que l'amidon est dissous et forme une liqueur presque claire et fluide, on sature l'acide par de la craie, on filtre pour séparer le sulfate de chaux ou gypse qui s'est formé, et on évapore la liqueur filtrée comme ci-dessus.

Un procédé très commode et peu coûteux, pour préparer en grand la dextrine, découvert par M. Payen, a fait le sujet d'un brevet d'invention, pris par M. Heuzé en 1838. On ajoute à 400 parties de fécule sèche ou à une quantité correspondante de fécule verte, une partie d'acide nitrique ayant une densité de 1,4, et la quantité d'eau nécessaire pour en former une pâte épaisse. Avec la fécule sèche, il est beaucoup plus facile de distribuer l'acide d'une manière uniforme dans la masse, ce qui est de la plus haute importance pour la réussite de l'opération. Cette pâte est d'abord partagée en pains du poids de 12 à 13 kilogr., que l'on sèche par une exposition de quelques heures à l'air libre, puis que l'on égrène et que l'on porte dans une étuve à courant d'air chaud où la température s'élève au plus à 64° centigrades. Après un séjour de vingt heures dans cette étuve, on émotte et on blutte la matière comme dans la préparation de la fécule ordinaire, puis on la torréfie pendant 10 minutes environ dans un four maintenu à la température de 100 à 120° centigrades. Le produit obtenu est d'autant plus blanc que la température de torréfaction a été moins élevée ; mais d'un autre côté, la durée de l'opération en

est augmentée d'autant. La dextrine ainsi préparée donne avec l'eau froide un liquide presque clair, mucilagineux, qui offre la plus grande ressemblance avec une dissolution de gomme arabique, et peut être employé à une foule d'usages en industrie, comme pour épaissir les couleurs dans l'impression des étoffes et celle des tapis, le gommage des tissus, etc. Il n'est pas nécessaire d'ajouter que dans cette préparation l'acide nitrique est complétement détruit par sa réaction sur la fécule, et que l'on n'en retrouve plus la moindre trace dans le produit obtenu.

Winterfeld recommande un procédé tout à fait analogue ; seulement il emploie une quantité d'acide nitrique plus considérable (2 d'acide en poids pour 100 de fécule sèche à traiter), ne dessèche la pâte qu'à une température de 22 à 25° centigr., à l'air libre en été et dans une étuve en hiver, puis effectue la torréfaction à la faible température de 63 à 69° centigr., en ayant soin de retourner fréquemment la matière avec un râble. On prépare par voie sèche, dans les arts, de la dextrine impure, ou *amidon torréfié*, très employé dans les apprêts, l'encollage, les applications des mordants et des couleurs, etc. On le prépare spécialement avec l'amidon des céréales que l'on pulvérise et que l'on échauffe graduellement à une température de 140 à 160° centigr., dans un four, ou un cylindre en fer-blanc analogue à ceux qui servent à brûler le café, jusqu'à ce que la matière ait pris une teinte brun clair et exhale l'odeur du pain fortement cuit. A Manchester, où la fabrication de l'amidon torréfié se fait très en grand pour l'impression des indiennes et autres étoffes de coton, on opère la torréfaction dans des fourneaux construits en plaques de fonte qui sont chauffées extérieurement, à un point tel que la température intérieure s'y élève à 150° centigr.

On étend l'amidon sur des plaques en tôle munies de rebords, que l'on introduit par quatre à la fois dans le fourneau ; il s'y agglomère et forme des pelottes irrégulières, translucides, d'un brun jaunâtre, que l'on passe au moulin lorsqu'elles sont refroidies pour les réduire en farine, état sous lequel on verse l'amidon torréfié dans le commerce. Ainsi préparé, l'amidon torréfié se dissout assez complétement dans l'eau, en formant une dissolution qui, concentrée, est mucilagineuse et colorée en brun assez foncé, ce qui empêche de l'employer pour l'application de certaines couleurs pâles ou très délicates.

La fécule de pommes de terre ne se torréfie pas bien par les procédés que nous venons d'indiquer, parce qu'elle s'attache aux parois des vases dans lesquels s'opère la torréfaction ; pour remédier à cet inconvénient, on a proposé de faire bouillir une partie de l'amidon avec une certaine quantité d'eau et $\frac{1}{40}$ de son poids d'alun, puis de mélanger cette bouillie avec le reste de la fécule et d'en former une pâte épaisse que l'on briserait en fragments, que l'on ferait sécher et que l'on torréfierait ensuite, comme il est dit ci-dessus.

L'amidon torréfié diffère de la dextrine préparée par voie humide : 1° en ce qu'il n'est pas transformé en sucre de raisin par l'acide sulfurique étendu, ou l'infusion d'orge germé ; 2° en ce que l'amidon torréfié prend une coloration rouge pourpre par l'iode, et la dextrine une coloration brunâtre ; enfin, d'après M. le docteur Ure, la composition chimique de ces deux corps ne serait pas la même, comme il résulte des nombres suivants :

	Dextrine.	Amidon torréfié.
Carbone. . . .	35,7	43,5
Hydrogène. . .	6,2	6,8
Oxygène. . .	58,1	49,7
	100,0	100,0

Il est à remarquer que la dextrine et l'amidon torréfié, préparés en grand, contiennent presque toujours une certaine quantité d'amidon non décomposé, et que par suite lorsqu'on les traite par l'eau froide, ils donnent lieu à un résidu d'apparence floconneuse plus ou moins considérable.

Nous terminerons cet article en parlant de l'action remarquable de l'iode sur l'amidon.

Lorsqu'on arrose de l'amidon sec avec une dissolution aqueuse d'iode, les granules prennent aussitôt une couleur bleu clair. Si au contraire, on agite de l'empois avec de la teinture d'iode, le tout prend aussitôt une belle couleur bleu foncé, au moyen de laquelle on peut reconnaître dans une liqueur les moindres traces d'amidon et réciproquement, l'amidon est un des moyens les plus précieux et les plus délicats que nous ayons pour découvrir la présence de l'iode. Si l'on chauffe de l'amidon ainsi coloré par l'iode avec de l'eau, la couleur commence par virer au rouge et finit par disparaître presque entièrement, parce que toute la masse s'est dissoute ; par le refroidissement, l'empois s'agrège peu à peu et la couleur reparaît de nouveau. Par l'action prolongée de la lumière, toute coloration disparaît, parce que sous cette action l'iode se transforme en un mélange d'acides iodique et hydriodique ; on peut la faire reparaître en ajoutant un peu de chlore qui revivifie l'iode ; si l'on en ajoutait trop, il se formerait du chlorure d'iode et la couleur disparaîtrait de nouveau. Il paraîtrait, d'après quelques observations récentes, que les fibres végétales peuvent, dans quelques circonstances, donner, avec l'iode, une coloration bleue, et que par conséquent cette coloration ne serait pas toujours un signe assuré de la présence de l'amidon.

Pour ce qui regarde la transformation de la fécule en sucre de raisin, voyez les articles DIASTASE, FERMENTATION, GLUCOSE.

AMMONIAQUE. L'ammoniaque ou alcali volatil a une assez grande importance industrielle, puisqu'il sert à extraire l'orseille, la cochenille, etc. ; mais cette importance est bien autrement considérable lorsqu'il s'agit des sels, que cette base peut donner en se combinant avec les acides, tels que l'hydrochlorate et surtout le sulfate d'ammoniaque, auxquels nous consacrerons des articles spéciaux (voir CHLORURES et SULFATES).

L'ammoniaque jouit des propriétés alcalines des bases les plus puissantes ; il verdit fortement le sirop de violette, ramène au bleu le papier rouge de tournesol, sature complétement les acides les plus énergiques et forme des sels parfaitement définis et cristallisés ; toutes ces propriétés lui assignent dans l'industrie un rang très élevé et qui tend à grandir chaque jour.

L'ammoniaque anhydre est gazeux à la température et à la pression ordinaires ; ce gaz est incolore, très âcre, caustique, son odeur vive et pénétrante provoque la suffocation et le larmoyement ; il est susceptible de se liquéfier à une très basse température ou sous une forte pression, enfin, et ce qui nous importe surtout ici, il est extrêmement soluble ; à la température et à la pression ordinaires, l'eau en dissout le tiers de son poids, ce qui fait environ 4 où 500 fois son volume, et la dissolution diminue de densité au fur et à mesure qu'elle contient une plus grande proportion d'ammoniaque.

Voici au reste un tableau, dressé par Davy, et qui indique approximativement la proportion réelle d'ammoniaque qui existe dans une dissolution à des pesanteurs spécifiques différentes.

Ainsi, la pesanteur spécifique de l'eau étant 1,0000, on aura :

Pesanteur spécifique.	Ammoniaque.	Eau.
0,8750	32,50 . . .	67,50
0,8875	29,25 . . .	70,75
0,9000	26,00 . . .	74,00
0,9054	25,37 . . .	74,63
0,9166	22,07 . . .	77,93
0,9255	19,54 . . .	80,46
0,9326	17,52 . . .	82 48

Pesanteur spécifique.	Ammoniaque.	Eau.
0,9385	15,33	84,12
0,9435	14,53	85,47
0,9476	13,46	86,54
0,9513	12,40	87,60
0,9545	11,56	88,44
0,9575	10,82	89,18
0,9597	10,17	89,83
0,9619	9,60	90,40
0,9692	9,50	90,50
1,0000	0,00	100,00

La dissolution aqueuse d'ammoniaque est très peu stable; à la température de l'ébullition la presque totalité de l'alcali volatil qu'elle tient en dissolution se dégage; exposée à l'air libre, même à la température ordinaire, elle finit également, à la longue, par s'en dépouiller complétement; il faut donc avoir grand soin de conserver les dissolutions d'ammoniaque dans des vases parfaitement fermés. Du reste, la dissolution aqueuse de l'ammoniaque possède les mêmes propriétés que l'alcali gazeux lui-même, et c'est à cet état seulement qu'on le rencontre dans le commerce.

A l'état de gaz, l'ammoniaque est composé de 3 volumes d'hydrogène et de 1 vol. d'azote condensés en 2 volumes, ou bien en nombres de :

Azote.	82,53	Az^2H^6.
Hydrogène.	17,47	
	100,00	

A l'état de dissolution, c'est-à-dire tel qu'on le trouve dans le commerce, il est uni à une quantité d'eau telle, qu'il marque de 21° à 22° Baumé, et qu'il forme 18 à 20 p. 100 du poids de la dissolution.

Pour obtenir l'ammoniaque liquide, il existe aujourd'hui deux méthodes parfaitement distinctes : 1° L'ancien procédé qui consiste à prendre un sel ammoniacal cristallisé, préparé d'avance, et à le décomposer par de la chaux caustique; 2° le nouveau procédé qui consiste, au contraire, à retirer directement l'ammoniaque que renferment les eaux de condensation des usines à gaz. On voit tout de suite en quoi diffèrent essentiellement ces deux méthodes; dans la première, l'ammoniaque doit supporter des frais d'acide et de fabrication qui sont complétement supprimés dans la nouvelle fabrication; décrivons successivement les deux procédés.

1° Si l'on mélange intimement un sel ammoniacal tel que l'hydrochlorate ou le sulfate, avec de la chaux parfaitement caustique, puis qu'on chauffe le mélange, on sait que l'ammoniaque est mis en liberté et se dégage à l'état gazeux, tandis que la chaux prend sa place pour former du chlorure de calcium ou du sulfate de chaux. Le sulfate d'ammoniaque est aujourd'hui exclusivement employé dans cette préparation; il renferme un peu plus d'alcali, et d'ailleurs, son prix est bien moins élevé que celui de l'hydrochlorate (voyez, article CHLORURE, la préparation de ces deux sels au moyen des matières animales putréfiées).

On prend à peu près poids égal de sulfate d'ammoniaque cristallisé et de chaux parfaitement délitée, et en poudre impalpable, dont on fait un mélange intime que l'on porte de suite dans l'appareil de décomposition. C'est une chaudière en fonte ou en tôle, qui doit être disposée de manière à pouvoir être chauffée uniformément, ainsi qu'à permettre d'y introduire facilement les matières premières et d'en retirer les résidus de l'opération. Un appareil analogue à ceux qui s'emploient dans la fabrication de l'acide nitrique, réussit très-bien, pour de grandes productions.

Le gaz ammoniac qui se dégage par la réaction de la chaux caustique, sur le sulfate d'ammoniaque, est conduit dans une série de vases cylindriques en plomb, disposés en appareil de Wolf; il se rend d'abord dans un premier flacon laveur, destiné à le débarrasser de ses impuretés; puis, dans deux ou trois autres vases dans lesquels on a mis d'avance la quantité d'eau nécessaire pour donner une dissolution à 22°; on doit s'arranger pour que chaque flacon ait au moins le tiers de sa capacité vide. Les tubes qui amènent le gaz ammoniac, doivent plonger jusqu'au fond des vases, sans cette précaution la dissolution, qui est plus légère que l'eau, se ferait difficilement.

L'opération commence immédiatement aussitôt que l'on commence à chauffer; la rapidité plus ou moins grande de l'émission du gaz, que l'on entend barbotter, sert de guide pour augmenter ou diminuer le feu; le flacon laveur absorbe d'abord tout le gaz; mais lorsque la petite quantité d'eau qu'il renferme est saturée, l'ammoniaque se rend dans le premier vase de dissolution; à mesure qu'elle se dissout, le volume du liquide augmente, sa température s'accroît rapidement, et deviendrait même un obstacle à la dissolution si l'on n'avait soin de refroidir le flacon avec de l'eau froide; d'ailleurs, la densité de la dissolution diminue sans cesse jusqu'à la saturation complète du liquide. A ce moment, le vase ne tarde pas à se refroidir, le gaz ammoniac passe entièrement dans le vase suivant, et ainsi de suite.

L'opération est terminée lorsqu'il n'y a plus de dégagement de gaz; à ce moment le sulfate d'ammoniaque est entièrement décomposé, et il ne reste plus dans l'appareil de décomposition, que du sulfate de chaux, de la chaux en excès et les substances étrangères non volatiles que renfermait le sulfate d'ammoniaque.

La dissolution d'ammoniaque, versée dans le commerce, doit marquer 21 à 22° à l'aréomètre Baumé; on la livre dans des bouteilles en grès, exactement fermées au moyen de bouchons en liége, enveloppés d'une rondelle de parchemin et recouverts par de la glaise que l'on enveloppe au moyen d'une nouvelle feuille de parchemin, ficelée autour du col de la bouteille.

2° *Le nouveau procédé*, qui consiste à retirer directement l'ammoniaque des eaux de condensation du gaz d'éclairage, où il se rencontre en grande quantité est dû à M. Mallet, qui a organisé magistralement cette fabrication, et en a fait un accessoire précieux de la grande industrie de la distillation de la houille pour produire le gaz.

Les eaux de condensation du gaz dans l'eau renferment, entre autres produits, du carbonate et de l'hydrosulfate d'ammoniaque, et marquent à l'aréomètre de Baumé, depuis 1 jusqu'à 5 degrés, terme moyen 2 degrés. En principe, la méthode que l'on emploie est extrêmement simple, elle consiste à distiller ces eaux ammoniacales sur de la chaux parfaitement éteinte; l'ammoniaque mise en liberté se dégage, et il se forme du carbonate de chaux et du sulfure de calcium, qui reste dans les eaux épuisées; tout le secret du procédé réside donc dans la disposition des appareils. L'appareil breveté qu'emploie M. Mallet, et qui réalise une disposition d'alambic perfectionné, se compose : 1° de trois chaudières distillatoires, munies d'agitateurs, dont la première est disposée directement au-dessus du foyer, la seconde est chauffée par la chaleur perdue, et par les vapeurs de la première, la troisième par ces vapeurs seulement; celle-ci renferme de la chaux qui passe avec les eaux ammoniacales dans la seconde, puis dans la première chaudière; 2° d'un serpentin condensateur, où se condense le gaz ammoniac, et qui est refroidi par les eaux qui doivent être distillées dans l'opération suivante; 3° d'un vase destiné à recevoir l'ammoniaque condensée dans le serpentin; 4° d'un flacon de lavage destiné à épurer l'ammoniaque; 5° d'un appareil de Woolf pour la dissolution du gaz qui a échappé à la condensation et qui se dissout dans l'eau que contiennent les vases qui le constituent.

L'alcali, que l'on obtient par ce procédé, marque 21 à 22° à l'aréomètre, il n'est pas parfaitement blanc et contient encore un peu d'huile essentielle; mais l'expérience a prouvé qu'il donnait des résultats aussi bons pour la plupart des applications que l'alcali parfaitement pur.

M. Lamingue, inventeur d'un procédé analogue, enlève à l'ammoniaque l'huile empyreumatique qu'elle renferme au moyen d'une huile grasse qui la dissout complétement; le produit épuré de cette manière est beaucoup plus pur que le précédent, il convient peut-être mieux dans quelques cas où il est nécessaire d'employer de l'alcali parfaitement pur; mais dans la plupart des applications en grand, il ne donne pas de meilleurs résultats, et il a l'inconvénient de revenir à un prix plus élevé.

AMMONIAQUE (Gomme résine). C'est le suc épaissi d'une plante ombellifère (le *Dorema armeniacum*) qui croît en Perse. Il nous arrive ou en petites larmes blanches réunies entre elles, ou en masses brunâtres mêlées à beaucoup d'impuretés. Il a une odeur particulière ressemblant un peu à celle de l'*assa fœtida*, et une saveur amère. On l'emploie en médecine. On ne s'en sert guère dans les arts que pour faire un ciment avec lequel on peut coller ensemble des morceaux de porcelaine cassée ou de verre. On prépare ce mastic de la manière suivante : prenez : colle de poisson 16 parties, eau distillée 96 p., faites bouillir et réduire à 48 p.; ajoutez 2½ p. de fort esprit-de-vin, faites bouillir le mélange pendant une minute ou deux; passez-le; ajoutez, pendant qu'il est chaud d'abord 8 p. d'une émulsion laiteuse de gomme ammoniaque, et ensuite 5 p. d'une solution alcoolique de résine mastic. Cette composition ressemble à celle que l'on vend dans les boutiques de Londres sous le nom de *ciment diamant*.

AMORPHE (sans forme). Se dit d'un minéral et de toutes les autres substance qui se présentent sous des formes tout à fait irrégulières.

ANALYSE; SYNTHÈSE. *Analyser* un produit ou une machine, c'est les décomposer et en séparer les parties constituantes ou éléments; recomposer le tout en partant des éléments forme la *synthèse*. On ne saurait trop recommander en industrie la connaissance et l'emploi de ces deux procédés sans lesquels il n'est pas de progrès possible. Nous avons vu à l'article ALCOOL combien l'introduction de la synthèse en chimie, la science de l'analyse par excellence, devait conduire à d'importants résultats.

ANCRE (*angl.* anchor, *all.* anker). Les bâtiments sont retenus au mouillage au moyen de leur câble, fixé par l'une de ses extrémités à l'*ancre* engagée plus ou moins profondément au fond de la mer, et lié par l'extrémité opposée au corps du navire, par l'intermédiaire de l'appareil de charpente qui constitue les

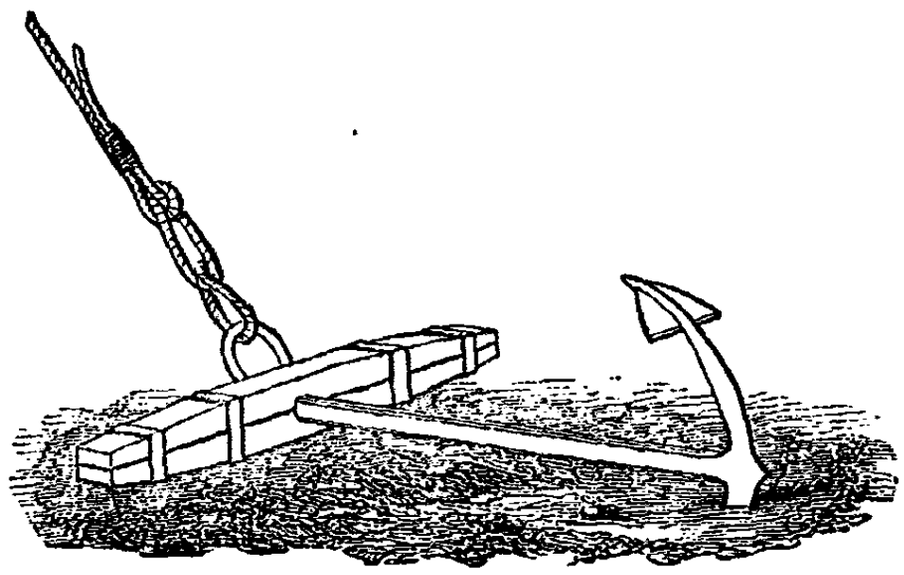


Fig. 92.

billes. Le salut du navire ne dépend souvent que de la bonne tenue du mouillage, ou de la solidité de ses ancres, de ses câbles et en général de tous les appareaux de mouillage; aussi la confection de ces appareaux a-t-elle toujours été l'objet des plus grands soins, et celle des ancres, en particulier, a donné lieu à des études suivies qui ont conduit aux formes et aux proportions, ainsi qu'aux procédés de fabrication

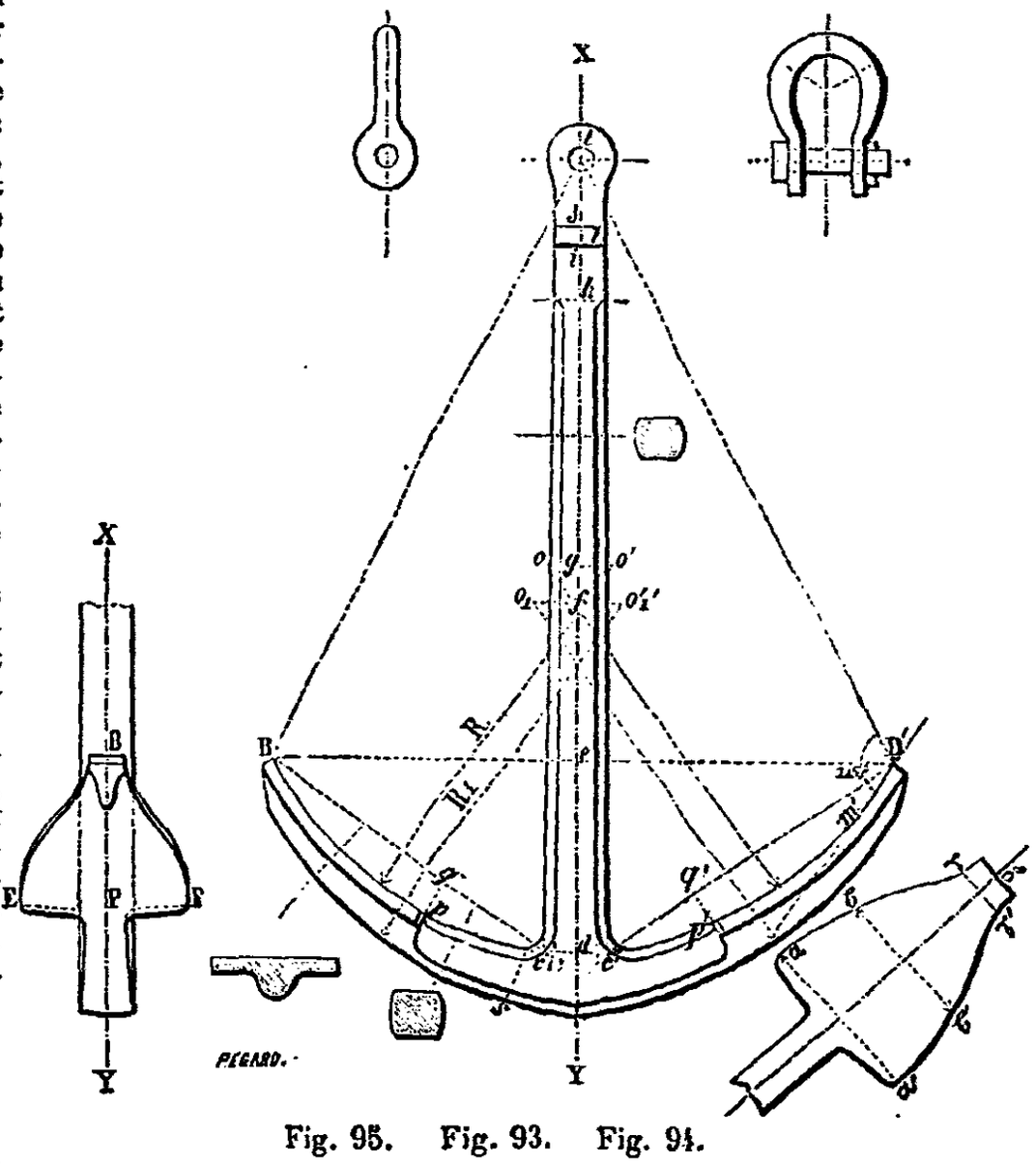


Fig. 95. Fig. 93. Fig. 94.

actuellement en usage, et dont les résultats sont très-satisfaisants.

La manière dont une ancre agit se trouve représentée par la figure 92. On y voit clairement d'après la direction de la force, lorsque le câble qui la réunit

au navire est suffisamment incliné, que l'ancre ne peut se mouvoir sans labourer le fond dans lequel entre une de ses *branches* ou *bras*. Lorsque malheureusement cela arrive, soit à cause de la nature du fond, soit par la manière dont l'ancre a mordu, soit enfin à cause de la violence des vents et des courants, on dit que le vaisseau *chasse* sur ses ancres. Lorsque le fond est ferme, le câble ou le bras de l'ancre qui pénètre dans le fond, se casserait plutôt que de permettre au vaisseau de chasser.

Nous donnerons le tracé des ancres d'après l'excellent travail de M. de Freminville (*Guide du Marin*) :

Les ancres sont toujours en *fer forgé* de la meilleure qualité; elles présentent deux parties distinctes : la *verge* X Y, et les *bras c p* B, *c' p'* B' (*fig.* 93). La verge est droite; elle est percée à la partie supérieure d'une ouverture A, qui reçoit l'*organneau*, ou plutôt le boulon de jonction d'une *cigale* ou *manille*, que l'on préfère généralement à l'organneau. Les bras sont soudés à la partie inférieure de la verge; leurs extrémités reçoivent des palettes E F B, nommées les *pattes*, destinées à répartir l'effort qu'elles transmettent sur de grandes surfaces et à augmenter ainsi la tenue. Pour faciliter la pénétration de l'ancre dans les fonds résistants, les bras sont prolongés au delà de la patte, d'une certaine quantité nommée le *bec*; enfin les bras sont courbés en arc de cercle, excepté à l'intérieur et dans le voisinage du bec, où la patte est plane sur une certaine étendue B' *m'*. L'ancre proprement dite est toujours accompagnée d'une pièce additionnelle, ordinairement en bois, nommée le *jas*, G H (*fig.* 96), fixée

Fig. 96.

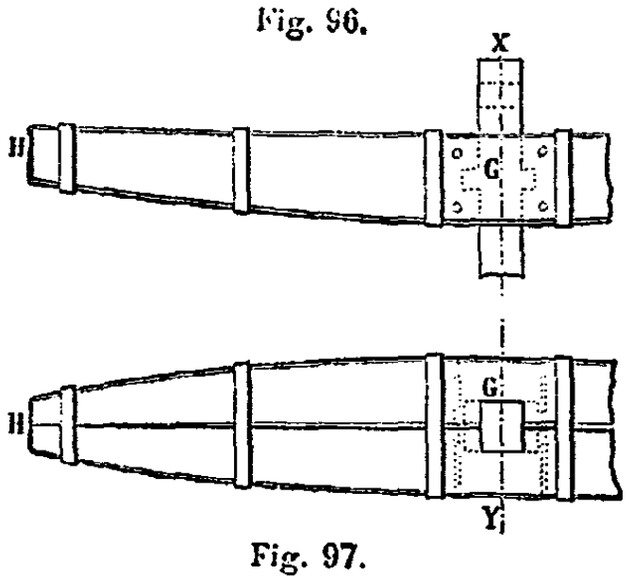


Fig. 97.

perpendiculairement à la verge, à sa partie supérieure, et normalement au plan des bras. Le jas contribue peu à la tenue de l'ancre, mais il sert à la guider de manière que les bras tombent normalement sur le sol; il est évident, en effet, que si le jas n'existait pas, l'ancre se coucherait toujours à plat sur le terrain, et que les bras n'y pénétreraient pas comme ils doivent le faire. Le jas est composé de deux pièces de bois rapprochées l'une de l'autre par des frettes en fer; il est en outre assujetti sur la verge au moyen de deux tenons *t t'* (*fig.* 93), réservés sur celle-ci et nommés les *tourillons*.

Tracé des ancres usitées dans la marine française. Les ancres employées dans la marine militaire sont depuis longtemps exécutées dans les forges de La Chaussade, appartenant à l'État. Toutes leurs proportions ont été calculées d'après les formules de la résistance des matériaux; des épreuves directes à la presse hydraulique ont ensuite été exécutées dans le but de contrôler par des faits l'exactitude des calculs théoriques, ou de vérifier les parties d'une exécution difficile et en particulier les soudures des bras avec la verge. En opérant de la sorte on a déterminé les formes et les dimensions d'une ancre type, de grandeur arbitraire, et les proportions de ce type ont ensuite été conservées pour les ancres de toute grandeur, c'est-à-dire que les dimensions d'une ancre d'un poids quelconque P' ont été déduites de celles de l'ancre type du poids P, en multipliant ces dernières par la racine cubique du rapport des poids P' et P, ou

$$\text{par } \sqrt[3]{\frac{P'}{P}}.$$

Dans les premières ancres construites à la Chaussade, les pattes étaient simplement soudées à plat sur les bras; cette disposition manquait de solidité, et l'on y a complétement renoncé, pour adopter exclusivement les ancres dites à la *hollandaise*, dans lesquelles les pattes sont forgées et étampées d'une seule pièce avec les bras.

Les éléments géométriques qui déterminent la forme de ces ancres sont les suivants :

La longueur totale, X Y (*fig.* 93), mesurée de l'extrémité de la verge au sommet;

La largeur de la verge à la croisée, *c c'*;

La longueur totale de l'envergure, ou ligne des becs, B B';

La distance *e* Y de la ligne des becs au sommet Y;

La longueur des bras, *c* B, mesurée depuis l'angle de l'aisselle jusqu'au bout des bras;

La direction de la partie plane, B' *m'*, de la patte; elle s'obtient en joignant le centre A, de l'organneau au bec B', et en menant la droite B' *m'*, faisant avec A B' un angle de 115°;

La courbure intérieure des bras; elle est déterminée par la flèche ou *cintre p' q'*, menée perpendiculairement à B' *c'* par l'extrémité de la patte; le contour intérieur des bras est d'ailleurs un arc de cercle; on donne son rayon R, et la position de son centre O, définie par ses distances à l'axe de la verge et au sommet de l'ancre;

Le contour extérieur des bras est formé également par un arc de cercle dont on donne le rayon R' et le centre déterminés par leurs coordonnées prises par rapport au sommet de l'ancre.

On peut voir dans le *Guide du Marin* les dimensions de l'ancre de 4,700 kilogrammes, ainsi que les rapports de ces dimensions à la longueur, rapports qui peuvent servir à déterminer toutes les parties d'une ancre quelconque dont la longueur est connue.

Le jas est le plus souvent en bois, ainsi que nous le disions en commençant; cependant on emploie aussi des jas en fer consistant en une simple barre ronde, traversant la verge dans un trou circulaire, percé au-

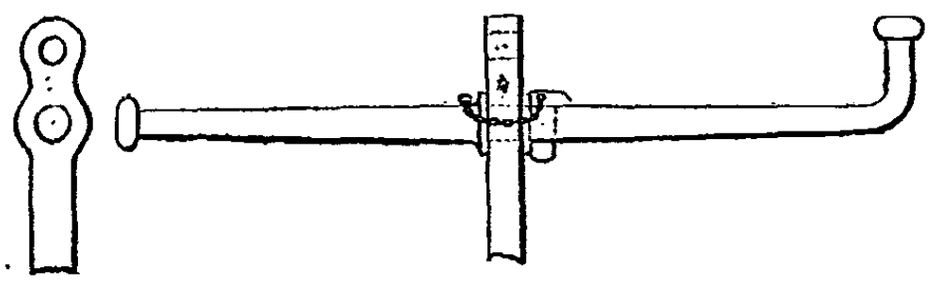


Fig. 99. Fig. 98.

dessous de celui de l'organneau (*fig.* 98). Ce jas est maintenu en position par un épaulement et une clavette; lorsque l'ancre n'est pas en service, on repousse la clavette, et on le fait glisser jusqu'à son extrémité recourbée à angle droit; le jeu laissé libre dans l'ouverture de la verge permet d'y introduire cette partie,

ANCRE.

en le faisant tourner de 90°, de manière à l'appliquer le long de la verge; on l'amarre dans cette position, et l'ancre est alors bien moins encombrante, et plus facile à placer en réserve. Les jas en fer n'ont été employés à l'origine que pour les ancres de petites

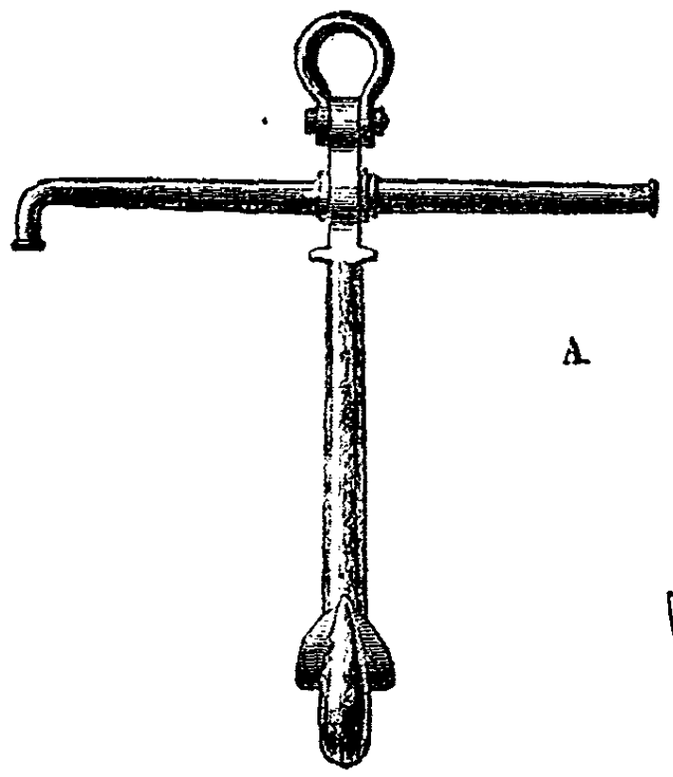


Fig. 100.

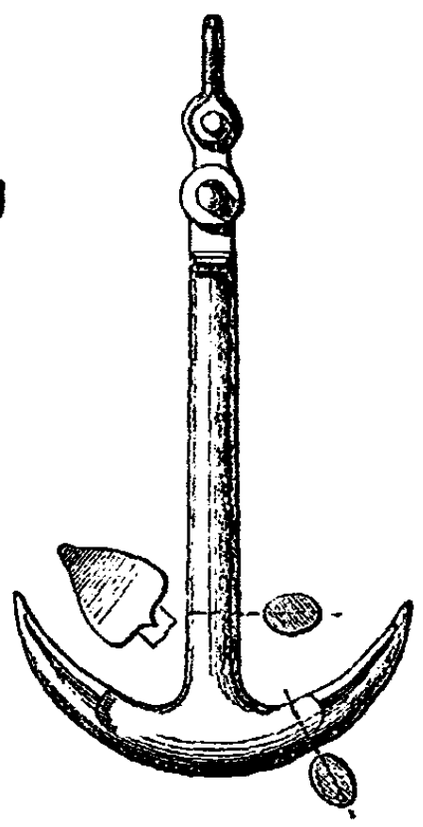


Fig. 101.

dimensions, mais actuellement leur usage se répand de plus en plus, et on les emploie volontiers pour les ancres du plus fort échantillon.

Divers modèles d'ancres anglaises. Les ancres de la marine militaire d'Angleterre sont depuis longtemps

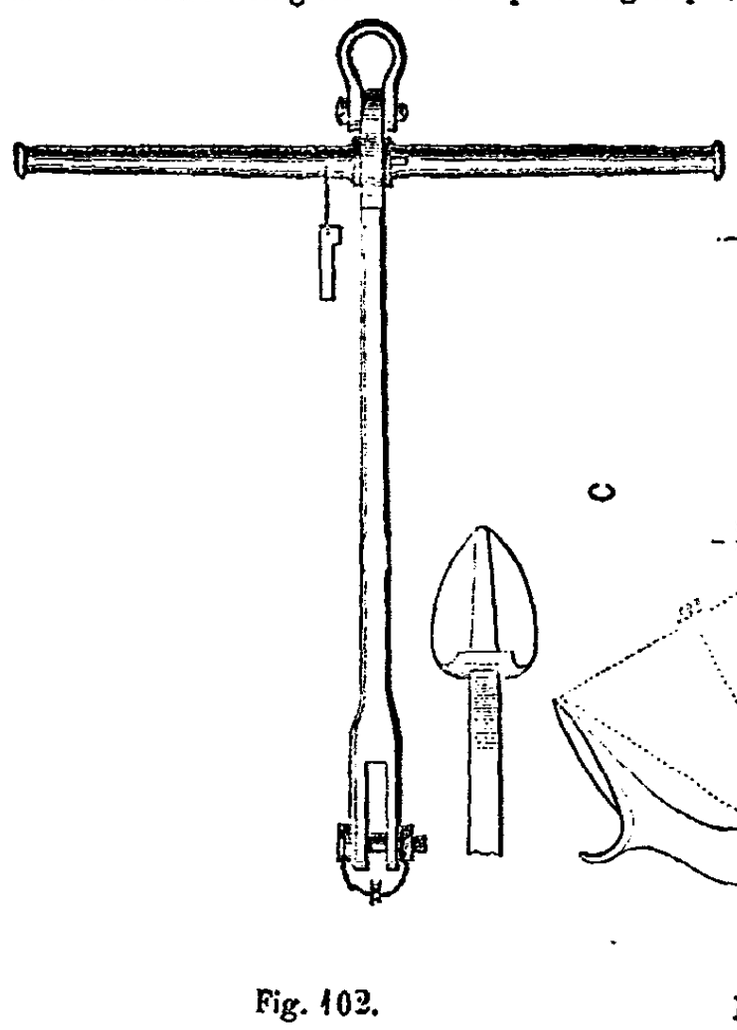


Fig. 102.

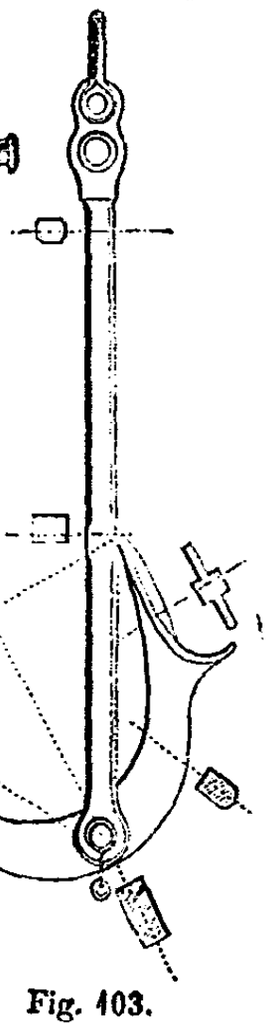


Fig. 103.

d'un modèle uniforme, connu sous le nom de *modèle de l'amirauté*; elles sont à pattes hollandaises, et leurs formes diffèrent peu de celles des ancres françaises; cependant les pattes sont moins développées, la verge et les bras sont plus gros, tous les contours sont arrondis, et les angles ou les arêtes vives sont évités avec soin (*fig.* 100 et 101); le jas est généralement en fer, mais les tourillons de la verge sont conservés, afin que l'on puisse y placer un jas en bois, dans le cas où le premier serait brisé ou tordu, sans que l'on eût à bord les moyens de le réparer.

De nombreux modèles ont été présentés comme supérieurs à celui de l'amirauté, mais ayant été soumis à des expériences comparatives, on a toujours vu s'évanouir les prétentions dont ils étaient l'objet. Parmi ces ancres nous citerons cependant celle de M. Trotman, perfectionnée par M. Porter, et qui présente des dispositions nouvelles méritant, jusqu'à un certain point, de fixer l'attention. Dans ce système les bras, au lieu d'être soudés à la verge, sont articulés sur celle-ci à l'aide d'une mouffle et d'un fort boulon de jonction (*fig.* 102 et 103); l'auteur paraît avoir adopté cette disposition, principalement dans le but d'éviter la difficulté que l'on rencontre à obtenir une bonne soudure entre les bras et la verge pour de très-grosses pièces; il est certain, en effet, qu'avec ce mode d'assemblage chaque partie de l'ancre jouit de toute la résistance que comporte sa section, ce qui n'a pas lieu avec des soudures imparfaites; de plus l'articulation des bras présente encore d'autres avantages, ainsi, lorsque l'un des bras est engagé dans le sol, l'autre est appliqué sur la verge, et il en résulte que dans les ports de marée, les bâtiments ne sont pas exposés à crever leur carène, comme cela peut leur arriver sur la patte saillante des ancres ordinaires; enfin elles se présentent mieux pour pénétrer dans le fond et sont moins sujettes que les autres à tomber à plat. Au point de vue de la résistance, les ancres Trotman ont donné des résultats satisfaisants; quelques compagnies maritimes en font usage; mais dans la marine militaire, bien qu'elles aient donné lieu à des essais entrepris sur une assez large échelle, on en est toujours revenu au modèle de l'amirauté.

Complétons cette étude par quelques détails sur la manière dont l'ancre est maintenue après avoir été levée, après que le navire ayant été amené à pic au-dessus d'elle pour déraper, elle a pu abandonner le fond par l'effet d'une traction suivant la verticale.

Bossoirs et chaînes de mouilleur. Le bossoir est une forte pièce de bois encastrée dans la muraille, et présentant à l'extrémité qui fait saillie à l'extérieur, des rouets qui constituent, avec la *poulie* de *capon*, l'appareil employé à lever l'ancre; il est consolidé par une courbe verticale en bois placée par-dessous, et par une courbe horizontale en bois ou en fer, mise par le côté, soit sur l'avant, soit sur l'arrière. Les conditions auxquelles le bossoir doit satisfaire sont les suivantes :

1° Sa longueur, déterminée par la distance horizontale de l'axe des clans à la muraille, doit être assez grande pour que l'ancre étant suspendue à la poulie de capon, elle puisse décrire une révolution complète sans que les pattes ni le jas ne viennent rencontrer le bordé;

2° La hauteur de l'axe des reas doit être telle, que la poulie de capon étant à bloc, les pattes de l'ancre se trouvent suffisamment élevées hors de l'eau, pour que l'on puisse facilement y crocher la poulie de traversière;

3° Il convient que le bossoir soit reporté le plus possible vers l'avant pour faciliter la manœuvre de la poulie de traversière, mais il convient en même temps que sa position soit combinée avec celle des sabords de l'avant, de manière qu'aucun d'eux ne soit engagé, par la courbe verticale, ou par l'ancre elle-même lorsqu'elle est à poste de mouillage. Ces deux conditions fixent la position du pied du bossoir ainsi que celle de sa tête, en observant en outre que lorsque l'ancre est traversée, l'extrémité du jas doit venir butter sur la herpe;

4° Le pied du bossoir est inséré dans la muraille à la hauteur de la vaigre bretonne; dans cette position son encastrement peut être établi avec la solidité suffisante; la hauteur de sa tête étant fixée par les considérations précédentes, il en résulte pour le bossoir lui-même une inclinaison assez prononcée; cette inclinaison n'entraîne d'ailleurs aucun inconvénient, et facilite même l'établissement de la courbe principale.

Les dispositions du bossoir résultant de ces conditions générales sont indiquées dans la *fig.* 104 ci-jointe.

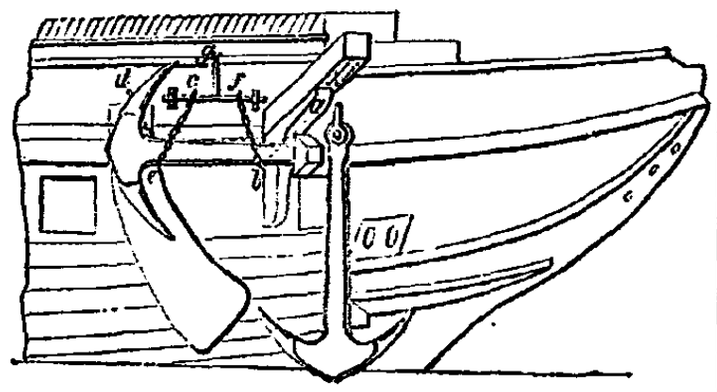


Fig. 104.

Lorsque l'ancre est traversée, sa patte est soutenue par un plan incliné rapporté en saillie sur la muraille; mais ce sont principalement les bosses qui la maintiennent dans cette position. Les bosses sont au nombre de deux : la *bosse de bout*, qui passe dans l'organeau et fait retour sur l'extrémité du bossoir pour venir s'amarrer à l'intérieur de la muraille, et la *serre-bosse*, qui décrit plusieurs révolutions autour de la verge de l'ancre et l'amarre solidement à quelque point fixe disposé à cet effet, soit à l'extérieur soit à l'intérieur. Pour mouiller, on commence par filer la serre-bosse, l'ancre reste suspendue sur la bosse de bout, et c'est au moment où cette dernière est larguée que l'ancre tombe à la mer.

Depuis l'introduction des câbles-chaînes, les bosses en filin ont été remplacées par des chaînes en fer, et ont en même temps reçu une disposition nouvelle ; la bosse de bout fait dormant sous le bossoir en *a*, mais au lieu de la faire passer dans l'organeau, on se contente de lui faire contourner la verge suivant *a b f*, pour venir se fixer à la muraille en *f*; la serre-bosse est fixée à la muraille en *d*, suit le contour *d e c*, et vient de nouveau se fixer à la muraille par l'extrémité opposée *c*. Ces bosses reçoivent les longueurs convenables pour maintenir solidement l'ancre à son poste lorsqu'elle est traversée Pour mouiller, on largue les deux bosses à la fois, en faisant fonctionner des échappements analogues aux étalingures mobiles et placés aux extrémités *c* et *f*. Pour que les chaînes des mouilleurs fonctionnent bien, il est nécessaire qu'elles échappent simultanément; pour arriver à ce résultat, on a définitivement remplacé les échappements indépendants, par la barre de mouillage représentée *fig.* 105. Ainsi que son nom l'indique, cet appareil se compose d'une barre en fer rond, supportée par deux pitons chevillés à la muraille; sur cette barre sont soudés deux ergots *c*, *f*, sur lesquels on engage les derniers maillons de chaque chaîne de mouilleur; un levier *g* est amarré contre la muraille et maintient les maillons en prise. Pour mouiller, il suffit de couper l'amarrage de ce levier; le poids de l'ancre entraîne la barre, les bosses échappent, et l'ancre tombe à la mer en pagaie.

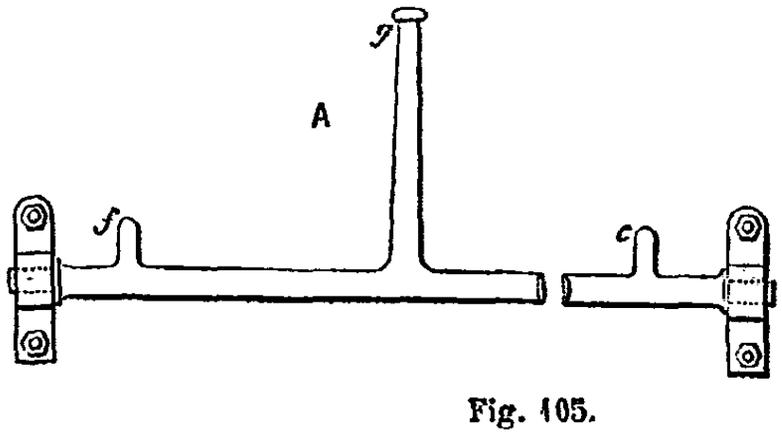
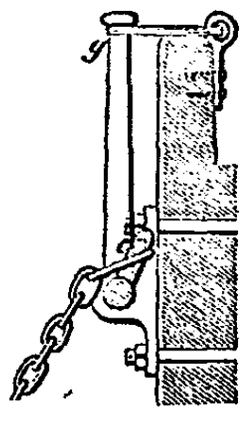


Fig. 105.

L'usage des chaînes de mouilleurs ne dispense pas d'ailleurs des bosses ordinaires en filin; la bosse de bout doit toujours être conservée par mesure de précaution lorsque la poulie de capon fonctionne, et la serre-bosse est indispensable pour assujettir l'ancre contre la muraille, et pour prévenir les ballottements continuels que permettent les bosses en chaîne, et qui ne tarderaient pas à entraîner l'usure ou la destruction des parties en contact.

ANIMÉ (résine). D'une couleur brun jaunâtre pâle, transparente et cassante. Elle transsude du *courbaril*, arbre qui croît à Cayenne et dans plusieurs autres parties de l'Amérique du Sud; elle nous arrive en fragments de diverses grosseurs, qui renferment souvent une quantité prodigieuse d'insectes appartenant à des espèces encore vivantes, d'où lui vient son nom *animé*. Elle renferme une petite quantité d'huile volatile, qui lui donne une odeur agréable. L'alcool et l'huile essentielle de caoutchouc ne dissolvent pas la résine animé pure; mais un mélange à parties égales de ces deux substances l'amène à l'état d'une bouillie assez molle pour que l'on puisse alors piquer les insectes qu'elle renferme, et les en retirer sans injurier le moins du monde leurs parties les plus délicates.



La pesanteur spécifique de la résine animé varie de 1,054 à 1,057. Chauffée dans une cornue en verre,

sur la lampe à esprit-de-vin, elle se ramollit, et si l'on opère avec ménagement, on peut la faire fondre, sans qu'elle se décolore; elle dégage alors quelques vapeurs blanches d'acide succinique.

Cette résine est très-employée dans la fabrication des vernis.

ANTIMOINE. On trouve l'antimoine dans la nature tant à l'état métallique qu'à l'état de combinaison; mais le seul minerai qui se rencontre en quantité suffisante pour être traité en grand est le sulfure d'antimoine. On le trouve ordinairement en masses composées d'aiguilles prismatiques juxtaposées, d'une couleur gris de plomb tirant sur le gris d'acier et douées d'un éclat fortement métallique. La rayure offre la même couleur. Ces aiguilles sont extrêmement aigres et cassantes, fondent à la simple flamme d'une chandelle, et exhalent une odeur sulfureuse. Réduit en poudre, le sulfure est gris noir, et était autrefois employé par les femmes pour se teindre les sourcils et les paupières. Sur 100 parties en poids, il renferme 72,86 d'antimoine et 27,14 de soufre; sa densité est de 4,43.

Le sulfure d'antimoine est ordinairement associé à du quartz, du sulfate de baryte et du carbonate de chaux; à Allemont on le trouve dans les nombreuses fissures du schiste micacé. Dans le traitement du minerai pour en retirer le métal, la première chose à faire est de séparer le sulfure d'antimoine de la gangue à laquelle il est associé; cette séparation se faisait autrefois dans des pots d'argile, que l'on plaçait soit dans des fosses en plein air, soit sur la sole d'un fourneau où on les chauffait modérément. Le sulfure d'antimoine, qui est très-fusible, se séparait par *liquation* des matières étrangères auxquelles il était associé, et se rendait par un trou pratiqué au fond de chaque pot dans une série de pots inférieurs dits *boulets*, placés hors de l'action du feu. Les grandes pertes qui résultaient de la casse des pots, ont fait adopter dans beaucoup de localités une autre méthode, qui consiste à concasser grossièrement le minerai trié et à le charger sur la sole concave d'un fourneau à réverbère, près de l'autel. On opère ainsi une liquation. Les matières terreuses restent où on les a chargées, et le sulfure fond et se rassemble au milieu de la sole, d'où on le coule.

A l'usine de *Malbosc*, dans le département de l'Ardèche, on opère la liquation d'une manière différente, et que nous allons décrire, parce que cet établissement est un des plus considérables qui existent en France.

Le fourneau de liquation est représenté dans la fig. 106; en coupe verticale et en élévation, *a*, *c*, *b*, sont les trois foyers munis de grilles qui ont 1m,37 de long sur 0m,27 de largeur, et sont séparés par deux murs dans lesquels sont pratiquées des galeries rectangulaires longitudinales, dont le fond est situé à 0m,30 au-dessus du niveau du sol de l'usine, et qui sont fermés à leurs extrémités par des portes en fonte munies de regards. Les parois et la partie supérieure de ces galeries sont construites en briques réfractaires. Des ouvertures *f*, pratiquées dans chaque mur de séparation, permettent à une partie de la flamme de s'introduire dans les galeries rectangulaires *e*, et d'échauffer préalablement les creusets coniques en fonte *h*,... où le sulfure d'antimoine tombe goutte à goutte à mesure qu'il se sépare des matières étrangères auxquelles il était associé; ces creusets ont 0m,30 à 0m,33 de profondeur, 0m,25 de diamètre à l'ouverture, et 0m,15 au fond; l'épaisseur de la fonte est de 0m,01; ils sont portés sur des chariots à roulettes, en fonte, ce qui permet de les retirer au besoin; on a soin de les revêtir d'un enduit d'argile réfractaire, afin de prévenir l'action sulfurante du sulfure d'antimoine sur la fonte.

Il y a dans chaque fourneau 4 tubes de liquation *g* en argile réfractaire; ces tubes sont verticaux, légèrement coniques, et ont 1m,02 de hauteur, 0m,26 de

diamètre intérieur en haut, et 0m,21 en bas; leur épaisseur est de 0m,015; des ouvertures de 0m,10 à

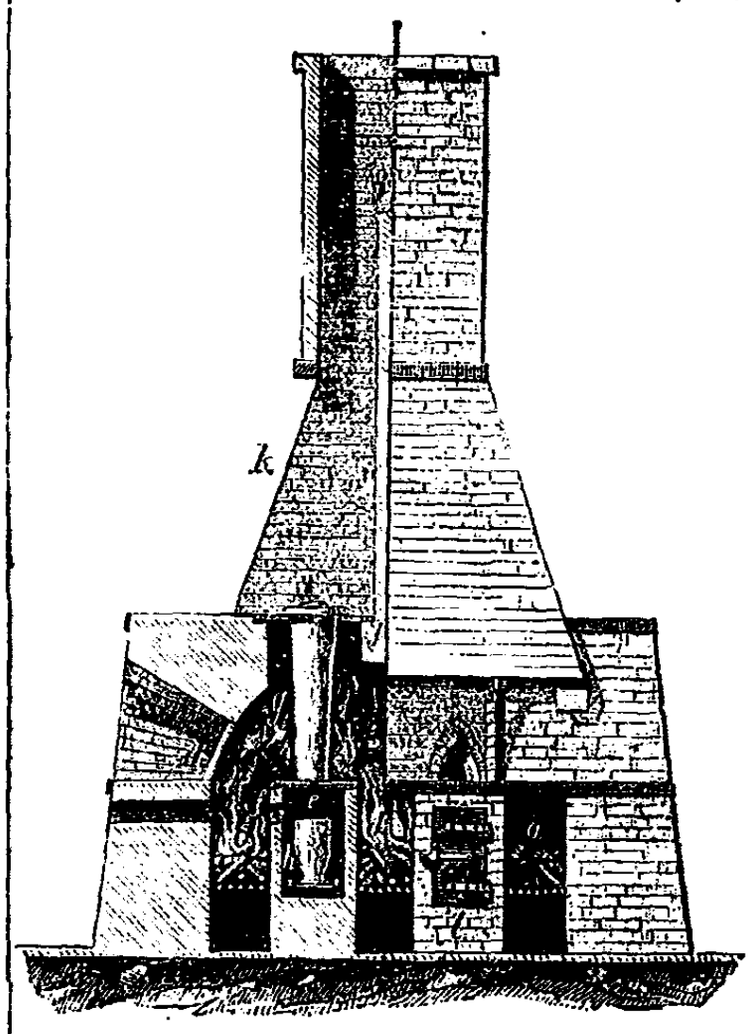


Fig. 106.

0m,12 de large, placées au bas des tubes de liquation, et vis-à-vis les portes, qui sont bouchées pendant la fonte avec des plaques d'argile, servent à les nettoyer; le sulfure fondu s'écoule par de petits trous et tombe dans les creusets *h*, *h*... Les tubes de liquation traversent la voûte dans des ouvertures pratiquées à cet effet, et se ferment à l'aide des plaques de recouvrement. La flamme sort du fourneau par des rampants munis de registres, et se rend dans la cheminée *j*, haute d'environ 4 mètres; une petite cheminée sert à donner issue aux vapeurs sulfureuses qui se dégagent lorsqu'on enlève les crasses et résidus de la liquation; une dernière cheminée consolidée par des tirans en fer et en bois, qui commence au niveau de la partie supérieure des tubes de liquation, et est partagée en deux compartiments par un mur de séparation J, est destinée à entraîner les fumées qui se dégagent lors du chargement des cylindres. Enfin des portes, fermées par des plaques, *d*, *d*, lutées avec de l'argile, permettent de visiter au besoin l'intérieur du fourneau, et d'examiner si l'un quelconque des tubes de liquation est hors de service.

On charge à la fois, dans chaque tube de liquation, 220 à 230 kilogr. de minerai d'antimoine, préalablement chauffé sur la voûte même du fourneau; peu de temps après, le sulfure commence à couler goutte à goutte dans les creusets de réception; quand tout écoulement a cessé, on retire les résidus par les ouvertures latérales, et on introduit une nouvelle charge. On laisse les creusets de fonte enduits d'argile se remplir aux trois quarts, puis on les retire du fourneau, où on en introduit d'autres; on les laisse refroidir lentement, et on les vide; chaque lingot pèse environ 40 kilogr. On passe une charge toutes les trois heures, et lorsque l'opération marche bien, on produit par tube de liquation et par heure, de 40 à 50 kilogr. de sulfure d'antimoine. La durée moyenne des tubes de liquation est de trois se-

ANTIMOINE.

maines; on en voit même qui durent le double. Le fondage est d'environ 40 jours. Le rendement du minerai en sulfure d'antimoine est de 40 à 50 p. 100, et on consomme 63 parties de houille p. 100 de sulfure d'antimoine obtenu. Ce procédé se recommande par la faible consommation de combustible, l'économie dans la main-d'œuvre, et le grand appauvrissement des résidus. D'après l'ingénieur en chef des mines Furgaud, ce fourneau à donné dans une campagne de 36 jours 23471 kilogr. de sulfure avec un minerai rendant 40 p 100, en dépensant :

15000[k] de houille grosse et menue à 2[f] les 100[k], soit.	3000[f]
240 journées d'ouvriers à 1[f],50 l'une, soit. .	360
Renouvellement des cylindres, outils, réparations.	60
Total. . . .	3420[f]

ce qui donne 3[f],06 pour les frais de traitement, correspondant à la production de 100 kilogr. de sulfure d'antimoine.

« Dans le travail en plein air, les frais de traitement s'élèvent à 8[f],42 par 100 kilog. de sulfure d'antimoine fondu produit; ils sont moins considérables dans les fours avec pots à boulets; mais y sont cependant encore bien supérieurs à ceux du fourneau de Malbosc. »

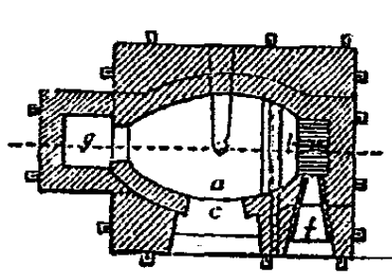
Le sulfure d'antimoine, ainsi obtenu par la fusion des minerais, porte le nom impropre *d'antimoine cru*, et est en cet état employé, partie à la préparation de différents produits pharmaceutiques, partie à la fabrication de l'antimoine métallique ou *régule*.

Le procédé le plus simple pour convertir le sulfure d'antimoine en régule, consiste à le porter au rouge avec du fer métallique; il se forme du sulfure de fer et de l'antimoine métallique, un peu ferreux, qui se séparent par la fusion. Les meilleures proportions à observer sont de 42 parties de fer métallique p. 100 de sulfure d'antimoine. Quoique le sulfure d'antimoine renferme 72 parties d'antimoine métallique, on n'en obtient que 50; cette perte tient à ce qu'une partie du métal se volatilise pendant l'opération, et à ce qu'une autre partie reste mécaniquement mélangée dans le sulfure d'antimoine. Le rendement augmente d'une manière notable, si l'on ajoute au mélange, du sulfure de potassium ou de sodium, ou bien un mélange de sulfate de soude et de charbon; il se forme alors un sulfure double de sodium et de fer, beaucoup plus fusible et plus léger que le sulfure de fer, et qui par conséquent se sépare beaucoup mieux de l'antimoine métallique.

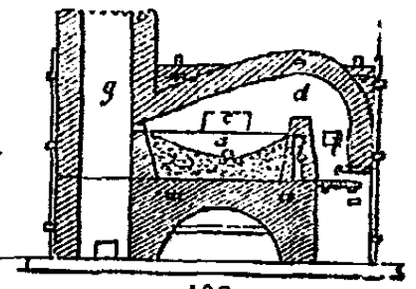
D'après M. Berthier, 100 parties de sulfure d'antimoine, 60 de battitures de fer, 45 à 50 de carbonate de soude, et 10 de charbon de bois pulvérisé, donnent par la fusion de 65 à 70 parties d'antimoine métallique. On peut également employer le sulfate de soude au lieu du carbonate, et, avec les proportions suivantes : 100 de sulfure d'antimoine, 80 de battitures de fer, 50 de sulfate de soude, et 17 de charbon, on obtient 57 parties de régule.

L'ancien procédé d'extraction, presque entièrement abandonné aujourd'hui, consiste à fondre au rouge, dans des creusets, un mélange de 4 parties en poids de sulfure d'antimoine, 3 parties de tartre, et 1 partie 1/2 de nitre. On n'obtenait que 27 parties de régule métallique p. 100 de sulfure employé, ce qui, joint au prix élevé du nitre et du tartre, a été la cause de l'abandon presque général de ce procédé. L'énorme déchet que l'on obtient résulte de ce qu'une grande partie de sulfure d'antimoine se combine avec le sulfure de potassium qui se forme, et échappe ainsi à la réduction. Dans les rares usines où ce procédé est encore appliqué, et où il est juste de dire que l'on obtient un métal d'une grande pureté, on utilise les scories alcalines que l'on obtient en les dissolvant dans l'eau; il se précipite du sulfure d'antimoine, qui est lavé, desséché, puis vendu à bas prix sous le nom de *kermès minéral préparé par voie sèche*, et est employé dans la médecine vétérinaire.

Lorsqu'on réduit le sulfure d'antimoine par l'un des procédés indiqués par M. Berthier, la séparation de l'antimoine métallique se fait bien plus aisément et à une plus basse température, de sorte que dans ce cas on peut aisément opérer la réduction sur la sole d'un fourneau à réverbère, et traiter directement le minerai brut. M. Frank, pharmacien à *Linz*, sur les bords du Rhin, prit en 1828 un brevet à ce sujet; nous donnons ici (fig. 107 et 108) le plan et la coupe de son fourneau de réduction. Le lit de fusion étant préparé comme nous l'avons dit, on en charge 100 à 150 kilogr. sur la sole, formée d'un mélange bien damé de sable et d'argile, par la porte *c* qui sert en même temps à retirer les scories. On coule l'antimoine réduit par le trou de percée



107.



108.

a, qui pendant l'opération est bouché avec de la brasque de charbon. On charge le combustible sur la grille *e*, par la porte *f*; la flamme passe par-dessus l'autel *d*, continuellement rafraîchi par un courant d'air qui traverse le canal *b*, se réverbère sur la sole du four, et s'échappe enfin par le rampant qui la termine dans la cheminée *g*. Chaque fonte dure huit à dix heures.

Comme l'antimoine ainsi obtenu n'est pas assez pur pour être immédiatement livré au commerce, on le fond de nouveau avec un peu de charbon dans des creusets que l'on chauffe dans un four à réverbère. On le purifie encore mieux dans quelques usines, en le fondant avec $\frac{1}{10}$ de son poids de verre d'antimoine, qui enlève le sulfure d'antimoine dissous dans le régule. L'antimoine métallique, tel qu'on le rencontre dans le commerce, renferme presque toujours une certaine quantité de fer et d'arsenic. La présence de ce dernier corps, tient à ce que le sulfure d'antimoine natif est presque toujours associé à une petite quantité de sulfure d'arsenic, qui se réduit en partie avec l'antimoine. Il n'est pas rare non plus d'y rencontrer une petite quantité de plomb et de cuivre. L'arsenic se reconnaît, en fondant l'antimoine au chalumeau, par l'odeur d'ail qui se dégage. Comme il est très important pour les préparations pharmaceutiques d'avoir de l'antimoine parfaitement pur, on a proposé un grand nombre de méthodes pour purifier l'antimoine du commerce; le procédé qui réussit le mieux, consiste à mélanger ensemble 16 parties en poids d'antimoine impur, 4 partie de sulfure d'antimoine et 2 parties de carbonate de soude fondu, puis de mettre le mélange dans un creuset de Hesse et de le maintenir en fusion pendant une heure environ; on laisse ensuite refroidir, et on sépare d'un coup de marteau les scories surnageantes du culot métallique, que l'on achève de raffiner en répétant encore deux fois la même opération.

L'antimoine a une couleur blanc d'argent avec une très légère teinte bleuâtre; sa cassure est extrêmement lamelleuse, et il est tellement aigre et cassant que l'on peut aisément le pulvériser dans un mortier. Il se fond un peu au-dessous du rouge en répandant dans l'air d'épaisses fumées blanches. Il se fond au chalumeau avec une fumée blanche, et vient déposer sur le charbon une auréole blanche formée d'aiguilles cristallines

d'oxyde d'antimoine; si on jette le globule fondu et rouge sur une feuille de papier, il se divisera en une foule de globules plus petits, qui resteront longtemps en incandescence, et qui courront dans tous les sens avec vitesse sur le papier, en y laissant des traces blanches d'oxyde d'antimoine. Fondu avec le borax ou avec d'autres flux vitreux, l'oxyde d'antimoine forme un verre jaunâtre.

L'acide nitrique concentré convertit l'antimoine en acide antimonieux, ou en acide antimonique, ou en un mélange de ces deux acides; l'acide nitrique étendu, au contraire, le convertit en oxyde d'antimoine; mais comme ces trois degrés d'oxydation d'antimoine sont insolubles dans l'acide nitrique, on peut employer ce procédé pour séparer l'antimoine, surtout dans ses alliages avec la plupart des autres métaux.

La pesanteur spécifique de l'antimoine est, d'après *Bergmann*, de 6,86. Celle de l'antimoine natif est, d'après *Haidinger*, de 6,646.

Les anciens alchimistes avaient conçu à l'égard de ce métal les plus brillantes espérances. La facilité avec laquelle il s'allie à l'or, puisqu'il suffit d'exposer ce dernier, le plus ductile de tous les métaux, à l'action de la vapeur d'antimoine, pour le rendre immédiatement aigre et cassant, les détermina à attribuer à l'antimoine une sorte d'origine noble, et à le distinguer des autres métaux par le titre latin de *regulus* ou *régule*, qui veut dire petit roi, titre sous lequel il est encore connu.

Aujourd'hui les principaux emplois de l'antimoine consistent dans la fabrication de quelques préparations pharmaceutiques, et dans celle de certains alliages métalliques, parmi lesquels nous citerons l'alliage des caractères d'imprimerie, l'alliage des planches stéréotypes, l'alliage des planches de musique et le métal d'Angleterre. L'alliage des caractères d'imprimerie est formé à peu près de 3 parties de plomb pour 1 partie d'antimoine; l'alliage des planches stéréotypes se compose de 6 parties de plomb et 1 partie d'antimoine; les planches sur lesquelles on grave la musique sont formées d'un alliage de plomb, d'étain et d'antimoine; et le métal d'Angleterre est également un alliage de plomb, d'étain et d'antimoine, auquel on ajoute une petite quantité de cuivre et de bismuth.

La production annuelle en Europe du sulfure d'antimoine fondu est d'environ 568077 kilogr., et se répartit comme il suit :

Empire d'Autriche.			231000[k]
Angleterre.			160000
France (1841).			88584
Prusse (1841).	Antimoine cru.	27653	58493
	Régule retiré directement du minerai.	30840	
Saxe.			10000
Hartz, pays de Nassau, etc.			20000
Total.			568077[k]

Les $\frac{9}{10}$ environ de la quantité totale de sulfure d'antimoine obtenu, sont ultérieurement transformés en régule.

En France le sulfure d'antimoine fondu, se vend moyennement à raison de 60[f] les 100 kilogr.; et l'antimoine métallique ou régule, au prix de 200[f] les 100 kil.

P. DEBETTE.

ANTHRACITE. Difficilement combustible tant par la difficulté qu'on éprouve à l'allumer, que par la fâcheuse propriété que possèdent quelques espèces de se déliter par l'action de la chaleur et d'intercepter le passage de l'air, l'anthracite n'en est pas moins un combustible bien précieux, et qui sera une source féconde de richesses pour plusieurs régions de la France, qui en possèdent des gisements abondants, quand on connaîtra mieux la manière de l'employer. La possibilité de l'utiliser, surtout après les travaux de M. Ebelmen, qui est parvenu à obtenir avec les déchets les plus inférieurs de la houille les températures les plus élevées que l'on produise dans la métallurgie du fer, ne saurait être douteuse; mais de plus, l'exemple des Américains, qui travaillent le fer à l'anthracite, prouve bien que son emploi ne doit plus être limité à la cuisson de la chaux, comme cela a lieu généralement en France.

Il faut aussi remarquer que si les combustibles à longue flamme sont très recherchés, à cause de la facilité de leur combustion dans les appareils les plus imparfaits, le progrès tend à leur substituer des charbons sans flamme. Alimentation moins fréquente, chauffage plus régulier, utilisation d'une fraction plus importante de leur valeur réelle, qui passe presque tout entière à l'état de chaleur rayonnante; telles sont en partie les raisons qui font souvent préférer les charbons qui se rapprochent beaucoup de l'anthracite, celui de Fresnes, par exemple, aux charbons à longue flamme.

Nous avons cru devoir insister sur l'importance de l'avenir probable de l'anthracite, parce que cette question est d'une importance très grande pour quelques-uns de nos départements. L'Isère et les Hautes-Alpes, par exemple, qui en possèdent d'admirables gisements, situés au milieu de nombreuses formations métallifères non utilisées, le long de torrents possédant une force motrice immense, ne doivent-ils pas devenir un jour le lieu d'usines métallurgiques considérables? C'est cet avenir probable, et nous espérons prochain, que nous appelons de tous nos vœux.

ANTISEPTIQUES. Substances qui empêchent ou arrêtent la décomposition spontanée des matières organiques animales et végétales. Ce sont principalement le sel de cuisine, le nitre, les épices et le sucre qui agissent en partie en modifiant la nature des fibres de la substance, soit animale, soit végétale, et en partie, en rendant leur constituant aqueux inapte à la décomposition. Voyez PUTRÉFACTION (moyens de prévenir la).

AQUEDUC. On en fait d'*apparents* et de *souterrains*.

Les premiers, construits comme les ponts et formés d'une série d'arches, traversent les vallons et les fondrières, pour conduire l'eau d'un sommet de montagne à un autre sommet opposé, ou pour la faire couler au-dessus du niveau d'un fleuve dont l'aqueduc croise le cours. La rigole, ou canal de conduite des eaux, est placée à la partie supérieure, dans le *tablier;* tantôt l'eau y coule à ciel ouvert, tantôt on la recouvre d'une voûte pour la garantir contre l'action du soleil.

On est quelquefois obligé de percer des montagnes pour conduire l'eau d'un côté de la base à l'autre, alors l'aqueduc est souterrain. Dans ce cas, on commence le percement par les deux extrémités, en se dirigeant à l'aide de la *boussole* ou du *niveau*, et si la galerie a une longueur assez considérable, on pratique sur sa direction et sur les flancs de la montagne, un ou plusieurs puits verticaux, que l'on fonce jusqu'au niveau que devra avoir la galerie, puis on attaque la roche de chaque côté des puits, en partant de leur pied et s'avançant dans la direction de la galerie. Lorsque le travail est conduit avec soin, les parties de galeries, ainsi attaquées par leurs extrémités, doivent se rejoindre exactement. Les puits verticaux servent à l'extraction des déblais pendant la construction de l'aqueduc, et plus tard de *regards*. L'aqueduc est ensuite généralement muraillé (voyez MINES), en tout ou en partie, suivant la nature du sol qu'il traverse.

Quelquefois on donne à la maçonnerie d'un aqueduc apparent assez d'épaisseur pour permettre aux voitures d'en parcourir la longueur sur une chaussée publique qu'on ménage sur l'édifice, à la hauteur convenable : l'aqueduc offre alors l'avantage non seulement de faire franchir à l'eau les vallons qui séparent les montagnes, mais encore de faciliter les communications de l'une à l'autre.

Les anciens nous ont laissé en ce genre des travaux magnifiques, parmi lesquels nous citerons : le *Pont du Gard*, formé par trois rangs d'arcades superposées et construit par les Romains pour l'alimentation de la ville de Nîmes; l'aqueduc de *Petra*, en Mingrelie, qui, selon Procope, fut construit par les soins de Cosroës, roi de Perse, et qui se compose de trois aqueducs superposés, et enfin les immenses aqueducs qui alimentaient Rome.

M. *Montricher* a construit l'aqueduc gigantesque de Roquefavour (décrit à l'article EAUX), qui laisse bien loin derrière lui tout ce qu'a fait l'antiquité. Cet aqueduc amenant les eaux de la *Durance à Marseille* alimente la ville, en même temps qu'il contribue à l'assainissement du port en y amenant des eaux courantes, enfin permet l'irrigation des environs de la ville.

ARDOISE. Nom donné à une sorte de schiste qui se trouve répandu en grande masse dans la nature, et qui par son inaltérabilité à l'air, et la faculté qu'il possède de pouvoir se diviser aisément en lames ou feuillets très minces, est très employé pour former des toitures aussi légères que solides. On trouve en France, dans les *Ardennes*, et surtout près d'*Angers* (Maine-et-Loire), deux gisements considérables d'ardoises éminemment propres à cet usage.

Les couches d'ardoises sont ordinairement verticales ou très inclinées sur l'horizon, rarement presque horizontales. On les exploite suivant leur position, tantôt à ciel ouvert, tantôt par galeries souterraines.

Exploitation à ciel ouvert. Comme exemple de ce mode d'exploitation, nous allons décrire brièvement le foncement de l'une de ces immenses excavations à ciel ouvert ou *perrières* qui entourent la ville d'*Angers*, et qui fournissent la plus grande partie des ardoises consommées en France. On y comptait en 1841, d'après M. Le Châtelier, quatorze *perrières*, dont la production annuelle s'élevait à 120 millions d'ardoises, représentant une valeur de 2 millions de francs. Les couches de schiste sont verticales ou inclinées d'au moins 75 à 80° sur l'horizon. Après avoir enlevé, sur une étendue rectangulaire de 2,000 à 5,000 mètres carrés, la terre végétale et l'argile provenant de la décomposition du schiste ardoisier, laquelle présente souvent une épaisseur considérable, on attaque la roche par *foncées* successives ou *gradins droits* (voir MINES), de 3 mètres de hauteur chaque. On coupe verticalement les deux parois ou *chefs* perpendiculaires à la direction du schiste, en laissant seulement de 3 en 3 mètres, une saillie de quelques centimètres pour marquer les foncées. C'est sur celui qui présente le plus de solidité que l'on établit les machines à molettes servant à l'enlèvement de la pierre et à l'épuisement des eaux. On commence chaque foncée en ouvrant au milieu de la carrière et parallèlement à la direction des feuillets du schiste, une longue tranchée de 3 mètres de profondeur, 1 mètre de large à l'ouverture et se terminant en coin ; ce travail qui est assez long et ne donne que des débris, se fait avec la *pointe*, sorte de pic droit à manche mince, flexible et long d'un mètre ; on abat ensuite le rocher de côté et d'autre, de manière à former ainsi plusieurs gradins sur chacun desquels on dispose un atelier. La tranchée ouverte, on pratique avec la pointe et à une distance de 2 à 5 décimètres de son bord supérieur, d'après l'examen des *délits* ou veines qui se montrent à la surface de la foncée, une série de trous espacés de 3 à 5 décimètres, et destinés à recevoir les *fers*, coins de 2 à 3 décimètres de long ; c'est ce qu'on appelle *faire le chemin* ou *enferrer*. Après avoir enfoncé ces fers à coups de masse, on les retire et on les remplace par les *quilles*, autres coins plus gros de 8 décimètres de long, dont le nombre dépend de l'étendue du bloc que l'on veut abattre ; puis des ouvriers, armés de lourds marteaux en fer, frappent en cadence sur la tête des quilles, et quand elles ont pénétré tout entières, les chassent avec de nouvelles. Il faut quelquefois en superposer ainsi jusqu'à 5 et 6 rangées. Le rocher se brise par le pied, et le bloc finit par se détacher ; si l'inclinaison du schiste ne lui permet pas de tomber par son propre poids, on introduit dans le joint de gros leviers de fer, sur lesquels on agit au moyen de cordages que l'on tire à bras d'hommes ou avec un treuil. Le bloc en tombant dans la tranchée, s'y brise en plusieurs blocs plus petits ou *crenons*, que l'on subdivise en y faisant des entailles et en frappant sur le plat d'après leur direction afin de les rendre plus transportables ; enfin des ouvriers abattent ou *rangent* au moyen de la pointe, les *écots* ou saillies que le bloc en se détachant a laissés adhérents à la masse.

Les blocs d'ardoises et les débris ou *vidanges* sont amenés à la surface du sol dans des caisses rectangulaires dites *bassicots*, par le moyen de manéges mus par des chevaux et formés d'un tambour vertical autour duquel deux câbles s'enroulent en sens inverse, et viennent ensuite passer sur des molettes ou poulies de renvoi verticales, soutenues par une charpente qui fait saillie sur l'excavation, de telle sorte qu'un bassicot vide descend toujours lorsqu'un autre monte. On vide les bassicots par le *tuet* ou côté formé d'une planche mobile. Lorsque l'excavation est assez profonde, on guide les bassicots dans leur mouvement, au moyen de câbles tendus en travers de la carrière, de manière à les faire arriver naturellement aux différents points de chargement, ce qui procure au spectateur un coup d'œil très curieux et très intéressant. Lorsqu'on est parvenu à une certaine profondeur on donne aux tranchées une pente légère pour faciliter l'écoulement des eaux, et l'on creuse à l'extrémité une grande cuve pour les recevoir. On les épuise avec deux grands seaux qu'un manége fait monter et descendre alternativement. Les *chefs* sont, comme nous l'avons dit, toujours taillés verticalement ; les parois latérales sont taillées en gradins plus ou moins larges, suivant la solidité de la roche, ou en talus rapide, pour prévenir les éboulements. On abandonne la carrière lorsque les parties supérieures, fatiguées par les filtrations d'eau, donnent lieu à des éboulements trop fréquents, ou lorsque la carrière est devenue trop étroite pour que l'exploitation soit profitable. La profondeur atteint souvent 100 mètres ; on a vu, il y a quelques années, une carrière finir à la profondeur de 140 mètres. C'est du reste un fait à peu près constant que l'ardoise est d'autant meilleure que l'on s'enfonce à une profondeur plus considérable.

Aussitôt après leur extraction les blocs amenés au jour sont façonnés en plein air sur les tas de remblais qui entourent la carrière. On les débite d'abord en *répartons* ou pièces de 2 à 3 centim. d'épaisseur et présentant grossièrement la forme et les dimensions des ardoises de diverses espèces ; on les subdivise ensuite en suivant le fil de la pierre, en ardoises brutes ou *fendis*, à l'aide d'un petit maillet et d'un ciseau plat très mince, appelé *dougé* ; enfin on termine les ardoises, et on leur donne la dimension et la forme voulues, en les taillant sur le *chaput*, billot en bois armé sur le bord d'une lame de fer qui forme l'arête, avec une petite hache ou *doleau* ; cela s'appelle *rondir* l'ardoise.

Exploitation par galeries souterraines. On exploite ainsi les couches recouvertes d'une grande épaisseur de *mort terrain*. On les rejoint par des puits ordinairement inclinés et on enlève le schiste d'une manière à peu près analogue à celle que nous venons de décrire en laissant d'espace en espace pour soutenir le faîte des excavations, un certain nombre de piliers disposés en quinconces.

Qualité des ardoises. La plus estimée est la *carrée fine*, elle est rectangulaire et a 0m,30 de long sur 0m,22 de large et environ 0m,003 d'épaisseur ; elle n'a point de taches et vaut sur le port d'Angers 25 francs le mille

(1040) et à Paris 56 francs en place. La seconde qualité est le *gros noir* qui ne diffère de la carrée qu'en ce qu'elle est plus petite. La troisième est le *poil noir*, seulement plus mince que la précédente. La quatrième est le *poil taché*, comme le poil noir, mais semée de taches rousses; elle vaut sur le port d'Angers 15 fr. le mille. La cinquième est le *poil roux*. La sixième est la *carte*, comme la carrée, mais plus petite et plus mince. La septième est l'*héridelle*, étroite et longue à deux côtés taillés et deux bruts. La huitième est la *coffine*, ardoise à surface courbe; enfin la dernière est l'*écaille*, ardoise arrondie. Ces trois dernières espèces ont des emplois spéciaux et sont assez rarement fabriquées; le *poil taché* et le *poil roux* sont des ardoises communes, employées uniquement dans le pays; et il n'y a guère que les premières qualités qui soient livrées au commerce extérieur.

On doit rejeter les ardoises qui contiennent des pyrites ou des corps organisés, celles dont la structure peu compacte permet d'absorber l'eau, ce qui les rend non seulement peu durables, mais même nuisibles aux pièces de bois qu'elles recouvrent.

Plus une ardoise est dure et pesante, meilleure elle est: elle doit rendre lorsqu'on la frappe un son clair et sonore et après être restée plongée dans l'eau pendant une journée entière, elle ne doit pas être mouillée plus d'un centimètre au-dessus du liquide. Les plus noires sont généralement les meilleures, les bleues claires sont bonnes, les vertes durent longtemps, les bleues foncées tirant sur le noir sont spongieuses.

Les ardoises d'Angers durent de 20 à 30 ans, celles des Ardennes de 90 à 100 ans, celles d'Angleterre encore plus.

M. Violet a proposé de faire cuire les ardoises dans un four à briques, jusqu'à ce qu'elles acquièrent une couleur rouge pâle; de cette manière on augmente leur durée et leur solidité. Il faut avoir soin de les percer avant cette opération qui revient à 1 fr. 50 c. par mille.

Les ardoises propres à d'autres usages qu'à la couverture des édifices s'exploitent comme les autres pierres. On les trouve surtout au *Platberg* (Suisse), où elles sont l'objet d'un commerce considérable; on en fait des tablettes pour écrire, des tables de poêles, etc...; on les emploie même pour la peinture et il y a sur cette pierre plusieurs tableaux de maîtres.

Ardoises artificielles. M. Braconnot de Nancy a fait l'analyse de plusieurs tablettes connues en Allemagne sous le nom impropre d'*ardoises élastiques*, et il a indiqué le moyen suivant pour les imiter. Prenez :

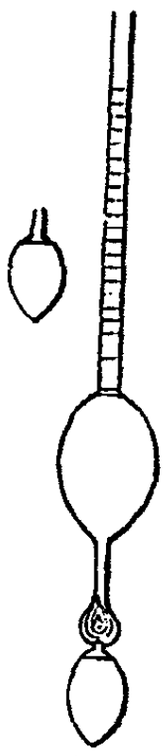
Sable quartzeux, réduit en poudre impalpable.	82 parties.
Noir de fumée.	8
Huile de lin cuite.	10

On broie bien ces substances ensemble pour qu'il en résulte une pâte presque pulvérulente que l'on délaie avec une quantité suffisante d'essence de térébenthine, et qu'on étend ensuite avec un pinceau sur un carton mince bien uni. Lorsque la première couche est sèche, on en applique une seconde et même une troisième. Si cette dernière présente des inégalités, on les fait disparaître et l'on adoucit la surface en y promenant un pinceau ou un tampon enduit du mélange ci-dessus, et de plus détrempé d'essence.

Les tablettes ainsi préparées sont légères, peu embarrassantes, point fragiles, et très-commodes pour écrire avec un crayon d'ardoise. (*Voy. Comp.* ARDOISES.)

ARÉOMÈTRE. Instrument qui sert à déterminer la densité des liquides et même des corps solides. Il y en a de deux sortes : les aréomètres à poids variable et les aréomètres à volume variable; ces derniers servent à déterminer la densité des liquides, ce sont les seuls employés dans l'industrie, et ce sont les seuls dont nous nous occuperons.

L'aréomètre à volume variable (fig. 109) est formé d'une boule ou d'un cylindre en verre creux soufflé à l'extrémité d'un petit tube ou tige en verre creux, et portant à sa partie inférieure un petit appendice également en verre dans lequel on introduit un lest de plomb ou de mercure qui sert à maintenir la tige verticale dans un équilibre stable. On fixe dans l'intérieur de la tige une bande de papier qui porte les divisions ou *degrés*, et on juge de la densité du liquide par le degré au niveau duquel l'instrument s'y enfonce.



109.

Les règles pour tracer ces divisions sont très variables; nous avons déjà parlé de l'*alcoomètre* à l'article ALCOOL, et il ne nous reste plus qu'à indiquer les deux autres échelles les plus usitées, savoir : celle de *Baumé* et celle de *Cartier*.

On distingue les aréomètres de *Baumé* en *pèse-sels* ou *pèse-acides* pour les liquides d'une densité supérieure à l'eau, et en *pèse-liqueurs* ou *pèse-esprits* pour les liquides plus légers que l'eau. Pour construire un pèse-sel on dissout 15 parties en poids de sel marin sec, dans 85 parties d'eau distillée, on prend l'aréomètre à graduer, et on le plonge dans l'eau pure, le lest doit être tel que le niveau affleure vers le sommet du tube, en un point, que l'on marque avec soin, c'est le 0 de l'échelle; on essuie l'instrument et on le plonge dans la dissolution saline préparée comme il a été dit ci-dessus; comme la densité est supérieure à celle de l'eau, il y entrera moins, et une plus longue partie de la tige sortira du liquide; on marque 15° au point d'affleurement, on divise en 15 parties égales l'espace compris entre ces deux niveaux, et on porte ensuite sur la tige, de haut en bas, ces mêmes degrés jusqu'au globe de l'aréomètre. Plus le degré est grand, plus la densité qui s'y rapporte est forte. L'acide nitrique va jusqu'à 45°, l'acide sulfurique à 66°, etc.

Pour construire les *pèse-liqueurs* ou *pèse-esprits*, on fait dissoudre 10 parties en poids de sel marin sec, dans 90 parties d'eau, et on marque sur la tige le point d'affleurement dans l'eau pure et dans cette dissolution. Le 0 est au niveau de la dissolution saline, et au bas de la tige de l'instrument qui doit être lesté à cet effet d'une manière convenable, et le n° 10 au point d'affleurement dans l'eau pure; enfin, on divise l'intervalle compris entre ces deux niveaux en 10 parties égales, que l'on prolonge en allant de bas en haut. Plus le degré est fort et plus la densité qui s'y rapporte est faible. Dans l'alcool il peut aller à 35 et 40°, et dans l'éther sulfurique jusqu'à 70°.

Plus la tige, qui doit être d'ailleurs parfaitement cylindrique, est mince relativement au globe, et plus l'instrument a de sensibilité; mais alors elle devient très fragile, parce qu'il faut lui donner d'autant plus de longueur et devient moins portative et d'un usage moins commode; aussi ne conserve-t-on cette longueur d'échelle que pour les *étalons*, régulateurs qui servent à fabriquer les divers aréomètres employés dans le commerce, qui ne doivent indiquer que les densités comprises entre des limites données assez rapprochées et qui varient suivant l'usage auquel on les destine. On conçoit, par exemple, que le sirop de sucre ne pouvant dépasser 34 à 36° sans tourner au caramel ou sans se prendre en masse, ce pèse-sirops n'a besoin que des degrés de 20 à 36°; le *pèse-vin* ou *pèse-moût*, nommé aussi *œnomètre*, ne s'étend que de 10 à 12° au-dessous du niveau de l'eau, jusqu'à 10 à 12° au-dessus; le *pèse-esprit*, que de 10 à 40°; le *galactomètre* ou *pèse-lait*, va de 0 à 12 ou 15°; le *pèse-éther* va de 30 à 70°.

L'aréomètre se loge dans un étui de verre ou de fer-blanc nommé *éprouvette*, que l'on remplit avec les liquides à essayer; on y met flotter l'aréomètre, qui doit s'y mouvoir sans flotter contre les parois; on a soin d'en mouiller la tige pour que les oscillations verticales soient fort libres, et l'on attend qu'il ne se dégage plus aucune bulle d'air; lorsque tout est bien tranquille on lit le numéro d'arrêt ou le *degré;* mais il faut imprimer à la tige de petits mouvements verticaux, pour s'assurer si cet arrêt est toujours le même, car la liberté des mouvements dans le tube est une chose indispensable.

La relation qui existe entre le poids spécifique d'un liquide et son degré à l'aréomètre de Baumé est donnée d'après M. *Francœur*, par les formules ci-après :

$$\text{Pour le pèse-acide } p = \frac{152}{152 - d};$$

$$\text{Pour le pèse-esprit } p = \frac{146}{136 + d};$$

p étant le poids spécifique ou la densité, et d le degré aréométrique correspondant, ou bien par la table suivante :

Table des poids spécifiques des liquides et des degrés de l'aréomètre de Baumé, à la température de 12°,5 centigr.

Pèse-acide de Baumé.						Pèse-esprit de Baumé.			
Degrés.	POIDS spécifique.	Degrés.	POIDS spécifique.	Degrés.	POIDS spécifique.	Degrés.	POIDS spécifique.	Degrés.	POIDS spécifique
0	1,0000	26	1,2063	52	1,5200	10	1,0000	36	0,8488
1	1,0066	27	1,2160	53	1,5353	11	0,9932	37	0,8439
2	1,0133	28	1,2258	54	1,5510	12	0,9865	38	0,8391
3	1,0201	29	1,2358	55	1,5671	13	0,9799	39	0,8343
4	1,0270	30	1,2459	56	1,5833	14	0,9733	40	0,8295
5	1,0340	31	1,2562	57	1,6000	15	0,9669	41	0,8249
6	1,0414	32	1,2667	58	1,6170	16	0,9605	42	0,8202
7	1,0483	33	1,2773	59	1,6344	17	0,9542	43	0,8156
8	1,0556	34	1,2881	60	1,6522	18	0,9480	44	0,8111
9	1,0630	35	1,2992	61	1,6705	19	0,9420	45	0,8066
10	1,0704	36	1,3103	62	1,6889	20	0,9359	46	0,8022
11	1,0780	37	1,3217	63	1,7079	21	0,9300	47	0,7978
12	1,0857	38	1,3333	64	1,7273	22	0,9241	48	0,7935
13	1,0935	39	1,3451	65	1,7471	23	0,9183	49	0,7892
14	1,1014	40	1,3571	66	1,7674	24	0,9125	50	0,7849
15	1,1095	41	1,3694	67	1,7882	25	0,9068	51	0,7807
16	1,1176	42	1,3818	68	1,8095	26	0,9012	52	0,7766
17	1,1259	43	1,3945	69	1,8313	27	0,8957	53	0,7725
18	1,1343	44	1,4074	70	1,8537	28	0,8902	54	0,7684
19	1,1428	45	1,4206	71	1,8765	29	0,8848	55	0,7643
20	1,1515	46	1,4339	72	1,9000	30	0,8795	56	0,7604
21	1,1603	47	1,4476	73	1,9244	31	0,8742	57	0,7566
22	1,1692	48	1,4615	74	1,9487	32	0,8690	58	0,7526
23	1,1783	49	1,4758	75	1,9740	33	0,8639	59	0,7487
24	1,1875	50	1,4902	76	2,0000	34	0,8588	60	0,7449
25	1,1968	51	1,4951			35	0,8538	61	0,7411

L'aréomètre, ou *pèse-liqueur* de *Cartier*, n'est qu'une altération de celui de *Baumé*. Pour construire un étalon suivant l'échelle de Cartier, on établit d'abord l'échelle Baumé; puis à partir du 22e degré de Baumé, en dessus et en dessous, on partage en 15 degrés égaux, 16 de Baumé; l'étalon ainsi obtenu, sert à la fabrication des aréomètres livrés au commerce.

L'équation qui sert à traduire les degrés C de Cartier en ceux B de Baumé, et réciproquement, est :

$$16\ C = 15\ B + 22;$$

Celle qui donne les poids spécifiques p correspondant à C degrés est, $p = \frac{136,8}{126,1 + C}$.

Lorsqu'on se sert des aréomètres il faut tenir note de la température à laquelle on opère, ce qui donne lieu, lorsque cette température diffère de 12° 1/2 centigrades, à une correction que l'on trouve toute faite dans des tables dressées à cet effet, et que nous nous dispenserons de rapporter ici.

Nous avons déjà parlé de l'*alcoomètre* au mot ALCOOL, de sorte que nous nous contenterons d'extraire du travail de M. Gay-Lussac les deux tables suivantes, qui donnent la relation qui lie les degrés de Cartier aux degrés centésimaux et réciproquement.

Ces tables, faites pour la température de + 15° centigrades, peuvent néanmoins servir pour une température différente, et donnent les indications correspondantes de chaque instrument placé dans le même liquide.

Évaluation des degrés de Cartier en degrés centésimaux, à la température de + 15° centigrades.

DEGRÉS de Cartier	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux.
10	0,2	19	49,1	28	74,0	37	91,2
10 1/2	2,4	19 1/2	50,9	28 1/2	75,2	37 1/2	91,9
11	5,1	20	52,5	29	76,3	38	92,7
11 1/2	8,1	20 1/2	54,1	29 1/2	77,3	38 1/2	93,4
12	11,2	21	55,6	30	78,4	39	94,1
12 1/2	14,5	21 1/2	57,2	30 1/2	79,4	39 1/2	94,7
13	18,2	22	58,7	31	80,5	40	95,4
13 1/2	21,8	22 1/2	60,1	31 1/2	81,5	40 1/2	96,0
14	25,2	23	61,5	32	82,5	41	96,6
14 1/2	28,5	23 1/2	62,9	32 1/2	83,4	41 1/2	97,2
15	31,6	24	64,2	33	84,4	42	97,7
15 1/2	34,4	24 1/2	65,5	33 1/2	85,3	42 1/2	98,3
16	36,9	25	66,9	34	86,2	43	98,8
16 1/2	39,3	25 1/2	68,1	34 1/2	87,1	43 1/2	99,4
17	41,5	26	69,4	35	88,0	44	99,8
17 1/2	43,5	26 1/2	70,6	35 1/2	88,8		
18	45,5	27	71,8	36	89,6		
18 1/2	47,3	27 1/2	72,9	36 1/2	90,4		

Évaluation des degrés centésimaux en degrés de Cartier, à la température de + 15° centigrades.

DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux	DEGRÉS de Cartier.
0	10,03	30	14,73	60	22,46	90	36,24
5	10,97	35	15,63	65	24,29	95	39,70
10	11,82	40	16,66	70	26,26	100	44,19
15	12,57	45	17,88	75	28,43		
20	13,25	50	19,25	80	30,76		
25	13,97	55	20,79	85	33,33		

ARGENT (*angl.* silver, *all.* silber). Métal d'un blanc parfaitement pur et caractéristique. Fondu, sa densité est de 10,47, écroui sous le marteau, elle devient 10,54. Il est extrêmement malléable et l'on peut le réduire, sous le marteau, en feuilles de $\frac{1}{1000}$ de millimètre d'épaisseur sans qu'il se déchire, de 0° à 100° il se dilate de $\frac{1}{309}$ de sa longueur. Sous le rapport de la dureté, il tient

le milieu entre l'or et le cuivre. Il fond au rouge vif, ou d'après Daniell, à 1022° centigrades. Lorsqu'on le soumet à une température extrêmement élevée, soit à l'aide d'une forte lentille, soit à l'aide du chalumeau à gaz oxygène ou d'une forte batterie électrique, il se volatilise rapidement et brûle avec une flamme verdâtre. Un fil d'argent de 1 millimètre carré de section, se rompt sous un poids de 24 kilogr. Il est inattaquable par l'action des agents atmosphériques. Fondu il absorbe l'oxygène de l'air, environ 22 fois son volume, qu'il dégage de nouveau en se solidifiant, ce qui donne lieu au *rochage*, singulier phénomène que MM. *Gay-Lussac* et *Lucas* ont étudié avec soin, et dont ils ont fait connaître les circonstances aussi curieuses que remarquables. Ce phénomène est surtout très intéressant à observer, sur de grandes masses d'argent fondu, 20 à 25 kilogr. par exemple. Lorsqu'après avoir maintenu pendant longtemps à l'état de fusion une pareille quantité d'argent fin, on la laisse refroidir spontanément, la partie supérieure commence par se solidifier. Bientôt la voûte ainsi formée se fendille, et de l'argent très fluide s'échappe par les fissures et déborde sur la croûte en couche mince; cette première période du phénomène paraît due, non pas à un dégagement gazeux, mais bien à l'expansion qui résulte d'un commencement de cristallisation. Bientôt après, et à mesure que le refroidissement continue, le dégagement gazeux commence en soulevant sur plusieurs points la croûte solidifiée, et donne lieu à la formation de véritables petits cratères volcaniques, par l'ouverture desquels se dégage un courant d'oxygène, tandis que des laves d'argent fondu se répandent par dessus leurs bords. Au milieu de chaque cratère on aperçoit l'argent fondu qui bouillonne avec violence. A mesure que le dégagement gazeux continue, la hauteur de ces cratères augmente par suite de la solidification du métal qui s'écoule par dessus leurs bords; la plupart d'entre eux s'obstruent peu à peu, tandis que le gaz s'échappe avec une force constamment croissante en entraînant avec lui de petites gouttes d'argent fondu qu'il projette au loin, et en donnant lieu à chaque éruption à de petites explosions qui se succèdent par intervalles très rapprochés. Les cônes d'éruption peuvent atteindre jusqu'à 2 ou 3 centim. de hauteur et 6 à 8 centim. de diamètre à la base; et pour une quantité de 25 kilogr. d'argent, la durée totale du rochage varie de 30 à 45 minutes. Ce phénomène n'a plus lieu dès que l'argent est allié à quelques centièmes de cuivre, d'or, ou de plomb, qui empêchent l'absorption de l'oxygène.

L'argent présente trois degrés d'oxydation.

1° L'*oxyde d'argent*, qui s'obtient en décomposant le nitrate d'argent par de la potasse caustique en excès, lavant à grande eau et desséchant avec précaution; il a une couleur gris brunâtre, et est complétement réduit à l'état métallique par l'action d'une chaleur rouge ou même seulement par l'action prolongée de la lumière solaire. C'est une des bases métalliques les plus puissantes, et il donne des sels parfaitement neutres. En le faisant digérer dans de l'ammoniaque caustique, on obtient une poudre noire extrêmement détonnante, dite *argent fulminant*, qui paraît être de l'azoture d'argent, suivant les observations de MM. Gay-Lussac et Sérullas. Ce composé qu'il ne faut pas confondre avec le FULMINATE D'ARGENT (voyez ce mot), n'a pu recevoir aucune application, à cause des dangers imminents que présente son maniement.

2° L'*oxydule d'argent*, découvert par Wœhler, qui se prépare en décomposant le mellitate d'argent par l'hydrogène.

3° Le *peroxyde d'argent*, que l'on obtient sous la forme d'une poudre noire, en décomposant par la pile une dissolution de nitrate d'argent; il se rassemble au pôle positif, et contient d'après M. Ritter deux fois autant d'oxygène que l'oxyde.

L'argent s'allie très aisément au soufre, et se couvre de suite d'une couche brune de sulfure d'argent, au simple contact de l'hydrogène sulfuré. Pour nettoyer les objets ainsi attaqués, le moyen le plus simple est de les plonger pendant quelque temps dans une dissolution de *caméléon minéral* (manganate de potasse) que l'on obtient en chauffant au rouge, un mélange à parties égales de potasse et de peroxyde de manganèse et reprenant par une petite quantité d'eau; dans cette opération le manganate se décompose et réagit sur le soufre du sulfure d'argent qu'il oxyde et dissout ensuite. On pourrait aussi employer de l'*eau oxygénée*, si l'on en avait à sa disposition. L'argent est très soluble dans l'acide nitrique et ses dissolutions se reconnaissent en ce qu'elles donnent lieu, par l'addition d'acide hydrochlorique ou d'un chlorure soluble, à un précipité blanc, caillebotté, de chlorure d'argent, qui se colore promptement en bleu violacé sale, lorsqu'on l'expose à l'action des rayons solaires. Beaucoup de métaux (le cuivre et le mercure non en excès, par exemple) le précipitent à l'état métallique de ses dissolutions.

Les minerais d'argent sont les suivants:

Argent natif. L'argent natif présente les propriétés de l'argent pur, quoique moins prononcées, ce qui tient à ce qu'il est toujours allié à une petite quantité de métaux étrangers, il est presque toujours terne à la surface; mais il prend le blanc d'argent par la rclure. On le trouve tantôt cristallisé en cubes ou en octaèdres, tantôt en feuilles, en filets tortueux, en fils déliés ou en dendrites, et tantôt en masses amorphes.

On le rencontre principalement en filons dans les terrains primitifs, c'est-à-dire dans le granit et le gneiss plus rarement dans les schistes argileux et la grauwacke des terrains de transition, accompagné de quartz, de chaux carbonatée, de baryte sulfatée, de chaux fluatée, de fer carbonaté et oxydé, de galène, etc... Les localités principales où on trouve l'argent natif sont: Kongsberg en Norwége; le Schlangenberg en Sibérie; Freiberg, Schneeberg et Johanngeorgenstadt en Saxe; Joachimsthal; Przibram et Ratiborzitz en Bohême; Schemnitz en Hongrie; Kapnik et Felsœbanya en Transylvanie, Andreasberg au Hartz; Allemont en France; enfin le Mexique et le Pérou en Amérique. On en a parfois trouvé dans quelques-unes de ces localités des masses considérables, ainsi: Kongsberg a fourni des masses de 25 à 275 kilogr.; en Amérique, à la fin du siècle dernier, on a trouvé des masses de 100 à 400 kilogr.; et on a extrait une fois de la mine de Johanngeorgenstadt un bloc d'argent massif qui pesait, dit-on, 4000 à 5000 kilogr.

Argent sulfuré (*all.* glaserz ou silberglanz). Renferme 85 p. 100 d'argent métallique. Il est d'un gris foncé noirâtre terne à l'extérieur et éclatant dans la coupure; il cristallise en cubes ou en octaèdres, mais il est le plus souvent amorphe ou filiforme; il est un peu malléable, presqu'aussi mou que le plomb, et se laisse couper au couteau. Il fond aisément au chalumeau et même à la simple flamme d'une bougie, en dégageant une légère odeur sulfureuse et finit par se réduire sur le charbon, en argent métallique. On le rencontre dans les mêmes gisements que l'argent natif, rarement à l'état de pureté, en quantité assez considérable; il se présente dans la nature presque toujours combiné avec d'autres sulfures, tels que ceux de cuivre, de plomb, etc.

Argent rouge (*all.* rothgültigerz). Il y a trois espèces d'argent rouge: 1° L'*argent antimonié sulfuré* ou sulfure double d'argent et d'antimoine, d'un rouge foncé, tirant sur le noir, presque opaque, ordinairement cristallisé en prismes hexaèdres, présente un éclat à la fois adamantin et métalloïde et renferme 60 p. 100 d'argent pur. On le trouve surtout à Andréasberg (Hartz), Joachimsthal (Bohême), Freiberg (Saxe), Kongsberg (Norwége), Schemnitz et Kremnitz (Hongrie); 2° le sulfure double d'argent et d'arsenic (*Proustite*), qui est d'un

rouge clair, transparent, avec éclat adamantin, et renferme 64 p. 100 d'argent métallique; enfin 3° la *myargyrite* qui ne diffère de l'argent antimonié sulfuré qu'en ce qu'elle renferme une proportion trois fois moins considérable de sulfure d'argent.

Argent sulfuré aigre (*all.* sprœdglaserz) qui présente 2 variétés essentiellement distinctes : 1° la *Polybasite*, combinaison de sulfure de cuivre, de sulfure d'argent et de sulfure d'antimoine ou d'arsenic; éclat métalloïde, d'un gris de fer; vue par transmission en esquilles minces, elle présente une couleur rouge de sang; elle renferme de 60 1/2 à 72 1/4 p. 100 d'argent et se trouve surtout dans l'Erzgebirge saxon; et 2° l'*argent sulfuré aigre* proprement dit (*all.* schwarzgiltigerz), qui est une combinaison de sulfure d'argent avec du sulfure d'antimoine ou d'arsenic; d'un gris de fer; éclat faiblement métalloïde; poussière noire se trouve avec l'espèce précédente, ainsi qu'en Hongrie, Transylvanie, etc...

Cuivre gris argentifère (*all.* weissgiltigerz). Combinaison de sulfures d'argent, de cuivre, de plomb et d'antimoine; ayant un éclat métalloïde et une couleur comprise entre le gris de plomb et celui d'acier. Celui que l'on trouve dans les mines de Freiberg contient 30 à 32 p. 100 d'argent. Le *Graugiltigerz* est une variété de cuivre gris beaucoup plus pauvre en argent que la précédente.

Bismuth sulfuré plombo-argentifère (*all.* wismuthbleierz). Métalloïde, gris de plomb, cassant; c'est un sulfure triple de bismuth, de plomb et d'argent; renfermant 15 p. 100 d'argent métallique. On le trouve à Schapbach (Forêt-Noire), rare.

Argent antimonial (*all.* spiessglanz silber); substance, métalloïde, assez rare, blanc d'argent, composée d'environ 77 parties d'argent et de 23 p. d'antimoine; on le trouve quelquefois cristallisé en prismes rectangulaires, mais le plus souvent il se présente en masses concrétionnées. On le trouve à Wolfach (Forêt-Noire) et dans quelques mines du Hartz.

Argent chloruré (*all.* silberhornerz), demi-ductile, assez tendre pour se laisser couper au couteau; couleur gris de perle tirant souvent sur le bleu et brunissant à l'air; éclat vitreux; ordinairement translucide; cristallise en cubes. Se trouve surtout en Amérique.

Iodure d'argent, découvert par Vauquelin dans des minerais du Mexique; jaunâtre; assez rare.

Bromure d'argent. Découvert il y a peu d'années par M. Berthier dans des minerais du Mexique, où il paraît assez commun; en grains verts cristallins.

Séléniure et *tellurure d'argent* extrêmement rares et ne sont cités ici que pour mémoire.

Amalgame, mercure argental, d'un blanc d'argent très éclatant, tendre, se laissant couper au couteau. Il cristallise en octaèdre régulier ou en dodécaèdre. On ne le rencontre en quantité assez considérable que dans les mines du Chili (Coquimbo, Arqueros). Il renferme 86 p. 100 d'argent.

Galène argentifère. Presque toujours le sulfure de plomb ou galène est associé à une petite quantité d'argent à l'état de sulfure. On la regarde comme extrêmement riche lorsqu'elle renferme 0,005 d'argent, et dans beaucoup de cas on peut en extraire avec avantage celui-ci lorsqu'elle a même une teneur dix fois plus faible.

En général, et quelle que soit leur nature, on regarde comme très riche des minerais qui renferment 0,005 d'argent métallique.

Argent carbonaté. On trouve quelquefois des carbonates de plomb argentifères dans lesquels l'argent paraît être à l'état de carbonate. Très rare.

Sous le rapport du traitement métallurgique, on divise les minerais d'argent en quatre classes, savoir :

1° Minerais d'argent proprement dits avec gangues stériles.

2° Minerais de plomb et d'argent.

3° Minerais de cuivre et argent.

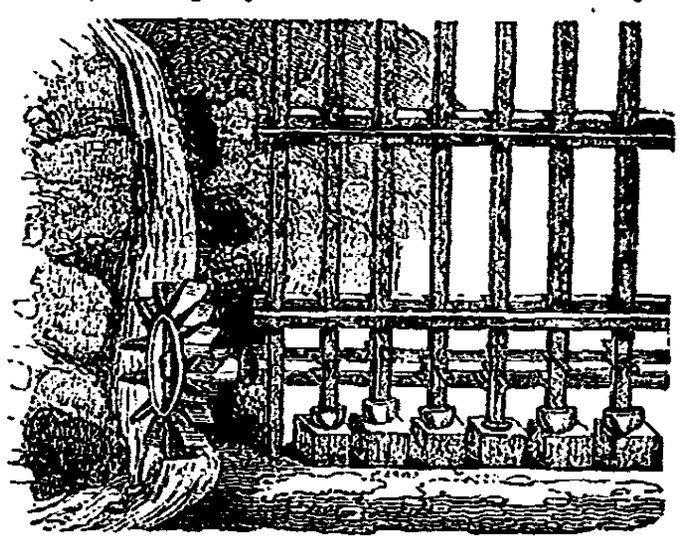
4° Minerais de plomb, cuivre et argent.

La séparation de l'argent de ses minerais peut se résumer en deux méthodes tout à fait distinctes, le traitement par *amalgamation* (*all.* verquicken), et celui par une série de fontes successives qui concentrent l'argent dans une certaine quantité de plomb que l'on en sépare ensuite par la *coupellation* (*all.* treiben). Le premier de ces procédés consiste essentiellement à mettre en contact intime, avec du mercure métallique, les minerais d'argent finement pulvérisés et ayant déjà été soumis à une préparation particulière; l'argent se dissout dans le mercure, et après avoir recueilli, par lavage, l'amalgame, on le distille et on obtient un résidu d'argent métallique. Ce procédé offre sur tous les autres, l'avantage d'une grande simplicité, mais comme on perd les métaux étrangers tels que le cuivre et le plomb qui se trouvent associés dans les minerais, on ne l'emploie généralement que pour les minerais qui ne renferment proportionnellement qu'une faible quantité de plomb et de cuivre; cependant nous verrons un exemple du contraire, dans le pays de Mansfeld. Dans les autres procédés on obtient par une suite de fontes et de grillages successifs, du PLOMB ou du CUIVRE *argentifères* (voyez ces mots), dont il s'agit de séparer l'argent. A cet effet, on soumet le plomb à la coupellation. Quant au cuivre, il doit d'abord être liquaté; opération par laquelle on fait passer la plus grande partie de l'argent qu'il renfermait dans du plomb que l'on coupelle ensuite.

Nous allons exposer sommairement ces principaux procédés :

1° MINERAIS D'ARGENT PROPREMENT DITS AVEC GANGUES STÉRILES *Amalgamation américaine*. Cette méthode inventée au Mexique par *Bartholomé de Médina*, en 1557, existe encore en Amérique dans toute sa simplicité primitive; il est nécessaire pour faire comprendre l'avantage que l'on trouve à employer ce procédé, de se rappeler que dans ce pays les minerais ne sont généralement pas plus riches qu'en Europe, que le plomb y est très cher, le combustible très rare et qu'on y manque de cours d'eau comme force motrice.

Au sortir de la mine, les minerais sont livrés aux *pepenadores*, ouvriers qui, le marteau à la main, les concassent en fragments dont la grosseur ne dépasse pas 2 à 3 centim. cubes, et les trient. On met de côté les minerais riches qui contiennent plus de 0,01 d'argent et qui sont ordinairement soumis à la fonte; le reste est amalgamé. Les minerais destinés à l'amalgamation sont d'abord pulvérisés dans des bocards à sec, renfermant de 6 à 8 pilons qui pèsent chacun 100 kilogr. environ, et sont soulevés par des cames placées sur un arbre horizontal qui est mis en mouvement, soit par une roue hydraulique prise en dessus, comme l'indique la



110.

fig. 110, soit par un manége à mulets, si l'on n'a pas à sa disposition d'autre moteur naturel. Chaque pilon

vient tomber dans une auge séparée en pierre dure ou mieux en bois. On estime qu'une batterie de 8 pilons peut pulvériser en 24 heures 1,600 kilogr. de minerai. La poudre ainsi obtenue n'est pas assez fine pour être amalgamée, on la réduit en farine impalpable dans des moulins (*arrastres*), où on ajoute un peu d'eau. Ces moulins sont ordinairement mûs par des mulets qui font tourner un arbre vertical armé de 4 bras, sur chacun desquels est montée une meule verticale en granit ou autre roche dure, qui se meut dans un bassin également en pierre. Ces moulins sont ordinairement placés sous un hangar, comme l'indique la fig. 111, qui

111

représente le grand atelier de préparation mécanique de *Salgado*, près *Guanajuato*, lequel renferme 36 bocards à sec et 42 moulins à eau, sous le même toit, le tout desservi par des mulets. Chacun d'eux peut réduire en 24 heures, en poudre impalpable, 300 kilogr. environ de minerai déjà passé au bocard. On relaie les mulets toutes les 6 heures. Cette opération est considérée comme très importante, car l'amalgamation est

112.

d'autant plus complète, et la perte en mercure d'autant moins considérable, que la pulvérisation a été poussée plus loin. On recueille les boues qui s'échappent des moulins dans des fosses de 1 à 2 mèt. de profondeur, et après les avoir laissées prendre de la consistance au soleil, on les porte à l'aire d'amalgamation ou *patio* (fig. 112), qui est entourée de murs et pavée. A *Zacatecas*, chaque *patio* est rectangulaire, a 150m de long sur 115m de large et peut contenir 24 tas circulaires de minerai, de 15m de diamètre, sur 0m,15 à 0m,20 de hauteur, disposés sur 4 rangées. On réserve habituellement dans un coin de l'aire un petit espace pour traiter une faible quantité de minerai qui permette de déterminer d'avance la proportion de mercure qu'il faut incorporer dans les tas.

A *Zacatecas* on forme d'abord, pour recevoir chaque tas, des compartiments de grandeur convenable entourés de planches, au milieu de chacun desquels on introduit 55 hectol. 1/2 de sel marin impur; on charge par-dessus 600 quintaux métriques de minerai; on mélange le tout ensemble en le remuant d'abord à la pelle, puis en le faisant piétiner par des mules, et le laissant ensuite reposer le reste de la journée. Le lendemain on ajoute le *magistral*, minerai de cuivre grillé, puis finement pulvérisé, renfermant 10 p. 100 de sulfate de cuivre et autant de sulfate de fer, en quantité variable suivant la teneur en argent du minerai et la saison. Ainsi cette quantité est de 22 quintaux 1/2 par tas en été, et seulement de 11 quintaux 1/4 en hiver, pour des minerais renfermant 0,00150 d'argent métallique; lorsque l'opération marche trop rapidement ou qu'il y a trop de magistral, ce qui tend à augmenter la perte en mercure, on y remédie en ajoutant une certaine quantité de chaux. Après l'addition du magistral, on le mélange, en faisant piétiner la masse pendant 5 à 6 heures par 6 mulets. On commence ensuite à ajouter une certaine quantité de mercure, que l'on tamise sur le tas au travers d'une chausse en laine, et que l'on incorpore dans la masse en faisant d'abord piétiner de nouveau celle-ci, puis la retournant avec des pelles en bois, on continue ainsi pendant plusieurs jours à faire piétiner les tas et à les retourner à la pelle, jusqu'à ce que tout le mercure se soit amalgamé; on en ajoute alors une seconde et même quelquefois une troisième charge, en traitant à chaque fois le minerai comme il vient d'être dit. Enfin on ajoute une dernière charge de

mercure pour réunir l'amalgame et les petites gouttelettes de mercure, et après avoir fait piétiner le mélange pendant quelques heures, on retire les terres amalgamées pour les soumettre au lavage. L'amalgamateur se sert, pour juger des progrès de l'amalgamation, d'une petite assiette noire, plate et ronde, faite en argile cuite; il met sur cette assiette un peu de pâte qui est en train de s'amalgamer, et tenant l'assiette inclinée et à moitié submergée dans l'eau, il lui imprime un mouvement rotatoire tel que, tous les points du bord de l'assiette sortant successivement l'un après l'autre de l'eau, les autres s'y replongent, et que l'axe de l'assiette subisse une révolution conique, par suite de laquelle il se forme un courant d'eau circulaire qui retient au centre le sable et les parties métalliques, et les y arrange suivant leurs pesanteurs spécifiques : de manière à ce que le sable de la gangue, occupant le milieu, la partie pesante, grenue, métallique ou *lix*, se porte à la circonférence, et l'amalgame en paillettes glisse par-dessus. C'est surtout l'aspect de la *lix* qui indique la marche de l'opération. On ajoute ordinairement 8 parties de mercure pour une en poids d'argent contenu dans le minerai; ainsi à Zacatecas, pour un minerai ayant une teneur argentifère présumée de 0,001625 (ce qui est le cas le plus ordinaire), on ajoutera à chaque tas, qu'on estime renfermer 97k,50 d'argent, la première fois 480k de mercure, la seconde 150k, et enfin la dernière 210k, en tout 840 kilogr. La durée totale de l'amalgamation est de 12 à 15 jours en été, et de 20 à 25 en hiver; c'est moins du tiers du temps employé dans plusieurs autres usines mexicaines, ce qui tient évidemment à ce que l'on donne très peu d'élévation aux tas, et qu'ils offrent ainsi une grande surface à l'action des rayons solaires.

Le lavage des terres amalgamées se fait dans des cuves circulaires en maçonnerie de 2m,50 de profondeur sur 3m de diamètre. Une roue horizontale dentée, montée sur l'arbre d'un manége mû par 4 mules, communique, par l'intermédiaire d'une seconde roue dentée, un mouvement de rotation à un arbre vertical placé au milieu de la cuve, et armé à sa partie inférieure de 4 agitateurs formés chacun par la réunion d'un certain nombre de tiges en bois de 1m,50 de long, parallèles et verticales; il arrive continuellement un petit filet d'eau par la partie supérieure. L'amalgame gagne le fond de la cuve, on laisse écouler de temps en temps les boues dans un second appareil tout à fait semblable, dans lequel on les relave de nouveau, puis on les jette de côté. On peut en 12 heures de travail laver, dans une cuve, un tas entier de minerai amalgamé. L'amalgame liquide ainsi obtenu est pressé dans un sac en peau dont le fond est formé d'une sorte de flanelle très serrée et très forte. Il s'écoule du mercure renfermant encore une petite quantité d'argent, et qui sert à amalgamer de nouveau minerai, tandis qu'il reste dans le sac un amalgame grenu assez solide, que l'on distille pour obtenir l'argent qu'il renferme; à cet effet on le divise en pains de 15k environ chaque, que l'on dispose en cercle au nombre de 11 sur une plaque en fonte ou en forte tôle de fer, percée en son centre d'un trou; on superpose de nouvelles rangées de pains, et enfin on recouvre le tout d'une cloche également en fonte ou en tôle de fer, que l'on lute aussi bien que possible contre la plaque de fond, avec un mélange de cendres, de sel marin, et de boues de lavages; on construit ensuite, tout autour de la cloche et à une distance de 0m,30, un petit mur en briques, et l'on maintient l'intervalle compris entre ce mur et les parois de la cloche continuellement rempli de charbons ardents pendant 20 heures; on laisse alors tomber le feu et on enlève la cloche. Le mercure s'est échappé par un tuyau fixé à l'ouverture de la plaque de fond, et s'est rendu dans un réservoir inférieur en terre cuite rempli d'eau, où il s'est condensé presque en totalité. L'argent qui reste sous la cloche a conservé la forme des pains d'amalgame, et après avoir été pesé, est ordinairement refondu dans des fours à réverbère et coulé en lingots du poids de 70 à 80 kilogr. On emploie depuis peu dans quelques usines, pour distiller l'amalgame, des cornues cylindriques en fonte placées dans un fourneau à galère. La perte en mercure est de 1k,50 par kilogr. d'argent obtenu.

Voici ce qui se passe dans le procédé d'amalgamation tel que nous venons de le décrire : en Amérique l'argent se trouve dans les minerais, partie à l'état natif, partie à l'état de chlorure, partie à l'état de sulfure simple ou multiple. Le magistral que l'on y ajoute réagit sur le sel marin, en donnant du sulfate de soude et du deutochlorure de cuivre, lequel agit comme chlorurant énergique sur le sulfure d'argent, qu'il change en chlorure d'argent, en passant lui-même à l'état de protochlorure; le chlorure d'argent est à son tour réduit par une partie du mercure ajouté, en formant du protochlorure de mercure, et s'amalgame avec l'autre partie; c'est cette formation de protochlorure de mercure, lequel se trouve entraîné par les eaux de lavage, qui forme la presque totalité de la grande perte en mercure que l'on éprouve. Le sel marin sert non seulement à transformer le sulfate de cuivre en deutochlorure, mais encore à dissoudre le chlorure d'argent et à en faciliter ainsi considérablement la réduction par le mercure.

En moyenne, les minerais d'Amérique sont très pauvres et ne renferment guère que 0,00150 à 0,00160 d'argent; leur immense quantité fait seule concevoir la grande production des mines d'argent de l'Amérique. Les principales sont celles de *Pasco, Cerro de Bambon, Chota* et *Huantajaya* (Pérou); de *Zacatecas, Guanajuato, Valenciana* et *Vetagrande*, au Mexique. Pasco produit annuellement de 50 à 75,000 kilogr. d'argent; Huantajaya, 20,000k; Zacatecas, 135,000k; Guanajuato, 85,000k, et Valenciana, 75,000k. On estime que les 5/7 de l'argent produit en Amérique proviennent des ateliers d'amalgamation, et que 2/7 seulement viennent de la fonte des minerais.

Amalgamation saxonne. Ce n'est qu'à la fin du siècle dernier que l'on a commencé à traiter en Europe, par amalgamation, les minerais d'argent; ici les circonstances sont différentes, le combustible moins cher et la force motrice abondante; aussi le procédé européen devra-t-il différer notablement du procédé américain. Nous allons faire ressortir en peu de mots ces différences, en décrivant l'opération telle que nous l'avons vue exécuter à l'usine d'*Halsbrücke*, près Freiberg, en Saxe, la plus belle en ce genre qui existe en Europe.

La fig. 113 présente une coupe longitudinale de l'atelier d'amalgamation, qui est divisé en 4 compartiments. Le 1er, AB, sert au grillage et à la chloruration des minerais; le 2e, BC, à la pulvérisation et au tamisage du minerai grillé; le 3e, CD, à l'amalgamation proprement dite et au lavage des résidus; et enfin, le dernier, DE, sert à la distillation de l'amalgame. On y distingue :

1° Dans le compartiment AB : *a, a*, magasins de sel; *b, b*, aires pour le mélange des matières; *c, c*, fourneaux de grillage, dont la flamme, après avoir passé sur les soles 23,23, se rend dans les chambres de condensation 45,45, et de là s'échappe par la cheminée *e*.

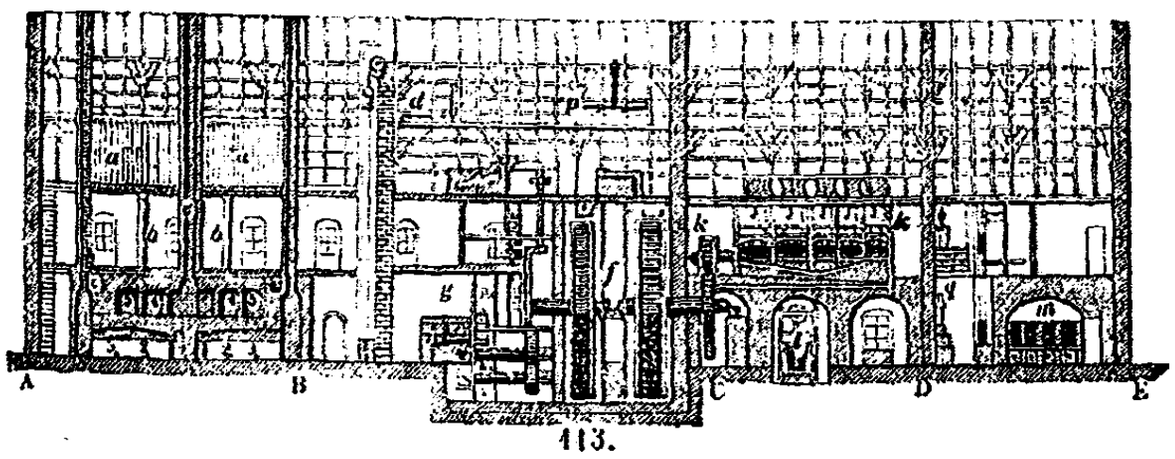
2° Dans le compartiment BC : *g*, moulins de pulvérisation; *d*, tamis pour le minerai pulvérisé; *f*, roues hydrauliques mettant en activité les moulins de pulvérisation et les tonnes d'amalgamation.

3° Dans le compartiment CD : *k, k*, tonnes d'amalgamation; *l*, cuve qui sert à laver les résidus.

4° Dans le compartiment DE : *m*, fourneaux pour la distillation de l'amalgame; *q*, magasin.

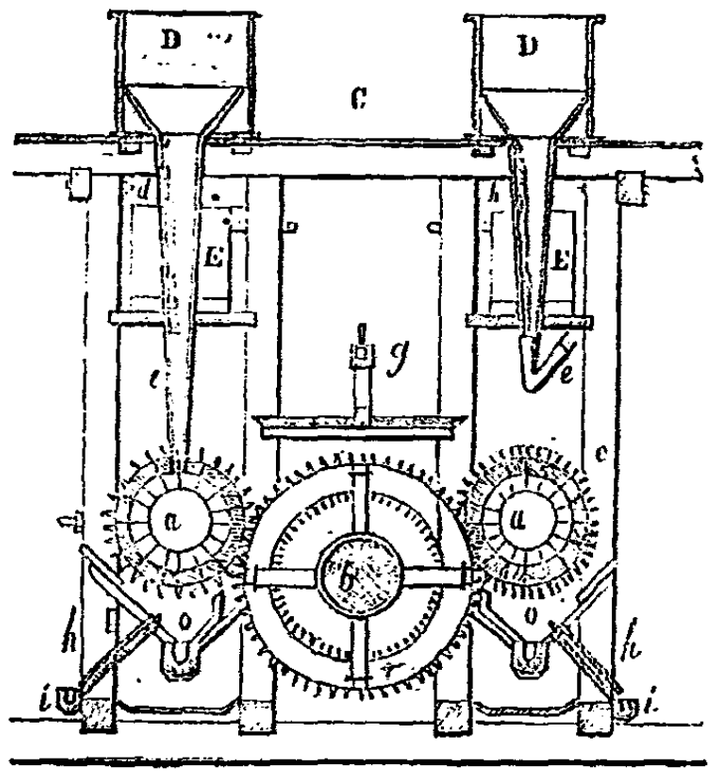
On ne soumet à l'amalgamation que les minerais d'argent qui renferment moins de 7k de plomb et de 1k

de cuivre au quintal, parce qu'au-delà le plomb passerait dans l'amalgame et le rendrait très impur, tout en rendant l'opération plus difficile, et que le cuivre serait totalement perdu ; on les associe entre eux de manière à ce que le mélange ait une teneur moyenne en argent de 0,00200 à 0,00250. On y ajoute au besoin des pyrites de fer, jusqu'à ce qu'il y en ait en tout 30 p. 100 environ ; puis, après l'avoir pulvérisé aussi fin que possible au bocard à sec, on le mêle avec 1/10 de son poids de sel marin, et on le soumet au grillage, dans un fourneau à réverbère dont la sole elliptique a $1^{m},95$ de long sur $2^{m},50$ de large, et dans lequel la hauteur de la voûte, au-dessus du milieu de la sole, est de $0^{m},46$. On charge de 180 à 200^{k} à la fois sur la sole ; puis, on élève peu à peu la température jusqu'au rouge sombre, où on la maintient en travaillant très souvent avec un ringard, dans le four, pour renouveler les surfaces et prévenir la fusion des matières. Il se dégage d'abord de la vapeur d'eau, puis d'épaisses et blanches fumées d'acide arsénieux et d'oxyde d'antimoine qui se déposent au-dessus dans les chambres de condensation, après quoi on reconnaît que la pyrite de fer se grille, à la flamme bleuâtre que l'on aperçoit et à la forte odeur d'acide sulfureux qui se dégage. Dès que cette odeur a disparu, on procède à la chloruration en élevant la température au rouge vif, et l'y maintenant jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de chlore, ce qui dure 3/4 d'heure environ ; de sorte que l'on passe une charge à peu près toutes les 4 heures. Pendant la première partie de l'opération, ou le grillage, proprement dit, on sépare l'arsenic et l'antimoine, et on transforme les sulfures de fer et de cuivre en sulfate de peroxyde de fer et en deutosulfate de cuivre ; ceux-ci, dans la seconde partie, ou chloruration, réagissent à leur tour sur le sel marin (chlorure de sodium), en donnant du sulfate de soude, des protochlorures de fer et de cuivre, et du chlore qui se combine à l'état naissant avec l'argent contenu dans le minerai, et le transforme en chlorure. Enfin, tous les chlorures métalliques, à l'exception du chlorure d'argent, se décomposent eux-mêmes, pendant le dernier coup de feu, en donnant des oxydes et un nouveau dégagement de chlore. Ici c'est surtout le chlorure de fer qui agit comme chlorurant, tandis qu'en Amérique c'est le deutochlorure de cuivre. Il y a à l'usine d'Halsbrücke 14 fours de grillage, dans chacun desquels on traite moyennement par semaine 50 à 60 quintaux métriques de minerai ; et les chambres de condensation donnent en tout pendant le même temps de 40 à 50 quintaux métriques de poussières, contenant 0,00125 à 0,00150 d'argent ; elles sont retraitées à part comme le minerai cru ; on consomme par quintal de minerai cru, soumis au grillage, $0^{mc},046$ de bois cordé pour l'allumage des fourneaux, et $31^{k},00$ de houille. Le service d'un four de grillage exige 2 ouvriers par 24 heures de travail.

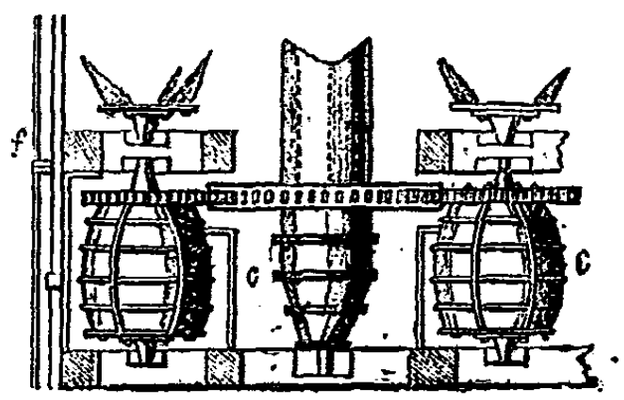


113.

Le minerai grillé est jeté sur une grille inclinée de 45° et ayant 64 ouvertures au décimètre carré ; ce qui passe au travers tombe sur un crible, incliné de 6°, de $2^{m},50$ de long et $0^{m},45$ de large, qui reçoit 94 secousses par minute, et qui a 320 ouvertures au décimètre carré à la tête et seulement 192 au bas. On obtient ainsi trois sortes de grosseurs ; le *gros* qui reste sur la grille et le crible, le *fin* qui traverse la tête du crible, et le *moyen* qui passe au bas. En résumé, on passe dans chaque crible à secousses par poste de 12^{k}, 31^{kg} 1/2 de minerai grillé, et on obtient moyennement 29^{kg} de fin, 1^{kg} de moyen et 1^{kg} 1/2 de gros. Le gros est concassé avec un marteau à main, puis broyé à part avec le moyen, sous des meules de granit, et grillé de nouveau avec 2 p. 100 de sel marin ; seulement cette dernière opération ne dure que 2 heures au lieu de 4. Le fin est broyé à sec entre des meules de granit. Les meules supérieures font de 120 à 140 tours par minute ; elles sont rayées comme les meules à farine, et ces rainures qui ont $0^{m},006$ de profondeur, doivent être rafraîchies tous les 3 ou 4 jours. Elles ont primitivement $0^{m},85$ de diamètre sur $0^{m},56$ d'épaisseur, et lorsque celle-ci est réduite à moitié, on s'en sert comme de meules inférieures. On estime qu'il faut une force de 2 à 3 chevaux-vapeur pour chaque moulin. Il y a en tout 10 paires de meules, et chacune d'elles pulvérise par heure de 50 à 70^{k} de



114.



115.

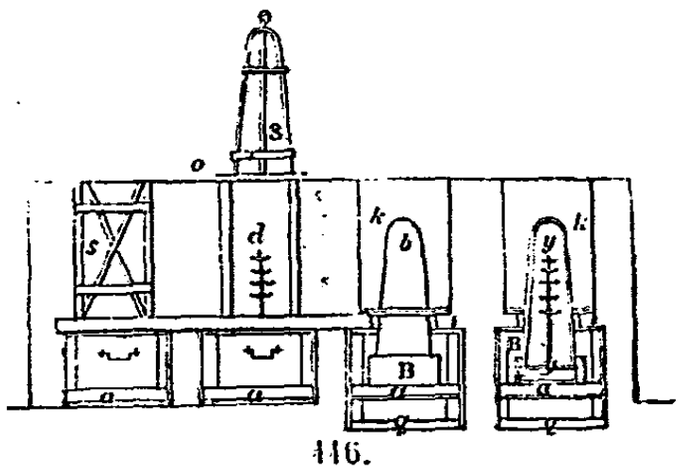
minerai grillé, sur lesquels il reste dans le tamis 12 à 15 p. 100 de gros, qu'il faut repasser une seconde fois entre les meules. Le service de deux paires de meules exige 2 ouvriers par 24 heures de travail.

L'amalgamation se fait dans des tonnes, solidement cerclées en fer, qui ont intérieurement 0m,85 de long et 0m,90 de diamètre au ventre, et qui tournent autour d'axes horizontaux; il y en a 20, disposés sur 4 rangées. Les fig. 114 et 115 donneront une idée de cette disposition; *b* est l'arbre moteur qui, au moyen d'un système de roues dentées, communique un mouvement de rotation aux tonneaux d'amalgamation *a, a*. Les bondes *c, c*, de ces tonnes ont 0m,12 de diamètre, et se ferment hermétiquement à l'aide de bouchons qui sont solidement maintenus dans leur position. C est le magasin du minerai grillé et moulu, que l'on charge dans les trémies D, D, qui se prolongent par des tuyaux coniques *d, d*; à l'extrémité de ces tuyaux en sont fixés d'autres *e, e*, en toile forte et terminés par un bout en tôle, que l'on introduit pendant le chargement dans la bonde et qu'on relève ensuite comme l'indique la fig. 114. E, E, sont des caisses renfermant 150 litres d'eau chaque, et munies de tuyaux flexibles à robinets, qui servent à la faire passer au besoin dans les tonnes *a, a*. Les coussinets des roues dentées, montées sur l'une des extrémités des tonnes d'amalgamation et qui les mettent en mouvement, sont portés sur des coulisses mobiles liées aux tiges *f*, ce qui permet de les désengrener à volonté. On introduit d'abord dans chaque tonne 150 litres d'eau, 500k de minerai grillé et moulu, et 50k de fer battu en plaquettes, dont les dimensions sont de 1, 2 et 4 centimètres; on ferme les bondes, et on fait tourner lentement les tonnes pendant 1 heure 1/2, de manière à ce qu'elles fassent 14 à 15 tours par minute; pendant ce temps, le chlorure d'argent dissous dans le sel marin est décomposé par les plaquettes de fer, en donnant du chlorure de fer et de l'argent métallique; il est fort important que le grillage ait été poussé assez loin pour décomposer tout le chlorure de cuivre, car sans cela celui-ci serait également réduit par le fer à l'état métallique, et passerait plus tard dans l'amalgame qui serait alors très impur. Au bout d'une heure et demie, on arrête les tonnes et on ajoute dans chacune d'elles 250k de mercure, qu'on y fait arriver par des tuyaux embranchés sur la conduite *g*, qui communique à un réservoir général gradué, en fonte; puis on les fait tourner de nouveau pendant 19 heures, avec une vitesse de 20 à 22 tours par minute. Toutes les 4 heures on arrête les tonnes pour juger à la main de l'état de l'opération et de la consistance de la pâte. La réaction est facilitée par suite de l'élévation de température que l'on remarque dans le tonneau, et qui est d'autant plus grande que la vitesse de rotation est plus considérable; plus elle est élevée, plus l'appauvrissement des résidus sera complet, mais plus aussi il se perdra, dans les boues de lavage, de mercure très divisé qu'on ne pourra plus réunir; il y a donc un terme moyen à prendre et qui, déterminé par une longue expérience, est celui que nous avons indiqué, lequel correspond à une température de 32° centigr. environ. On regarde alors l'amalgamation comme terminée; on remplit presque entièrement les tonnes d'eau et on les fait tourner pendant 2 heures avec une vitesse de 8 à 9 tours par minute, pour rassembler l'amalgame. On arrête enfin les tonnes et on procède au déchargement : à cet effet, les tampons coniques qui ferment les bondes pendant l'amalgamation sont creux et renferment eux-mêmes un second tampon plein que l'on enlève, et que l'on remplace par un bouchon creux auquel est adapté un tuyau en cuir portant un robinet en fer; puis on renverse la tonne, la bonde en dessous, et on fait tomber l'amalgame le long de la gouttière *h* dans la rigole *i*, qui le conduit à un réservoir général. On relève ensuite la tonne pour y ajuster un bouchon creux portant une grille et en la renversant de nouveau, les boues tombent dans le canal o, qui les conduit dans les cuves de lavage, tandis que les morceaux de fer retenus par la grille restent dans la tonne. En tout chaque opération dure 24 heures. On consomme environ 0k,750 de fer par tonne et par opération, et on en ajoute tous les 15 jours 4k environ.

L'amalgame obtenu est filtré à la main dans un sac de flanelle de forme conique; le mercure qui passe au travers renferme au plus 0,00004 d'argent, et est repassé dans les tonnes d'amalgamation. L'amalgame solide, qui reste dans le sac, renferme d'après une analyse de M. Kersten :

Mercure.	84,2
Argent.	11,0
Cuivre.	3,5
Antimoine, zinc et plomb. . .	1,0
Soufre.	traces.
	99,7

On le distille sur des assiettes placées sous un appareil à cloche; la fig. 116 représente, dans des positions



116.

différentes, les 4 cloches employées à Halsbrücke pour la distillation de l'amalgame. *a, a, a, a*, sont des caisses rectangulaires en bois, renfermant des bassins plus petits *B, B*, ... en fonte, au milieu desquels sont placées des tiges verticales en fer *y*, ... portées sur trois pieds; on enfile sur chaque tige cinq assiettes qui reçoivent chacune 24k d'amalgame, et on recouvre le tout de cloches en fonte *b*, ... qu'on soulève à l'aide de poulies; chaque cloche pèse à peu près 90k et a 1m,02 de haut, sur un diamètre intérieur de 0m,35 à l'ouverture, et de 0m,30 à la naissance de la calotte sphérique qui en forme la partie supérieure; elle coûte environ 135f et dure moyennement de 70 à 80 opérations. *a* ... et *B*, ... sont remplis d'eau et on fait continuellement arriver un courant d'eau fraîche dans *a, a*, ... pour faciliter la condensation des vapeurs de mercure dans les bassins B, B, ... Les cloches étant placées, on met sur l'anneau de muraillement 4, des plaques de fonte percées d'un trou circulaire pour le passage des cloches, on lute les jointures en y tassant des cendres et un peu d'argile, on met la porte *s* formée de briques, soutenues dans un châssis en fer, que l'on lute également; puis dans le manchon *k* ainsi formé, on jette de la tourbe enflammée et à la fin du charbon de bois. Le feu que l'on fait autour des cloches doit être d'abord très gradué, et ce n'est qu'au bout de 8 heures qu'il atteint son maximum; on le laisse ensuite tomber de lui-même. La conduite du feu est de la plus grande importance et exige la plus grande attention de la part du chauffeur, car si la température n'est pas assez graduée, on court le risque de briser la cloche et en outre de voir une partie de l'argent mécaniquement entraînée par le mercure qui se volatilise, tandis que si elle n'est pas assez élevée, il reste dans l'argent d'assiette une certaine quantité de mercure, qui est complétement perdue lors du

raffinage. En résumé, chaque opération dure 12 heures et on obtient 20ᵏ environ, d'argent d'assiette (*all.* teller silber) par cloche et par opération. La consommation en combustible est de 0ᵐᶜ,430 de tourbe et 0ᵐᶜ,043 de charbon de bois léger par 100ᵏ d'amalgame soumis à la distillation. L'argent d'assiette ne contient environ que 75 pour 100 d'argent fin. On le fond sans addition dans un creuset de fer découvert et chauffé dans un fourneau à vent; on le coule ensuite en lingots tenant 80 pour 100 d'argent fin. Le peu de scories que l'on obtient est mis de côté et fondu à part à la fin de l'année avec un peu de borax, et donne de l'argent ayant une teneur de 50 à 60 pour 100 d'argent fin.

Les boues d'amalgamation des 20 tonnes se rendent dans 5 cuves à axe vertical ayant 1ᵐ,40 de profondeur, 1ᵐ,54 de diamètre en haut et 1ᵐ,02 au fond, que l'on achève de remplir avec de l'eau, et sur l'une des parois desquelles il existe, à partir du fond, 4 orifices fermés par des robinets et espacés à 0ᵐ,15 environ les uns des autres. Un axe vertical armé de bras destinés à agiter les matières et à effectuer la séparation des dernières parties de l'amalgame, s'y meut avec une vitesse de 12 à 14 tours par minute, pendant 20 à 22 heures; pendant ce temps, on fait écouler les boues, 2 fois par l'orifice supérieur, 2 fois par le second et 1 fois par le troisième, en ayant soin de remplir d'eau les cuves immédiatement après chaque coulée. On ne retire l'amalgame par l'orifice inférieur qu'une fois par semaine; il est très impur et après avoir été fondu il donne un alliage qui ne renferme que 25 à 65 pour 100 d'argent fin. On pourrait raffiner cet argent en le fondant avec un peu de nitre et de borax, mais on préfère l'envoyer tel quel à l'hôtel des Monnaies, où on l'allie à l'argent fin, qui provient de la coupellation des plombs d'œuvre. La quantité de résidus que l'on rejette en définitive s'élève à 80 pour 100 de celle du minerai cru, et leur teneur varie de 0,00008 à 0,00016 d'argent fin. On clarifie par dépôt les eaux de lavage des tonnes d'amalgamation, puis on les concentre dans des chaudières en plomb et on fait cristalliser; on obtient ainsi une certaine quantité de sulfate de soude impur, que l'on purifie par une seconde cristallisation. On précipite ensuite les eaux mères, qui refusent de cristalliser, par du lait de chaux. Le produit que l'on obtient, et qui porte le nom de *dünge salz*, est employé dans le pays avec beaucoup d'avantage pour l'amendement et l'engrais des terres; il se compose d'après M. Lampadius, de :

Gypse hydraté.	68,7
Sel marin.	7,4
Carbonate de potasse. . .	5,3
Hydrates de manganèse et de fer.	12,9
Argile, sable et perte. . . .	5,7
	100,0

La perte totale en argent varie de 5 à 9 p. 100 de la quantité contenue dans le minerai; celle en mercure est de 25ᵏ par 100ᵏ d'argent obtenu, qui, d'après une moyenne de 20 années se compose de :

Perte en mercure qui reste dans les résidus d'amalgamation.	21ᵏ,78
Perte dans la distillation de l'amalgame. .	2ᵏ,77
Perte venant de la fêlure ou du bris des cloches de distillation.	0ᵏ,45
	25ᵏ,00

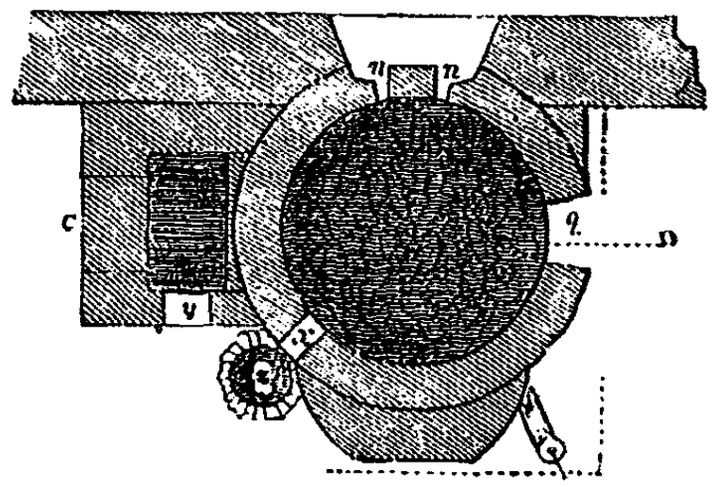
Cette faible consommation comparée à celle de l'amalgamation américaine, tient à ce que, dans ce dernier cas le chlorure d'argent est réduit par le mercure, et que le chlorure de mercure qui se forme passe en entier dans les résidus, tandis qu'en Saxe, cette réduction est opérée par le fer.

Traitement des minerais d'argent par fusion. A Kongsberg en Norwége, on trouve de l'argent natif qui contient 70 à 80 p. 100 d'argent fin, on le fond avec son poids, environ de plomb, et on obtient un alliage renfermant 30 à 35 p. 100 d'argent fin que l'on sépare par coupellation.

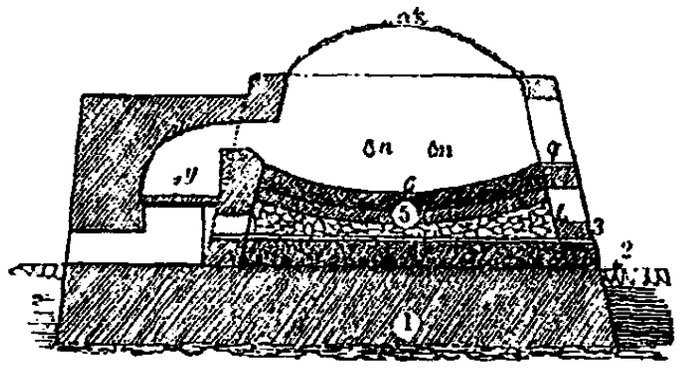
2° MINERAIS DE PLOMB ET ARGENT. Sont traités comme minerais de plomb (voyez PLOMB); on sépare ensuite par la coupellation l'argent du *plomb d'œuvre*, ou plomb argentifère obtenu.

Les fig. 117, 118, 119 et 120 donnent les détails du fourneau de coupelle habituellement employé au Hartz :

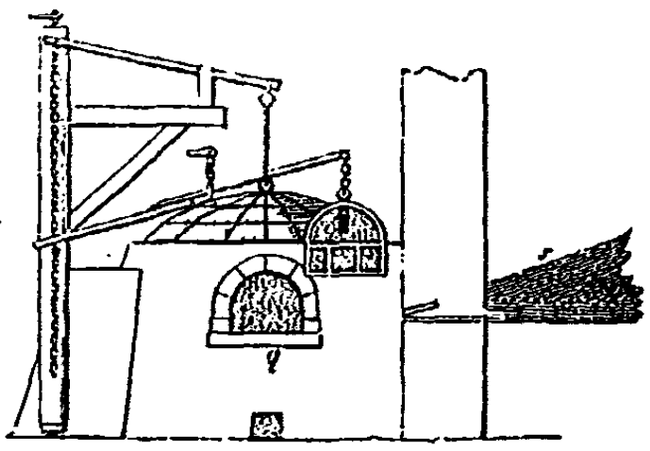
117.



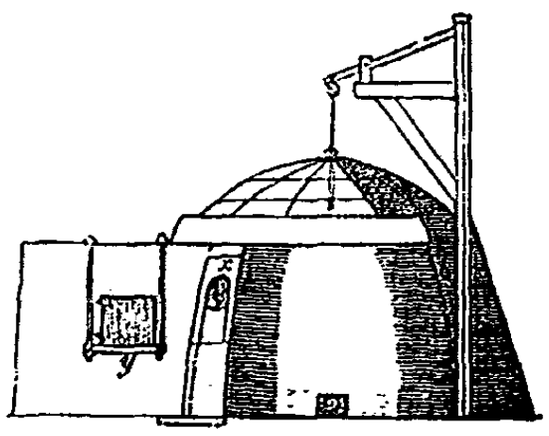
118.



119.



120.



Les fig. 119 et 120 sont des élévations verticales suivant deux directions rectangulaires, indiquées sur le plan fig. 117 par des lignes ponctuées, et la fig. 118 est une coupe longitudinale suivant la ligne *c d* fig. 117 : 1, Fondations du fourneau; 2, ca-

naux pour le dégagement de l'humidité, recouverts par une assise de briques 3, sur lesquelles on tasse fortement des scories 4, de la fonte au plomb ; par-dessus est un lit de briques réfractaires 5, sur lequel repose la sole de 0m,25 à 0m,30 d'épaisseur, formée d'un mélange bien damé, de 4 parties en volume de cendres de bois lavées pour un de chaux ; *k* chapeau en tôle intérieurement recouvert d'un enduit d'argile réfractaire, et maintenu par un châssis en fer qui se manœuvre à l'aide d'une potence ; *n*, *n*, tuyères alimentées par 2 soufflets pyramidaux en bois *s*, *s*, et munies à leur embouchure, de *papillons*, pour rabattre le vent ; *q*, porte pour charger le plomb d'œuvre sur la sole ; *y*, porte de déchargement de la grille ; *x*, voie des litharges par laquelle elles tombent dans le bassin de réception ; la sole a 2m,00 de diamètre, 0m,15 à 0m,20 de flèche, et sa distance au chapeau, à la clef, varie de 0m,80 à 1m,00. La coupelle ayant été battue, ce qui demande 2 heures et demie de travail, on charge en rond sur la sole 4000 à 4500 k. de plomb, on met le chapeau et on allume le feu sur la grille avec des fagots, en l'augmentant peu à peu ; après 3 heures, le plomb est entièrement fondu, et recouvert par une couche de matières qui s'y trouvaient mélangées, qui portent le nom d'*abzugs* et que l'on retire avec un râble ; on commence à donner le vent, et le bain continue à se recouvrir de poussières grises qui portent le nom d'*abstrichs*, et que l'on enlève de demi-heure en demi-heure ; l'ouvrier facilite leur séparation en enfonçant de temps en temps dans le bain, par la porte latérale, une bûche de bois vert, et l'y agitant en tous sens. Bientôt, à mesure que la température s'élève et que les crasses qui se forment à la surface du bain renferment une plus grande proportion d'oxyde de plomb, elles se fondent et s'écoulent par la voie des litharges que l'on a soin d'approfondir au fur et à mesure qu'il en est besoin. Les premières litharges sont encore très-impures et sont dites *litharges noires ;* peu à peu elles prennent une couleur jaune ou rouge, ce sont les litharges marchandes. Lorsqu'on les laisse couler en un filet mince que l'on enlève à mesure qu'il se solidifie, on n'obtient guère que des litharges jaunes, tandis que lorsqu'on leur permet de s'écouler sur une large surface et qu'on les laisse refroidir lentement et en grandes masses, on obtient beaucoup de litharges rouges qui ont une valeur commerciale beaucoup plus élevée que les litharges jaunes ; dans quelques usines, on transforme ces dernières en litharges rouges, avant de les livrer au commerce, par un traitement ultérieur qui consiste à les pulvériser et à les exposer ensuite au contact de l'air, pendant un certain temps, en couches de quelques centimètres d'épaisseur, sur des plaques de tôle ou de fonte chauffées en dessous au rouge sombre. A la fin de la coupellation, on augmente le feu qui, jusqu'alors, a toujours été maintenu à un point tel, que les litharges soient bien fluides et lorsqu'il ne reste plus que 150 à 200 kil. de plomb dans la coupelle ; on met de côté les litharges que l'on obtient et qui sont des *litharges riches*. Il va sans dire que les tuyères, d'abord horizontales, doivent être inclinées à mesure que l'opération avance, de manière à ce que le vent rase toujours la surface du bain. Après 20 heures environ, le phénomène de l'éclair se produit, les pellicules irisées d'oxyde de plomb qui tournoyaient avec une extrême rapidité sur la surface du gâteau d'argent, disparaissent subitement ; on arrête aussitôt le vent, on bouche l'ouverture *x* avec une brique et on verse avec précaution de l'eau sur le gâteau d'argent pour le refroidir. On obtient par charge de 40 à 45tm de plomb d'œuvre.

Argent de coupelle au titre de 0,928.	6 à 7 k.
Litharges marchandes, jaunes et rouges, renfermant 0,00007 d'argent. . .	25 à 30tm
Litharges riches	1 à 3tm
Abzugs, abstrichs et litharges noires .	2 à 4tm
Fonds de coupelle	11 à 15tm

Les abzugs, abstrichs, litharges riches et fonds de coupelle, sont repassés dans la fonte au plomb, et donnent de nouveau du plomb d'œuvre ; les litharges marchandes sont ordinairement vendues à cet état, et les litharges noires sont seules revivifiées en les fondant dans un fourneau à manche avec du charbon de bois.

Le plomb ainsi obtenu, est aigre et cassant, renferme beaucoup d'antimoine et est vendu, soit aux fabricants de plomb de chasse, soit à ceux de caractères d'imprimerie. On perd de 4 à 8 p. 100 de plomb dans la coupellation. On raffine l'argent de coupelle par une seconde coupellation faite sur une échelle plus petite.

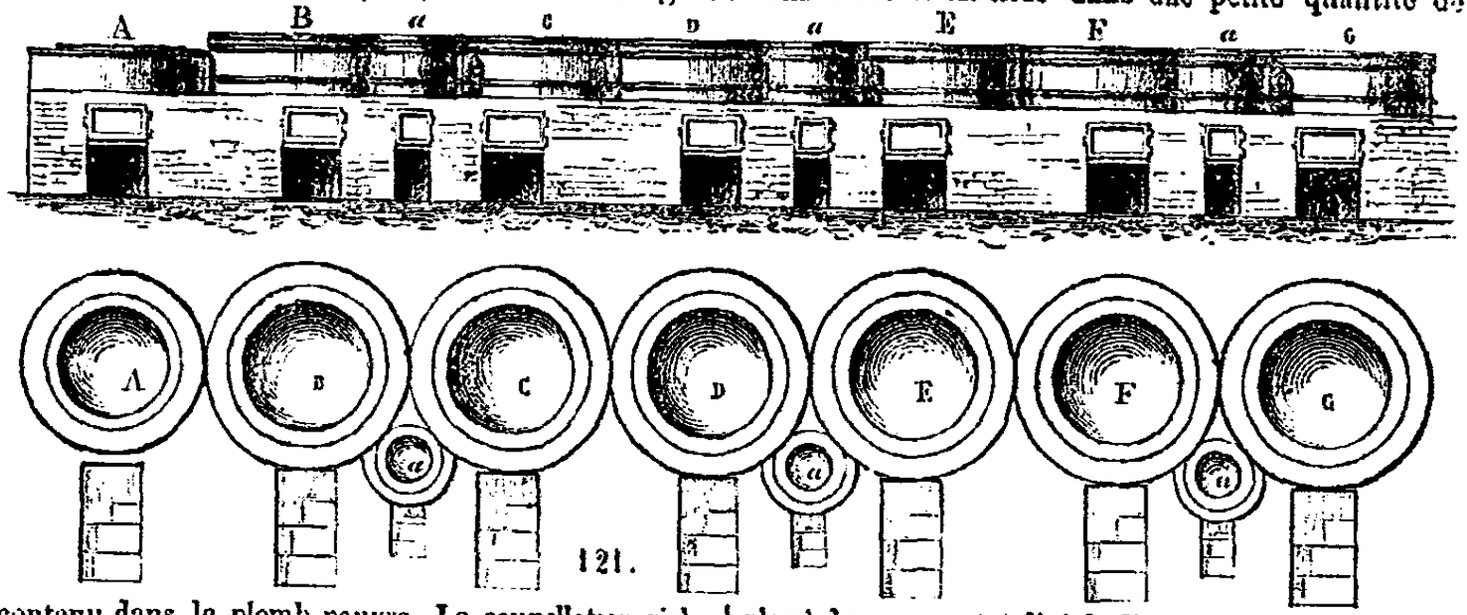
Au lieu de charger sur la sole tout le plomb d'œuvre en une seule fois, comme nous venons de le voir, on n'en charge dans beaucoup d'usines qu'une partie, et on ajoute graduellement le reste par *filage* dans la suite de l'opération ; ce procédé offre l'avantage de pouvoir, dans un fourneau de dimensions données, et dans une seule opération, coupeller une quantité de plomb bien plus considérable ; mais lorsque l'on trouve à se débarrasser plus avantageusement des litharges marchandes, que du plomb qu'elles renferment, ce qui est le cas général, il faut, pour opérer par filage, que le plomb d'œuvre que l'on traite ne renferme à l'exception de l'argent que des traces de métaux étrangers, et ne fournisse par suite, qu'une petite quantité d'abstrichs qui en quantité notable altéreraient infailliblement la pureté des litharges marchandes.

Dans d'autres usines, où l'on opère sur des plombs très-pauvres, on ne pousse la coupellation que jusqu'à ce que les 9/10 environ du plomb soient passés dans les litharges ; on obtient ainsi un plomb d'œuvre riche, dans lequel tout l'argent s'est concentré ; on le met de côté, et lorsqu'on en a une quantité suffisante, on le coupelle comme à l'ordinaire.

C'est ainsi qu'on opère à *Alston-Moor* (Angleterre) ; on y emploie des fourneaux à réverbère pour la coupellation. La coupelle est formée à l'aide d'un cadre que l'on remplit de couches successives de cendres d'os et de cendres de fougère, en poussière très-fine, qui, en raison de la forte proportion de potasse que celle-ci renferme, a la propriété de vitrifier la poudre d'os, de faire disparaître sa friabilité. Un petit fourneau en briques est accolé à celui de coupelle ; il porte une chaudière, dans laquelle on fait fondre le plomb que l'on file dans le fourneau à réverbère. On ne coupelle que les plombs obtenus au *fourneau écossais* (voir PLOMB), et que l'on regarde comme riches lorsqu'ils contiennent 0,00026 d'argent fin. Le fourneau de coupelle étant préparé et la coupelle placée, on allume le feu, qui doit être poussé, dans les premiers moments, avec beaucoup de ménagement pour sécher la coupelle sans la faire éclater, comme cela arriverait infailliblement si une chaleur brusque faisait évaporer trop vite l'eau qu'elle contient. Lorsqu'on l'a peu à peu séchée complétement et amenée à la chaleur du rouge naissant, on la remplit presque entièrement de plomb qu'on a fait fondre d'avance dans une chaudière de fer ; elle peut en recevoir environ 250 kil. A la température à laquelle on introduit le plomb, il se couvre tout de suite d'une pellicule grise d'oxyde ; mais quand la température du fourneau a été peu à peu élevée jusqu'au degré convenable, il devient d'un rouge blanchâtre et toute sa surface est recouverte de litharge ; on met alors en jeu la machine soufflante, dont le vent dirigé dans le sens du grand axe de la coupelle, fait passer la litharge par l'issue qui lui a été préparée, et par laquelle elle tombe sur une plaque de fonte de niveau avec le sol de l'atelier, et s'y prend en larmes. Dans cet état, on l'enlève pour la porter au fourneau de réduction et la revivifier.

ARGENT.

Comme par l'effet de l'oxydation continuelle, qu'elle subit, la surface du plomb s'abaisse nécessairement au-dessous ou au niveau de la voie des litharges, on ajoute de nouveau du plomb fondu que l'on prend avec une cuillère, dans la chaudière ci-dessus mentionnée, aussi souvent que le besoin s'en fait sentir; on continue ainsi jusqu'à ce que l'on ait introduit dans la coupelle 4300 kil. de plomb pauvre, ce qui dure de 16 à 20 heures; et on obtient 55 kil. de plomb riche dans lequel s'est concentré la presque totalité de l'argent



121.

contenu dans le plomb pauvre. La coupellation riche s'exécute dans le même fourneau, et d'une manière analogue, seulement on passe par opération 2500 kil. de plomb riche, et la coupelle présente alors à son fond une dépression, propre à recevoir à la fin de l'opération le gâteau d'argent, de manière à ce qu'une portion du fond reste à découvert, et qu'on puisse y pousser avec un petit râble les scories qu'on arrache des bords du gâteau d'argent. En résumé, trois hommes peuvent en une seule semaine passer à la coupelle 258 quintaux métriques de plomb, et la quantité de houille consommée est d'environ 15 kil. par 100 kil. de plomb soumis à la coupellation.

La litharge obtenue aux environs d'Alston-Moor par le raffinage du plomb, se vend rarement en nature, et est presque toujours revivifiée dans un fourneau à réverbère, dont la sole a 1m,90 de longueur; à cet effet on place d'abord sur la sole un lit de houille de 5 à 6 centimètres d'épaisseur; elle s'embrase bientôt et se réduit en fraisil rouge de feu; on charge alors la litharge en fragments assez gros mélangés d'une certaine quantité de menue houille, et l'on répand ce mélange sur toute l'étendue de la sole; on conduit le feu de manière à maintenir le fourneau au rouge sombre, de sorte que la litharge ne fonde pas, et que le plomb réduit se sépare par liquation. Dans ce fourneau on peut revivifier en neuf ou dix heures 6,300 kil. de plomb. On fond au coke et au fourneau à manche les fumées, les fonds de coupelle et les crasses du fourneau de réduction.

Affinage par cristallisation. Les plombs très-pauvres ne peuvent pas, le plus souvent, être coupellés avec profit, parce que l'argent que l'on en retire ne suffit pas pour couvrir les frais de cette opération; les plombs du Derbyshire (Angleterre), par exemple, sont dans ce cas. Le problème à résoudre consistait donc à trouver un procédé qui permit de concentrer à peu de frais dans une faible quantité de plomb, la presque totalité de l'argent contenu dans une grande quantité de plomb très-pauvre. Ce procédé a été trouvé il y a peu d'années, par M. Pattinson, et il est actuellement appliqué avec succès sur une grande échelle. Il permet d'extraire une quantité d'argent considérable des plombs trop pauvres pour être coupellés directement avec avantage et qui par suite était autrefois perdue.

Le procédé de M. Pattinson, aussi simple qu'ingénieux, et qui porte le nom d'*affinage par cristallisation*, est fondé sur ce principe que dans un bain de plomb argentifère, il se forme par le refroidissement et l'agitation de petits cristaux de plomb qui se réunissent au fond du bain; d'abord ils contiennent peu ou pas d'argent, puis ils deviennent de plus en plus riches; en enlevant toute la première portion de plomb extrêmement pauvre en argent qui se sépare d'abord, on peut donc ainsi concentrer dans une petite quantité de plomb la presque totalité de l'argent, et cela à la température du plomb fondant.

L'atelier d'affinage renferme au moins quatre chaudières de fonte comme celle indiquée fig. 122 (et le plus

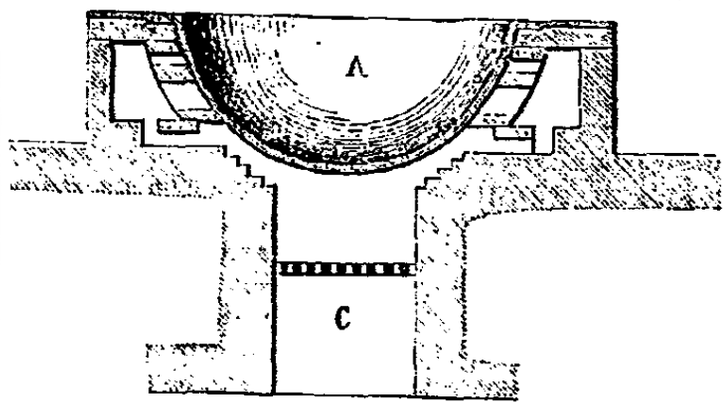


Fig. 122.

souvent 6 ou 8, comme le montre la fig. 121); elles ont 1 mètre de large à l'ouverture et 0m,65 de profondeur; une cinquième plus petite sert à refondre le plomb raffiné et à le couler en saumons; deux autres plus petites servent à chauffer les écumoires dont on se sert pendant l'opération, lesquelles ont 0m,45 de diamètre, 0m,15 de profondeur, et sont percées de trous de 0m,1 de large; il y a par chaudière 1 ouvrier travaillant 9 heures de suite. On commence par charger dans la chaudière n° 1, 4060 kil. de plomb pauvre ayant au plus une teneur de 0,00026, et dès qu'ils sont fondus, on enlève le feu que l'on porte sous la chaudière n° 2, et le plus souvent on verse de l'eau sur la surface pour activer le refroidissement, puis à l'aide de l'écumoire dont nous avons parlé, et qui a été préalablement chauffée dans la petite chaudière la plus voisine, on pêche les cristaux à mesure qu'ils se forment dans la chaudière n° 1, et après les avoir laissé égoutter quelques secondes, on les jette dans la chaudière n° 2; on continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait enlevé les trois quarts, ou 3045 kil. du plomb; on jette ensuite à terre 508 kil., ou la moitié du dernier quart, à mesure que l'on l'enlève; enfin on coule en lingots ou dans une chaudière située à gauche, les 507 k., ou le dernier 1/8 qui reste dans la chaudière n° 1, on y remet le plomb que l'on a jeté à terre, et l'on achève

PLOMB D'OEUVRE soumis à une cristallisation.		PLOMB RICHE.		PLOMB moyennement riche à repasser avec le plomb d'œuvre.	PLOMB PAUVRE.		RAPPORT entre la teneur du plomb riche et celle du plomb pauvre.
Poids.	Teneur en argent.	Poids.	Teneur en argent.	Poids.	Poids.	Teneur en argent	
1000	0,001606	136	0,003800	125	739	0,001200	3,47
1000	0,001230	136	0,003203	125	739	0,000862	3,70
1000	0,000862	162	0,002150	125	713	0,000568	3,78
1000	0,000598	169	0,001606	125	706	0,000357	4,49
1000	0,000568	169	0,001454	135	696	0,000341	4,26
1000	0,000341	234	0,000814	125	641	0,000170	4,80
1000	0,000234	250	0,000598	125	625	0,000088	6,79
1000	0,000088	259	0,000218	125	616	0,000033	6,61
1000	0,000030	100	0,000130	125	650	0,000020	6,50

le chargement avec des saumons de plomb de la même richesse que ceux traités précédemment. Pendant que cette masse fond, on répète dans la chaudière n° 2 le travail qui vient d'être exécuté dans la chaudière n° 1. On sépare environ les 3/4 de la masse métallique à l'état de cristaux que l'on rejette dans la chaudière n° 3, 1/8 à l'état de cristaux que l'on jette à terre après avoir versé le 1/8 restant au fond de la chaudière n° 2, non pas dans des lingotières mais dans la chaudière n° 1. Il en est de même pour les chaudières n°s 3 et 4; le plomb pauvre retiré de cette dernière, que l'on verse au n° 5, y est fondu, puis coulé en saumons. Le tableau ci-dessus, dû à M. Sentis, donnera une idée des résultats obtenus dans chaque cristallisation, pour des plombs de teneur différente soumis à ce traitement.

On voit donc que la concentration de l'argent par ce procédé se fait d'une manière d'autant plus complète, que le plomb d'œuvre sur lequel on opère est plus pauvre, aussi s'applique-t-il parfaitement aux plombs d'Angleterre et d'Espagne, qui sont dans ce cas ; mais pour des plombs riches, il ne serait point applicable ; on ne peut non plus l'employer pour des plombs pauvres et impurs, parce que dans la coupellation, on a l'avantage de séparer les impuretés dans les abstrichs, de sorte que l'on obtient ensuite des litharges marchandes, qui, vendues à cet état, ont une grande valeur, ou qui, revivifiées, donnent un plomb de qualité supérieure.

Nous terminerons en donnant les résultats économiques de ce mode de traitement dans l'une des usines des environs de Newcastle. 1000^{kil} de plomb argentifère ayant une teneur de 0,000130, soit en tout 13^{k},0000, ont donné, après trois cristallisations successives :

814^{kil},15 de plomb pauvre, ayant une teneur de 0,000012 d'argent, soit en tout.	0^{k},96
28,57 de plomb ayant à peu près la teneur primitive 0,000130, soit en tout.	0^{k},37
155,43 de plomb riche à coupeller, ayant une teneur de 0,000752, soit en tout.	11^{k},66
1,85 de perte due principalement à la refonte des écumes du bain.	0^{k},01
1000^{kil},00	13^{k},00

1° AFFINAGE PAR CRISTALLISATION DES 1000^{kil} DE PLOMB CI-DESSUS.

Main d'œuvre. 100 journ. à 3^{f},80 l'une.	380^{f},00
Combustible. 116^{hect},30 de houille à 0^{f},47 le quintal métrique.	54^{f},66
Droit de patente. 0^{f},36 par quintal métrique de plomb pauvre.	293^{f},10
Perte de 1^{kil},85 de plomb, à 59^{f},20 le quintal métrique.	109^{f},52
Total.	837^{f},28 = 837^{f},28

2° COUPELLATION DES 155^{kil},43 DE PLOMB RICHE OBTENU.

Main d'œuvre. 0^{f},41 par quintal métr.	63^{f},73
Combustible. 0^{hect},20 par 1^{kil} de plomb à coupeller, à 0^{f},47 le quintal métrique de houille.	14^{f},61
Matériaux de coupelle et frais divers. 0^{f},20 par quintal métrique de plomb à coupeller.	31^{f},08
Perte en plomb. 1/14 du plomb coupellé, à 59^{f},20 le quintal métrique.	657^{f},25
Total.	766^{f},67 = 766^{f},67

Total général des frais par le procédé de cristallisation. . . . . 1603^{f},95

Le traitement des 1000^{kil} de plomb argentifère par la coupellation directe, aurait donné lieu aux frais suivants :

COUPELLATION DIRECTE.

Main d'œuvre 0^{f},41 par quintal métrique.	410^{f},00
Combustible. 0^{hect},20 par 1^{kil} de plomb à coupeller à 0^{f},47 le quintal métrique de houille.	94^{f},00
Matériaux de coupelle et frais divers. 0^{f},20 par quintal métrique.	200^{f},00
Perte en plomb. 1/14 du plomb coupellé, à 59^{f},20 le quintal métrique.	4228^{f},57
Total.	4932^{f},57

La perte en argent est à peu près la même dans les deux procédés, et on peut compter pour couvrir les frais ci-dessus :

1° *Dans le nouveau procédé.*

11^{k}1/2 d'argent de coupelle à 200 fr. le kilogr.	2300^{f},00
Excédant de valeur donné par la coupellation aux 144^{kil},33 de plomb obtenu à raison de 1^{f},24 par quintal métrique.	178^{f},97
	2478^{f},97

2° *Dans l'ancien procédé.*

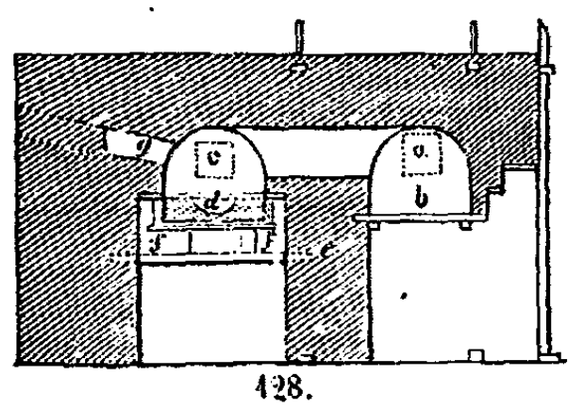
11^{k}1/2 d'argent de coupelle à 200 fr. le kilogr.	2300^{f},00
Excédant de valeur donné par la coupellation aux 928^{kil},57 de plomb obtenu à raison de 1^{f},24 par quintal métrique.	1141^{f},43
	3441^{f},43

D'où il résulte:

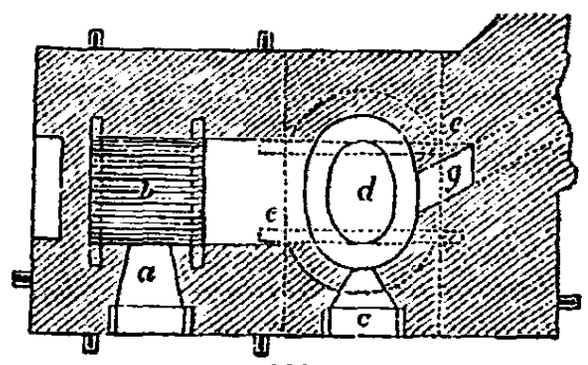
Nouveau procédé.	Produit brut.	2478^{f},97
	Frais.	1603^{f},95
	Bénéfice.	875^{f},02
Ancien procédé.	Produit brut.	3441^{f},43
	Frais.	4932^{f},57
	Perte.	1491^{f},14

ARGENT.

Raffinage de l'argent de coupelle. L'argent de coupelle contient encore de 0,015 à 0,120 de plomb, cuivre, etc.; on le purifie par une coupellation en petit. Nous ne pouvons mieux faire que de donner ici le fourneau de raffinage employé à *Friedrichshütte* (Haute-Silésie), et qui est représenté en coupe et en plan, fig. 128 et 129 : *a*,



128.



129.

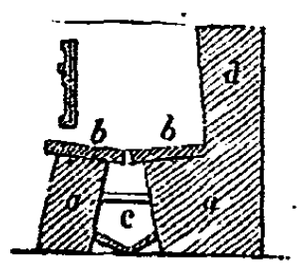
porte de la chauffe; *b*, grille; *c*, porte pour charger l'argent dans la coupelle; *d*, coupelle elliptique en cendres d'os dont le grand axe a 0m,42, et le petit 0m,26, elle est battue dans un cadre en fonte porté sur les briques *f*, *f*, qui reposent sur les 2 barres de fer *e*, *e*; *g*, rampant qui conduit à une cheminée de 6 mèt. de hauteur. On charge 50 à 60 kilogr. d'argent à la fois; en résumé, 100 kil. d'argent de coupelle donnent 94k,057 d'argent fin, avec une consommation de 457 kilogr. de houille et 47 kilogr. de cendres d'os. La petite quantité de fonds de coupelle que l'on obtient est refondue avec les litharges riches, et donne du plomb d'œuvre.

3° MINERAIS DE CUIVRE ET ARGENT. Ordinairement on fond ces minerais pour *cuivre noir* (voir CUIVRE), et lorsque ce cuivre noir a une teneur argentifère égale ou supérieure à 0,00300, il est assez riche pour être soumis avec profit à la *liquation* (*all.* saigern). A cet effet, on le fond avec une certaine quantité de plomb pauvre, et on coule l'alliage en pains; on soumet ensuite ces pains à une chaleur très graduée, alors le plomb se fond et se sépare par liquation du cuivre, en entraînant avec lui la plus grande partie de l'argent qui a plus d'affinité pour ce métal que pour le cuivre. L'expérience a montré que, sous le rapport de la perte en cuivre et en plomb, la proportion la plus convenable à observer, entre les quantités de plomb et de cuivre qui forment les pains de liquation, était celle de 11 : 3, et que, pour obtenir une désargentation suffisamment complète, il fallait employer au moins 480 parties de plomb pour une partie d'argent contenue dans le cuivre noir; ces données suffisent pour se diriger d'une manière précise dans chaque cas particulier. Lorsque le cuivre noir est faiblement argentifère, le plomb pauvre, qui a servi à une première liquation, ne s'est pas suffisamment enrichi pour supporter avec bénéfice les frais de coupellation; on s'en sert alors de nouveau pour désargenter une nouvelle quantité de cuivre noir; par ce moyen on double à peu près la teneur argentifère, et c'est alors seulement qu'on le soumet à la coupellation. Enfin, lorsque le cuivre noir est très riche, on commence par lui faire subir une première liquation avec du plomb d'œuvre, obtenu comme nous le verrons ci-après; on obtient ainsi du plomb d'œuvre riche à coupeller, et du cuivre noir moyennement riche; on soumet alors ce cuivre noir à une seconde liquation avec du plomb pauvre, ce qui donne des résidus cuivreux pauvres, traités pour cuivre rosette, et du plomb d'œuvre moyennement riche qui est repassé dans la liquation riche.

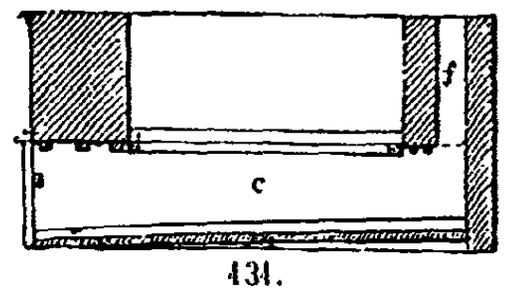
Cela posé, il nous suffira de décrire cette opération en détail dans un cas particulier, et nous prendrons celui des cuivres noirs argentifères du *Mansfeld* (Allemagne), qui sont traités à l'usine de liquation de *Hettstædt*. La teneur en argent des cuivres noirs est moyennement de 0,00520, le plomb et le combustible y sont très chers.

La fonte des *pains de liquation* (*all.* frischstücke) se fait dans un fourneau à manche ordinaire, et est conduite avec beaucoup de rapidité. La campagne ne dure que 30 heures; pendant ce temps on fond 200 pains, pesant environ 175k l'un, et ayant environ 0m,65 de diamètre sur 0m,08 d'épaisseur; on refroidit brusquement ces pains en projetant dessus de l'eau froide, pour empêcher autant que possible qu'une liquation partielle ne s'effectue dans la masse. Pour 1,000 kilogr. de cuivre noir, on ajoute 4,400 kilogr. de plomb pauvre, et on consomme environ 2 stères de charbon de bois.

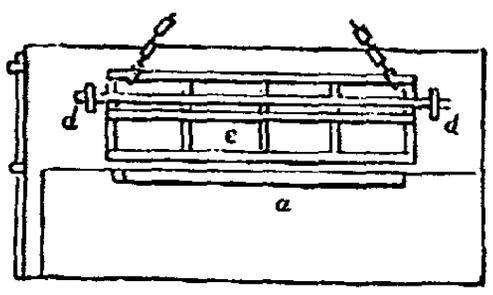
La liquation des pains obtenus, comme il vient d'être dit, se fait sur une *aire de liquation* représentée fig. 130, 131 et 132 : *a*, *a*, sont des murs sur lesquels reposent deux plaques en fonte *b*, *b*, de 0m,08 d'épaisseur sur 0m,48 de large, et 1m,20 à 1m,60 de long; ces plaques laissent entre elles un intervalle de 0m,04, et sont inclinées de 1/6 l'une vers l'autre, de manière à présenter un angle obtus; un mur *d* qui a une hauteur de 0m,65, et une porte mobile *e*, en briques, encadrée dans un châssis en fer, forment tout autour des plaques *b*, *b*, une sorte de fourneau rectangulaire; cette porte sert à charger sur les plaques, verticalement et dans le sens de leur largeur, 6 à 8 pains de liquation, que l'on espace de 0m,10 environ, en remplissant l'intervalle que l'on laisse entre eux avec du charbon de bois. On allume ensuite, entre les deux murs, un feu de bois; le charbon s'enflamme, et bientôt le plomb coule de toutes parts dans la rigole brasquée *c*, située entre les deux murs, pour se rendre de là dans le bassin de réception pratiqué au-devant de l'aire sur le sol de l'usine. On puise ce plomb, et on le verse dans des moules pour le coupeller ensuite, ou bien, s'il est trop pauvre, on le met de côté pour le faire passer dans une liquation riche. Sur l'aire restent les pains déformés appelés *carcas*. L'habileté de l'ouvrier consiste à régler bien également le feu, de manière à ce que les pains s'affaissent régulièrement, et à le graduer progressivement, de telle sorte qu'au commencement la température soit peu élevée, afin que le plomb qui se sépare ne contienne que très peu de cuivre, et que l'alliage ne



130.



131.



132.

fonde pas en masse, puis de l'élever successivement à mesure que l'opération avance ; lorsque celle-ci est bien conduite, tout le plomb qui se sépare pendant la liquation, a une teneur uniforme en cuivre qui est comprise entre 2 et 3 p. 100. Un ouvrier peut surveiller deux aires de liquation, et chaque opération dure 4 à 5 heures. Pour liquater 100 pains on consomme 19^{m} de charbon de bois.

Les *carcas* (*all.* kiehnstœcke) renferment encore 25 p. 100 de plomb ; on les soumet pour s'en débarrasser à une nouvelle liquation, qui porte le nom de *ressuage* (*all.* darren). A cet effet on accumule les carcas en quantité de 5 à 10 mille kilogr., dans une chambre voûtée, sur une série de petits murs parallèles, entre lesquels on entretient un feu de bois. Le fond de la chambre voûtée est pourvu d'un certain nombre de trous de tirage en communication avec une cheminée. Sur le devant, le four est fermé par une porte en tôle de fer garnie d'argile ; à la base seulement on conserve une ouverture pour le passage de l'air et l'introduction du combustible. On chauffe au rouge pendant 14 à 15 heures ; le plomb coule et s'oxyde en grande partie ; il tombe dans les galeries au milieu du combustible, et de là, comme elles sont en pente, le plomb et son oxyde, tous les deux, plus ou moins chargés de cuivre, se rendent dans un bassin plein d'eau, placé dans le sol de l'usine au-devant du fourneau. On cesse le feu lorsque ces crasses ou scories oxydées prennent une forte teinte rouge, couleur qui dénote la présence du cuivre. On retire les résidus dits *carcas torréfiés* (*all.* darrlinge) tandis qu'ils sont encore rouges, et on les jette dans de l'eau pour séparer à l'état *d'écailles* (*all.* pickschiefer) la croûte oxydée qui les recouvre, et que l'on achève d'enlever à l'aide d'un marteau pointu. 100 kilogr. de carcas donnent ordinairement 60 à 80 kilogr. de carcas torréfiés, et 25 à 40 kilogr. de crasses et débris oxydés.

Les *carcas torréfiés* sont affinés pour cuivre rosette ; ils renferment encore 10 p. 100 de plomb, et donnent de 70 à 75 p. 100 de cuivre rosette.

Les crasses, débris et scories de toutes les opérations précédentes, sont fondus dans un demi-haut fourneau avec les litharges et les fonds de coupelle provenant de la coupellation de plomb d'œuvre obtenu dans la liquation ; le produit est du plomb cuivreux que l'on coule en pains dans un bassin en fonte ; ces pains dits *pains de liquation des crasses* subissent à leur tour toute la série des opérations que nous venons de décrire. Seulement le plomb, provenant de cette nouvelle liquation, est pauvre en argent, et on l'enrichit en s'en servant pour la liquation du cuivre noir avant de le passer à la coupellation. *Les carcas torréfiés des crasses* sont trop impurs pour être affinés seuls, on les ajoute par petites portions aux premiers carcas.

Dans cette série d'opérations, on perd 10 à 12 p. 100 du plomb employé, c'est-à-dire 40 à 50 p. 100 du poids du cuivre noir, ou au moins 60 à 80 kilogr. par chaque kilogr. d'argent de coupelle obtenu. La perte en argent dépasse ordinairement 25 p. 100, en regardant comme perdu l'argent qui reste dans le cuivre. La perte en cuivre est de 5 à 6 p. 100. Les carcas sont très difficiles à affiner et ne donnent jamais de cuivre de première qualité. Ces résultats montrent combien cette méthode est imparfaite ; aussi préfère-t-on aujourd'hui, dans les grands centres métallurgiques, séparer l'argent du cuivre, soit par l'amalgamation des mattes, soit par celle du cuivre noir. Ces opérations s'effectuent d'une manière analogue à l'amalgamation saxonne, que nous avons décrite plus haut, de sorte que nous n'aurons qu'à indiquer brièvement les circonstances particulières, résultant de la nature même des matières soumises à l'amalgamation.

L'amalgamation du cuivre noir argentifère est pratiquée à *Schmœllnitz* (Hongrie) ; la teneur du cuivre est de 0,00400 ; la principale difficulté à vaincre est la pulvérisation du cuivre noir ; pour y parvenir, on le chauffe au rouge sur la sole d'un fourneau à réverbère, et on le porte à cette température sous les pilons d'un bocard ; la matière bocardée passe au crible ; le fin est réduit en farine sous des meules en fonte, le gros est réchauffé et repassé au bocard. La réduction du chlorure d'argent se fait par des balles de cuivre afin de ne pas précipiter le cuivre du chlorure et rendre ainsi l'amalgame impur, mais alors la perte en mercure est considérable ; dans certains cas il pourrait y avoir avantage à saturer la liqueur par de la chaux, et à remplacer les balles de cuivre par du fer, ce qui diminuerait la perte en mercure. Les résidus d'amalgamation sont refondus pour cuivre noir, leur teneur ne dépasse pas 0,00008, et la perte en argent n'est que de 5 p. 100 ; la perte en mercure est de 2^{k},5 par 1,000 kilogr. de cuivre noir, ou de 0,30 à 0,35 du poids de l'argent. Les frais d'amalgamation ne s'élèvent qu'au quart de ceux de liquation, et le cuivre venant de la fonte des résidus est de qualité supérieure.

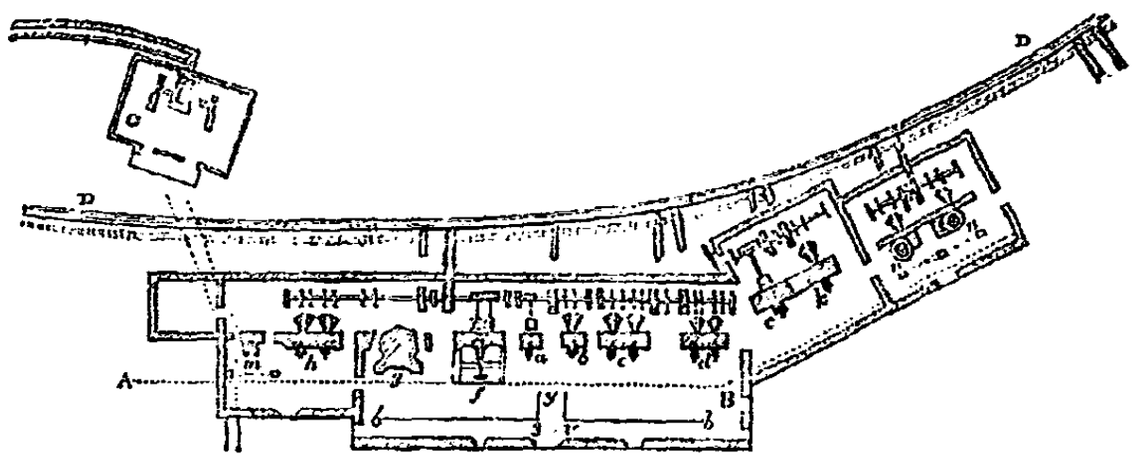
L'amalgamation des mattes de cuivre argentifères est employée au *Mansfeld*. La matte de cuivre que l'on y amalgame contient environ 50 p. 100 de cuivre et 0,00250 d'argent. Après avoir pulvérisé la matte on la soumet, dans un four à réverbère, à un grillage préparatoire pour chasser l'excès de soufre ; on la réduit ensuite en bouillie avec une dissolution étendue de sel marin et 12 p. 100 de chaux éteinte, qui sert à saturer l'acide sulfurique ; on fait sécher la pâte obtenue, on la moud, puis on la grille une seconde fois ; c'est la chloruration proprement dite. La réduction du chlorure d'argent se fait par le fer. Les résidus d'amalgamation sont mélangés, encore humides, avec 12 à 13 p. 100 d'argile, et moulés en briquettes, que l'on sèche à l'étuve, et que l'on réduit au demi-haut fourneau en cuivre noir en ajoutant, pour former le lit de fusion 12 à 13 p. 100 de quartz, 1 1/2 à 2 1/2 p. 100 de spath fluor, et 32 à 40 p. 100 de laitiers de la fonte crue. On perd 11 à 12 p. 100 de l'argent contenu dans les mattes, dont 3/4 restent dans le cuivre noir, qui a une teneur de 0,00046 ; la perte en mercure est de 0^{k},8 par 1,000 kilogr. de mattes, ou 1^{k},6 par 1,000 kilogr. de cuivre noir, c'est-à-dire environ 0,35 du poids de l'argent extrait. La perte en cuivre est moindre que par liquation, et il est d'excellente qualité. Les nombres que nous avons donnés suffisent pour faire opter, dans un cas donné, entre l'amalgamation du cuivre noir et celle des mattes.

Au lieu d'employer les divers procédés que nous venons de décrire, on pourrait certainement traiter les minerais de cuivre argentifère par voie humide, d'une manière analogue à ce que nous avons vu pratiquer à *Linz* (bords du Rhin), et au *Stadtberg* (Westphalie), pour le traitement de minerais de cuivre carbonatés trop pauvres pour être traités par les procédés ordinaires (voir CUIVRE). Cette méthode consiste à traiter ces minerais par de l'acide sulfurique ; on conçoit que l'on ne peut y soumettre directement, ni les minerais à gangue calcaire, parce qu'il se formerait du sulfate de chaux qui empâterait le cuivre, de sorte que l'attaque se ferait très difficilement, ni les minerais pyriteux qui ne se dissoudraient également qu'avec beaucoup de difficulté. Dans ce cas on séparerait les gangues par une fonte crue qui donnerait des mattes ; celles-ci seraient grillées avec une petite quantité de nitre dans des fourneaux ou cornues en maçonnerie, alimentés par un courant d'air forcé ; il suffirait d'un peu de menu bois au commencement de la mise en feu, la combustion du soufre développant ensuite la chaleur nécessaire au grillage ; on ferait arriver les gaz provenant des cornues avec un courant de vapeur d'eau produit par une chaudière à part, sous des cases remplies de mattes grillées et pulvérisées ; par la

réaction des gaz des cornues et de la vapeur d'eau, il se forme de l'acide sulfurique qui dissoudrait les mattes grillées; on pourrait d'avance exposer celles-ci en tas à l'action simultanée des agents atmosphériques et de l'eau, pour transformer en sulfates solubles, que l'on en retirerait par lavage, les sulfures non décomposés. On pourrait également, si le grillage des mattes ne fournissait pas une quantité suffisante d'acide sulfurique, s'en procurer une nouvelle quantité, en traitant par le même procédé des pyrites de fer. On obtiendrait ainsi une liqueur contenant le fer, le cuivre et l'argent contenu dans les mattes, dont on précipiterait d'abord l'argent par du cuivre métallique, puis le cuivre par du fer métallique; il pourrait être convenable, pour diminuer la consommation en cuivre, de neutraliser d'abord presque entièrement la liqueur par de la chaux, et de séparer le sulfate de chaux par décantation, ce qui n'aurait d'autre inconvénient que d'altérer un peu la pureté des précipités. On purifierait le précipité d'argent en le fondant avec un peu de nitre et de borax; le cuivre de cément serait raffiné pour cuivre rosette (voir CUIVRE), et enfin on ferait cristalliser le sulfate de fer ou vitriol vert pour le livrer en cet état au commerce, ou bien on le dessécherait, et, après l'avoir légèrement torréfié, on s'en servirait pour préparer par distillation de *l'acide sulfurique fumant*.

Pour le cuivre noir argentifère, on pourrait le dissoudre directement dans l'acide sulfurique, et précipiter ensuite l'argent par du cuivre métallique comme cela se pratique dans les hôtels de monnaie.

4° MINERAIS DE PLOMB, CUIVRE ET ARGENT. Le traitement de ces minerais est peut-être l'opération métallurgique la plus compliquée qui existe, et nous croyons nécessaire d'entrer à ce sujet dans quelques détails. Les minerais de plomb, cuivre et argent, se divisent en deux grandes classes, suivant que c'est le plomb ou le cuivre qui domine: dans le premier cas, on les traite comme minerais de plomb; et outre le plomb d'œuvre, on obtient des mattes plombo-cuivreuses argentifères, que l'on refond à plusieurs reprises avec des matières plombeuses; chaque fonte donne du plomb d'œuvre que l'on coupelle, et les dernières mattes sont fondues seules pour cuivre noir; ce cuivre est ensuite soumis à la liquation ou à l'amalgamation pour séparer l'argent qu'il renferme encore. Les minerais qui renferment une faible quantité de plomb, sont triés avec soin et partagés en deux classes au moins, les minerais riches et les minerais pauvres. Ces derniers d'après leur nature sont soumis à une *fonte crue*, avec ou sans addition de pyrites crues ou en parties grillées, servant dans ce dernier cas de fondant, ou d'autres fondants s'il est nécessaire, tout à fait comme s'il s'agissait de minerais de cuivre (voir CUIVRE); on sépare ainsi les gangues terreuses, et on obtient des *mattes pauvres*, ces mattes sont grillées, à un ou plusieurs feux puis soumises à une *fonte de concentration* avec des minerais de même richesse. On obtient dans cette operation, des scories qu'on repasse dans la fonte crue, et des *mattes riches*. Ces mattes grillées à plusieurs feux, sont fondues avec des matières plombeuses (*fonte plombeuse des mattes*) et des minerais d'argent riches, surtout s'ils sont plombeux. On obtient du plomb d'œuvre que l'on coupelle, et des mattes soumises à une nouvelle fonte avec des matières plombeuses; finalement on arrive à des mattes cuivreuses qui donnent du cuivre noir argentifère, que l'on traite comme il a été dit ci-dessus. La fonte plombeuse des mattes doit se faire à une température moins élevée que la fonte crue, afin de diminuer autant que possible la perte en plomb; c'est le procédé suivi à Freiberg (Saxe). Lorsque les matières plombeuses sont rares, on remplace la fonte plombeuse des mattes par une *fonte de concentration*, et l'argent est enlevé aux nouvelles mattes par *imbibition*; à cet effet, on fond du plomb pauvre dans le bassin de percée, peu avant la coulée, et on l'y agite avec un ringard au moment où les mattes parviennent dans le creuset; le plomb décompose alors une partie du sulfure d'argent, et passe dans la matte, tandis que l'argent réduit, s'allie avec le reste du plomb et donne du plomb d'œuvre; si ce plomb d'œuvre n'est pas assez riche pour être coupellé, il sert de nouveau à une *imbibition riche;* ce procédé constitue l'*ancienne méthode hongroise;* on retraite de la même manière la nouvelle matte, et à la fin on obtient des mattes cuivreuses qui sont fondues seules et donnent du cuivre noir argentifère. On peut opérer l'imbibition, en introduisant le plomb dans l'avant creuset, ou par l'œil de la poitrine; les réactions se font alors à une température plus élevée et par suite d'une manière plus complète; le sulfure d'argent est mieux réduit; mais d'un autre côté, la perte de plomb par la sulfuration est plus considérable: au reste, on désargente ainsi, non seulement les mattes successives de concentration, mais même encore les mattes de la fonte crue; ce procédé constitue la *nouvelle méthode hongroise*.



133.

134.

Les fig. 133 et 134 donnent le plan et la coupe verticale suivant la ligne AB du plan de l'usine de *Frankenscharn*, près *Clausthal* (Hartz), pour le traitement de galènes argentifères et cuivreuses: *a, b, c, d, e, f, g*, fourneaux pour la fonte des minerais; *a*, est alimenté par une machine soufflante à cylindre; *b, c, d*, par des soufflets pyramidaux en bois; *e*, et *f*, sont des fourneaux avec 3 tuyères et machines soufflantes à cylindre; enfin *g* est un fourneau de fusion à 7 tuyères, qui n'est plus employé; *h*, fourneaux à manche pour le traitement des mattes; *k*, fourneau à manche pour la révivification des litharges; *m*, aire de liquation; *n, p*, fourneaux de coupelle; *x y* est l'étage sur lequel on prépare les lits de fusion avant de les charger dans les fourneaux; D, conduit d'eau qui alimente l'usine. C, atelier de bocardage, 8 parties de minerai brut pris sur la mine en don-

nent 1 de *schlich* bon à fondre ; on traite annuellement à Frankenscharn 48400^{qm} de schlich et on obtient :

Plomb marchand.	10453^{qm}	1/2
Litharges marchandes.	3777	1/2
Argent environ.	33	1/2
Cuivre rosette (raffiné à Altenau). .	17	1/2
	14282^{qm}	

La teneur des schlichs en plomb est de 60 à 70 p. 100 ; la gangue est quartzeuse et argileuse ; on les fond dans des hauts fourneaux de 6 à 7 ^{m} de hauteur, à 1, 2 ou 3 tuyères, avec 14 à 15 p. 100 de fonte granulée, des matières plombeuses et des scories de la fonte des mattes. La fonte que l'on ajoute au lit de fusion sert à réduire le sulfure de plomb ; il se forme du sulfure de fer qui passe dans les mattes, et du plomb métallique. On fond par 24 heures de 4 à 5000 kilogr. de schlich avec une consommation de 420 kilogr. de charbon de bois par 1000 kilogr. de schlich. Le fourneau est desservi par postes de 3 ouvriers, et une campagne dure 9 à 10 semaines. On obtient du plomb d'œuvre qui est coupellé, et des mattes ; celles-ci contiennent 0,001 d'argent et 0,34 à 0,40 de plomb, plus tout le cuivre du minerai ; on les grille à 3 ou 4 feux, et on les fond ensuite dans des fourneaux à manche avec 3 p. 100 de fonte granulée et des matières plombeuses ; par 24 heures on fond 5000 kilogr. de mattes ; il y a deux ouvriers par fourneau ; on obtient du plomb d'œuvre et une seconde matte que l'on traite comme la précédente, et ainsi de suite. On refond ainsi les mattes à quatre reprises différentes, pour y concentrer le cuivre et en séparer l'argent et le plomb ; les dernières mattes que l'on obtient sont grillées à un grand nombre de feux, et fondues seules ; elles donnent du cuivre noir argentifère que l'on soumet à la liquation.

Nous terminerons enfin ce qui regarde le traitement des minerais d'argent, en donnant quelques détails sur le traitement par *fonte crue* et *fonte plombeuse des mattes* tel qu'il est pratiqué à Freiberg. On soumet à la fonte crue les minerais pyriteux ou terreux, ayant une teneur en plomb au-dessous de 0,16, en cuivre au-dessous de 0,03 et en argent au-dessous de 0,0045. La teneur moyenne en argent du lit de fusion est de 0,0005 à 0,0006 et il doit donner en petit 45 à 50 p. 100 de matte, sinon on y ajoute des pyrites ; de sorte qu'on produit une matte dont la teneur est de 0,0012 à 0,0016 ; au mélange des minerais, on ajoute 0,75 en poids de scories de la fonte plombeuse. Lorsque certains minerais pauvres sont très pyriteux, on les grille partiellement et on les ajoute comme fondants. La fusion s'effectue dans des demi-hauts fourneaux de 4 ^{m} de hauteur totale dont le creuset est en brasque pesante damée (2 parties d'argile réfractaires et 1 p. de poussier de coke) que l'on répare de temps à autre, et qui reçoivent par minute 6^{mc} d'air environ ; cet air est préalablement porté à 250° C. dans un système de tuyaux placés dans un four chauffé avec de la tourbe ; en 24 heures, on passe dans le fourneau 1800 kilogr. de minerais non compris les fondants, et on obtient environ 720 kil. de matte crue en 4 coulées ; la perte en argent est de 10 à 15 p. 100. On emploie comme combustible du coke dont on consomme 0^{mc},456 par quintal de minerai fondu. Les campagnes durent 4 à 5 mois et même au-delà. Les mattes crues sont grillées à 3 feux, dans des cases qui en contiennent 20000 à 25000 kilogr. ; cela dure 2 à 3 mois ; les minerais riches sont grillés dans des fours à réverbère. La *fonte plombeuse* se fait à l'air froid et au coke dans des fourneaux, analogues à ceux de fonte crue, où on ne lance que 3 1/2 à 4 kilogr. d'air par minute. Le lit de fusion se compose de mattes grillées, de minerais pauvres en pyrites tenant plus de 0,0015 d'argent, de galènes argentifères tenant plus de 16 à 20 p. 100 de plomb, de minerais riches et cuivreux tenant moins de 6 p. 100 de cuivre et de scories de l'opération. On charge en outre au gueulard immédiatement avant les coulées, une certaine quantité de matières plombeuses consistant en litharges et en plomb pauvre, de manière cependant que le plomb n'arrive dans le creuset qu'après la percée, et y reste en contact avec les mattes qui se forment pendant tout l'intervalle de temps (6 heures) qui s'écoule entre deux coulées. En résumé on prépare le lit de fusion de manière à ce qu'il renferme 0,0025 à 0,0030 d'argent et 40 à 48 p. 100 de plomb. Par 24 heures on passe en moyenne 1400 kilogr. de minerais et mattes grillées ; on obtient 420 kilogr. de plomb d'œuvre, 125 kilogr. de mattes et de crasses, et des scories plombeuses qui sont retraitées dans la fonte crue. A la fin de la campagne qui dure 4 semaines, on repasse dans le fourneau les crasses et les mattes de plomb non grillées, avec leur volume de scories plombeuses et une certaine quantité de litharges et fonds de coupelle ; on obtient du plomb d'œuvre pauvre et de nouvelles mattes de plomb. La perte en plomb est de 10 à 14 p. 100, celle en argent de 1 p. 100 environ. Les mattes de plomb sont grillées à 4 ou 5 feux ; par 100 kilogr. de mattes on consomme environ 1 stère de bois de sapin refendu. On refond les mattes de plomb grillées dans les mêmes fourneaux, avec des minerais de cuivre quartzeux pauvres en argent, et tenant plus de 6 p. 100 de cuivre, des scories de la même opération ou de la fonte plombeuse, et des matières plombeuses (litharges et fonds de coupelle) ; par 24 heures on passe dans le fourneau 1300 à 1400 kilogr. de mattes de plomb et minerais grillés, et l'on obtient environ 400 kilogr. de plomb d'œuvre et 300 kilogr. de mattes de cuivre. Enfin ces dernières mattes, qui renferment 30 à 40 p. 100 de cuivre, 8 à 25 p. 100 de plomb et 0,001 à 0,0015 d'argent, sont grillées à un grand nombre de feux, et fondues seules pour cuivre noir argentifère, lequel est liquaté à l'usine de *Grunthal*.

Traitement des minerais et mattes de cuivre argentifères par voie humide. Nous décrirons encore un nouveau procédé pour chlorurer les minerais d'argent : on charge 200 kilos de matière grillée et pulvérisée sur la sole supérieure d'un four de grillage à deux soles superposées ; après quatre heures de brassage, on les fait tomber sur la sole inférieure, exposée à une plus forte chaleur, où la matière est agitée. Sept heures après le commencement de l'opération, on ajoute 2 à 4 p. 100 au plus de sel marin sec, on continue le brassage pendant une heure à une température élevée, puis on transporte la matière dans l'atelier du lessivage. Les matières chlorurées sont ensuite soumises, soit à froid, soit à chaud, à un lessivage méthodique fait avec une dissolution saturée de sel marin qui dissout le chlorure d'argent formé, et l'argent est précipité après coup de cette dissolution par du cuivre métallique.

STATISTIQUE. Nous terminerons cet article en donnant le tableau suivant de la production annuelle moyenne de l'argent sur toute la surface du globe

Amérique.	Mexique (1840). . . .	494000^k	
	Buénos-Ayres (républ. de).	300000	
	Pérou et Bolivie. . . .	167500	
	Chili.	44250	
	États-Unis de l'Amérique du Nord.	103325	
		1103075^k =	1103075^k
Asie. (Russie d').			22500^k
Europe.	Espagne (1840). . .	40000^k	
	Hongrie, Transylvanie, Banat et Bukovine. . .	21000	
	Saxe (1841).	16566	
	Hartz (1838).	11830	
	A reporter. . . .	89396^k =	1125575^k

	Report. . .	89396[k] = 1125575[k]	
Europe	Norwége (Kongsberg, Sala). , ...	7900	
	Bohême (1842). . . .	5965	
	Prusse (1841). . . .	5864	
	Angleterre (1835). . .	5325	
	Bords du Rhin (Alzau, Holzappel, Ems, etc.) .	2000	
	France (1846). . . .	3027	
	Suède.	1700	
	Savoie et Piémont. .	600	
	Salzbourg.	200	
	Divers.	200	
		122167[k] =	122167[k]

Total de la production annuelle d'argent à la surface du globe. . . . . 1247752[k]

représentant une valeur de 277267000[f], laquelle quantité correspond à une sphère massive de 6 mètres de diamètre environ. Voir pour le complément de cet article les mots AFFINAGE DES MATIÈRES D'OR ET D'ARGENT, ALLIAGES, ARGENTURE, ESSAIS, MONNAIES et PLAQUÉ.

P. DEBETTE.

ARGENTURE (*angl.* silvering, *all.* versilbern). On n'argente guère que le cuivre et le laiton ; pour l'argenture sur bois, elle se fait tout à fait de même que la *dorure sur bois*, et nous renverrons le lecteur à ce mot.

Lorsqu'on veut argenter une pièce, on commence par l'*émorfiler*, opération qui consiste à la préparer à la lime ou au tour, puis à enlever avec une pierre à polir le morfil et les arêtes vives. On la *décape* alors en la chauffant au rouge et la plongeant ensuite dans de l'acide nitrique très étendu (eau seconde), puis la *ponçant* avec une pierre ponce et de l'eau. On réchauffe de nouveau la pièce, seulement à un point tel qu'en y projetant quelques gouttes d'eau elles s'évaporent avec un léger bruissement et on la replonge dans de l'eau seconde, qui y fait naître de petites aspérités destinées à retenir les feuilles d'argent ; si cela ne suffit pas on *hache* la pièce à l'exception des parties ciselées, c'est-à-dire qu'avec un couteau d'acier approprié à cet usage on la couvre de rayures dans le but de donner plus de solidité à l'argenture : enfin on la fait chauffer jusqu'à ce qu'elle ait acquis une couleur bleuâtre, ce qu'on nomme *bleuir*. Dès lors la pièce ne doit plus refroidir que le travail ne soit achevé. Pour la manier, l'ouvrier la place sur de la cendre chaude renfermée dans une chaudière (*mandrin*), et saisissant de la main gauche, avec de petites pinces ou *brucelles*, deux feuilles d'argent, il les applique sur la pièce chauffée, et les presse fortement de la main droite, avec le *brunissoir à ravaler ;* puis, en maintenant toujours la pièce chaude, il applique de 4 à 6 feuilles à la fois, et brunit jusqu'à ce qu'il ait mis de 30 à 60 feuilles, suivant la qualité de l'argenture : la feuille d'argent est un carré de 0[m],14 de côté et 12 feuilles pèsent 1 gram. Si en chauffant trop on noircissait la pièce, on enlèverait cette poudre noire avec la *gratte-boësse*, espèce de brosse en fil de laiton. Enfin lorsque la pièce est suffisamment argentée, on *brunit* à fond avec le brunissoir à polir en acier, jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus aucun joint.

Il y a un autre mode d'argenture moins solide, qui porte le nom d'*argenture au pouce*, et qui se fait de la manière suivante : on prend 1 partie de poudre d'argent obtenue en précipitant le nitrate étendu d'eau par une lame de cuivre, 2 p. de sel marin et 2 p. de crême de tartre, on broie le tout ensemble et on le réduit en bouillie avec un peu d'eau ; on s'enveloppe ensuite le doigt avec un linge fin, on le trempe dans cette pâte et on frotte la surface bien décapée de l'objet à argenter que l'on lave ensuite dans de l'eau de lessive tiède, puis dans de l'eau pure ; enfin on essuie avec un linge blanc et on fait sécher à une légère chaleur.

Dans l'argenture en feuille il faut, lorsqu'elle est détériorée en quelques points, désargenter complétement la pièce en la plongeant dans l'eau seconde jusqu'à ce que tout l'argent soit dissout, et argenter ensuite de nouveau en totalité. Le procédé suivant, dû à M. Mellawitz et publié par l'*Académie royale des Sciences*, convient pour les pièces de peu d'épaisseur, surtout si elles sont relevées en bosse : le cuivre est pénétré par l'argent, de sorte que l'argenture est très solide, et si elle s'use en quelques points, elle est facile à réparer en *chargeant* de nouveau la partie qui s'est détériorée. On humecte, au moyen d'un pinceau, la surface de la pièce bien décapée avec de l'eau légèrement salée, et on tamise bien également par-dessus un mélange préalablement pulvérisé et passé au tamis de soie, qui se compose de : argent précipité de sa dissolution nitrique par une lame de cuivre, 1 p.; chlorure d'argent bien lavé et desséché, 1 p.; borax purifié et calciné, 2 p.; on chauffe ensuite la pièce au rouge, on la retire avec des pinces, et on la plonge dans de l'eau bouillante, contenant un peu de sel marin et de crême de tartre, puis l'on gratte-boësse pour enlever les impuretés. Cela fait on passe très également, avec un pinceau, une couche d'une pâte formée de poudre de l'opération précédente, sel ammoniac pur, sel marin pur, sulfate de zinc et fiel de verre (écume qui surnage le verre fondu dans les pots de verrerie, et est principalement composée de sulfate de soude), parties égales, que l'on a mêlées et porphyrisées avec soin, puis délayées avec un peu d'eau légèrement gommée. On chauffe de nouveau au rouge cerise, on retire, on gratte-boësse ; on continue de *charger* 4 à 5 fois de suite de la même manière avec la pâte, et l'opération est terminée si l'on veut une argenture matte, autrement on brunit.

On argente d'une manière peu solide il est vrai, mais très peu coûteuse, en frottant les pièces à argenter avec un mélange de chlorure d'argent bien lavé, 3 parties ; crême de tartre, 2 p.; sel marin très blanc réduit en poudre fine, 2 p.; une très petite quantité de sulfate de fer, et un peu d'eau pour en faire une bouillie très épaisse. On lave ensuite bien avec de l'eau pure et on dessèche avec du papier buvard.

Pour fabriquer les qualités inférieures de boutons plaqués, on emploie en Angleterre le procédé suivant : on forme une pâte avec 2 parties de chlorure d'argent, 1 p. de sublimé corrosif (deutochlorure de mercure), 72 p. de sel marin, 72 p. de sulfate de zinc et un peu d'eau ; on recouvre de cette pâte les boutons bien décapés et on les chauffe graduellement jusqu'au rouge sombre, de manière à expulser ainsi tout le mercure. On les finit ensuite en les lavant, puis les brunissant.

On argente le cuivre en le recouvrant d'un vernis spiritueux puis y appliquant les feuilles d'argent par pression.

Voir, pour l'argenture par les procédés électro-chimiques de M. de *Ruolz*, les mots ALLIAGE et DORURE.

ARGILE (*angl.* clay, *all.* thon). Peu de matières provenant du règne minéral contribuent autant que les argiles à satisfaire les besoins de la vie commune tout comme les exigences du luxe le plus raffiné. Elles sont essentiellement composées de silice, d'alumine et d'eau ; on ne les rencontre jamais à l'état cristallin, et elles proviennent toujours de la décomposition d'autres minéraux contenant de la silice et de l'alumine ; très souvent elles sont mélangées avec des matières étrangères, telles que du sable, de l'oxyde de fer anhydre ou hydraté, du carbonate de chaux, des matières combustibles ou bitumineuses, etc.

Le caractère distinctif des argiles est de former avec l'eau une pâte tenace, plus ou moins *plastique*, c'est-à-dire qui a du corps, et que l'on peut modeler avec facilité ; mais ce caractère varie d'une manière extrêmement remarquable entre les diverses variétés d'argile. En se

desséchant, la pâte conserve de la solidité, et quand on l'expose à une chaleur toujours croissante, elle en acquiert une des plus fortes, et devient si dure qu'elle étincelle sous le briquet; dans ce cas, elle ne peut plus se délayer dans l'eau et faire pâte avec elle. L'argile sèche est complétement opaque, à cassure terreuse, happe à la langue, et devient plus ou moins onctueuse au toucher après avoir été mouillée. Immergée dans l'eau, elle l'absorbe peu à peu, et devient facile à travailler. Elle est blanche lorsqu'elle est pure, gris bleuâtre plus ou moins foncé lorsqu'elle est mélangée de matières combustibles, l'hydrate de fer la colore en jaune ou en brun, et le peroxyde de fer anhydre en rouge brun. Par calcination elle devient blanche si elle est pure, et colorée en rouge brique plus ou moins foncé lorsqu'elle contient de l'oxyde de fer. Elle éprouve un retrait très considérable par l'action de la chaleur, et se fendille avec une grande facilité, si celle-ci n'est pas extrêmement graduée. C'est sur ce phénomène du retrait de l'argile qu'est fondé le PYROMÈTRE *de Wedgwood*.

L'argile pure est infusible à la chaleur la plus élevée que l'on produise dans les fourneaux employés dans l'industrie. Modérément calcinée, elle durcit, et se transforme en une masse terreuse et poreuse, qui happe fortement à la langue et absorbe l'eau avec avidité. A une température excessivement élevée, elle se ramollit au point de donner une masse pierreuse sonore, à cassure conchoïdale plus ou moins éclatante. Les argiles impures présentent les mêmes phénomènes à une température moins élevée, au-dessus de laquelle elles se fondent.

Les principales variétés d'argiles sont les suivantes :

1° ARGILES KAOLINS. Les kaolins sont exclusivement employés à la fabrication des porcelaines, ils sont friables, maigres au toucher, font difficilement pâte avec l'eau; quand on les a séparés par le lavage, des substances étrangères qu'ils renferment, ils sont absolument infusibles au four de porcelaine et y deviennent très durs et sans solidité. Ils proviennent de la décomposition des feldspaths, et renferment toujours une quantité plus ou moins considérable de mica qui les accompagnait. Dans plusieurs gisements (Chine, Alençon, Saint-Yrieix, près Limoges), les kaolins sont recouverts d'une roche micacée qui a la texture du gneiss, mais qui est rouge et très fusible. Le kaolin de Saint-Yrieix, lavé et desséché, contient 0,56 de silice et 0,44 d'alumine.

Quand le kaolin sort de la carrière, il est mêlé de beaucoup de feldspath dont on le sépare en le délayant dans des cuves avec de l'eau, laissant reposer pendant un temps plus ou moins long, puis décantant; le feldspath reste dans les cuves, et l'eau chargée d'argile, est reçue dans des bassins de dépôt où elle se clarifie; on la fait ensuite écouler, et on recueille l'argile qu'on laisse sécher à l'air. On peut avec avantage dessécher en très peu de temps la pâte au point nécessaire pour la rendre transportable, par un procédé dû à M. Grouvelle, qui consiste à la renfermer dans des sacs en forte toile de chanvre serrée que l'on superpose par lits, séparés par des claies d'osier, et que l'on comprime fortement au moyen d'une presse à bras.

2° ARGILES PLASTIQUES. Douces et presque onctueuses au toucher, se laissant polir avec le doigt; elles donnent avec l'eau, une pâte tenace, très liante et longue, quelquefois un peu translucide sur les bords; elles sont très réfractaires, et acquièrent une grande solidité par l'action de la chaleur. Les plus connues sont : en France, les argiles réfractaires de Dreux, de Montereau, de Forges-les-Eaux et de Gournay, que leur excellente qualité fait rechercher pour la fabrication des pots de verreries et des cazettes qui servent à la cuisson de la porcelaine; en Allemagne, la terre de pipe de Vollendar près de Coblentz et l'argile réfractaire de Gross-Almerode, dont on fait les *creusets de Hesse*; en Angleterre, les terres de pipe du Devonshire, du Cornouailles, de l'île de Wight et la célèbre argile réfractaire de Stourbridge dont nous avons déjà parlé au mot ACIER, et en Belgique l'argile d'Andennes.

3° ARGILE SMECTIQUE OU TERRE A FOULON. Grasse et onctueuse au toucher, se polissant avec l'ongle, et formant en peu de temps avec l'eau une bouillie peu ductile; sa couleur varie du gris-jaunâtre au vert et au brun; sa cassure est raboteuse, schisteuse ou conchoïde; elle est compacte et happe peu à la langue; elle fond au four à porcelaine, et contient souvent de la magnésie à laquelle elle paraît devoir une partie de ses caractères extérieurs. Elle est très employée dans les arts pour le dégraissage ou le *foulage* des draps; on en trouve dans beaucoup de pays; celle de Rittemau en Alsace est de très bonne qualité.

4° ARGILES FIGULINES. Présentent les propriétés physiques des argiles plastiques; beaucoup sont comme elles, douces au toucher et donnent avec l'eau une pâte assez tenace; mais elles sont en général moins compactes, plus friables et se délaient plus facilement dans l'eau; plusieurs aussi sont fortement colorées et loin de perdre cette couleur au feu, elles y deviennent souvent d'un rouge très vif; leur cassure est irrégulière, raboteuse et nullement lamelleuse. Quoique douces au toucher elles n'ont pas ordinairement l'onctuosité des argiles à foulon. Quelques-unes font une légère effervescence avec les acides et se rapprochent tellement des marnes qu'il est difficile de les en distinguer. La chaux et l'oxyde de fer que contiennent ces argiles, les rendent fusibles à une température souvent fort inférieure à celle que les argiles précédentes peuvent supporter sans altération. Ces argiles sont employées dans la fabrication des faïences et poteries grossières, à pâte poreuse et rougeâtre; on en fait aussi des statues et des vases dits de terre cuite, pour les jardins; on en rencontre des bancs très étendus à Vanvres, Arcueil et Vaugirard; elles renferment fréquemment des pyrites de fer.

5° ARGILES EFFERVESCENTES OU MARNES. Les marnes sont formées d'un mélange mécanique et intime de carbonate de chaux et d'argile; suivant que l'un ou l'autre de ces éléments domine dans le mélange, elles prennent le nom de marnes calcaires ou d'argiles marneuses; elles ont peu de consistance, forment avec l'eau une pâte qui n'a point de liant, font une vive effervescence avec les acides et sont très fusibles. Les marnes plus ou moins calcaires sont employées avec succès en agriculture pour amendement des terres fortes ou argileuses.

6° ARGILES OCREUSES. Ce sont des argiles maigres, siliceuses colorées par de l'oxyde de fer, en rouge (ocre rouge) lorsqu'il est anhydre, ou en jaune (ocre jaune) lorsqu'il est hydraté.

La *sanguine* est une argile ocreuse rouge, qui sert à préparer les *crayons rouges*. La *terre sigillée* ou *bol d'Arménie*, employé en médecine, est aussi une variété d'argile ocreuse rouge très estimée, tirée autrefois par Constantinople de l'île de Lemnos où on la purifie par lévigation, et on en forme de grosses pastilles sur lesquelles on imprime le cachet du gouverneur de l'île ou celui du grand seigneur avant de les livrer au commerce: on se sert maintenant en France pour préparer le *bol d'Arménie*, d'une terre ocreuse que l'on trouve aux environs de Blois et de Saumur.

L'ocre jaune se trouve principalement en France près de Vierzon, et à Bitry près St-Amand (Nièvre); elle est exploitée par puits et galeries, puis calcinée et lavée convenablement elle donne un *ocre rouge; l'ocre de Bitry*, celui de Moragne et celui de Saint-Pourrain se vendent quelquefois naturels ou calcinés, sous les noms de *jaune* et *rouge d'Italie*. On les emploie comme les autres ocres

dans la coloration des papiers peints, les peintures communes en détrempe, et les peintures extérieures à l'huile, pour garantir des effets de la pluie ou de l'humidité les volets, persiennes, instruments aratoires, clôtures en bois, charrettes, etc. On mélange souvent les ocres jaunes avec les bleus de Prusse, afin d'obtenir des nuances vertes plus agréables pour diverses sortes de peintures.

7° ARGILE LÉGÈRE. Nous devons dire ici quelques mots sur cette variété d'argile qui se distingue par un caractère remarquable : sèche au toucher, elle donne une poussière dure, employée à polir l'argent; elle se délaie difficilement dans l'eau, et présente à peine du liant; elle résiste au feu et prend une grande dureté sans acquérir une forte densité; elle surnage l'eau tant qu'elle n'en est pas imbibée; on s'en est servi pour faire des briques légères. (Voyez BRIQUES).

On essaie les argiles : 1° en les calcinant au rouge pour connaître la quantité d'eau qu'elles renferment, et, au cas qu'elles contiennent de l'oxyde de fer, en déterminer approximativement la proportion par la teinte plus ou moins rouge qu'elles prennent par la cuisson; 2° en traitant l'argile complétement desséchée par de l'acide hydrochlorique faible, lavant le résidu avec soin, le desséchant de nouveau et le pesant; la perte de poids représente le carbonate de chaux qu'elle renfermait; on reconnaît sa présence par l'effervescence qu'il donne avec les acides dès qu'il y en a une proportion notable; 3° enfin on détermine la proportion de matières sableuses et quartzeuses que l'argile renferme, au moyen d'un lavage par décantation. Voir pour le complément de cet article les mots BRIQUES, CIMENTS, CREUSETS, DRAPS, MORTIERS, POTERIE, et *Complément* art. ARGILE.

ARMES A FEU. (*Angl.* fire-arms, *all.* feuergewehre). La fabrication des armes à feu se divise en deux parties essentiellement distinctes, le travail du fer et le travail du bois. La première comprend le canon, la platine et la garniture, plus, pour les armes militaires, la baïonnette et la baguette; la seconde comprend la monture, et, dans les fusils de chasse, la baguette.

Le canon est un tube en fer, exactement cylindrique à l'intérieur qui offre ordinairement une épaisseur un peu plus considérable au fond qu'à l'ouverture. Il n'y a que les carabines de tir où cette différence ne soit pas sensible, l'ouverture du canon se nomme la *bouche*, le fond est le *tonnerre* qui est fermé par une vis, dite vis de *culasse*, le vide intérieur du canon en est l'*âme*, dont le diamètre s'appelle le *calibre* de l'arme. Sur l'une des parois du tonnerre, est pratiquée la *lumière* par laquelle l'inflammation se communique à la charge.

La fabrication du canon, pour lequel on doit choisir d'excellent fer très doux, très ductile et sans pailles, s'exécute de deux manières différentes. Le procédé le plus habituellement suivi consiste à prendre une barre de fer, ou *maquette*, de la longueur du canon à fabriquer, et de la largeur de son pourtour, puis à la souder au blanc en l'enroulant sur elle-même dans le sens de sa longueur; le second procédé qui n'est employé que pour les armes de luxe consiste à enrouler en spirale sur un moule, une ou plusieurs petites bandes de fer, ou même du fil de fer, et à souder le tout ensemble au blanc.

Le réchauffage doit être conduit avec beaucoup de soin, car on ne peut souder le canon que sur une longueur de 5 à 6 centimètres à la fois, et encore faut-il pour cela le réchauffer à trois reprises différentes. Comme par un réchauffage aussi fréquent, le fer est très sujet à brûler, il est indispensable de le maintenir autant que possible recouvert de scories et de menu charbon, et de faire en sorte qu'il ne soit pas exposé à

ARMES A FEU.

l'action du courant d'air forcé qui alimente la forge. Le brasage s'exécute sur un mandrin ou noyau, que l'on retire lorsque l'on porte la pièce dans le feu. Deux ouvriers sont ordinairement réunis pour le soudage d'un canon, et frappent, non point avec beaucoup de force, mais avec beaucoup de rapidité, sur la partie à braser qui a reçu dans le feu une chaude suante. On commence par le milieu du canon, en allant d'abord vers une extrémité, puis ensuite vers l'autre. Le soudage terminé, on porte de nouveau successivement toutes les parties du canon au rouge blanc, et on le martelle dans une rainure hémisphérique pratiquée dans l'enclume, sans y introduire de mandrin, de manière à le parer autant que possible.

Les meilleures bandes pour la fabrication des canons de fusil sont faites en *fer de riblons*, c'est-à-dire de rognures de tôles et de vieux fers à cheval, que l'on réunit en paquets ou trousses qui sont réchauffés à la forge, et étirés au marteau en barres minces, ou mieux en rubans étroits. Pendant un temps, les canons *damassés* furent très en vogue; voici comment on les fabrique : on prend des rubans d'acier et de fer, très minces que l'on place côte à côte parallèlement les uns aux autres, en ayant soin de les faire alterner, et que l'on soude ensuite à la forge en une seule pièce; cette pièce est réchauffée, tordue sur elle-même à plusieurs reprises, puis étirée en ruban que l'on roule en spirale sur un mandrin, et que l'on soude comme il a été dit ci-dessus.

Les meilleurs canons modernes pour les fusils de chasse, sont construits en rubans de fer de riblons, de la manière suivante : La tige ou filet a seulement (0m,0125 de large, ou quelquefois moins; elle est un peu plus épaisse au bout qui doit former la culasse, et un peu plus mince à celui qui doit former la bouche que dans la portion intermédiaire. Après avoir modérément chauffé cette bande, pour augmenter sa malléabilité, on l'enroule en spirale autour d'un mandrin jusqu'à ce qu'on ait formé une longueur convenable du cylindre: les bords dépassent un peu, les uns sur les autres, afin de donner à la soudure plus de solidité. On retire le cylindre du mandrin, et on le chauffe de nouveau, puis le tenant verticalement, on frappe le bout de la bouche sur l'enclume, ce qui rend la jonction des spirales plus complète et plus uniforme. Il est alors soudé à plusieurs chaudes successives, à coups de marteau, tant verticaux qu'horizontaux, et enfin terminé dans la cannelure hémisphérique de l'enclume. Les plus beaux canons sont toujours faits des tiges les plus étroites de fer de riblons, d'où ils reçoivent le nom de canons tordus. On fait aussi des canons en fils d'acier, soudés ensemble suivant leur longueur, et tordus ensuite en spirale dans un cylindre. Les canons qui sont destinés à être rayés, doivent être faits en fer épais, et de qualité tout à fait supérieure. Les mousquets de soldats sont un peu plus épais à la bouche, afin d'offrir un support solide à la baïonnette.

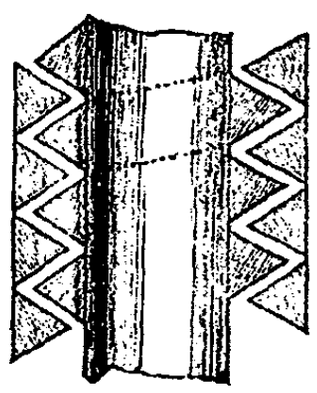
Les arquebusiers de Paris qui jouissent d'une réputation justement méritée, étirent à la forge le fer destiné à la fabrication des canons de fusil, en bandes de 1m,20 de long, 4 centimètres de large et 2 millimètres et demi environ d'épaisseur. On forme un faisceau avec 25 de ces rubans que l'on place entre deux bandes un peu plus épaisses; la trousse ainsi formée, et qui pèse environ 30 kilogr., est étirée à la forge, en une barre méplate de 18 millimètres de large sur 13 millimètres d'épaisseur, que l'on replie en double sur elle-même, et que l'on étire de nouveau en un ruban de 9 millimètres de large sur 4 millimètres d'épaisseur, de telle sorte que la face plane du nouveau ruban, soit à angle droit avec celles des rubans primitifs qui composaient la trousse. La longueur de ce ruban (pour 2 canons de fusil de 78 à 83 centimètres) est de 10 à 11 mètres; on le partage en deux parties, que l'on chauffe successive-

ARMES A FEU.

ment au rouge cerise, et que l'on enroule en cet état en spirales aussi serrées que possible sur un mandrin de 11 millimètres environ de côté. On retire le mandrin, et on porte le canon dans le feu ; puis on le soude comme nous l'avons dit plus haut en commençant au milieu de sa longueur.

D'après ce que nous avons dit, les bandes, primitives sont soudées côte à côte normalement à la surface du canon, de sorte que celui-ci paraît être très finement rubanné. Dans les fusils à deux coups, on enroule le ruban qui forme l'un des canons, à droite, et celui qui forme l'autre, à gauche, ce qui produit un effet agréable à la vue. Quinze ouvriers parisiens, dont six à la forge, deux au forage, et sept aux autres parties de la fabrication, ne peuvent livrer par semaine que 6 canons doubles rubannés pour fusils de chasse, prêts à être montés, et les vendent au prix de 400 à 300 fr. pièce.

M. *Gastine et Renette* habiles arquebusiers de Paris, ont établi un autre système de canons à rubans sur lesquels M. Séguier a fait à l'Institut un rapport très favorable. Au lieu de se composer d'une lame plate roulée en hélice et soudée bord à bord, le canon est formé par la juxtà-position de deux rubans triangulaires, superposés de telle manière que le sommet de l'un s'unisse à la base de l'autre (voir la fig. 135). De cette façon, la surface de contact des soudures pratiquées suivant des plans obliques, se trouve augmentée, et on remédie d'une manière très satisfaisante à l'inconvénient des travers, c'est-à-dire résultant des défauts de soudure. Dans des épreuves faites avec des canons, du poids de 875 grammes, de 72 centimètres de longueur, et 17 millimètres de diamètre intérieur, de 5 millimètres d'épaisseur à la culasse, et de 1 millimètre 50, à la bouche ; ceux-ci ne se sont ouverts qu'à la charge de 44 grammes de poudre et 250 grammes de plomb. Un d'eux n'a même cédé qu'à la charge de 50 grammes de poudre et 280 grammes de plomb ; charge énorme, puisque celle employée par les chasseurs ne dépasse pas 4 grammes de poudre et 40 grammes de plomb.

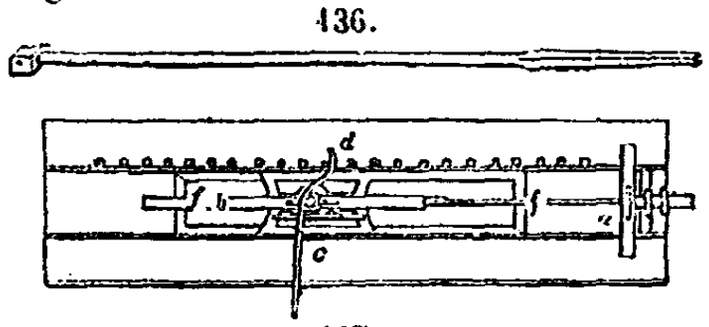


135.

Des résultats non moins avantageux ont été obtenus par M. *Bernard*, habile armurier de Paris, avec des canons de fusil obtenus, en enroulant 2 hélices l'une sur l'autre ; la deuxième, recouvrant les joints de la première.

Lorsque les canons de fusil sont entièrement forgés, on les porte au rouge sombre dans un fourneau particulier, puis on les laisse refroidir très lentement, pour donner au fer dont ils sont composés, le plus de douceur possible ; ils sont alors propres à être portés à l'atelier de forage.

136.



137.

Le foret (fig. 136) est un long morceau d'acier, à section carrée, légèrement pyramidal et à arêtes tranchantes, qui est soudé à une tige cylindrique en fer, se terminant à l'autre extrémité par une tête carrée qui sert à fixer l'outil dans la boîte du tour. Il arrive ordinairement que l'on ne laisse pas mordre le foret sur toutes ses arêtes à la fois ; on applique à l'aide d'un anneau métallique contre l'une des faces du foret, une petite pièce de bois extérieurement cylindrique, qui vient frotter dans l'âme du canon, tandis que les deux arêtes opposées de l'outil, peuvent seules mordre et aléser le trou. Ce procédé a l'avantage de permettre d'agrandir successivement et d'aléser l'âme du canon à l'aide d'un seul et même foret, en augmentant à mesure l'épaisseur de la pièce de bois, tandis qu'autrement il faudrait un grand nombre de forets de grandeurs différentes. Il est aussi à remarquer que dans ce dernier cas, comme l'affutage doit avoir lieu sur les quatre faces à la fois, ils sont rapidement usés et mis hors de service, tandis que par le procédé que nous avons indiqué, l'outil ne mordant que par deux arêtes à la fois dure beaucoup plus longtemps.

Le tour à forer est horizontal. Dans quelques cas, cependant, on a entrepris de travailler les canons, sous une inclinaison de 30° à l'horizon, de manière à faciliter le dégorgement des limailles. Le canon est supporté par un point seulement, au milieu de sa longueur, pour se prêter aux mouvements du foret qui, autrement, serait infailliblement brisé. Le foret, comme on le voit (fig. 137), a simplement sa tête carrée insérée dans la boîte du tour, et n'est supporté en aucun autre point de sa longueur.

La fig. 137 représente, en plan, le tour à forer pour les canons de mousquets ; *f f*, est la poupée ou chariot qui supporte le canon ; *a*, est la boîte du tour, dans laquelle entre la tête du foret ; *b*, est le canon, fixé par son milieu dans le chariot, et que l'on peut faire avancer à l'encontre du foret, à l'aide du levier *c* que l'on manœuvre à la main, et qui s'appuie successivement contre chacune des chevilles d'une sorte de crémaillère *d*, espacées les unes des autres d'environ 5 centimètres. Le foret ainsi établi, semble être, à première vue un outil très mauvais et très défectueux ; mais ses vibrations perpétuelles n'affectent point l'exactitude du forage ; il fait 150 à 180 révolutions par minute.

Après que l'âme du canon a été ainsi presque amenée au calibre voulu, on achève de l'aléser avec un alésoir très tranchant, qu'on recouvre ordinairement de languettes de bois sur deux de ses faces, de manière qu'il ne puisse mordre que très peu à la fois ; enfin, si l'on veut polir l'intérieur, on se sert d'un alésoir en forme de lime ou bien d'un cylindre de plomb enduit d'huile et d'émeri.

Comme par suite des vibrations continuelles de l'outil, le canon, surtout lorsqu'il présente peu d'épaisseur est sujet à se courber, l'ouvrier doit l'examiner de temps en temps, et au besoin le redresser à l'aide d'un maillet en bois.

On procède ensuite au dressage de l'extérieur, qui s'exécute à l'aide de meules sèches en grès, de $2^m,50$ de diamètre sur $0^m,32$ d'épaisseur auxquelles on imprime un mouvement de rotation très rapide, qui va jusqu'à deux tours par seconde. L'ouvrier tient le canon horizontalement et dans une direction parallèle à l'axe de la meule contre laquelle il le presse modérément ; par suite de cette pression, le canon se met à tourner lentement et se trouve ainsi également attaqué sur tout son périmètre. Dans ces derniers temps, on a trouvé beaucoup d'avantages à dresser le canon sur un tour ordinaire (voyez TOUR), analogue à ceux dont on se sert dans les ateliers de machines.

Le canon est fermé à son extrémité, dans les armes de guerre et dans la très grande majorité des armes de chasse, par une partie vissée qu'on appelle le tonnerre. Ce n'est que depuis quelques années qu'on a vu, mais seulement pour la chasse, des armes s'ouvrant au tonnerre pour l'introduction de la charge ; nous en par-

lerons bientôt. Pour les fusils de guerre, nous donnerons les dimensions adoptées en France et en Angleterre :

DÉSIGNATION.	FUSILS	
	Français.	Anglais.
Diamètre de l'âme ou calibre. .	0m,0175	0m,0190
Diamètre de la balle.	0m,0165	0m,017
Poids de la balle en grammes.	27g,15	30g,03
Longueur du canon.	1m,140	1m,067
Longueur de la baïonnette. .	0m,381	0m,432
Longueur totale du canon et de la baïonnette.	1m,521	1m,499
Poids du canon et de la baïonnette en kilogrammes. . . .	4k,95	5k,52

Batterie. La batterie du fusil constitue un petit mécanisme fort ingénieux. Nous ne donnerons ici que la description de la batterie à percussion pour l'emploi de la capsule à poudre fulminante, la seule employée aujourd'hui. Comme mécanisme, il ressemble beaucoup à l'ancienne batterie à silex, où le feu était produit par le choc d'un silex sur une partie en acier, système complétement abandonné aujourd'hui.

Nous donnons ici la figure de la batterie du fusil ordinaire à piston telle qu'elle a été simplifiée en Angleterre par M. Lowell, dont la disposition a été adoptée (fig. 138).

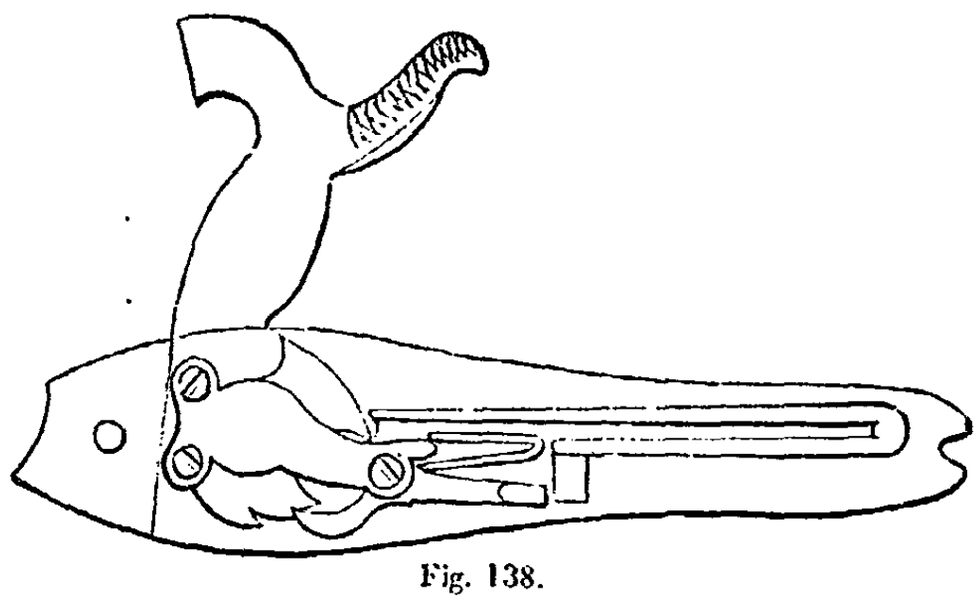


Fig. 138.

On voit que ce mécanisme, réduit à sa plus grande simplicité, consiste en une pièce centrale solidaire avec le chien, appelée *noix*, qu'un grand ressort tend à faire tourner en abattant par suite le chien, lorsqu'elle n'est pas arrêtée par une espèce de rochet solidaire avec la gâchette. Le mouvement a donc lieu dès qu'on presse sur celle-ci.

Dans le système ci-dessus décrit le chien percute fortement sur la cheminée et l'endommage peu à peu. De petites parcelles de poudre fulminante peuvent y demeurer et être une cause d'accidents. M. Fontenau, de Nantes, a cherché à éviter cet inconvénient par une disposition combinée surtout en vue d'éviter les accidents qui surviennent fortuitement lors du maniement des armes à feu à la chasse.

Pour atteindre ce but, M. Fontenau rend mobile à volonté la partie cylindrique du chien qui vient, dans l'arme à percussion ordinaire, frapper sur la cheminée munie de la capsule. Cette mobilité est obtenue en forant cylindriquement cette partie du chien, et y taraudant un pas très-fin qui permet d'y adapter une vis (fig. 139).

Cette vis, terminée extérieurement par une tête cannelée, se détourne avec facilité ; un ou deux tours suf-

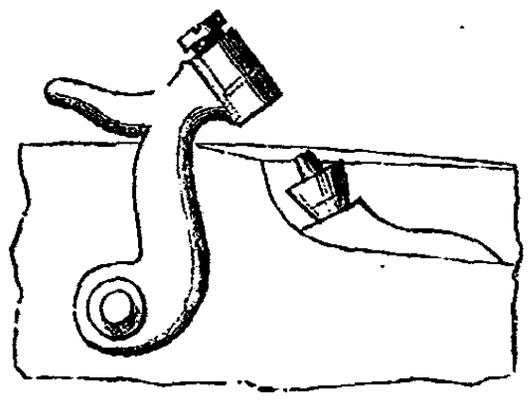


Fig. 139.

fisent pour désarmer le fusil et rendre toute explosion impossible, lors même que par un accident quelconque le chien se rabattrait sur la cheminée. On voit avec quelle facilité le chasseur se trouve mis à l'abri de tout accident, avec quelle rapidité le fusil est remis en état de faire feu.

En enlevant entièrement la vis, l'arme devient tout-à-fait inoffensive et peut sans danger être maniée par les enfants et les personnes les plus imprévoyantes.

La vis dont l'extrémité frappe la capsule peut être facilement amenée à la longueur convenable pour qu'elle approche beaucoup de l'extrémité de la cheminée *sans la toucher*. L'épaisseur du cuivre de la capsule et la charge de poudre fulminante permettent de rendre cet écartement très notable, comme on le voit en faisant partir l'arme après avoir détourné la vis de plus d'un tour.

Le bout de la cheminée n'est donc plus martelé, elle n'est plus ébranlée par un choc oblique, le chien frappant à plat sur son collet ; enfin tout écartement latéral devient impossible.

Ces importants avantages, qu'il ne serait possible d'apprécier convenablement qu'en consultant les registres de réparations d'armes d'un régiment et qu'un publiciste évalue à plus de 100,000 fr. pour l'armée française, nous paraissent assurer le succès de cette invention, en remplaçant par un ajustement de précision une disposition imparfaite et pleine d'inconvénients.

L'expérience montre en tout cas qu'il y a tout bénéfice à étalonner le creux de la tête du chien, de manière que la percussion ne vienne jamais mutiler l'extrémité de la cheminée, mais faire poser sur l'embase de la cheminée l'extrémité de la tête du chien.

C'est à ce résultat et à l'emploi d'une cheminée portant une embase sur laquelle le chien peut poser, que doivent se borner les constructeurs d'armes qui n'adopteraient pas le système breveté de M. Fontenau, soit à cause de son prix, soit par la crainte que la vis ne se desserre et ne remonte par le choc, ce qui occasionnerait des ratés nombreux. Ce dernier inconvénient a, au reste, été évité par l'inventeur d'une manière ingénieuse. Il perce un petit trou transversalement dans la vis et y chasse une petite cheville en bois qui assure un frottement toujours gras et une adhérence suffisante à la vis. Cette disposition nous paraît pouvoir être appliquée dans grand nombre de petits mécanismes, pour assurer très simplement l'action des vis.

Quant à la sécurité qui résulte de l'emploi de ce système, elle n'est complète qu'autant que le chasseur

ARMES A FEU.

a quelque prudence, et c'est le défaut de cette qualité qui est la cause la plus ordinaire d'accidents.

On a inventé une foule de dispositions pour dispenser le chasseur de toute espèce de soins ; nous ne donnerons qu'un exemple des nombreuses dispositions inventées à cet effet, car elles sont peu employées, parce que malheureusement ces moyens compliquent l'arme. Celui dont nous parlons est bien simple et bien facilement applicable à toutes les armes, et peut être mis en comparaison avec un système analogue dû à M. Guézin qui est combiné en vue de ne permettre au chien de s'abaisser que lorsque l'arme est appuyée à l'épaule.

La disposition, due à M. Buzelaire, consiste à rendre mobile la partie postérieure de la ferrure qui forme la sous-garde. Cette partie devient un long ressort qui rentre dans le fusil quand on le saisit à la poignée, soit pour l'armer, soit pour faire feu. Ce ressort tire un verrou monté sur la platine de la batterie, et ce verrou entre dans une encoche pratiquée dans le chien et qui empêche tout mouvement de sa part quand l'arme n'est pas saisie à la poignée. Il devient donc impossible que le fusil soit armé ou fasse feu autrement que par la volonté du chasseur; toute action sur le chien est sans danger.

Ce système est donc simple et n'exige pas d'attention spéciale de la part du chasseur, mais seulement l'habitude de presser un peu l'arme en la saisissant à la poignée. On peut donc espérer que ce système se propagera dans la pratique.

Bois de fusil. La fabrication du bois de fusil rentre dans le travail ordinaire du bois, et nous n'aurions pas à insister ici si elle n'avait été dans ces derniers temps l'objet d'essais intéressants.

L'irrégularité de la forme du bois, qui n'étant pas une surface de révolution ne peut être obtenue à l'aide du tour, paraît en rendre l'exécution mécanique presque impossible. Cependant ce problème a été attaqué par M. Grimpé d'abord, qui avait annoncé la création de puissants moyens pour sculpter le bois à la mécanique, puis par M. Philippe de Girard, l'illustre inventeur de la filature de lin, et enfin par M. Decoster.

Nous n'avons nul renseignement sur les procédés des deux premiers inventeurs, mais ils se rapprochaient sans doute beaucoup de celui employé par M. Decoster. Il consiste essentiellement dans l'emploi de fraises animées d'un mouvement circulaire, et guidées de manière à descendre à une profondeur déterminée pour chaque position du bois. C'est en quelque sorte la solution du problème général de donner à un morceau de bois une forme quelconque déterminée, appliquée à un cas particulier, un mouvement imprimé d'après une courbe donnée. Nous pensons qu'on publiera bientôt les dessins de ces appareils fort compliqués, mais extrêmement curieux, et qui pourront fournir le moyen de produire bien des pièces en bois dur, toutes les fois qu'on sera assuré de pouvoir en utiliser une reproduction en nombre un peu considérable.

Armes carabinées. La justesse du tir et l'accroissement de portée des armes à feu constituent le plus grand progrès que l'on puisse réaliser pour accroître utilement les forces militaires d'un pays. C'est par l'invention des armes carabinées qu'on a depuis bien longtemps essayé de réaliser de semblables progrès.

Pendant les guerres de la révolution, nos soldats eurent souvent à souffrir de la supériorité de tir que donnait aux tirailleurs ennemis l'emploi de la carabine. Cependant l'usage de ces armes, abandonnées à l'époque des premières campagnes de la révolution, ne fut pas repris à cause de l'embarras du chargement. Le canon de ces armes portait intérieurement sept rainures héliçoïdales (fig. 140). On y chassait de force, à coups de maillet, une balle sphérique (fig. 141) d'un diamètre un peu plus grand que l'âme, qui s'y

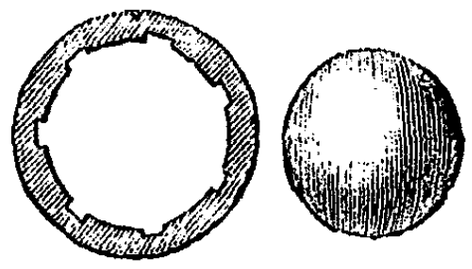


Fig. 140. Fig. 141

moulait et qui, lorsqu'on faisait feu, sortait, en suivant les rainures, animée d'un mouvement de rotation sur son axe.

M. George Lovell, directeur de la manufacture royale d'armes à *Ensfield* (Angleterre), a imaginé de ne pratiquer dans l'âme (fig 142) que deux rainures directement opposées, ayant des dimensions plus con

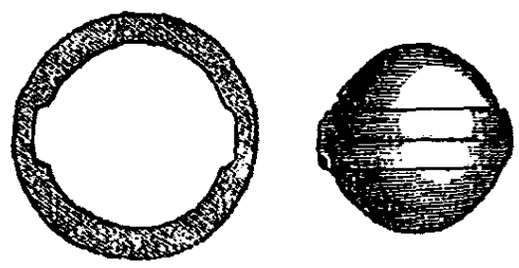


Fig. 142. Fig. 143.

sidérables que les rainures ordinaires; on coule les balles dans un moule qui leur donne la forme (fig. 143), de sorte que l'on peut les charger sans difficulté en introduisant l'anneau qui les entoure dans les rainures, et lors de la décharge elles en suivent exactement la courbe. Tandis que dans les canons rayés ordinaires, les hélices ne doivent jamais faire plus de 1/4 à 1/2 tour dans toute la longueur de l'âme, parce qu'au-delà de ce terme la balle, par suite de la vitesse qui lui est imprimée, ne suivrait pas les rainures; on peut avec le système de M. Lovell donner au pas des hélices un mètre de longueur, ce qui correspond à une vitesse de rotation double de celle que l'on obtient avec les armes carabinées ordinaires, et augmente par suite sensiblement la justesse du tir.

Des expériences faites en grand, en Angleterre, ont montré la supériorité de cette arme sur les anciens fusils de munition, mais ce n'était pas une solution complète puisque la balle n'était pas forcée, élément capital pour la justesse du tir. Voy. *Complément*, article BOULETS TOURNANTS.

L'énorme perte de temps qui résulte du mode de chargement au maillet, seul moyen de forcement connu jusque dans ces dernières années avait toujours empêché l'adoption pour l'armée, et même pour les corps d'élite, des armes carabinées, malgré la grande supériorité de tir qu'elles présentent.

Une heureuse invention, due à M. Delvigne, officier français, est venue lever la difficulté.

Le problème que M. Delvigne s'était proposé, et qu'il a complétement résolu, était celui-ci : après avoir introduit librement une balle dans un canon rayé, faire qu'elle ne puisse sortir que de force, avec une augmentation de volume suffisante pour remplir les rayures. Dans la carabine de M. Delvigne, la balle, librement descendue dans le canon, repose sur l'extrémité d'une chambre pratiquée dans la pièce de culasse. Un seul coup de baguette de fer, convenablement appliqué sur la balle, suffit pour l'aplatir et changer ses dimensions.

Cette invention de M. Delvigne était extrêmement

ARMES A FEU.

remarquable ; l'écrasement de la balle assure l'effet des rainures, c'est-à-dire procure le mouvement régulier de rotation de la balle par l'effet des rainures hélicoïdales, et par suite la régularité bien vérifiée du tir des carabines avec un mode de chargement plus simple. Les chasseurs de Vincennes, armés de ces carabines, purent obtenir un tir efficace à 500 et même 600 mètres.

Toutefois l'écrasement à l'aide de la baguette, sur un épaulement réservé dans le tonnerre au-dessus de la charge de poudre (fig. 146), ne se produit qu'avec

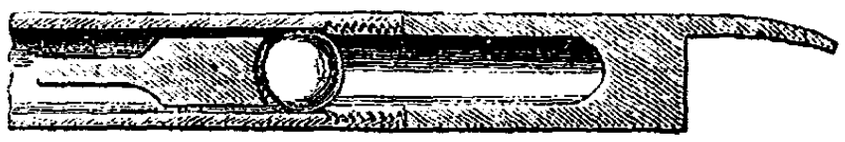


Fig. 146.

quelque difficulté, malgré le poids donné à la baguette, et a été obtenu plus aisément et d'une manière plus facilement applicable aux armes existantes par l'heureuse invention des *carabines à tige* que représente la fig. 147

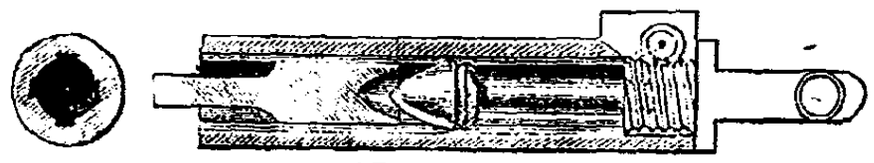


Fig. 147.

avec divers perfectionnements que nous décrirons plus loin. Cette solution, due sans aucun doute, indirectement pour le moins, à la polémique et aux recherches dont l'invention de la carabine Delvigne fut la cause, fut imaginée par le colonel Thouvenin. Elle consiste à fixer dans la culasse du canon une tige dont l'axe est celui du canon. La balle creuse à la partie inférieure, introduite dans le canon, s'arrête sur la tige ; elle y trouve un appui solide, qui permet de la forcer dans les rayures sans la déformer irrégulièrement.

De nouveaux essais vinrent bientôt permettre de faire un nouveau pas en avant, et ce progrès fut la conséquence, non d'une modification de l'arme, mais d'une nouvelle forme de projectile.

Balles cylindro-ogivales.— La forme sphérique donnée à ceux-ci ne paraît pas en effet être celle que la théorie leur devrait assigner, pas plus qu'on ne construit un vaisseau à section circulaire, et il semble que la balle du fusil devrait avoir la forme du solide de moindre résistance, être de forme allongée, être un cylindre et non une sphère.

Mais de semblables considérations ne peuvent s'appliquer qu'aux armes carabinées. Dans un fusil à canon lisse, la balle a besoin d'un certain vent pour compenser les irrégularités de calibre et entrer dans le canon encrassé par le tir. La balle prend donc un mouvement de rotation irrégulier par l'effet de l'impulsion, qui ne passe pas par le centre de figure comme cela a lieu pour la résistance de l'air.

Dans une arme carabinée, l'existence des rayures permet d'employer une balle d'un calibre plus voisin de celui du canon. Cet avantage tient à la facilité que trouve l'encrassement de se loger pendant l'introduction de la cartouche dans la cavité des rayures. Indépendamment de cette cause, l'écrasement partiel de la balle, point de départ des inventions dont il s'agit, fait disparaître le vent si nuisible pour la justesse du tir.

Mais c'est surtout le mouvement de rotation autour de l'axe que les hélices font prendre à la balle qui assure la régularité du tir. En effet, quand il n'existe pas à l'origine, il faudrait qu'elle fût de forme et de position toujours identique pour que la résistance de l'air n'engendrât pas un mouvement de rotation, différent pour chaque balle et chaque charge, et qui par suite est une cause variable de déviation que l'habileté du tireur ne peut corriger. Mais il n'en est plus de même quand la balle tourne ; sa rotation la rend en quelque sorte parfaitement symétrique autour de son axe de rotation. Si en effet dans une de ses positions la résultante des impulsions ou des résistances sur les divers éléments ne passe pas par le centre de gravité et cause une déviation, si on considère les phénomènes après une demi-révolution, un effet absolument inverse sera produit, et on peut dire que tout aura lieu comme si l'ensemble des résistances effectives dans les deux positions passait par le centre de gravité. Voy. *Complément*, art. BOULETS TOURNANTS.

Si l'on remarque que dans la carabine Delvigne l'aplatissement de la balle augmente la résistance, que pour que la balle ne se déchire pas dans les rainures la vitesse initiale ne doit pas être trop forte, on voit que les limites de vitesse initiale et les accroissements de résistance venaient en compensation des avantages qu'offrait un tir plus régulier à cause du mouvement de rotation. Il n'en est pas de même avec les carabines à tige, dont la balle allongée se gonfle facilement sur une plus grande longueur, est déformée plus facilement par l'action de l'extrémité de la baguette qui porte en creux la forme de l'extrémité aiguë de la balle. De plus, celle-ci ayant une masse plus grande que la balle sphérique tirée avec la même arme, perd moins rapidement la quantité de force vive dont elle est animée.

De la moindre résistance et de la plus grande masse résulte le grand avantage de pouvoir, pour une portée donnée, faire partir la balle avec une vitesse initiale moindre, par suite sans déchirement de la partie du plomb chassé dans les rainures, ou, ce qui en résulte comme d'une plus grande résistance du plomb refoulé sur une plus grande longueur, d'obtenir une vitesse de rotation plus grande de la balle. Cette dernière condition s'obtient avec une rayure ayant un pas d'hélice plus court. On obtient ainsi une arme ayant une portée de 1,300 mètres et avec laquelle on met, à 800 mètres de distance, vingt-cinq balles sur cent dans un panneau de 2 mètres de hauteur sur 6 mètres de base.

Balles à cannelures. Les balles cylindro-ogivales ne peuvent donner tous les avantages dont elles sont susceptibles qu'autant qu'elles satisfont à une condition dont on n'avait pas à se préoccuper avec les balles sphériques. Elle consiste en ce que la balle allongée ne peut conserver la pointe en avant qu'autant que son axe change de direction en même temps que chaque élément de la trajectoire, de manière à être toujours ramené suivant la tangente à la trajectoire. Autrement la résistance de l'air varie avec l'angle de chaque élément, ne passe pas par le centre de gravité, et il en résulte une rotation du grand axe qui détruit tous les avantages de la balle allongée.

M. Tamisier, capitaine d'artillerie, eut le talent d'analyser cet effet et de trouver le remède. Il pratiqua à la partie postérieure de la balle des cannelures circulaires de $0^m,0007$ de profondeur en aussi grand nombre que cette partie, légèrement conique, pût en contenir, employant, comme jadis pour les flèches, la résistance de l'air pour assurer la direction de la balle.

Fig. 148.

Nous devons encore citer comme curieux moyen d'obtenir le forcement, le perfectionnement proposé par M. Minié, officier français, consistant à ajouter un culot (fig. 148) à la balle cylindro-ogivale creuse. Ce culot en tôle, qui a la forme d'une petite coupe, est placé à l'orifice du trou conique de la balle et par la

force de la poudre, lors de l'explosion, il est poussé dans la balle et la contraint à s'ouvrir, à augmenter de diamètre vers la partie inférieure, ce qui simplifie le chargement d'une carabine autant qu'il est possible, puisqu'il devient semblable à celui d'un fusil ordinaire.

Les Anglais ont adopté ce système; ils exécutent par des moyens mécaniques, au balancier, les balles que l'on fond toujours en France.

On a varié le nombre et la direction des rayures et finalement pour la carabine d'Enfield, dont les Anglais sont très-fiers et dont ils ont armé leurs soldats, ils ont adopté les dispositions suivantes :

Le canon a trois hélices dont le pas est de 6 pieds 6 pouces anglais (1 mètre 95 cent.), de sorte que la balle a fait une demi-révolution lorsqu'elle a parcouru le canon dont la longueur est de 3 pieds 3 pouces. Cette balle est cylindro-conchoïdale; elle est enveloppée de papier et d'un diamètre convenable pour entrer aisément dans le canon. On emploie du plomb pur, pour qu'il s'écrase facilement, soit entaillé par l'explosion qui pousse la balle qui est à l'origine du mouvement, en partie dans une chambre, en partie appliquée contre des arêtes saillantes; elle est ainsi forcée dans les rainures dont la forme hélicoïdale détermine la rotation. La nouvelle balle d'Enfield est conique et porte à la partie inférieure une cavité bouchée par un coin en buis, perfectionnement du système Minié. Ce coin, poussé par le choc résultant de l'explosion de la balle, écarte le plomb jusqu'à ce qu'il remplisse les rainures de la culasse.

Carabine de Whitworth. — Voici comment l'inventeur décrit son système, qui produit bien la rotation de la balle, mais avec un forcement incomplet. Dans la disposition que j'ai adoptée, dit-il, l'intérieur du canon est hexagonal et au lieu de consister partie en chambre inutile, partie en rainures n'a que des parties utiles. Les angles de l'hexagone sont toutefois arrondis. Une balle hexagonale est préférable à une balle cylindrique, bien que toutes deux puissent être employées. La seconde se transforme partiellement en la première, car, lorsqu'on tire une balle cylindrique, elle s'applique, pendant qu'elle s'avance, sur les faces hexagonales, sur les faces hélicoïdales de l'hexagone. Dans nombre de cas ce genre de balle n'a pas donné un tir satisfaisant avec de la poudre de combustion lente, ce qui est désirable pour un projectile fait avec un métal dur, pour ne pas causer trop d'usure au canon; et n'est pas convenable non plus avec un projectile qui doit prendre sa forme dans le canon, en métal mou, pour lequel une poudre à combustion rapide est absolument nécessaire pour assurer son moulage complet. A moins qu'il n'en soit ainsi, les gaz passent en avant de la balle, entre elle et le canon, et celui-ci étant sale, la balle est tordue et le coup peut être mauvais. Si on donne au projectile une forme extérieure hexagonale, la même que celle du canon, ce qu'il est aisé de faire mécaniquement, on peut employer un métal d'une dureté quelconque, de plomb, de plomb allié d'étain et même d'acier, et on peut employer une poudre à combustion lente, comme celle réglementaire. C'est là la propriété la plus curieuse de cette arme.

Comme il a été dit plus haut, la rayure de la carabine Enfield fait un tour en 6 pieds 6 pouces, c'est-à-dire que la balle fait un tour en parcourant cet espace. Cette rotation modérée, suivant M. Whitworth, ne convient qu'aux projectiles courts, les longs tournent irrégulièrement après être sortis du canon, et à de longues portées les petits eux-mêmes ne donnent pas des tirs réguliers. Avec un canon hexagonal les tours sont bien plus rapides et l'on peut tirer des projectiles de toute longueur. J'ai fait, dit-il, un canon court, avec des rayures dont le pas était d'un pouce (uniquement pour examiner l'effet d'une très-grande vitesse de rotation), et j'ai trouvé qu'on pouvait tirer avec cette arme des projectiles dressés mécaniquement, faits avec un alliage de plomb et d'étain, et qu'ils traversaient, avec une charge de 35 grains de poudre, des planches d'orme de 7 pouces d'épaisseur.

Pour le canon ordinaire de 39 pouces de longueur, j'ai proposé un calibre de 0,45 pouce, avec un tour en 20 pouces, ce qui, dans mon opinion, convient bien pour cette longueur. La rotation est suffisante avec une balle de densité convenable pour un tir à 2,000 yards. L'arme peut supporter des accroissements de charge, en élevant la hausse, depuis celle de service de 70 grains jusqu'à celle de 120 grains, la plus grande qui puisse être réellement consumée pendant que la balle est dans l'arme; d'ailleurs le recul devient alors plus fort qu'il ne convient, avec le poids ordinaire du fusil de munition.

De l'avenir des armes de guerre. — Tous ces perfectionnements, en assurant la précision du tir et la longue portée des armes, en ont fait des instruments plus puissants de destruction que les anciennes; sur un point toutefois on a plutôt reculé qu'avancé, à savoir pour ce qui se rapporte à la célérité du tir, qui avait limité l'emploi des carabines dans les armées où se trouvaient d'habiles tireurs. Sans doute, la difficulté d'approvisionner des soldats munis d'armes avec lesquelles ils peuvent, et souvent mal à propos, faire une consommation considérable de munitions est un inconvénient, mais une fois qu'une nation militaire a adopté une arme à tir rapide, toutes les nations se trouvent forcées à l'adopter sous peine d'une infériorité évidente, lorsque leurs armées rencontreraient celles d'un ennemi, dont chaque soldat tirerait deux ou trois coups de fusil pendant qu'on en tirerait un. Ce progrès qu'on eût pu réaliser en France avec le fusil Robert, depuis l'invention des cartouches à culot, a été effectué en Allemagne par l'invention des *fusils à aiguille* adoptés par l'armée prussienne.

Les derniers perfectionnements des carabines de guerre se trouvent donc aujourd'hui ne produire que des armes inférieures en un point, si on n'y joint le chargement par la culasse. Nous reviendrons plus loin sur cette question, après avoir parlé de ce mode de chargement.

Armes se chargeant par la culasse. L'emploi des fusils à pierre, de même que celui des fusils à piston ordinaires, présente dans le service militaire plusieurs graves inconvénients dont nous allons citer les principaux : le soldat est désarmé si la baguette est perdue, faussée ou cassée; le soldat en tirailleur, ayant tiré son coup, ne peut recharger qu'en se mettant à l'abri, et un inconvénient très-grave, c'est que le fusil à silex, comme celui à piston, peut partir au repos; que la cartouche peut s'enflammer au moment de la charge, et que de graves accidents peuvent en résulter.

Les fusils qui se chargent par la culasse offrent les avantages suivants : une beaucoup plus grande promptitude dans la charge, ce qui augmente en quelque sorte le nombre des combattants, et la suppression de la baguette. Les accidents provenant de l'inflammation de la charge au moment de son introduction dans le tonnerre sont peu graves, les gaz produits ne rencontrant pas de résistance, de sorte que si par hasard, lors de son introduction, la cartouche s'enflammait, la balle ne bougerait pas.

Les fusils qui se chargent par la culasse sont de deux espèces : — dans les uns, le canon se brise au tonnerre, de sorte que le canon et la crosse ne sont plus en ligne droite. Dans cet état, le soldat serait désarmé; il ne pourrait se servir de sa baïonnette. Cette disposition défectueuse pour un fusil de guerre n'offre aucun inconvénient pour la chasse, au moins dans la plupart des cas; elle peut peut-être aussi être utilisée

par la marine, soit dans les embarcations, soit pour tirer des diverses parties du vaisseau où l'on est dans l'usage de placer des hommes armés d'armes de jet au moment de l'abordage. C'est sur ce principe que repose le système des fusils *Lefaucheux*. — Dans les autres, le canon et la crosse restent toujours liés l'un à l'autre ; le tonnerre se brise et se lève pour permettre l'introduction de la charge. Avec un semblable fusil, le soldat envoyé en tirailleur est toujours armé ; il saisit l'instant favorable pour introduire la charge, et pendant ce temps, il tient en échec avec la baïonnette, le cavalier qui escarmouche autour de lui pour le sabrer.

Cette dernière disposition est la seule qui puisse être admise pour l'arme de guerre. Le fusil de M. *Robert* est construit d'après ce principe.

Système Lefaucheux. Le fusil *Lefaucheux* se compose d'un canon fixé par une charnière tangentielle à sa circonférence, à une pièce de fer repliée en équerre contre laquelle va s'appuyer son extrémité inférieure ; le canon est solidement maintenu en contact avec cette pièce qui lui sert de culasse, à l'aide d'un tirant en forme de T, dont la tête s'engage entre deux crochets soudés sous le canon. La pièce formant culasse fait en même temps fonction de pièce de bascule, et vient s'arrêter à l'ordinaire dans les bois, entre les deux platines. La tête du T est construite de façon à remplir le double office d'appliquer le bout du canon contre la pièce formant culasse lorsqu'on veut fermer le fusil pour faire feu, et de soulever légèrement le canon pour vaincre l'adhérence des pièces les unes contre les autres lorsqu'on se dispose à introduire une nouvelle cartouche. Tantôt c'est un levier particulier, tantôt c'est le pont de sous-garde qui sert à mettre le T en mouvement. Dans ce fusil, le feu est mis à la poudre, comme à l'ordinaire, par la percussion d'un chien sur un piston taraudé dans le canon.

Fig. 152, coupe longitudinale du fusil, les canons rabattus et prêts à recevoir les cartouches, à l'échelle double.

Fig. 153, le T vu en élévation et en plan.

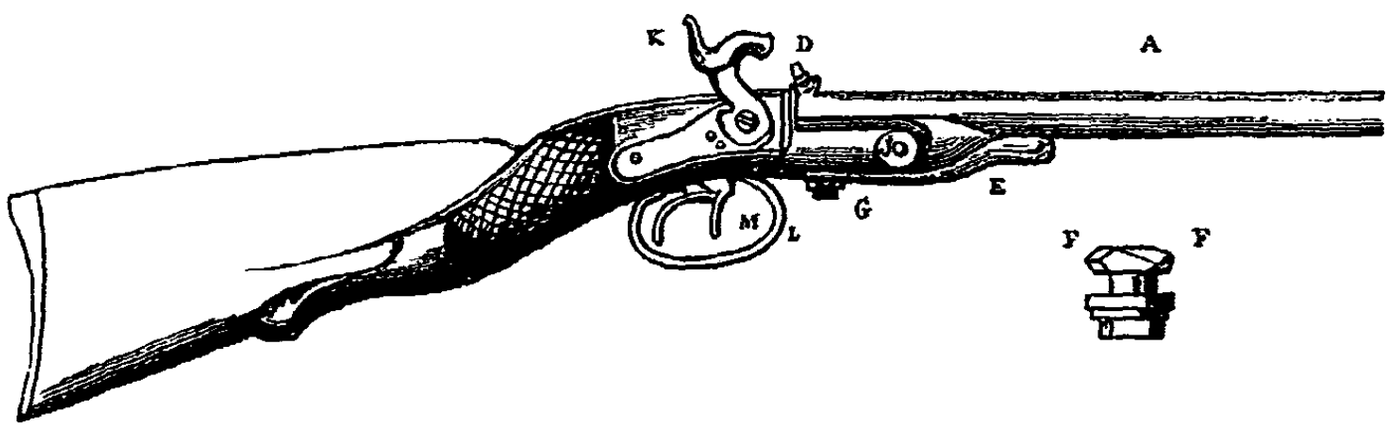
Fig. 154, cartouche munie de son culot.

Les mêmes lettres indiquent les mêmes objets dans toutes les figures.

A, canon du fusil. B, B, crochets adaptés sous le tonnerre, entre lesquels s'engage une espèce de verrou nommé T. C, broche taillée en sifflet et servant à retenir le T. D, cheminée adaptée sur le canon et recevant la capsule d'amorce. E, clef placée sous la bascule ; on la détourne horizontalement de gauche à droite pour dégager les crochets et abattre le canon ; dans le carré de cette clef entre l'extrémité inférieure du T, qui y est retenu par une vis. F, verrou nommé T, dont la partie F', est taillée en biseau, pour glisser contre le bout de la broche C, coupé en plan incliné ; un ressort qui n'est pas visible dans la fig. 150, appuie contre le T et tient la clef écartée pendant qu'on charge le fusil. G, vis qui fixe la clef contre le T ; elle est évidée sur une partie de sa circonférence, pour recevoir une petite languette fixée au fond de la bascule. I, pièce de fer repliée en équerre, nommée bascule, solidement fixée au fusil, et sur l'extrémité de laquelle tourne le canon. J, broche traversant la charnière de la bascule et servant de centre de mouvement au canon. K, chien. L, sous-garde. M, gâchette. N, visière. O, cartouche. P, culot en cuivre de la cartouche.

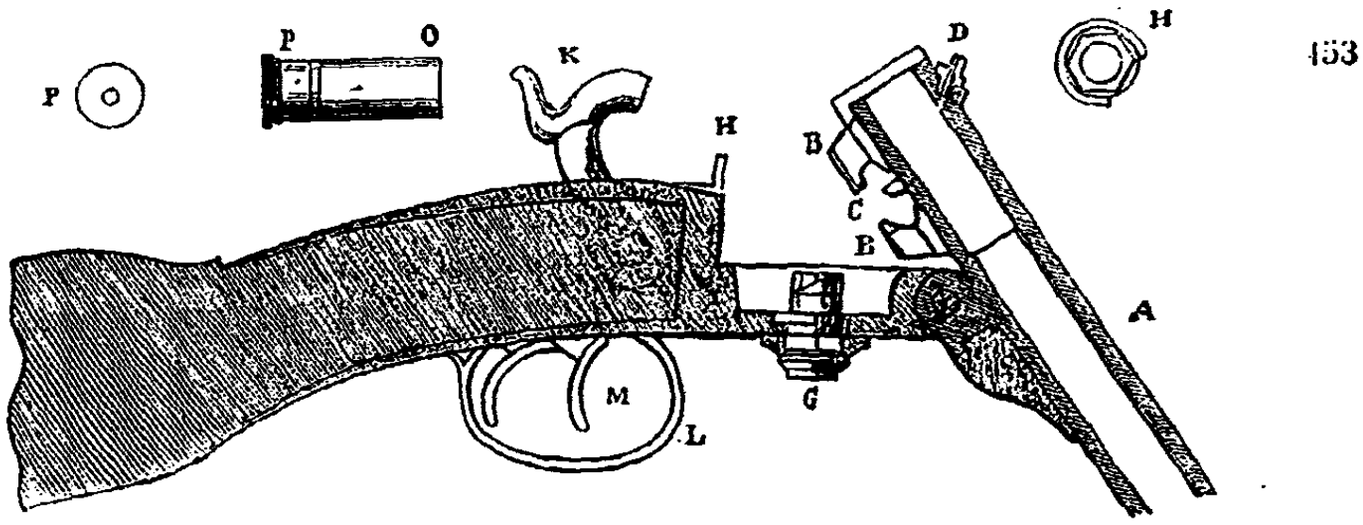
Pour manœuvrer le fusil, on le saisit de la main droite, on passe la main gauche sous le canon et on appuie contre la clef, qui se détourne à l'instant et dégage les crochets C, C. Aussitôt le canon s'abat et présente son tonnerre ouvert. Dans cette position, indiquée par la fig. 152, la clef reste en place et ne peut plus

151.



154.

153



152.

Les fig. 151, 152, 153 et 154 représentent un fusil de chasse à deux coups, système *Lefaucheux*.

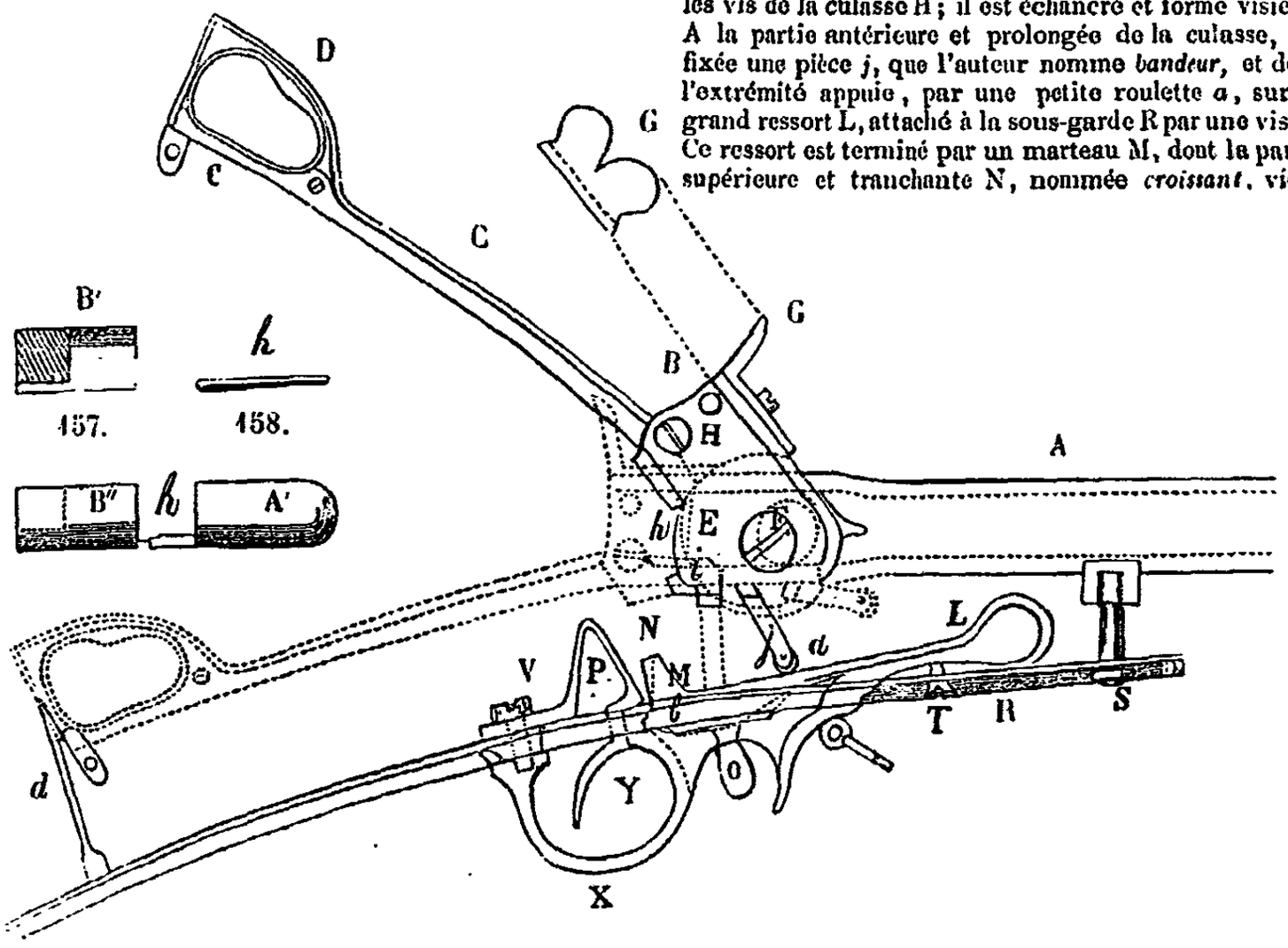
La fig. 151 représente le fusil monté de toutes ses pièces.

retomber, étant retenue par le ressort qui appuie contre le T. Pendant que le fusil est tenu de la main gauche, on enfonce la cartouche dans l'âme ; puis on relève le canon, on remet la clef en place comme on le voit

ARMES A FEU.

fig. 150, et le fusil est chargé. Il ne reste plus alors qu'à coiffer la cheminée D d'une capsule en cuivre contenant l'amorce de poudre fulminante et à armer le chien; celui-ci, en s'abattant vivement sur la capsule, la brise et enflamme la poudre fulminante, qui met le feu à la charge en traversant la cartouche. Après que le coup est parti, on abat le canon, on retire le culot, et on charge comme il a été dit précédemment.

Le mousqueton de M. Lefaucheux ne diffère de l'arme que nous venons de décrire, qu'en ce que chaque cartouche porte son amorce et sa cheminée. Une petite broche de fer ajustée dans le culot, perpendiculairement à la longueur de la cartouche, porte à son extrémité inférieure, dans l'intérieur de la cartouche, une petite capsule fulminante. Le canon du fusil étant brisé au tonnerre, et ayant tourné autour de ses tourillons, l'on place la cartouche, la petite broche se logeant dans une entaille demi-cylindrique pratiquée sur la section droite du canon. Cette entaille verticale remplace l'ancienne lumière qui était percée horizontalement. Le canon étant remis en place, le chien marteau vient frapper sur la broche, la capsule s'enflamme, et les causes de ratés sont évidemment plus rares par ce procédé que lorsque la capsule coiffe la cheminée d'un fusil à piston. Après que le coup est parti, la petite broche sert à retirer avec le doigt, et très promptement, le culot et les débris enflammés du papier de la cartouche. On peut charger la



155.

nuit avec autant de facilité que le jour. Les capsules n'ont pas besoin d'être d'un calibre aussi fort que celles ordinairement employées dans les fusils à piston, parce que l'inflammation est immédiate et qu'elle n'a pas à traverser la longueur d'une cheminée.

Système Robert. Dans le fusil *Robert* l'amorce est liée à la cartouche, et on ne les sépare pas pour charger et amorcer. Le soldat pousse la cartouche dans l'âme et referme la culasse. L'amorce est un petit cylindre de 2 millimètres de diamètre et de 10 à 15 millimètres de longueur, chargé de poudre fulminante. Ce cylindre est piqué dans la cartouche et y est fixé de manière à ce qu'il ne puisse s'en séparer. Un marteau intérieur frappe ce cylindre sur une enclume, de sorte que le feu est porté à la charge par un mécanisme intérieur et non extérieur.

Les fig. 155, 156, 157 et 158 donnent les détails d'un fusil de munition d'après le système *Robert*.

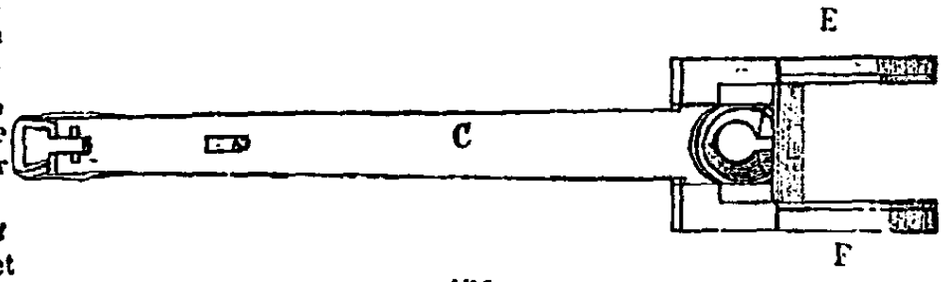
La fig. 155 montre le fusil ouvert, armé et chargé; les lignes ponctuées le montrent chargé, désarmé et fermé.

Fig. 156, grand levier, vu séparément et en dessous, montrant la forme du bassinet dans lequel frappe le marteau.

Fig. 157, coupe et vue extérieure de l'étui de la cartouche.

Fig. 158. cartouche munie de son amorce et amorce détachée.

Les mêmes lettres désignent les mêmes objets dans toutes les figures. Le fusil se compose d'un canon A ouvert à sa partie postérieure, et d'une culasse B réunie à un levier C, qu'on élève ou qu'on abaisse au moyen d'un anneau D. Cette culasse s'applique exactement sur l'orifice du canon et fait corps avec deux joues E, E, qui en forment le prolongement et tournent autour d'une forte vis F. G, est l'épaulement du fusil, traversé par les vis de la culasse H; il est échancré et forme visière. A la partie antérieure et prolongée de la culasse, est fixée une pièce *j*, que l'auteur nomme *bandeur*, et dont l'extrémité appuie, par une petite roulette *a*, sur le grand ressort L, attaché à la sous-garde R par une vis T. Ce ressort est terminé par un marteau M, dont la partie supérieure et tranchante N, nommée *croissant*, vient



156.

frapper de bas en haut le petit tube *h* renfermant l'amorce, pris entre l'appendice *i* du canon et l'enclume

ARMES A FEU.

formée par la culasse mobile. Un index O, qui fait partie du grand ressort L, indique, en faisant saillie dans l'ouverture du pontet, que le fusil est armé. Le marteau M est armé d'un petit cran *b* qui s'engage sous le mentonnet P d'un ressort triangulaire Q retenu par une vis V sur le pontet X. En appuyant sur la détente Y, on fait reculer le mentonnet P, et on dégage le marteau. Lorsque le levier C est abaissé, son anneau D est retenu par un petit ressort *d*, portant un cran qui s'engage dans une échancrure de la partie antérieure *c* de l'anneau. Sur la cartouche A', contenant la balle et la charge, est piqué un petit tube de cuivre *h* contenant l'amorce de poudre fulminante. Ce petit tube, qui se place sur l'appendice *i* lorsque la cartouche est introduite dans le canon, est brisé par le choc du marteau. La cartouche est enveloppée d'un étui B', qu'on retire quand on veut s'en servir.

La manœuvre du fusil de M. *Robert* est très simple. Pour charger, on saisit le levier C par l'anneau D, et on le soulève. Par ce mouvement la culasse B, en tournant par ses joues E autour de la vis F, découvre la chambre du canon. En même temps le bandeur *j*, en appuyant par la roulette *a* sur le grand ressort L, le comprime jusqu'à ce que le cran *b* du marteau s'engage sous le mentonnet P.

Pour faire feu, on appuie le doigt sur la détente Y, ce qui fait reculer le mentonnet P, et dégage brusquement le marteau, dont le choc de bas en haut contre l'amorce placée sur l'appendice *i* dans le bassinet *g* de la culasse, communique l'inflammation à la charge. Aussitôt que la charge est partie, il faut ouvrir la culasse fortement, et d'un seul coup, ce qui permet le passage de l'air à travers le canon, et le rafraîchit lorsqu'il est échauffé. On doit enfoncer la cartouche dans le canon d'une ligne au plus, mais toujours assez pour que la culasse ne la déchire pas en se fermant. On doit également placer l'amorce sur l'appendice; cependant cette précaution n'est pas indispensable, car la culasse en s'abaissant l'y ramène.

Disons encore, comme résultat curieux, que ce qu'il y a d'un peu étrange dans le fusil Robert disparaît à l'aide des *cartouches Chaudun* dont nous allons parler, et qui s'appliquent à toutes les armes qui se chargent par la culasse.

Cartouches. Le fusil Lefaucheux et le fusil Robert, qui sont la dernière expression d'essais bien souvent tentés pour construire des armes se chargeant par la culasse, ont éprouvé tous deux dans ces dernières années un perfectionnement important, par l'emploi de cartouches analogues à celles que nous avons indiquées plus haut pour le mousqueton Lefaucheux, mais fabriquées dans des conditions de solidité et d'économie toutes particulières par M. Chaudun, armurier à Paris. L'avantage de faire disparaître la cheminée que le chien du fusil ne rencontrait pas toujours sous la même inclinaison, s'y trouve conservé, mais réuni à plusieurs autres.

Comme cette question est d'une extrême importance pour les armes qui se chargent par la culasse, nous pensons devoir citer ici la majeure partie du rapport que nous avons fait à la Société d'Encouragement sur les cartouches Chaudun.

Les fusils qui se chargent par la culasse, si commodes pour la chasse, et qui font disparaître les dangers du chargement à la baguette, notamment pour le fusil à deux coups, avaient jusque dans ces dernières années un inconvénient grave; nous voulons parler du crachement qui se faisait au tonnerre, au point où s'ouvrait la partie postérieure du fusil. Il semblait impossible d'éviter cet inconvénient, car l'articulation des pièces devant s'ouvrir et se fermer à la main, ne pouvait jamais être assez précise pour empêcher le passage du gaz, et pour bien des personnes les fusils se chargeant par la culasse furent jugés comme des armes ne pouvant faire un bon service.

M. Chaudun apporta un remède efficace à ces inconvénients par ses cartouches en papier avec culot en cuivre et carton embouti. Cette ingénieuse invention a été un grand progrès pour le genre d'armes dont il s'agit, car quand on parle d'un fusil se chargeant par la culasse on ne doit jamais en séparer la cartouche.

M. Chaudun était bien parvenu avec ses cartouches à faire des fusils se chargeant par la culasse de très bonnes armes, mais cette condition n'était atteinte qu'autant qu'on avait de ses cartouches, c'est-à-dire des appareils d'une fabrication demandant des moyens de fabrication tout spéciaux et assez compliqués, des capsules d'une forme particulière, etc. C'était donc résoudre le problème seulement pour les personnes qui pouvaient s'approvisionner de ces cartouches. Et pour ôter aux fusils se chargeant par la culasse tout désavantage sans détériorer en rien leurs qualités spéciales, il restait à résoudre ce problème :

Combiner une cartouche dont l'enveloppe pût servir pour un grand nombre de coups de fusil, et qui pût être établie avec les approvisionnements que l'on trouve partout, avec les capsules notamment qui servent pour tous les fusils à percussion (fig. 144 et fig. 145).

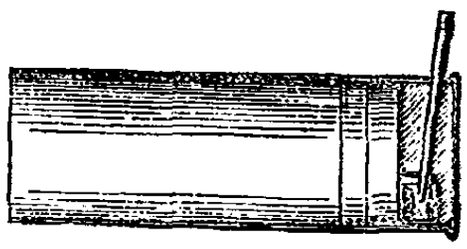


Fig. 144.

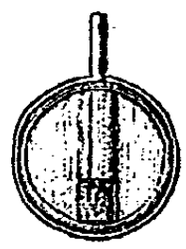


Fig. 145.

Pour obtenir ce résultat voici comment procède M. Chaudun :

Dans une plaque de cuivre il découpe et obtient par emboutissage, en cinq ou six opérations successives, un tube de cuivre fermé par une extrémité, sans aucune soudure, et très résistant lorsque l'opération est bien conduite et la matière première de bonne qualité.

Cette pièce est la base de la cartouche, c'est sur elle que vient se fixer la pièce dite le culot. Placée au fond de la cartouche et supportant la majeure portion de la pression produite par l'explosion, cette pièce doit être d'une épaisseur et d'une résistance considérables; elle doit, comme le faisait le carton de la cartouche en papier de M. Chaudun, posséder une certaine élasticité pour serrer sur la broche qui la traverse et sert à déterminer l'explosion; enfin elle ne doit pas se détruire, pour que la même cartouche puisse servir un grand nombre de fois. Voici comment opère M. Chaudun :

Il prépare deux petits culots en cuivre, par l'action d'un poinçon cylindrique, sur un petit cercle de cuivre placé dans une matrice également cylindrique. Il entre l'un d'eux dans le cylindre de l'autre, après avoir interposé entre eux un disque de 3 millimètres environ d'épaisseur en métal de caractères, c'est-à-dire un métal malléable, composé en grande partie de plomb, durci par de l'antimoine, autant qu'il est nécessaire pour pouvoir le découper. Le culot, sensiblement de même calibre que la cartouche, se place dans celle-ci, et le tout est soumis au balancier.

Cette partie de l'opération est extrêmement remarquable. En même temps que le tout se trouve réuni par la compression, l'extrémité du poinçon vient faire naître au fond du culot une saillie pour donner de la force au passage de la broche et une cavité pour recevoir la capsule. Extérieurement, la matrice est un cylindre portant à sa partie inférieure une petite cavité circulaire dans laquelle vient se former, par la com-

ARMES A FEU.

pression, un petit bourrelet qui sert à fixer exactement la cartouche dans le canon sans qu'elle puisse trop s'enfoncer. On comprend que la cartouche ne pourrait se retirer de la matrice si celle-ci n'était formée de deux pièces, d'une partie cylindrique et d'un fond plat. La disposition employée pour assembler ces deux pièces de manière à ce qu'elles puissent se séparer après chaque coup de balancier et cependant se replacer exactement, est très-heureusement combinée.

La cartouche amenée à cet état, il suffit de percer un petit trou près du bourrelet et d'y passer une petite broche de laiton pour qu'elle soit achevée. C'est sur cette broche que vient percuter le chien, simplement terminé par une partie plate.

On obtient ainsi : suppression de toute espèce de crachement à la culasse, de toute fuite le long de la broche serrée à chaque explosion par le métal malléable qu'elle traverse, amorçage facile avec des capsules ordinaires, soit en faisant glisser la capsule, soit à l'aide d'un amorçoir ou d'une petite pince; enfin durée considérable des cartouches.

Cartouches Lenoir. Un système de cartouches tout en papier a été établi par M. Lenoir, qui s'était proposé de faire du fusil Robert une bonne arme de guerre. Sa cartouche est en papier roulé avec un simple culot en pâte à papier embouti au balancier. Elle est intérieurement garnie, au fond, d'une espèce de parasol formé de douze rondelles de papier superposées et non collées entre elles. La pression produite dans les gaz développés par l'inflammation de la poudre tend à faire ouvrir ces rondelles, qui forment une fermeture d'une complète efficacité.

M. Lenoir s'étant proposé de faire enflammer d'abord les grains les plus voisins de la balle, pour éviter un déplacement de ceux-ci qui peut être cause que partie échappe à l'inflammation, comme on reconnaît que cela a souvent lieu quand on tire sur la neige, traverse centralement, par une broche métallique, son culot de pâte de papier, et les rondelles; cette broche traverse également toute la charge de poudre qui est recouverte par une bourre grasse en carton-laine percée au centre, dans laquelle se trouve placée une capsule ordinaire; la balle sert de point d'appui à la capsule pour la percussion.

Fusil à aiguille. — On a fait de nombreux essais en Allemagne dans le but de perfectionner les armes à feu, mais les résultats avaient été de peu d'importance jusqu'au jour où M. Dreysa de Sommerda en Thuringe réussit, après 20 années de travail, à établir le fusil appelé Zundnadelgewehr, qui, comme je l'ai dit, a été adopté par toute l'armée prussienne, et qui a été considéré comme un des éléments des succès que cette armée a obtenus depuis son adoption.

Le fusil à aiguille consiste en une forte douille *a*, ouverte à la face antérieure et vissée au canon *b*, qui est carabiné à la manière ordinaire; dans cette douille est un glisseur *c*, qui en constitue la platine, puisqu'il contient le ressort spiral et le mécanisme qui produit l'inflammation par percussion; à l'aide d'un fort chien à l'aide duquel on le meut facilement en avant ou en arrière.

La cartouche (fig. 149) consiste en une balle *a*, un sabot *b* ou culot de fort papier renfermant la matière de l'amorce et enfin la charge de poudre *c*, le tout renfermé dans un même papier, collé ensemble.

Fig. 149.

Pour faire feu, la glissière étant retiré en arrière, le soldat place la cartouche, la pointe de la balle en avant, par le trou ouvert dans le canon, puis pousse la glissière en avant et assure une fermeture hermétique, en pressant et tournant contre l'extrémité inclinée de la douille ouverte.

Cette arme, tout ingénieusement établie qu'elle soit, paraît inférieure à ce qu'il est possible de faire aujourd'hui, car elle n'utilise pas le plus grand perfectionnement des armes qui se chargent par la culasse, pour éviter les inconvénients si graves du crachement, à savoir la cartouche à culot. Avec une semblable cartouche, le fusil Robert est déjà une arme très-admissible, surtout avec les perfectionnements de M. Lenoir, consistant en une simplification de la platine et dans l'attache de la bascule au-dessous du centre du canon, ce qui le prédispose à se fermer au moment de l'explosion. On peut voir sur ce point les chiffres rapportés par M. Séguier (*Bulletin de la Société d'encouragement*, 1860), d'après des expériences publiques au tir de Vincennes; on y voit qu'un tir satisfaisant a été obtenu à 400 mètres à une vitesse de 7 coups à la minute.

En laissant de côté l'avantage de la cartouche prussienne et de celle de M. Lenoir, d'enflammer la poudre par la partie supérieure, ce qui ne paraît pas répondre à autre chose qu'à une économie de poudre, qui est ici d'importance secondaire, il paraît que le fusil prussien pourrait être simplifié par l'emploi de la cartouche à percussion centrale qui se fabrique couramment aujourd'hui, et qui rend inutile une longue course de l'aiguille, du marteau percuteur. Cette cartouche porte au centre de la partie résistante en cuivre qui forme le fond du culot, une capsule suffisamment maintenue pour qu'on puisse y opérer la percussion. Combiné avec un système de fermeture convenable, tel, par exemple, que le système si facile à exécuter de M. Descoutures, qui fait tourner sur un axe excentré un obturateur épais percé d'une broche maintenue en place par un ressort, on pourra construire une arme de guerre redoutable à la fois comme portée et comme promptitude du tir. Nous savons que c'est l'objet de préoccupations et d'essais dans les hautes régions du gouvernement, qui se feront prochainement jour. (Voy. *Complément*, ARMES A FEU.)

PISTOLETS. Les pistolets ne sont en réalité que des diminutifs de fusil qui se portent à la main; leur construction est soumise aux mêmes règles. Nous n'avons pas à nous y arrêter longuement, et nous nous contenterons de parler de deux systèmes nouveaux qui ont eu un assez grand succès dans ces derniers temps.

Revolver. On donne ce nom à une nouvelle arme inventée en Amérique, à un pistolet à six coups le plus souvent et à un seul canon. La culasse portant six cavités pour six charges, fait un sixième de rotation chaque fois que l'on arme le chien, et vient se mettre en position telle que le chien puisse percuter la capsule. (Voy. *Complément*, article REVOLVER, une étude complète sur ce genre d'armes.)

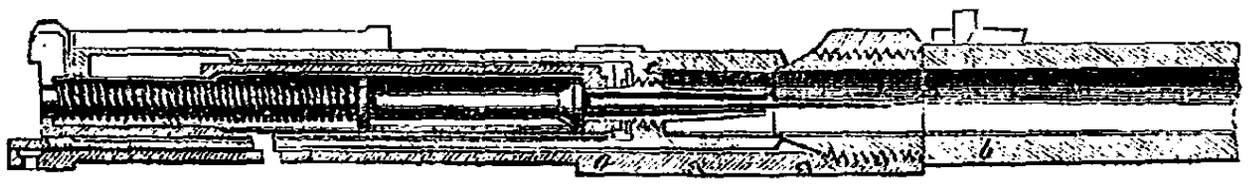


Fig. 150.

Nous n'avons pas à revenir ici sur l'invention et les propriétés de cette arme curieuse, nous entrerons seulement dans quelques détails sur la combinaison ingénieuse de M. E. Lefaucheux qui, mettant à profit l'invention de la cartouche à culot, en a rendu le chargement d'une promptitude extrême en les chargeant par la culasse.

L'expérience qu'il possédait de la perfection de la fermeture que ces cartouches permettaient d'obtenir pour les armes se chargeant par la culasse, l'a amené naturellement à appliquer un système semblable à ce nouveau genre d'armes.

La cartouche à culot, la séparation du canon et du tonnerre, le chargement par la culasse étaient les moyens connus d'obtenir des avantages précieux pour les fusils, mais l'application de ces moyens à un genre d'armes entièrement nouveau ne l'était pas avant M. Lefaucheux.

Pour charger les revolvers par la culasse, il coupe le tonnerre et fait une échancrure latérale à la coquille de recul, par laquelle il peut faire entrer successivement chaque cartouche, en faisant passer l'ouverture devant chaque cavité du revolver entièrement percé de part en part; cette échancrure il la ferme par une porte à ressort, afin que la cartouche qui passe devant l'échancrure ne puisse s'échapper.

La cartouche à employer étant la cartouche à broche, pour laquelle l'explosion se produit en percutant sur une broche placée dans un plan vertical à ce moment, celle-ci vient se loger dans une entaille; le fond de la cartouche vient frotter sur la coquille de recul bien dressée, et comme le culot empêche la destruction de son fond, après qu'elle a fait explosion elle ne gêne en rien la rotation du revolver pour tirer le coup suivant.

Cette combinaison a conduit l'inventeur à la fabrication d'un revolver d'un excellent usage, en employant des éléments connus de fusils ou de pistolets à canons multiples. Récemment, on a remplacé avec quelque avantage, paraît-il, la cartouche à broche par la cartouche à percussion centrale qui dispense de la broche et permet de placer et retirer la capsule à volonté.

Pistolets de salon à poudre fulminante. Depuis quelques années il a été construit de petites armes qui, sous le nom de pistolets de salon, ont pu servir de moyen de distraction.

M. Flobert, de Paris, a construit le meilleur modèle. Son arme est de l'espèce de celles qui se chargent par la culasse; mais elle a cela de particulier, que c'est la culasse elle-même qui, prenant une forme analogue à celle du chien des pistolets ordinaires, vient percuter sur la cartouche placée dans le canon afin de déterminer l'explosion.

Cette cartouche n'est en réalité qu'une fort grosse capsule du calibre du pistolet, légèrement évasée à la partie postérieure. On conçoit dès lors que la cartouche n'entrera pas complétement dans le canon, et que la percussion qui viendra la frapper écrasera un petit rebord contenant des parcelles de poudre fulminante et déterminera l'inflammation.

Dans cette arme, la poudre fulminante est la seule cause de la projection de la balle; on n'emploie pas de poudre ordinaire. Disons que ce rebord permet aussi de retirer la cartouche en armant le chien, auquel la cartouche se trouve accrochée par son écrasement.

Les effets ne se bornent pourtant pas, comme on pourrait le croire, à ceux qui pourraient être nécessaires pour un simple amusement, si l'on augmente la proportion de poudre fulminante et le calibre de l'arme. Nous avons vu des balles tirées à 90 pas, et qui sont écrasées de manière à prouver qu'elles eussent été fort dangereuses à pareille distance.

Pour produire de semblables effets avec la poudre fulminante, l'inventeur a dû trouver une disposition qui empêchât le chien de se relever par la réaction, il y est parvenu en le garnissant d'une pièce articulée qui vient résister à cette réaction en s'appuyant sur le bois du pistolet, tandis qu'elle rentre lorsque l'on arme.

L'idée d'employer la poudre fulminante, poudre essentiellement brisante, si on chargeait de la même manière qu'avec la poudre de chasse, a conduit l'inventeur à retrouver les conditions d'emploi de cette poudre, conditions que M. Flobert avait déjà déterminées. Elles consistent à laisser entre la poudre et le projectile une chambre de grandeur suffisante pour que l'inertie de la balle ne soit vaincue que par des gaz dont la tension diminue en raison de cette capacité.

Il va sans dire que le système des pistolets de salon n'est applicable qu'à des explosions d'une intensité limitée; il faut en effet que la capsule, seule fermeture du canon, offre assez de résistance pour s'opposer à l'explosion, et d'un autre côté pour être facilement écrasée par la chute du chien.

ARRACK. Sorte de boisson enivrante qu'on obtient dans l'Inde en distillant le jus fermenté de la noix de coco, le vin de palmier, ou du riz non moudé et fermenté.

ARSÉNIATES. Les arséniates sont généralement fusibles et indécomposables par l'action de la chaleur; le charbon les réduit par voie sèche avec dégagement de vapeurs arséniales qui exhalent une forte odeur alliacée, et il reste un résidu de sous-arséniure quand l'oxyde du métal minéralisé est réductible, et un oxyde pur dans le cas contraire. Les arséniates métalliques sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans les acides forts. Par les sels de plomb, de baryte et de chaux, les dissolutions d'arséniates donnent des précipités blancs, et par les sels de cobalt, un précipité couleur fleur de pêcher caractéristique, solubles dans un excès d'acide. L'hydrogène sulfuré en précipite l'arsenic à l'état de sulfure jaune, mais cette précipitation n'a lieu souvent qu'au bout de quelques heures, à moins qu'on ne les fasse préalablement bouillir avec de l'acide chlorhydrique pour ramener l'acide arsénique à l'état d'acide arsénieux.

Le seul arséniate employé dans l'industrie est celui de potasse; on le prépare en petit en chauffant au rouge, dans un creuset, un mélange à parties égales d'arsenic blanc (acide arsénieux) et de nitre, laissant refroidir, dissolvant la matière fondue dans de l'eau bouillante et filtrant; par le refroidissement on obtient des cristaux réguliers de bi-arséniate de potasse, qui renferment, d'après Berzelius :

		Ox.	
Acide arsénique.	63,87	22,0	$As^2O^5+KO+2H^2O$
Potasse.	26,16	4,4	
Eau.	9,97	8,8	
	100,00		

On prépare en Saxe ce sel en grand, en fondant le mélange d'acide arsénieux et de nitre dans des cylindres en fonte; si ensuite on sature l'excès d'acide par de la potasse, on obtiendra un arséniate neutre incristallisable. On emploie quelquefois l'arséniate acide dans l'impression des indiennes, en se formant une bouillie avec de l'eau gommée et de la terre de pipe, que l'on applique sur les parties du tissu que l'on veut soustraire à l'action des mordants.

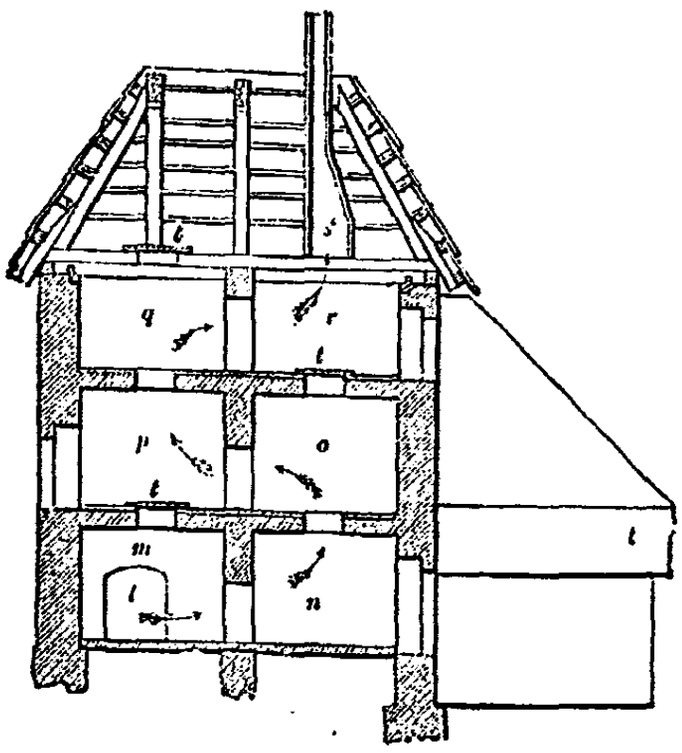
ARSENIC (*angl.* arsenic, *all.* arsenik). Métal très-cassant, d'un gris d'acier dans la cassure fraîche, se ternissant promptement à l'air; il est très-volatil et exhale lorsqu'on le chauffe une odeur alliacée caractéristique. On le rencontre dans la nature tantôt à l'état natif en masses généralement testacées souvent antimonifères,

quelquefois à l'état d'*acide arsénieux* et surtout à l'état de sulfure jaune (ORPIMENT), ou de sulfure rouge (RÉALGAR). On le rencontre en outre dans beaucoup de minerais métalliques, qui, lorsqu'on les grille, le laissent dégager à l'état d'acide arsénieux, sous la forme de fumées blanches. L'arsenic métallique a un emploi très limité; en poudre il constitue la *mort aux mouches*. Il donne avec le cuivre et l'étain un alliage dont on se sert pour fabriquer les miroirs de télescopes. Enfin il forme avec le platine une combinaison assez fusible, propriété qu'on a longtemps mise à profit pour faciliter l'agrégation de ce dernier métal (voir PLATINE); maintenant on suit une toute autre méthode.

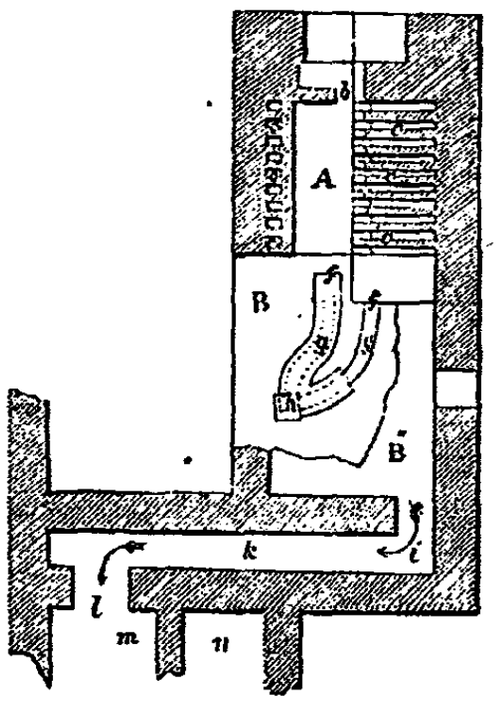
Lorsqu'on chauffe l'arsenic au contact de l'air, il brûle avec une flamme bleue et se convertit en une matière blanche volatile, qui est de l'*acide arsénieux* ou *arsenic blanc;* on obtient également cet acide par le grillage des matières arsénicales. Il est soluble dans 80 parties d'eau froide, et beaucoup plus dans l'acide hydrochlorique; il est très vénéneux; il a une saveur légèrement métallique, et est inodore même à l'état de vapeur, l'odeur alliacée n'appartenant qu'à l'arsenic métallique; on l'emploie en médecine; dans la fabrication des verres fins dits *cristaux de Bohême;* pour préparer le VERT DE SCHÉELE et le VERT DE SCHWEINFURT, etc.

Un second degré d'oxydation de l'arsenic est l'acide arsénique, qui s'obtient en traitant l'acide arsénieux par l'eau régale; il est beaucoup plus soluble que le précédent, et encore plus vénéneux; il n'a aucun emploi dans les arts.

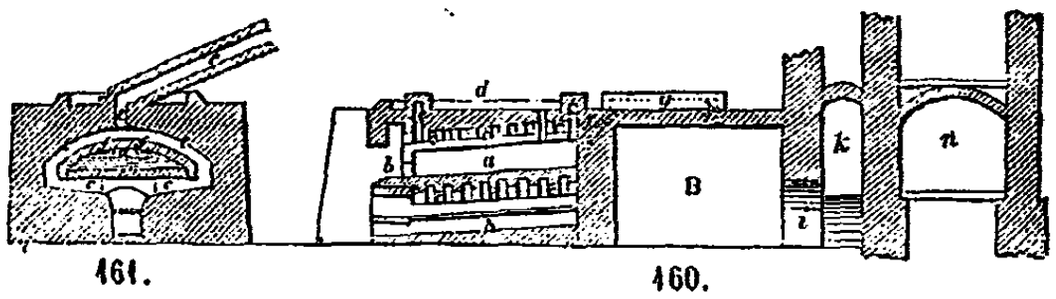
Acide arsénieux. L'arsenic s'obtient ordinairement, à l'état d'acide arsénieux, comme produit accessoire du grillage des minerais de Cobalt et d'étain (Saxe). Quelquefois cependant comme à *Reichenstein* (Silésie), on le prépare, comme produit principal, par le grillage du fer arsénical (*mispickel*). Les fig. 159, 160, 161 et 162 représentent le fourneau employé à *Reichenstein*, pour le grillage du fer arsénical, et les chambres de condensation qui le surmontent.



159.



162.



161. 160.

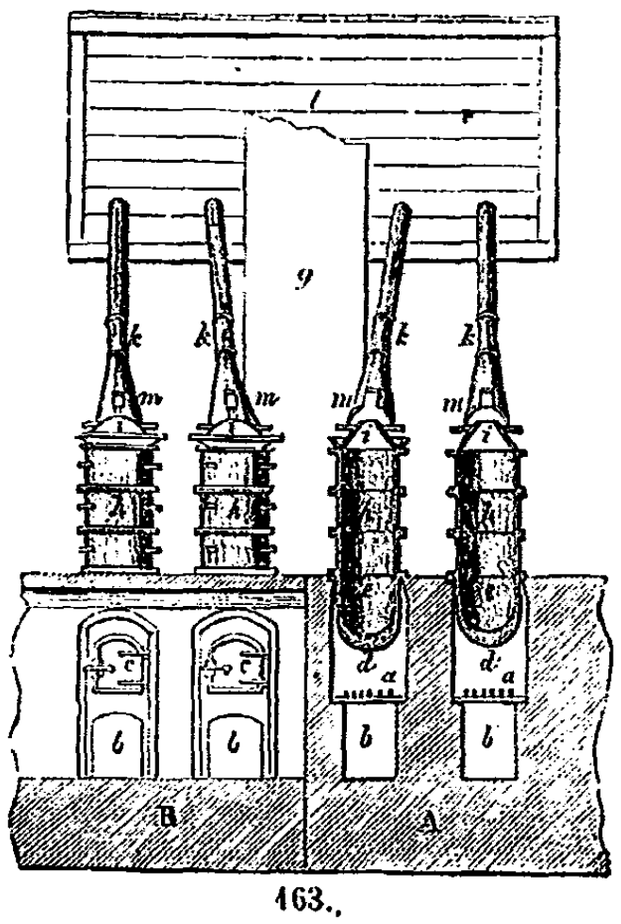
La fig. 159 est une coupe verticale des chambres de condensation (*all.* giftfang); fig. 160, une section longitudinale du fourneau de grillage et des chambres de condensation; fig. 161, une coupe transversale du four de grillage; et fig. 162, le plan de tout l'appareil à deux niveaux différents. Le grillage des minerais arséniferes s'effectue dans une grande moufle en argile réfractaire légèrement inclinée vers la porte de chargement, et baignée par un courant de flamme qui circule tout à l'entour; on charge sur la sole 5 à 8 centim. de minerai préparé et pulvérisé (*schlich*), et on renouvelle de temps en temps les surfaces à l'aide d'un râble ou d'un ringard, pendant qu'un courant d'air, traversant la moufle avec lenteur, oxyde l'arsenic et l'entraîne avec lui dans les canaux et chambres de condensation où il le dépose.

a, est la moufle qui a intérieurement 2m,00 de large sur 2m,90 de long; A, le cendrier au-dessus duquel on voit la grille sur laquelle on charge le combustible; la flamme circule autour de la moufle le long des canaux *c, c, c*, et vient se réunir à la partie supérieure dans les canaux *e, e*, qui la conduisent à la cheminée du fourneau; le courant d'air oxydant qui a traversé la moufle s'échappe avec l'acide arsénieux par les ouvertures *f, f*, pratiquées à l'extrémité de la moufle, et se rend par les canaux *g, g* et la cheminée descendante *h*, dans une grande chambre de dépôt B; et de là, par la porte *i* le canal *k* et la porte *l*, dans la série des chambres de condensation *m, n, o, p, q, r*, qu'il parcourt dans le sens indiqué par les flèches, pour s'échapper enfin dans l'atmosphère par la cheminée *s*. Lorsqu'à la suite d'un travail continu, prolongé pendant un temps assez long, on a obtenu dans les canaux et chambres de condensation une quantité suffisante d'arsenic blanc (*all.* arsenik mehl), on l'enlève et on le met de côté pour lui faire subir plus tard un raffinage préalable avant de le livrer au commerce; pour faciliter ce travail, on ôte les plaques *t, t, t*, et on fait tomber alors sans peine dans les chambres inférieures, l'arsenic qui s'était déposé dans les chambres supérieures. On charge à la fois de 500 à 550 kil. de schlichs arséniferes, dans la moufle, dont le grillage se fait en 12 heures environ.

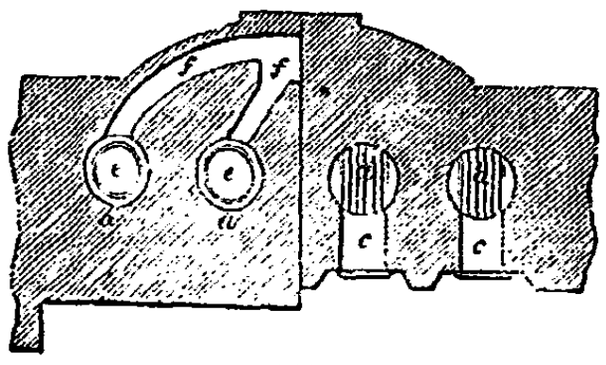
Lorsqu'on obtient l'arsenic comme produit accessoire du grillage des minerais d'étain (Altenberg, Zinnwald, etc.), cette opération s'effectue dans des fourneaux de grillage ordinaires, communiquant avec une série de chambres de condensation disposées comme ci-dessus. Les fumées qui se déposent dans les chambres sont mélangées avec beaucoup de matières étrangères, et fortement colorées en gris plus ou moins noir; on les purifie, lorsqu'on en a rassemblé une certaine quantité, par un grillage à part fait à une basse température.

Dans tous les cas l'acide arsénieux pulvérulent obtenu comme il vient d'être dit, ne peut être livré en cet état au commerce, partie à cause de son impureté, partie parce que le transport et la vente à l'état de farine impalpable d'une substance aussi vénéneuse, offriraient trop de dangers; on le soumet préalablement à une distillation, dans le but de le purifier et de le transformer en même temps en une masse compacte et vitreuse.

Les fig. 163 et 164 donnent la coupe, l'élévation et le



163.



164.

plan d'un des fourneaux de sublimation employés à *Reichenstein*.

Les vases de sublimation sont en fonte et consistent chacun en une chaudière *e* placée sur un fourneau *d* et surmontée de trois courts cylindres *k*; on charge par les portes *e*, *e*, le combustible sur les grilles circulaires *a*, *a*, dans lesquelles se trouvent les cendriers *b*, *b*, et la flamme s'échappe par les rampants *f*, *f*, qui la conduisent dans la cheminée commune *g*. Après avoir mis 180 kil. d'acide arsénieux en farine dans chacune des chaudières *e*, *e*, on lute, au-dessus, les cylindres *h*, *h*, que l'on recouvre de chapeaux *i*, *i*, munis de tubes de dégagement *k*, *k*, qui viennent aboutir dans une caisse de condensation en bois. On allume alors le feu, que l'on pousse graduellement jusqu'à un degré convenable; l'acide arsénieux se volatilise, et se condense ensuite contre les parois des cylindres; dans la partie supérieure la condensation est très rapide et donne lieu à la formation d'une poudre cristalline très fine, tandis que dans le cylindre inférieur, si l'opération est bien conduite, la chaleur étant plus élevée, l'acide arsénieux se prend en masse. Si la température est trop basse, on n'obtient qu'une poudre cristalline; si au contraire elle est trop élevée, toute la matière se sublime dans les cylindres supérieurs, et passe même dans la chambre de condensation; les ouvriers jugent à la chaleur des cylindres, par le toucher, si l'opération marche convenablement.

Après 12 heures environ la sublimation est terminée, on laisse alors refroidir l'appareil, puis on démonte les cylindres et on en retire l'arsenic vitreux, tandis que le reste repasse dans la sublimation suivante. Il est rare que la masse vitreuse que l'on obtient par une première sublimation, ait la pureté que réclame le commerce; on la purifie de nouveau par une et même quelquefois deux sublimations subséquentes

L'acide arsénieux ainsi préparé se présente sous la forme d'une masse vitreuse, transparente, à cassure conchoïde presque incolore, offrant seulement une légère teinte jaunâtre. Conservé pendant longtemps, il perd sa transparence; on avait d'abord attribué ce phénomène à l'absorption d'une petite quantité d'eau, on a reconnu depuis qu'il était dû à un changement d'état moléculaire, qui consistait en un passage de l'état amorphe à l'état cristallin.

On prépare moyennement chaque année tant à Reichenstein (Silésie), par le grillage du fer arsénical, qu'à Altenberg (Saxe), par le grillage des minerais d'étain, 1500 quint. métriques d'arsenic blanc vitreux et 25 quint. métr. d'acide arsénieux en farine.

P. DEBETTE.

ARSÉNITES. Moins stables que les arséniates; se comportent comme eux avec le charbon; insolubles dans l'eau; solubles dans les acides forts; quand les dissolutions sont très concentrées, l'acide arsénieux cristallise; quand elles sont étendues, l'hydrogène sulfuré en précipite immédiatement l'arsenic à l'état de sulfure jaune.

Arsénite de potasse. Se prépare en faisant bouillir une dissolution de potasse sur un excès d'acide arsénieux, filtrant la liqueur et la faisant évaporer; on n'obtient pas de cristaux, mais seulement une masse mamelonnée très déliquescente, qui est employée pour préparer le VERT DE SCHÉELE.

ARSÉNIURES. Les arséniures ont tous l'éclat métallique et sont en général très fusibles. Par le grillage ils dégagent d'épaisses fumées blanches d'acide arsénieux ayant une odeur alliacée très forte et se transforment en partie en arséniates. Ils se combinent aisément entre eux pour former des arséniures multiples ou des arsénio-sulfures très communs dans la nature. Beaucoup d'entre ces composés ont, sous le rapport industriel, une très grande importance; tels sont, par exemple, les arséniures et arsénio-sulfures de cobalt, de nickel, d'argent, etc. Nous en parlerons au nom de chacun de ces métaux en particulier.

ARTÉSIENS (PUITS) (*angl.* artesian wells, *all.* artesische brunnen). Nom donné aux trous de sonde forés verticalement, à partir de la surface du sol, dans un terrain stratifié, jusqu'à la rencontre d'une nappe d'eau souterraine comprise entre deux couches imperméables, le plus souvent argileuses. Lorsque l'eau s'élève dans le trou au-dessus de son embouchure et jaillit au dehors, d'une manière continue, on donne plus particulièrement au trou de sonde, le nom de fontaine jaillissante ou *puits artésien*, du nom de la province de France (l'Artois) où ils ont été le plus anciennement pratiqués.

Souvent l'eau se maintient dans le trou foré, à une certaine profondeur au-dessous de la surface, et doit être alors élevée à partir de ce niveau au moyen de pompes. Quelquefois enfin, ces trous sont forés dans le but tout à fait contraire, et servent à faire infiltrer dans des couches perméables des eaux superficielles dont on est embarrassé; on leur donne alors le nom de *puits absorbants* ou *boitouts*.

Les nappes d'eau souterraines paraissent former de véritables courants d'une largeur considérable, qui circulent dans les vides ou fissures de certaines couches, comprises entre des couches d'une imperméabilité complète ou relativement beaucoup plus grande. Les couches perméables sont ordinairement composées de sables plus ou moins désagrégés, et quelquefois de roches solides calcaires ou autres, criblées de fissures; de sorte que l'eau pénètre, pour ainsi dire, la couche entière, qu'il est presque impossible de traverser sans lui ouvrir une issue. Nous faisons ici une restriction parce qu'il y a quelques exemples dans lesquels, de plusieurs trous forés à peu de distance les uns des autres, les uns ont rencontré des sources jaillissantes et les autres ne les ont pas atteintes; ainsi : *à Blingel* dans la vallée de Ternoise, de trois sondages entrepris en 1820, le premier a procuré une belle fontaine jaillissante; les deux autres, au contraire, n'ont pas donné une goutte d'eau, et cependant, les trois trous sont très voisins; des phénomènes analogues se sont présentés à *Lillers, Saint-Pol* et *Saint-Venant;* à *Béthune*, un trou de sonde foré jusqu'à une profondeur de 33m, a ramené au jour un beau jet d'eau limpide, tandis que dans le jardin de la propriété contiguë un autre trou de sonde foré jusqu'à une profondeur de 57m, n'a pas rencontré le moindre filet liquide. Pour expliquer ce phénomène, il faut se rappeler que quelquefois la couche perméable est une roche compacte présentant de grandes fissures dans lesquelles l'eau circule, et qu'alors il peut arriver que de deux puits forés voisins, l'un rencontre une de ces fissures et donne de l'eau en abondance, tandis que l'autre n'en rencontre aucune quoique foncé à une profondeur plus considérable; si cependant on poussait ce dernier jusqu'aux limites inférieures de la couche perméable, on serait à peu près certain de ne plus trouver de filets liquides isolés, mais bien une véritable nappe souterraine.

Les eaux qui pénètrent une couche aquifère, constituent, comme nous l'avons dit, un véritable courant alimenté par les eaux des rivières, des lacs sous lesquels passent les affleurements supérieurs de la couche, ou par les eaux pluviales, et qui se déchargent sous forme de sources, aux points les plus bas de ces affleurements, lesquels peuvent se trouver cachés sous le lit des fleuves, ou sous celui de la mer : le lit souterrain du courant est d'ailleurs fort large, mais ordinairement très encombré, puisqu'il n'est formé que des cavités et des fissures qui pénètrent la couche. La vitesse du courant est quelquefois considérable; ainsi nous voyons dans la savante notice de M. Arago, sur les puits artésiens, insérée dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes, que des ouvriers perforaient le terrain près de la barrière de Fontainebleau, dans un établissement connu sous le nom de brasserie de la Maison Blanche. Comme d'habitude, les progrès de ce travail étaient lents; mais voilà que tout à coup la sonde s'échappe de leurs mains; ils la voient s'enfoncer brusquement de 7m,50. Sans la manivelle placée transversalement dans l'œil de la première tige et qui ne put passer par le trou déjà fait, la chute se fût probablement continuée encore. Lorsqu'on essaya de retirer la sonde, il devint comme évident qu'elle était comme suspendue; que sa pointe inférieure ne reposait pas sur un terrain solide; et qu'enfin, un fort courant la poussait latéralement et la faisait osciller.

Pendant le percement des puits de la gare de *St Ouen* MM. Flachat rencontrèrent à une profondeur de 51m,50 une nappe souterraine, dans laquelle la sonde s'enfonça subitement de 0m,35. Le courant doit y être très fort car il imprimait à la sonde un mouvement oscillatoire très sensible. Ce double résultat (l'existence et la force du courant) peut se déduire aussi avec certitude d'un autre fait curieux : quand, en approfondissant le trou, la tarière chargée des débris des couches qu'elle avait attaquées, passait en remontant, au niveau de la nappe ci-dessus, tous ces débris étaient emportés, et il n'était pas nécessaire de la ramener jusqu'à la surface.

A *Cormeilles* (Seine-et-Oise), la sonde arrivée dans les plâtres, oscillait, dit M. Degousée, sous l'action d'un courant inférieur très rapide, comme le balancier d'une pendule.

Enfin, le 30 janvier 1831, le tuyau vertical de la fontaine jaillissante de la place de la cathédrale à *Tours*, ayant été raccourci d'environ 4m, le produit en liquide, comme de raison, devint aussitôt plus grand. L'augmentation fut d'environ un tiers; mais l'eau, auparavant très limpide, ayant reçu un accroissement subit de vitesse, se troubla pendant plusieurs heures; elle amena de la profondeur de 109m, des débris de végétaux et des coquilles d'eau douces et terrestres; tous ces débris ressemblaient à ceux que les petites rivières et les ruisseaux laissent sur leurs bords après un débordement. Ces faits établissent d'une manière incontestable que les eaux de la nappe souterraine qui alimentent la fontaine ci-dessus ne résultent pas, du moins en totalité, d'une filtration à travers des couches de sable. Pour qu'elles puissent entraîner des coquilles, des morceaux de bois, il faut *qu'elles se meuvent librement dans de véritables canaux.*

Les couches que la sonde traverse avant d'arriver à la nappe jaillissante ne sont point complétement imperméables, et par conséquent, absorberaient une partie des eaux montantes, si l'on n'avait soin de placer dans le trou de sonde un tuyau d'ascension destiné à isoler les eaux; ce tuyau doit s'appuyer sur la couche imperméable immédiatement supérieure à la nappe aquifère, et la jonction entre le contour extérieur de ce tuyau, et la couche, doit être aussi exacte que possible afin d'éviter toute déperdition. Si l'on prolonge ce tuyau au-dessus du sol, à tel point que l'eau ne puisse plus s'écouler par son orifice supérieur, elle atteindra dans l'intérieur de ce tuyau, un niveau fixe, qui porte le nom de *niveau hydrostatique* du puits foré, et s'il n'y a pas de déperdition à la base du tubage, la hauteur du niveau hydrostatique au-dessus du fond du trou de sonde, mesurera exactement la pression des eaux souterraines en ce point. Si le prolongement du tuyau ascensionnel offrait quelques difficultés on pourrait déterminer aisément le niveau hydrostatique, en bouchant l'extrémité supérieure du tuyau par un tampon, et mesurant ensuite la pression à cette hauteur à l'aide d'un *manomètre* ordinaire, cette pression convertie en hauteur d'eau et portée au-dessus du tuyau, donnerait la position du niveau hydrostatique. Par suite du mouvement même dont les eaux souterraines sont animées, le niveau hydrostatique d'un puits foré est toujours inférieur aux affleurements supérieurs de la couche; d'un autre côté, il est supérieur aux affleurements les plus bas de cette couche. Enfin il n'est pas invariable, puisqu'il dépend des charges d'eau, sur les orifices d'alimentation et ceux d'écoulement de la nappe aquifère. Ces charges varient avec les crues des cours d'eau qui recouvrent les affleurements supérieurs et inférieurs de la couche, ou avec le niveau des eaux de la mer, lorsque les orifices d'écoulement sont au-dessous de son lit : Ainsi M. Baillet de Belloi a constaté que le niveau de la fontaine jaillissante de *Noyelle-sur-Mer* (Somme) monte et baisse avec la marée; M. Arago rapporte qu'à *Fulham*, près de la Tamise, dans une pe-

tite propriété de l'évêque de Londres, un puits foré de 97m de profondeur, donne 363 ou 273 litres d'eau par minute, suivant que la marée est haute ou basse. Si auprès d'un puits foré déjà établi, on en fore un second, ce dernier aura ou non de l'influence sur le produit du premier selon que le rapport des dimensions de l'ouverture comparées à celles de la nappe alimentaire sera notable ou infiniment faible.

On rencontre fréquemment dans les sondages à travers les terrains stratifiés, plusieurs nappes aquifères superposées (fig. 165) : Ainsi à *Saint-Ouen*, MM. Flachat en ont rencontré cinq susceptibles d'ascension :

La 1re	à	36m	de profondeur
la 2e	à	45m,50	—
la 3e	à	51m,50	—
la 4e	à	59m,50	—
la 5e	à	66m,50	—

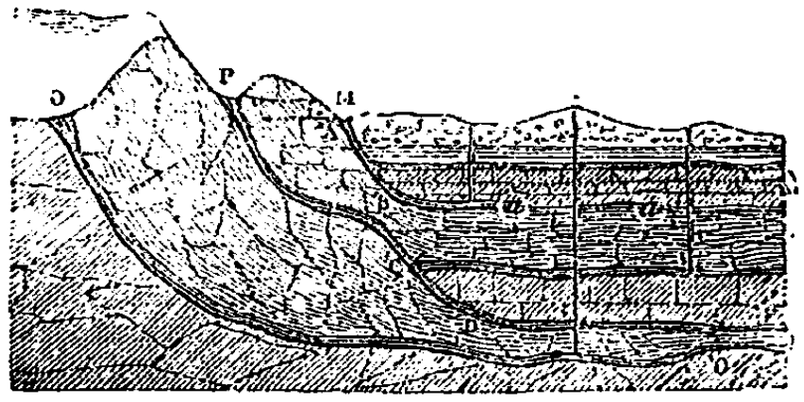
A *Tours*, les trois nappes ascendantes reconnues par M. Degousée se trouvèrent sous le terrain de la place de la cathédrale :

La 1re	à	95m	de profondeur
la 2e	à	112m	—
la 3e	à	125m	—

Enfin, nous citerons les travaux de sondage pour la recherche de la houille, exécutés, non loin de *Dieppe*, près de *Saint-Nicolas-d'Aliermont*, qui y ont fait reconnaître *sept* grandes nappes d'eau très abondantes et douces, d'une force ascensionnelle très grande :

La 1re	de . . .	25 à 30m	de profondeur
la 2e	à . . .	100m	—
la 3e	de . . .	175 à 180m	—
la 4e	de . . .	210 à 215m	—
la 5e	à . . .	250m	—
la 6e	à . . .	287m	—
la 7e	à . . .	333m	—

Généralement, lorsqu'un trou de sonde traverse plusieurs nappes aquifères, les plus profondes sont celles qui ont le niveau hydrostatique le plus élevé, et par suite qui présentent la force ascensionnelle la plus considérable; elles sont aussi ordinairement d'autant plus abondantes qu'elles sont plus profondes; il arrive cependant quelquefois le contraire; ainsi la 5e nappe d'eau (fig. 165) qui a son affleurement supérieur dans la



165.

vallée O, qui est au-dessous de la vallée P où se trouvent les affleurements des 3e et 4e nappes, aura un niveau hydrostatique moins élevé; mais suivant la règle générale, la puissance ascensionnelle de ces dernières sera plus grande que celle des 1re et 2e nappes qui ont leur orifice d'alimentation en M. On conçoit donc que si le puits foré n'était pas soigneusement tubé, une partie des eaux montantes serait absorbée soit par les couches aquifères supérieures, soit par les couches perméables absorbantes que l'on aurait traversées. On a aussi rencontré, rarement il est vrai, des nappes *absorbantes* au-dessous d'autres nappes donnant des eaux jaillissantes. Il pourrait donc arriver qu'on rencontrât, en approfondissant un puits foré, une nappe qui absorbât en partie les eaux supérieures et diminuât le niveau hydrostatique du puits.

La propriété absorbante de certaines nappes est souvent utilisée pour se débarrasser d'eaux nuisibles et pour opérer l'assèchement de grandes étendues de pays auparavant marécageuses et impropres à la culture. Comme exemples du parti que l'on peut tirer de cette propriété nous citerons : La plupart des carrières des environs de Paris, où l'on se débarrasse des eaux au moyen de trous de sonde forés jusqu'à la profondeur des couches fissurées supérieures de la craie; la voirie de Bondy, qui se débarrasse par le même procédé, de 100 mètres cubes d'eau, par 24 heures; la plaine des *Paluns* près de Marseille, qui formait autrefois un grand bassin marécageux qu'il paraissait impossible de dessécher à l'aide de canaux d'assèchement superficiels. Le roi René y fit alors creuser un grand nombre de trous ou puisards, qui jetèrent et jettent encore aujourd'hui dans des couches perméables situées à une certaine profondeur, des eaux qui rendaient toute la contrée improductive. On assure que ce sont les eaux absorbées dans ces puisards (en provençal *embugs*) de Paluns, qui, après un cours souterrain, forment les sources jaillissantes du port de *Mion*, près de *Cassis*. Enfin, nous terminerons en faisant connaître le parti ingénieux que M. Mulot a tiré des propriétés absorbantes de certaines couches pour résoudre un problème dont la solution importait beaucoup à Saint-Denis.

L'eau d'une fontaine creusée sur la place de la Poste-aux-Chevaux de cette ville devint, dans l'été, un excellent moyen de propreté; mais l'hiver venu, les glaces s'accumulèrent sur la voie publique et nuisirent beaucoup à la circulation. Cet inconvénient avait presque fait renoncer à creuser une nouvelle fontaine sur la place aux Gueldres, lorsque M. Mulot imagina le procédé suivant : de l'eau d'excellente qualité, provenant d'une couche située à 65m de profondeur, monte dans un tube métallique d'un certain diamètre. Un tube *notablement plus grand*, enveloppe le premier et va se saisir à 55m de profondeur, d'une nappe d'eau encore très potable, mais moins bonne cependant que la première. C'est exclusivement dans l'espace annulaire compris entre ces deux tubes que l'eau de la nappe, située à 65m peut remonter. Enfin un troisième tube, *notablement plus grand* que le second, descend en l'enveloppant, jusqu'à la profondeur d'une couche absorbante. L'espace annulaire compris entre le tube moyen et le tube extérieur ne donne donc rien; au contraire, il sert, *en hiver*, à ramener dans le sein de la terre la partie non employée des eaux des deux couches ascendantes qui, en se répandant sur la place et dans les rues, auraient formé une épaisse couche de glace.

On conçoit aisément que la quantité d'eau que fournit un puits artésien est très variable, suivant le diamètre du tuyau d'ascension, la hauteur du niveau hydrostatique du puits, et la facilité plus ou moins grande avec laquelle l'eau se meut dans les canaux souterrains qui sont en communication avec le fond du trou. Voici ceux qui donnent le plus grand volume d'eau.

Le fameux puits de *Grenelle*, creusé par M. Mulot, jaugé au niveau du sol, a donné 3,000 litres d'eau par minute.

Le puits artésien que MM. Fabre et Espériquette ont foré à *Bages*, près Perpignan, dans une propriété de M. Durand, donne 2,000 litres d'eau par minute.

Enfin le puits jaillissant que M. Degousée a foré à *Tours*, dans le quartier de cavalerie, jaugé à près de 2m de hauteur au-dessus du sol, a donné 1,110 litres d'eau.

Les plus profonds des puits artésiens en France sont ceux de Grenelle et de Passy qui traversent la craie et parviennent à la même couche de sables verts à 550 mètres de profondeur.

Il arrive quelquefois que le produit d'un puits artésien diminue; dans cette circonstance, il y a deux cas à distinguer, suivant que le niveau hydrostatique n'en reste pas moins constant, ou suivant qu'il diminue. Dans le premier cas, la diminution du produit tient à un engorgement du tube ascensionnel ou du banc aquifère; on y remédie en faisant passer la sonde dans le trou pour le nettoyer, et imprimant ensuite, si cela ne suffit pas, à la colonne liquide, une série d'impulsions brusques, au moyen d'un piston de pompe à clapets, que l'on fait mouvoir avec une grande vitesse dans le tuyau ascensionnel. Lorsque le niveau hydrostatique s'est abaissé, l'accident est beaucoup plus grave, cela annonce qu'il y a déperdition d'eau le long du tube d'ascension; il faut dans ce cas enlever en tout ou en partie le tubage et le remplacer.

On se demande souvent s'il est à présumer que les fontaines artésiennes s'épuisent à la longue; nous nous contenterons pour répondre à cette question de citer le puits foré à *Lillers* (Pas-de-Calais), dont le produit journalier ainsi que la hauteur à laquelle l'eau jaillit, n'ont jamais varié, et dont la construction remonte, dit-on, à l'année 1126.

On sait que depuis longtemps les expériences faites dans les mines avaient démontré qu'à une faible profondeur au-dessous du sol, la température propre de la terre devenait indépendante des saisons et croissait à mesure que l'on s'enfonçait; cet accroissement est de 1 degré par 25 ou 30 mètres de profondeur. La chaleur constante et élevée que possèdent les sources jaillissantes est venue en donner une preuve plus convaincante encore. Nous citerons quelques exemples :

La température moyenne de *Paris*, à la surface du sol, est de.	+ 10°,6
La température de la fontaine jaillissante de la gare de *Saint-Ouen* est de. . . (Profondeur 66m).	+ 12°,9
La température du puits de Grenelle est de. . . . . (Profondeur 548m).	+ 27°,4
La température moyenne de la surface à *Tours* est de.	+ 11°,5
La température du puits artésien foré chez M. Champoiseau est de. . . . . (Profondeur 140m).	+ 17°,5

Les sources artésiennes ont été recherchées comme moteurs même dans les pays où les cours d'eau ne sont pas rares. Leur température constante et élevée permet en effet de les appliquer au service des usines pendant les hivers les plus rigoureux, soit directement quand elles sont abondantes, soit comme moyen de fondre les glaçons qui arrêtent le mouvement des roues hydrauliques. Dans le nord de la France, où la nappe aquifère est située à une faible profondeur, on trouve un grand nombre de moulins alimentés par les eaux de un ou plusieurs puits artésiens. A Tours, M. Degousée a foré, dans la manufacture de soie de M. Champoiseau, un puits de 140 mètres de profondeur, qui verse 1,100 litres d'eau par minute, dans les augets d'une roue de 7 mètres de diamètre; cette roue met en mouvement tous les métiers de la manufacture.

Dans le Wurtemberg, M. Bruckmann, en faisant circuler le long de tuyaux convenablement disposés de l'eau à + 12° centigr. provenant de puits artésiens, est parvenu à maintenir à + 8° la température de divers ateliers, quand le thermomètre extérieur marquait 18° au-dessous de zéro.

A l'époque des grandes pluies, le travail des papeteries était souvent interrompu à cause de l'impureté des eaux. Ces chômages forcés n'existent plus partout où l'on se sert des eaux jaillissantes et constamment limpides des puits forés.

Dans quelques localités, les eaux toujours pures, et d'une température invariable des fontaines jaillissantes, ont servi à établir des *cressonnières* artificielles très productives. La belle végétation du cresson dans les parties des lits des ruisseaux où il existait des sources naturelles a donné l'idée de cette application. On assure que les cressonnières artificielles d'*Erfurth* (Allemagne) ne rapportent pas moins de 300,000 fr. par an!

En cherchant de l'eau dans les entrailles de la terre, au moyen de la sonde, on rencontre quelquefois, au lieu de ce liquide, de grands réservoirs d'un gaz qui monte rapidement à la surface. Ce gaz est ordinairement inflammable; quelquefois c'est de l'hydrogène pur; mais le plus souvent c'est de l'hydrogène carboné, identique à celui du gaz d'éclairage. Dans le forage des trous de sonde destinés à la recherche des eaux salées, les Chinois rencontrent souvent de pareils dégagements gazeux. Ils conduisent alors à l'aide de longs tuyaux le gaz, sous les chaudières qui servent à évaporer les eaux salées, et l'y enflamment: ils n'emploient dans ce cas aucun autre combustible. Ils se servent aussi du même gaz pour éclairer les rues, halles et ateliers, lorsqu'ils en ont en quantité suffisante. Il y a également dans les États-Unis d'Amérique plusieurs villages dans lesquels on a mis à profit, pour éclairer les rues et les maisons, des courants de gaz inflammable qui se dégagent par des trous de sonde qui, dans la même contrée, ont fourni des sources de PÉTROLE.

Nous renverrons pour le complément de cet article, en ce qui regarde le *forage* des puits artésiens et le *tubage* des puits forés, au mot SONDAGE.

P. DEBETTE.

ARTIFICE (FEUX D') (*angl.* fire-works, *all.* feuerwerke). La composition des feux d'artifice est un art moderne résultant de la découverte de la poudre à canon. Les plus belles inventions en ce genre sont dues aux célèbres Ruggieri, père et fils, qui exécutèrent à Rome, à Paris et dans les principales capitales de l'Europe, les plus brillants et les plus beaux feux d'artifice qui aient jamais été vus. La description suivante de leurs procédés sera probablement intéressante pour plusieurs de nos lecteurs.

Les trois matières fondamentales de toutes les compositions des feux d'artifice sont les éléments de la poudre, le nitre, le soufre et le charbon, que l'on mêle avec des limailles de fer, d'acier, de cuivre et de zinc, de la résine, du camphre, de la poudre de lycopode, etc. On emploie aussi très souvent la poudre à canon, soit en grains à moitié écrasés, soit finement pulvérisée. Plus la limaille de fer est fine et longue, plus les étincelles rouges et blanches qu'elle donne sont brillantes; elles doit être tout à fait exempte de rouille. Les limailles et tournures d'acier et de fonte contiennent du carbone, et produisent un feu plus brillant avec plus d'étincelles. La limaille de cuivre donne une flamme verte; celle de zinc, une belle couleur bleue verdâtre; le sulfure d'antimoine donne une flamme comme celle du zinc, un peu plus bleue, mais en même temps beaucoup plus de fumée. Le succin produit un feu jaune, ainsi que la colophane et le sel marin, mais ce dernier doit être employé très sec, pour ne pas arrêter la combustion. Le noir de fumée mélangé avec de la poudre à canon pulvérisée produit une couleur rouge foncé, et une couleur rouge clair ou œillet, avec le nitre en excès; on s'en sert pour faire les pluies d'or. Le mica jaune fournit aussi de très belles étincelles jaune d'or. Le vert-de-gris produit un vert léger; le sulfate de cuivre mélangé de sel ammoniac, un vert olive; le camphre donne une flamme très blanche et des fumées aromatiques, qui masquent la mauvaise odeur des autres substances. Le benjoin et le borax sont aussi employés à cause de leur odeur agréable. Le lycopode brûle avec une couleur rose et une flamme magnifique; il est principalement employé

sur les théâtres pour représenter les éclairs et les torches des furies, par suite de la propriété qu'il possède, étant répandu dans l'air, de s'enflammer par l'approche d'une bougie.

Les feux d'artifice sont divisés en trois classes : 1° ceux qui doivent être posés sur le sol ; 2° ceux qui sont tirés dans l'air ; 3° ceux qui agissent sur ou sous l'eau ; enfin on divise la première classe en pièces immobiles et en pièces mobiles.

Presque toutes les pièces d'artifice sont formées d'une enveloppe extérieure ou cartouche en papier ou en carton, dans laquelle on introduit le mélange combustible.

Les cartouches se font en enroulant du papier fort ou du carton mince enduit de colle sur des moules cylindriques de diamètre convenable, et que l'on comprime dans cet état par un mouvement de va-et-vient, au moyen d'une varlope semblable à celle des menuisiers, si ce n'est qu'elle n'a point de ciseau ni de cavité pour en recevoir. On étrangle ensuite l'extrémité des cartouches en l'entourant d'une ficelle savonnée que l'on tend avec le pied au moyen d'une pédale, puis on les lie au lieu de l'étranglement au moyen d'une ficelle, en faisant le *nœud* dit de l'*artificier* (voyez NŒUDS), nœud qui est le même que celui que l'on fait pour attacher les lanières des fouets après leur manche.

On étrangle aussi ordinairement, en partie, l'extrémité supérieure des cartouches, afin d'augmenter la vitesse du jet de feu ; on ne laisse cette ouverture entièrement ouverte que lorsque l'on veut obtenir un feu lent et sans bruit.

La charge, dont la composition est très différente suivant le but qu'on veut atteindre, est, la plupart du temps, aussi fortement comprimée que possible, afin de modérer la rapidité de la combustion, ce qui offre en outre l'avantage de pouvoir en introduire une quantité plus considérable dans un cartouche de dimensions données.

Passons maintenant à la description des diverses pièces d'artifice :

La composition pour les *fusées communes*, au-dessous de 2 centim. de diamètre, est de : poudre pulvérisée 16 parties, charbon 3 p. ; pour celles d'un plus grand diamètre, on emploie un mélange de 16 p. de poussier de poudre, et 4 p. de limaille de fer.

Roue tournante. Pour un tube de moins de 2 centim. de diamètre, on prend : poudre à canon 16 parties, limaille d'acier 3 p. ; pour de plus fortes dimensions : poudre à canon 16 p., limaille d'acier 4 p.

Feu chinois brûlant avec un bouquet d'étincelles couleur jasmin. Lorsque le diamètre de la fusée est moindre que 2 centim., on prend : poudre à canon 16 parties, nitre 8 p., charbon 3 p., soufre 3 p., tournure de fonte 10 p. ; pour de plus fortes dimensions : poudre à canon 16 p., nitre 12 p., charbon 3 p., soufre 3 p., tournure de fonte 12 p.

Brillant fixe. Diamètre au-dessous de 2 centim. : poudre à canon 16 parties, limaille d'acier 4 p. ; ou, poudre à canon 16 p., tournure fine de fonte 6 p.

Soleils fixes. Ils sont composés d'un certain nombre de fusées, distribuées comme les rayons d'une roue, et dont les extrémités ignivômes sont divergentes. Toutes les fusées prennent feu à la fois.

Lorsque, comme dans le cas précédent, on doit mettre le feu à plusieurs pièces à la fois, on se sert d'étoupilles ou mèches en coton, trempées dans une pâte faite avec de la poudre pulvérisée, un peu d'eau-de-vie et de gomme arabique, que l'on fait sécher, puis que l'on enroule dans une feuille de papier mince ; ces feuilles sont enroulées, un peu coniques, de sorte que l'on peut aisément les enfiler par leurs extrémités les unes dans les autres, et obtenir une conduite aussi longue que l'on veut.

Les *gloires* se font comme les soleils fixes, seulement, au lieu de fixer les ouvertures des fusées sur le même cercle, on les dispose de manière à former des figures triangulaires ou étoilées, qui sont souvent composées de plusieurs rangs de fusées.

Les *éventails* sont composés de 5 à 7 fusées disposées suivant les rayons d'un quart de cercle, ou d'un demi-cercle. La *patte-d'oie* est un éventail composé seulement de trois fusées.

La *mosaïque* consiste en un échiquier de poteaux espacés à 1 mèt. environ de distance, et portant des fusées disposées de telle sorte qu'elles produisent des jets de feu qui se croisent quatre par quatre au centre de chaque compartiment ; il en résulte que, lorsqu'il y a un nombre suffisant de poteaux, le tout forme en brûlant une sorte de mosaïque.

Palmiers. Ruggieri a inventé un nouveau genre d'artifice destiné à représenter toutes sortes d'arbres et particulièrement le palmier. La composition suivante est celle de ce magnifique feu d'artifice vert : vert-de-gris cristallisé 4 parties, sulfate de cuivre 2 p., sel ammoniac 1 p. Ces ingrédients sont pulvérisés et humectés avec de l'alcool. Un arbre artificiel de chaque genre étant érigé, on festonne autour du tronc, des branches et parmi les feuilles, des mèches grossières en coton d'environ 5 centim. de diamètre, imprégnées de cette composition, et on les allume immédiatement avant que l'alcool ait eu le temps de s'évaporer.

Cascades. S'obtiennent par un grand nombre de fusées horizontales juxtaposées. Elles imitent des nappes ou des jets d'eau. Le feu chinois est le mieux approprié à ces décorations. Les *pluies d'or* se font de même, seulement on dispose les fusées presque verticalement.

Étoiles fixes. Les fusées ont une construction particulière. On les ferme par les deux bouts, et on perce, près de l'une des extrémités et dans le même plan, cinq trous dans l'enveloppe, de telle sorte que la fusée étant fixée horizontalement, produit en brûlant, vue dans le sens de son axe, cinq jets lumineux divergents qui représentent une étoile fixe.

COMPOSITION D'ÉTOILES FIXES.

	Ordinaires.	Brillantes.	Colorées
Nitre. . . .	16 parties.	12	0
Soufre. . . .	4 —	6	6
Poudre à canon pulvérisée.	4 —	12	16
Antimoine . .	2 —	1	2

Lances. Ce sont de longues fusées, de petit diamètre, faites avec des cartouches de papier. Celles qui brûlent le plus vivement doivent être les plus longues. Elles sont chargées à la main sans aucun moule, avec des baguettes de différentes longueurs, et ne sont pas étranglées à la bouche, mais simplement munies de mèches. Ces lances forment les figures des grandes décorations ; elles sont fixées avec des pointes sur de grandes charpentes en bois, représentant des temples, des palais, des pagodes, etc. La communication entre les diverses pièces s'établit à l'aide d'étoupilles, conduits ou mèches dont nous avons décrit plus haut la préparation.

La composition pour des *lances blanches* est : nitre 16 parties, soufre 8 p., poudre à canon 4 ou 3 p. ; pour des *lances blanc-bleuâtres* : nitre 16 p., soufre 8 p., antimoine 4 p. ; *lances bleues* : nitre 16 p., antimoine 8 p. ; *lances jaunes* : nitre 16 p., poudre à canon 16 p., soufre 8 p., succin 8 p. ; *lances plus jaunes* : nitre 16 p., poudre à canon 16 p., soufre 4 p., colophane 3 p., succin 4 p. ; *lances verdâtres* : nitre 16 p., soufre 6 p., antimoine 6 p., vert-de-gris 6 p. ; *lances œillets* : nitre 16 p., poudre à canon 3 p., noir de fumée 1 p. ; d'autres

ARTIFICE.

lances moins vives sont faites avec : nitre 16 p., colophane 3 p., succin 3 p., poudre de lycopode 3 p.

Outre les compositions ci-dessus pour les lances colorées indiquées par Ruggieri, nous ferons connaître ici celles indiquées par Meyer, qui reposent sur l'emploi du chlorure de potassium, mais qui à cause du prix assez élevé de ce sel, ne sont pas généralement employées dans les feux d'artifices ordinaires. Des mélanges de chlorure de potassium et de soufre brûlent avec une vivacité extraordinaire, et un degré de chaleur blanche, que l'on ne peut pas produire avec le nitre. A cette chaleur élevée, un grand nombre de substances donnent lieu par leur combustion, à des colorations particulières très vives, dont on remarquait à peine des traces en se servant de nitre. Parmi ces substances, nous citerons particulièrement les nitrates de strontiane et de baryte, qui donnent avec un mélange de chlorure de potassium et de soufre ; le premier un magnifique rouge pourpre, le second un admirable feu vert. Les bases de ces compositions sont : 1° Un mélange de 80 parties de chlorure de potassium et de 20 parties de soufre; et 2° un mélange de 75 parties de nitre et de 25 parties de soufre. On ajoute à 100 parties du mélange n° 1, pour produire une couleur :

Rouge, 30 parties de carbonate de strontiane;
Rose foncé, 40 p. de craie (carbonate de chaux) ;
Rose clair, 30 p. de spath fluor (chaux fluatée) ;
Jaune, 50 p. de carbonate de soude fondu;
Bleu foncé, 30 p. de sulfate ammoniacal de cuivre, et 30 p. de sulfate de potasse.
Bleu clair, 20 p. de sulfate de potasse,
Vert, 20 p. de carbonate de baryte;
Vert clair, 20 p. d'acide borique;
Violet, 20 p. de sulfate de potasse et 20 p. de carbonate de chaux (craie) ;
Orange, 30 p. de carbonate de soude et 10 p. de carbonate de chaux.

Dans les feux de théâtre, les feux colorés doivent être accompagnés d'une lumière blanche très vive, pour les faire ressortir et détruire la teinte jaunâtre due à la lumière des lampes ; il faut dans ce cas employer le mélange n° 2 ; voici à cet égard les compositions indiquées par Meyer :

Rouge clair, 50 p. du mélange n° 1 ; 50 p. du mélange n° 2 ; 20 p. de craie et 10 p. de pulvérin ou poudre à canon pulvérisée.

Pourpre foncé, 50 p. du mélange n° 1, 76 p. de nitrate desséché de strontiane et 24 p. de soufre.

Bleu, 50 p. du mélange n° 1, 50 p. du mélange n° 2, 40 p. de sulfate de cuivre ammoniacal et 20 p. de sulfate de potasse.

Vert, 35 p. du mélange n° 1, 80 p. de nitrate de baryte desséché et 20 p. de soufre.

Jaune, 50 p. du mélange n° 1, 50 p. du mélange n° 2 et 40 p. de carbonate de soude fondu.

Violet et *orange*, mélange de bleu et de rouge, de rouge et de jaune.

Cordes de couleur. Elles servent à faire les dessins, les emblèmes, les courtes inscriptions. On emploie de la torsade de coton, d'une grosseur proportionnée à l'effet qu'on veut produire, et l'on passe au milieu un fil de fer, afin de le soutenir et de pouvoir lui donner exactement les formes voulues. Cette torsade ou *câble*, c'est ainsi qu'on la nomme dans le commerce, doit être un peu torse et bien velue ; on la pénètre bien de la composition suivante : nitre 2 parties, soufre 16 p., antimoine 1 p., gomme de genièvre 1 p. ; on peut remplacer la gomme de genièvre par de la gomme arabique.

Feux de Bengale. Ces feux dont l'éclat rivalise avec celui du soleil, se font avec 7 parties de nitre, 2 de soufre, et 1 d'antimoine; ce mélange est fortement tassé dans des écuelles en terre, et on jette quelques morceaux de mèches sur la surface. Ces flammes produisent un bel effet théâtral pour représenter les embrasements.

Soleils tournants. Ce sont des roues mobiles autour d'un axe horizontal, sur la circonférence desquelles on fixe des fusées de différents diamètres, communiquant entre elles par des conduits, en sorte qu'elles s'allument successivement l'une après l'autre. La composition de ces fusées lorsqu'elles ont moins de 2 centimètres de diamètre est : poudre à canon pulvérisée 16 parties, charbon grossièrement pulvérisé 3 p. Pour de plus grandes dimensions : poudre à canon 20 p., charbon grossièrement pulvérisé 4 p. Pour *soleils radiés* : poudre à canon 16 p., sable micacé jaune, 2 ou 3 p., ou : poudre à canon 16 p., charbon 1 p., sable micacé jaune, 1 ou 2 p. Pour les petits soleils, on fait un long cartouche que l'on enroule en spirale sur lui-même et que l'on enfile par le centre dans un clou qui sert à le fixer à un poteau vertical. Lorsqu'on met le feu à l'extrémité de la fusée le soleil se met à tourner plus ou moins rapidement par suite du recul dû à la combustion de la charge.

Doubles roues tournantes. Ce sont deux soleils tournant autour du même axe, dans des directions opposées. Les fusées sont fixées obliquement et non tangentiellement à leurs circonférences. Les rayons des roues sont chargés d'un grand nombre de fusées ; deux des quatre ailes tournent dans une direction, et les autres dans la direction opposée, mais toujours dans un plan vertical.

Les *girandoles*, *caprices*, *spirales* et quelques autres pièces ont, au contraire, une rotation horizontale. Les artificiers peuvent diversifier grandement leurs effets, par l'arrangement et la couleur de leurs jets de feu. Nous prendrons pour exemple le *globe de lumière*. Qu'on imagine une grande sphère tournant librement sur son axe, avec un hémisphère creux qui tourne aussi sur un axe vertical passant à travers son pôle inférieur. Si les deux pièces sont couvertes de lances colorées ou de cordages, on obtient un globe fixe, lumineux, mais si on place des fusées horizontales sur l'hémisphère, et des fusées verticales sur la sphère, le premier doit avoir un mouvement horizontal relatif, le second, un mouvement vertical qui, étant combiné avec le premier, l'oblige à décrire une espèce de courbe dont l'effet forme un contraste agréable avec le mouvement régulier de l'hémisphère. On peut également placer de petits soleils sur la surface d'un grand soleil tournant, dont ils ont l'air d'être les satellites.

Ruggieri a exécuté entre autres un serpent lumineux, poursuivant avec un tournoiement rapide un papillon qui volait continuellement devant lui. Cet effet extraordinaire était produit par le moyen suivant : sur le sommet d'un octogone, il fixait huit roues égales tournant librement sur leurs axes, dans les plans des faces verticales de l'octogone. Une chaîne sans fin, passée autour de leur circonférence, allant de l'intérieur à l'extérieur, couvrait la demi-circonférence extérieure de la première, l'intérieure de la seconde, et ainsi de suite ; d'où provenait l'apparence d'une grande ligne sinueuse circulaire. La chaîne, pareille à celle d'une montre, portait sur une portion de sa longueur des espèces d'écailles percées de trous, pour recevoir des lances colorées, de manière à représenter un serpent enflammé. A peu de distance de celui-ci, était un papillon construit avec des lances blanches. La pièce était allumée ordinairement par d'autres feux d'artifice, qui semblaient se terminer, en projetant un serpent du sein des flammes. Le mouvement était communiqué à la chaîne par l'une des roues, qui le recevait comme une horloge le reçoit de l'action d'un poids. Ce mécanisme curieux et remarquable a reçu de l'auteur le nom de *Salamandre*.

Les fusées volantes qui s'élèvent dans l'air, avec une prodigieuse vélocité, sont l'une des pièces les plus communes, mais non les moins intéressantes des feux d'ar-

tifice. Lorsqu'elles sont employées avec profusion, elles forment ces riches bouquets qui terminent les fêtes publiques. Le cartouche est semblable à celui des autres fusées, excepté en ce qui concerne sa longueur et la nécessité de le coller fortement et de bien l'unir; mais il est chargé d'une manière différente. Comme ces fusées doivent s'enlever avec rapidité, leur composition doit être telle qu'elles puissent s'enflammer presque instantanément sur toute leur longueur, et déguger un grand volume de fluides élastiques. A cet effet, un petit espace cylindrique est ménagé autour de l'axe, c'est-à-dire que la ligne centrale est tubulaire. Les artificiers appellent cet espace l'*âme de la fusée*. On ménage ce vide en y maintenant lors de la charge une baguette de dimensions convenables, et en bourrant la composition avec un bourroir creux suivant son axe; pendant le bourrage on soutient le corps de la fusée en la plaçant dans un moule ou cylindre en cuivre.

La composition des fusées volantes est la suivante :

COMPOSITION.	DIAMÈTRE INTÉRIEUR.		
	1,89 centim.	1,89 à 3,16 centim.	4,21 centim.
Nitre.	16	16	16
Charbon.	7	8	9
Soufre.	4	4	4
Feu brillant.			
Nitre.	16	16	16
Charbon.	6	7	8
Soufre.	4	4	4
Limaille fine d'acier	3	4	5
Feu chinois.			
Nitre.	16	16	16
Charbon.	4	5	6
Soufre.	3	3	4
Tournure de fonte	3 grosse.	4 moy.	5 fine.

Le cartouche étant chargé comme il a été décrit ci-dessus, le *pot* doit lui être ajusté avec la *garniture*, c'est-à-dire les serpents, les pétards, les étoiles, les pluies de feu, etc. Le pot est un tube de carton, plus large que le corps de la fusée, et d'environ un tiers de sa longueur. Après avoir été étranglé au fond comme la bouche d'une fiole, il est attaché au bout de la fusée au moyen de fil et de colle; ceux-ci sont ensuite couverts de papier. La garniture est introduite dans le bout de la fusée et recouverte par du papier plié en double. Le tout est renfermé dans un tube de carton se terminant en un cône, lequel est fortement collé au pot. On introduit alors la mèche ou étoupille dans l'*âme* de la fusée. La baguette attachée au bout des fusées volantes, pour diriger leur vol, est faite de saule ou de quelque autre bois léger. Ruggieri remplaçait la baguette par des ailes coniques contenant des matières détonnantes, et de cette manière les faisait voler en éclats avant de retomber sur le sol. Voici les dimensions de rigueur à observer dans la confection des fusées volantes; âme de la fusée, diamètre au fond, $\frac{1}{3}$ de celui de la fusée; à l'ouverture, $\frac{2}{3}$ à $\frac{1}{2}$ de cette même dimension. La baguette ou queue de la fusée a une longueur 18 à 20 fois plus grande, et doit aller en diminuant, de manière à ce que le bout effilé soit de moitié moins fort que le gros bout; elle doit être telle, qu'en plaçant la fusée sur le doigt à quelques centim. en avant de la mèche, l'extrémité libre de la baguette emporte la fusée.

Lorsqu'on supprime la baguette et qu'on met des ailes à la fusée, on la dirige dans un canal triangulaire ou rectangulaire, selon le nombre d'ailes.

Les *garnitures* des fusées volantes sont les suivantes :

Les *étoiles* sont de petits solides, cubiques ou ronds, faits avec une des compositions suivantes et trempés dans de l'esprit-de-vin; *étoiles blanches* : nitre 16 parties, soufre 8 p., poudre à canon 3 p.; *étoiles blanches* plus vives que les précédentes : 16 parties de nitre, 7 p. de soufre et 4 p. de poudre à canon; *étoiles pour pluies d'or* : nitre 16 parties, soufre 10 p., charbon 4 p., poudre à canon 16 p., noir de fumée 2 p.; *étoiles* plus jaunes que les précédentes : nitre 16 p., soufre 8 p., charbon 2 p., noir de fumée 2 p., poudre à canon 8 p.

Dragon ou *courantin*. Lorsqu'il s'agit de communiquer le feu à l'artifice, d'un endroit éloigné, on emploie le dragon : c'est une fusée simple chargée de la composition des feux communs, accolée à un cartouche vide et débouché par les deux bouts; on enfile une ficelle dans ce cartouche vide, ou mieux, un fil de fer ou de laiton tendu de l'endroit d'où l'on veut faire partir le dragon à l'endroit où se trouve l'artifice; la mèche de la fusée étant tournée vers celui qui met le feu. Le dragon va porter le feu, et si l'on veut, on place une fusée en sens contraire qui le ramène ou va le porter à un autre artifice, suivant la direction donnée au support. Lors des fêtes qui eurent lieu à l'occasion du sacre de l'empereur, le dragon partit de l'amphithéâtre établi sur la place de la Grève, traversa la Seine à l'endroit où se trouve actuellement le pont d'Arcole, et alla porter le feu dans la Cité, sur la représentation du mont Saint-Bernard.

Les *serpenteaux* sont de petites fusées faites avec une ou deux cartes à jouer, leur calibre est au-dessous de 1 centim. 1/4. Les *lardons* sont un peu plus grands et sont formés de trois cartes; les *vétilles* sont plus petites. Leur composition est : nitre 16 p., charbon grossièrement concassé 2 p., poudre à canon 4 p., soufre 4 p., limaille fine d'acier 6 p.

Les *pétards* sont des cartouches remplis de poudre ordinaire et étranglés. Les *saxons* sont des cartouches enduits d'argile à chaque bout, chargés avec la composition n° 2 des roues tournantes, et perforés d'un ou deux trous à l'extrémité du même diamètre.

Le *marron* est une boîte carrée ou ronde, de carton ou de parchemin, remplie de poudre à canon en grains et liée tout autour avec du fil retors.

Chandelles romaines. Ce sont des fusées qui jettent successivement de très brillantes étoiles. Avec la composition (comme ci-dessous) imbibée d'alcool et d'eau légèrement gommée, on fait de petites plaques cylindriques, percées d'un trou dans leur centre. Ces corps, lorsqu'ils sont allumés et projetés dans l'air, forment des étoiles. On met premièrement dans le cartouche une charge de poudre à canon fine, proportionnée aux dimensions de l'étoile; au-dessus de cette charge on place une étoile; ensuite une charge de composition pour les chandelles romaines, et ainsi de suite jusqu'à ce que le cartouche soit rempli. Les *étoiles*, lorsqu'elles ont moins de 2 centim. de diamètre, consistent en 16 parties de nitre, 7 p. de soufre, 5 p. de poudre à canon; lorsqu'elles sont plus grandes, 16 p. de nitre, 8 p. de soufre et 8 p. de poudre à canon. La composition des *chandelles romaines* est de : nitre 16 p., charbon 6 p., soufre 3 p.; et lorsqu'elles ont au-dessus de 2 centim. de diamètre : nitre 16 p., charbon 8 p., soufre 6 p.

On nomme *pot à feu* une fusée immobile qui en renferme un grand nombre de plus petites destinées à être lancées en l'air. Pour la faire on prend un large cartouche au fond duquel on met de la poudre que l'on recouvre d'un rond de carton que l'on perce au centre, pour recevoir une fusée plus petite qui communique le feu. La partie vide située entre la paroi interne du gros cartouche et la partie externe du petit est remplie de

serpenteaux. On recouvre le tout d'un fort papier, percé pour laisser passer la fusée centrale.

Les *girandoles* ou *bouquets* sont ces belles pièces qui terminent ordinairement un feu d'artifice et dans lesquelles une multitude de jets semblent embraser le ciel dans chaque direction, et tomber ensuite en pluie d'or. Cet effet se produit en distribuant un certain nombre de pots à feu au sommet des échafaudages; chacun de ces pots contient 140 fusées volantes et communique avec les autres par des mèches convenablement disposées; de cette manière, ils prennent tous feu simultanément et produisent une sorte d'éruption volcanique.

La composition du *feu rouge* se fait en mélangeant 40 parties de nitrate de strontiane, 13 parties de soufre en fleurs, 5 parties de chlorate de potasse, et 4 parties de sulfure d'antimoine. Les *feux blancs* sont produits par un mélange de 48 parties de nitre, 13 parties 1/4 de soufre; 7 parties 1/4 de sulfure d'antimoine; ou 75 parties de nitre, 24 parties de soufre et 1 partie de charbon; ou enfin, 100 parties de poudre à canon pulvérisée et 25 parties de tournure fine de fonte. La composition du *feu bleu* est de 4 parties de poudre à canon pulvérisée, 2 parties de nitre, 3 parties de soufre et 3 parties de zinc en limaille.

ARTIFICES DE GUERRE. Nous passerons successivement en revue les principaux genres d'artifices employées par l'artillerie.

Étoupilles. Autrefois on amorçait les canons en plaçant dans la lumière une *étoupille* formée par un roseau (11 à 15 centimètres de longueur, 5 millimètres de diamètre extérieur au plus) rempli d'une pâte de pulvérin et d'eau-de-vie gommée, et percée dans toute sa longueur avec une aiguille à tricoter. L'étoupille portait en haut un bout de mèche, auquel on mettait le feu avec la *lance à feu*, sorte de cartouche fusante qui dure 10 à 12 minutes. Le canonnier allumait la lance à feu au *boute-feu*, bâton fourchu planté en terre et supportant une certaine longueur de *mèche à canon* (chanvre imprégné de salpêtre), qui brûle lentement (16 centimètres par heure). On emploie aujourd'hui *étoupilles fulminantes* qui dispensent de tout l'attirail ci-dessus. Il y en a deux systèmes en France : celles de la terre et celles de la marine.

L'étoupille fulminante de l'artillerie de terre (fig. 166) se compose d'un tube en cuivre de 3 millimètres de diamètre et de 4 à 5 centimètres de longueur, fendu et ouvert en croix à sa partie supérieure, pour empêcher qu'il tombe dans la lumière. Dans ce tube, fermé en bas par de la cire, se trouve de la poudre de chasse, et un second petit tube concentrique au premier, qui est rempli de poudre fulminante (mélange de 2/3 sulfure d'antimoine et 1/3 chlorate de potasse). Dans ce mélange, on scelle, pendant qu'il est encore humide, l'extrémité aplatie d'un fil de cuivre rouge terminé par un T dont les deux branches s'arrêtent en-dessous sur les bords du petit tube. Ce fil de cuivre porte le nom de *rugueux* : il est enduit d'une couche de vernis à la gomme laque ainsi que les parties intérieures du tube, ce qui conserve mieux la poudre; on a renoncé à le faire en laiton, qui exerçait, par contact avec le cuivre rouge, une action chimique nuisible à la conservation de la poudre. Le petit tube est placé dans le grand à l'aide du fil de cuivre; on bouche le grand tube en haut au moyen d'un tampon en bois, qui est garni en dessous d'une rondelle en caoutchouc (de 1/2 millim. d'épaisseur), contre laquelle s'appuie le petit tube; par dessus le bouchon en bois, on lutte avec de la cire. L'extrémité du fil de cuivre est

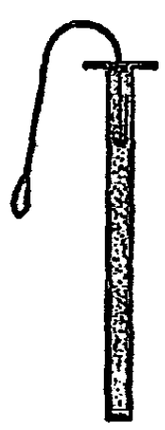


Fig. 166.

repliée et tordue pour former la *boucle de tirage* dans laquelle on engage, au moment du tir, le crochet du *tire-feu*; la friction énergique du rugueux détermine alors l'inflammation.

Les étoupilles fulminantes à friction de l'artillerie de mer (fig. 167) sont construites de la même façon, seulement les deux tubes (*grand tube et tube d'amorce*) sont en plume.

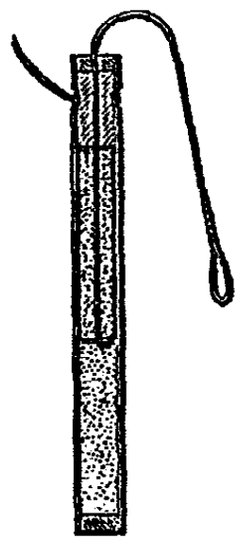


Fig. 167.

Le rugueux, au lieu de se terminer par un T, se termine par une partie aplatie et dentelée, avec un petit crochet en-dessous, qui s'arrête contre le bord du tube d'amorce. Le tampon en bois porte une rainure circulaire qui retient le fil par lequel on attache, et on serre le grand tube contre le tampon; les deux bouts du grand tube sont bouchés avec de la cire. La poudre fulminante est différente de celle de l'artillerie de terre, qui se conserverait moins bien à la mer : elle se compose de 5 fulminate de mercure et 3 sulfure d'antimoine.

Fusées proprement dites. Les fusées de guerre consistent en un cylindre en tôle renfermant une composition d'artifice, fermé à sa partie antérieure qui est terminée par un cône, la paroi postérieure étant au contraire percée de trous.

C'est en analysant ce qui se passe, quand on met le feu à la partie postérieure, qu'on peut déterminer les différentes conditions qu'on doit remplir dans la fabrication des fusées.

Quand la composition prend feu, il se produit un dégagement de gaz qui s'échappent par les orifices avec la vitesse due à la pression qui se forme à l'intérieur; et la fusée se meut, en vertu de la détente du gaz et de la résistance de l'air qu'il rencontre à sa sortie par les orifices. Cet effet est très-grand pendant les premiers instants du mouvement qui est peu rapide; mais à mesure que la vitesse de la fusée augmente, l'effet dû à cette réaction diminue, tandis que la résistance de l'air croît rapidement. Il tendra donc à s'établir une vitesse et une pression constante à l'intérieur de la fusée, car la vitesse d'inflammation sera constante si la composition est homogène et si la surface d'inflammation reste à peu près la même, ce qui arrive sensiblement dans les fusées actuelles. L'observation du tir de ces fusées montre d'ailleurs que leur vitesse est sensiblement constante, et que, par conséquent, on doit tout proportionner au cas de cette tension maximum.

Il est d'abord évident que le cartouche doit être plus résistant que cette pression maximum, sans quoi il crèverait dès le commencement de sa course. Or, la résistance de la tôle, qui est la matière la plus résistante qu'on puisse employer pour la fabrication du cartouche, n'est pas assez grande pour que la petitesse des orifices dépasse une certaine limite. Mais, de plus, il faut tenir compte d'un résultat remarquable : c'est que, si on remplit complétement de composition un cartouche, on n'obtient qu'une portée de quelques mètres et une vitesse très-faible.

L'expérience a prouvé qu'on devait pratiquer un vide intérieur dans l'axe du cartouche, qui est de suite rempli par les premiers gaz qui se forment, et qui sert en quelque sorte de régulateur aux diverses pressions qui tendent à s'établir, lesquelles suffisent pour produire une grande vitesse; dans ce cas, on peut admettre qu'il y a régularité d'émission pendant la plus grande partie du mouvement. Cela admis, on peut, connaissant la vitesse d'inflammation de la composition et les

dimensions de la fusée, déterminer les pressions produites à chaque instant, en admettant toutefois que cette composition donnerait les mêmes pressions, à densité egale, que la poudre, dans les expériences de Rumford, et, en effet, elle ne consiste guère qu'en poudre écrasée. On voit, en faisant ce calcul, que les fusées actuelles donnent le maximum de vitesse d'écoulement après 3/4 de seconde; elle est d'environ 760 mètres, ce qui correspond à une pression inférieure à soixante-dix atmotsphères, qui est à peu près celle que peuvent supporter les enveloppes soudées, à la température de 250°.

Quand on veut augmenter la portée des fusées, il faut augmenter leur diamètre; mais alors les résistances croissent très-rapidement, et on atteint bientôt la limite au delà de laquelle on n'obtient plus que des accroissements d effets peu sensibles. Il en est de même pour la longueur, qu'à partir d'un certain point, on ne trouve nul intérêt à augmenter, la durée de la combustion ne changeant pas.

Pour chaque fusée de diamètre donné, il y a ainsi un certain rapport entre les diverses dimensions, qui est le plus convenable, et qu'on doit déterminer par expérience, comme le choix de la composition à employer.

On s'est arrêté, par expérience, à une composition intermédiaire entre la composition vive qui dure peu et une lente qui donne une moindre pression. On se servait, en 1810, de la composition : 6 parties de nitre, 1 partie de soufre et 3 parties de charbon; on a depuis augmenté la quantité de soufre et diminué celle de charbon, et on s'est rapproché de la composition employée à Berlin, où l'on a fait des fusées avec 9 parties de nitre, 4 parties de soufre et 3 de charbon.

Pour diminuer les déviations qui se produisent dans le tir de ces fusées, on adapte à leur extrémité une baguette assez longue, qui établit le centre de gravité du système à la partie postérieure de la fusée, et qui empêche qu'elle ne tombe à terre ou s'incline dès qu'elle commence son mouvement avec une faible vitesse, comme cela arriverait si le centre de gravité était vers la partie antérieure. De plus, la résistance de l'air agissant sur des portions de cette baguette assez éloignées de ce centre de gravité, s'oppose aux déviations latérales que peuvent produire des causes accidentelles. On a placé longtemps la baguette sur le côté; la résistance de l'air se trouvait moindre d'un côté de l'axe de la fusée que de l'autre, il y avait là une cause de déviation; il est vrai qu'elle n'avait guère lieu qu'au bout de la course, parce que les gaz, en s'échappant, venaient presser le côté de la baguette qui l'était le moins. *Congrève* plaça cette baguette au centre; on aurait pu en placer deux symétriquement.

Les fusées sont difficilement employées, en campagne. Le véritable emploi auquel on destinait les fusées à la guerre, avant que l'on sût tirer des obus à de très-grandes distances, était d'incendier. On les termine, dans ce cas, par un cône qui vient se ficher dans l'objet qu'on veut brûler. Ce cône est creux et rempli de matières incendiaires; sa surface est percée de trous par lesquels le feu se communique à l'objet en contact. Voici une composition d'une matière incendiaire, due à Schumacker, qui a fait un grand nombre d'essais: nitre 384 parties; soufre 120 parties; charbon 5 parties; antimoine 120 parties. Ces matières, mélangées et pulvérisées, sont versées dans une composition de : cire, 64 parties; poix, 8 parties; térébenthine, 32 parties. Ce mélange produit des flammes extrêmement vives, très-propres à incendier.

Dans la pratique de la guerre, l'irrégularité du tir des fusées les rend peu dangereuses. On a quelquefois tenté de leur faire produire des effets extraordinaires. Telle était l'invention du capitaine anglais *Warner*, destinée à détruire les vaisseaux de ligne à de grandes distances; il paraît qu'il se servait de fusées à la congrève, dont le cône était rempli de fulminate de mercure et eût donné lieu, en se fichant, à fleur d'eau, dans le flanc d'un vaisseau en bois, à une explosion terrible, pouvant déterminer une large voie, par suite de laquelle le navire eût sombré presque immédiatement.

ARTIFICES DE GUERRE.

Les fusées tirées dans des tubes assez longs, comme on l'a proposé pour éviter les déviations, ne sont guère que des bouches à feu de faible effet, comparativement à ceux de l'artillerie moderne. Voici les portées qu'on obtient avec les fusées anglaises, qui sont les plus célèbres : 51 millimètres de diamètre, portée : 1 520 mètres; 62 millimètres, 1 890 mètres; 88 millimètres, 1 980 mètres. Durée de la combustion, 19". On voit que l'accroissement n'est nullement proportionnel aux diamètres, et il n'est pas probable qu'on pût obtenir, avec les plus grosses fusées qu'on pût fabriquer, une portée de plus de 2 500 à 3 000 mètres.

Si la portée ne peut dépasser ces limites par une augmentation de diamètre, pourrait-on l'obtenir par une augmentation de longueur? Nous avons vu que cela était impossible dans le système actuel de construction des fusées; cet allongement suffirait dans le cas où on emploierait les fusées sans chambre intérieure, mais en laissant un vide entre l'extrémité de celle-ci et par la paroi postérieure, moyen qui a réussi dans l'emploi des poudres brisantes. Il est un moyen plus certain de résoudre le problème, c'est de mettre une deuxième fusée à la suite de la première, c'est-à-dire de donner au cylindre de tôle une longueur double, et de le diviser en deux par une paroi placée au milieu. La fusée postérieure ferait d'abord son effet, puis, à la limite de sa course, quand le système ne se mouvrait plus que par la vitesse acquise, la deuxième partirait et fournirait une nouvelle course.

La disposition à suivre pour réaliser cet effet est assez simple; il suffit de faire dans la paroi de séparation (fig. 168) des trous qu'on fermera par des bouchons coniques en bois, qu'une pression par le petit côté fera aisément sortir. Au centre, on établirait un tube en cuivre effilé au bout intérieur, afin que la composition ne puisse être chassée dans la deuxième cavité; il aurait au plus la longueur de la première fusée, et serait rempli d'une composition telle que la deuxième partit à l'instant voulu. Il nous semble qu'on pourrait obtenir ainsi des portées de 4,000 à 5,000 mètres, puisqu'on a déjà obtenu des portées de 2,600 mètres avec des fusées ordinaires de 89 millimètres de diamètre. Deux fusées accolées et partant l'une après l'autre ont été établies par M. Constantinof, colonel d'artillerie russe, et par le général Boxer en Angleterre, pour lancer à terre des amarres de sauvetage.

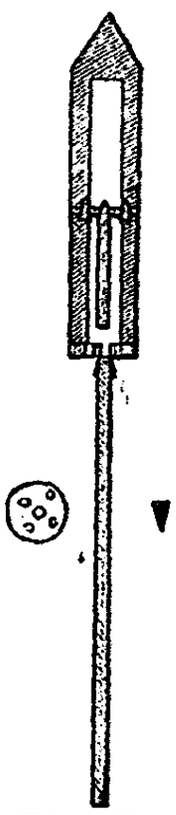


Fig. 168.

Fusées pour projectiles creux sphériques. En France, pour les obus et les bombes sphériques, on emploie une *fusée en bois à quatre évents*. L'enveloppe est formée d'un tronc de cône en bois dur (orme, frêne, noyer, poirier, etc.) soigneusement choisi et parfaitement sain; elle est percée d'un *canal* cylindrique de 6 millimètres de diamètre, s'ouvrant dans l'axe en haut sur la tête de la fusée et latéralement à la partie inférieure. La tête est également percée de quatre trous en croix. On remplit le canal d'une composition fusante particulière, on amorce les *évents* latéraux par des brins de mèche à étoupille, et on bouche le haut du canal avec un tampon en pulvérin.

Lorsqu'on charge la fusée, on relève les mèches de façon à les loger dans les rainures de la tête; on place

ARTIFICES DE GUERRE.

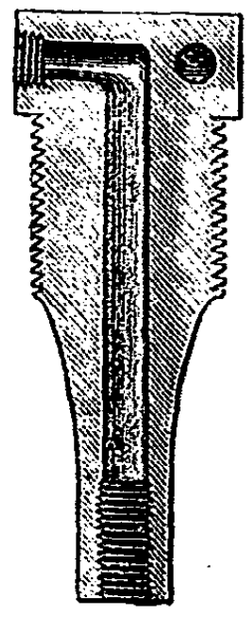
ensuite deux bandes en croix de papier sec, et par-dessus une coiffe en papier frangé, collée sur les bords et maintenue avec un ruban de fil qui entoure la tête de la fusée.

La composition fusante (3 pulvérin, 2 salpêtre, 1 soufre) brûle avec une vitesse de 7,2 millimètres par seconde, et l'enveloppe en bois est graduée extérieurement par des traits circulaires entiers espacés de 7,2 millimètres l'un de l'autre.

Lorsqu'on doit faire usage de la fusée et qu'on connaît le trajet que le projectile doit parcourir avant d'éclater, et par suite la durée nécessaire pour la combustion de la fusée, on perce un trou de vrille au droit de la graduation correspondante, de façon à mettre en communication par ce trou la charge d'éclatement du projectile avec la composition du canal de fusée. La fusée ensuite est fixée sur le projectile au moyen d'une presse à vis et on enlève la coiffe en papier en tirant le bout du ruban de fil qui entoure la tête. Ce sont les gaz de la poudre, passant par le vent du projectile, qui enflamment les brins de mèche et communiquent ainsi le feu à la fusée; celle-ci peut toujours mettre le feu à la charge d'éclatement par son extrémité, alors même qu'on aurait oublié le trou de vrille.

Fusées pour projectiles creux allongés. L'emploi des projectiles creux à la guerre, qu'a rendu prédominant l'usage des canons rayés, projectiles creux d'un volume considérable relativement à celui des projectiles sphériques du même calibre, donne une grande importance à la question des fusées qui servent à enflammer la poudre placée à l'intérieur du projectile et destinée à la faire éclater.

Dans les bouches à feu à âme lisse ou dans le canon rayé français, dans lequel le projectile est guidé par des tenons, la flamme produite par l'explosion de la charge enveloppe complétement le projectile, et par suite met le feu à du pulvérin placé dans un tube placé dans l'œil de celui-ci, système très simple mais insuffisant. On a construit par suite deux autres espèces de fusées: celles dites à *temps*, qui font éclater le projectile au bout d'une certaine portion de sa trajectoire, et celles dites *percutantes*, qui font éclater l'obus au moment de son arrêt brusque contre un obstacle.



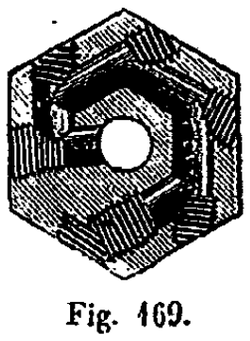


Fig. 169.

Fusées à temps. On appelle ainsi des *fusées hexagonales à deux durées*, en bronze ou laiton, qui se vissent dans leur lumière. (fig. 169) Ces fusées ont un corps fileté partiellement, percé d'un canal longitudinal cylindrique, et une tête hexagonale creusée de six canaux horizontaux, dont cinq sont parallèles aux faces voisines, et le sixième aboutit au canal longitudinal. Celui-ci est garni de poudre à canon écrasée qui brûle à raison de 10 millimètres par seconde; les canaux horizontaux sont chargés avec une composition qui brûle à raison de 4,5^{mm} par seconde. Deux évents, le premier et le troisième, sont munis de calices élargis striés pour mieux retenir le pulvérin formant amorce; on les bouche ensuite avec des rondelles en cuir. Les autres évents, qui ne servent qu'à introduire la composition fusante, sont bouchés aussi, après le chargement, avec des bouchons en cuir. Sur l'évent de la petite distance pour faire arriver de suite le feu au centre est une rondelle en papier rouge marquée 1 400 à 1 600; sur celui de la grande distance est un rectangle en papier blanc marqué 2750 à 2950.

Dans le tir, lorsqu'on veut que l'obus éclate au terme de sa course, on débouche, au moyen du débouchoir, l'évent de la grande distance. Lorsqu'on veut que l'obus éclate entre 1 400 et 1 600 mètres, on débouche en outre l'évent correspondant à cette distance.

Fusées percutantes. Les projectiles munis de fusées percutantes éclatent au moment du choc contre un obstacle, leur disposition étant telle que ce choc enflamme la charge d'éclatement, ce qui offre l'avantage de permettre de rectifier le tir en faisant connaître le point d'arrivée. Le nombre des systèmes différents de fusées de cette classe est considérable. Dans chaque pays, une foule d'inventeurs, artilleurs ou non, se sont occupés de la question; néanmoins les bonnes fusées à percussion sont peu nombreuses. M. Jordan a donné la description de plusieurs d'entre elles, je lui emprunterai la description des fusées employées en France et en Prusse.

Fusée prussienne Cette fusée se compose de plusieurs pièces introduites séparément dans l'œil de l'obus, et surtout du percuteur, de l'amorce et de la broche (fig. 170). Le *percuteur* est un épais cylindre en laiton

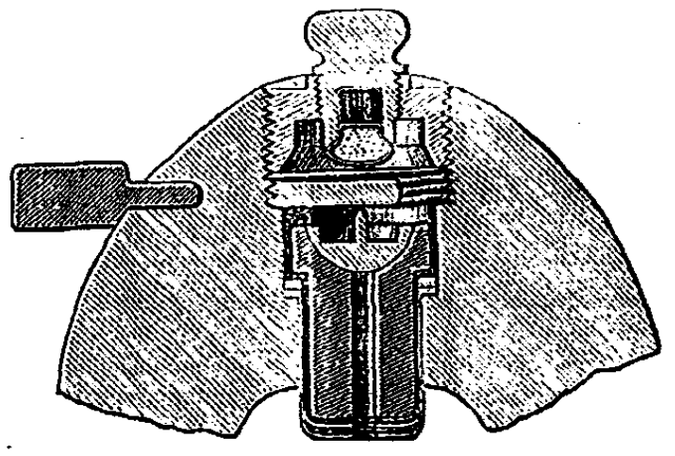


Fig. 170.

traversé d'un canal cylindrique et muni d'un rebord à sa partie supérieure; il porte l'*aiguille*, plaque mince également en laiton, découpée comme le dessin l'indique, et sertie transversalement dans une fente du percuteur, de façon à ne pas obstruer le canal, mais à lui présenter seulement sa faible épaisseur. Le percuteur ne s'appuie pas directement contre la retraite ménagée dans l'œil de l'obus; il est enveloppé dans un godet en laiton mince, qui s'appuie sur cette retraite, et il peut librement glisser dans ce godet. Celui-ci est percé en son milieu d'un trou qui le fait communiquer avec la charge d'éclatement; ce trou est recouvert d'une rondelle en mousseline assujettie par un anneau mince et plat en laiton comme le godet. Cette mousseline empêche les grains de poudre de la charge d'éclatement de s'introduire dans le système: le godet a pour but surtout d'empêcher que la rouille de l'œil en fonte puisse gêner le mouvement du percuteur. L'œil est fermé par la *vis-écrou*, bouchon fileté au centre duquel est un trou également fileté où l'on fixe, au moment du tir, l'amorce de la fusée. Cette amorce se compose de la *vis porte-feu*, bouton en laiton fileté à sa partie inférieure, et dans lequel est assujettie en-dessous, au moyen d'une petite goupille en maillechort, une capsule en cuivre contenant la composition fulminante. Entre la vis écrou et le percuteur se trouve une *broche de sûreté* en plomb, qui traverse la paroi en fonte du projectile et qui s'appuie sur le percuteur, de façon à lui défendre tout mouvement au moment du départ. Dès que l'obus est sorti de la pièce, cette broche s'arrache par l'effet de la force centrifuge à 150 mètres environ, et le percuteur se trouve armé et prêt à frap-

per avec force la capsule au moment où l'obus sera arrêté plus ou moins brusquement dans sa course ; un renflement terminal augmente l'inertie de la broche et assure son arrachement.

Cette fusée, à côté d'un mérite indiscutable, présente des inconvénients assez graves qui entraînent de fréquents ratés. La broche de plomb fonctionne bien et s'arrache toujours. Mais beaucoup de cas de non-éclatement sont dus : 1° à ce qu'au moment du choc la vis porte-feu se tord, de sorte que l'aiguille frappe sur le côté de l'amorce sans l'enflammer ; 2° à ce qu'on place les vis de travers par suite d'une difficulté de vissage due à l'introduction de poussière ou de boue dans les filets ; 3° à ce que, soit par suite d'un arc-boutement, soit par suite de la rouille, le percuteur ne fonctionne pas assez vivement. Cette fusée se compose, en effet, de trop de parties indépendantes les unes des autres.

La plupart des fusées percutantes ressemblent plus ou moins à cette fusée prussienne, et s'en distinguent seulement soit par les dispositions adoptées pour empêcher le jeu accidentel de l'appareil percutant, soit par la disposition employée pour ne mettre l'amorce qu'au moment du tir. Pour empêcher le percuteur de frapper l'amorce, si ce n'est au moment du choc, on a employé ou essayé soit un fil de laiton attaché au corps de fusée et retenant le percuteur, fil qui se casse par le choc, soit une goupille transversale en acier qui est brisée au départ par l'inertie, soit une masselotte en plomb, qui retient l'aiguille, et est détachée par l'inertie au départ, soit une aiguille mobile qui ne s'arme qu'au moment du départ par l'effet de l'inertie. Quant aux amorces, on a essayé soit des boutons massifs qu'on remplace, au moment du tir, par un bouton creux chargé, soit une amorce, excentrée par rapport à l'aiguille, en deux parties, l'une massive, l'autre chargée, et qu'on fait tourner au chargement, soit une amorce cylindrique, sorte de robinet transversal contenant le fulminate dans une cavité.

Fusée de marine. L'artillerie de marine française emploie depuis longtemps des fusées percutantes. On n'emploie plus maintenant que la *fusée à double réaction* (fig. 171). Le corps en bronze se compose d'un cylindre creux surmonté d'un chapeau conique ayant une cavité à sa partie inférieure pour recevoir une capsule, dont l'ouverture, tournée vers la base du projectile, repose sur une feuille de cuivre. Dans la partie cylindrique se trouve un percuteur de même forme et à peu près de même diamètre, terminé par un autre cylindre ayant les dimensions de l'intérieur de la capsule. Ce percuteur est rempli de poudre maintenue par un tampon en bois ; il est libre dans la fusée, et sa course en arrière est limitée par deux goupilles en fer. Lorsque le projectile rencontre un obstacle, le percuteur continue sa marche ; perce la feuille de cuivre et écrase la capsule, qui fait feu, communique l'inflammation à la charge du percuteur, et de là la charge d'éclatement de l'obus. Pour la sécurité, dans plusieurs mécanismes percutants, le percuteur est maintenu par deux tourillons en plomb traversant les parois de la fusée, et qui se rompent au moment du choc initial pour permettre au percuteur de venir reposer sur les goupilles de fer transversales ; dans ce cas, la feuille de cuivre est percée à son centre et ne sert plus qu'à maintenir la capsule. Dans ces fusées, la tête conique est percée d'un trou transversal qui facilite le vissage dans l'œil du projectile.

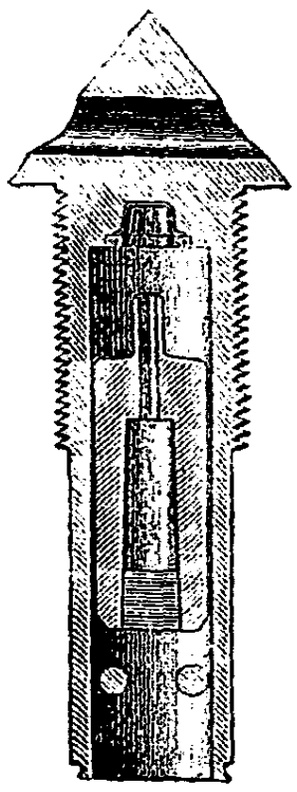


Fig. 171.

Pour le tir sur les blindages en fer, il n'y a pas à s'occuper des fusées ; la chaleur engendrée par le choc est assez grande pour produire l'inflammation de la poudre renfermée à l'intérieur du projectile.

Fusées à concussion. Les obus à balles ou shrapnels, qui sont, comme on sait, destinés à porter la mitraille à grandes distances, doivent, pour que leur effet soit obtenu, éclater en l'air, au devant des troupes ennemies, afin que leurs fragments et les balles de leur charge, continuant à suivre la trajectoire du projectile avec une faible dispersion, viennent frapper le front qu'on veut battre. Ils ne peuvent donc être munis de fusées percutantes : il leur faut des fusées à temps. Lorsque celles-ci peuvent être enflammées par le feu du canon, comme dans les canons français à projectiles non forcés, leur disposition est simple et a déjà été décrite. Lorsque le projectile est forcé, à enveloppe de plomb comme dans les canons prussiens et anglais, qui se chargent par la culasse, la disposition est nécessairement plus compliquée. Il faut se servir du choc au départ, faire partir une amorce par un percuteur, qui devient libre au départ de l'obus, qui rompt par inertie le fil métallique qui le retient, comme il vient d'être dit pour des fusées de la marine, employer la *concussion*, comme disent les Allemands, pour enflammer la composition d'un canal fusant dont la longueur est réglée suivant la distance.

ARTILLERIE. L'artillerie est, à proprement parler, l'application de l'industrie à l'art de la guerre. L'établissement et l'emploi des machines de guerre, tel est le but de la science et de l'art renfermés sous la dénomination d'Artillerie. La possibilité de créer ces machines, de les amener à un haut degré de perfection, de les multiplier avec rapidité, n'appartient qu'à un peuple avancé dans la carrière industrielle. Les derniers progrès accomplis ont montré les relations directes des progrès du travail des métaux et de la construction des canons. Citons les travaux d'Armstrong, de Whitworth, de Krupp, de Petin et Gaudet pour construire de puissantes bouches à feu en fer et en acier. (Voyez BOUCHES A FEU.)

On concevra facilement, d'après ce qui précède, pourquoi, dans une publication technologique, nous avons cru devoir comprendre l'artillerie. L'établissement des armes, les règles qu'il faut suivre dans leur fabrication, constituent un problème de mécanique industrielle semblable à tous les autres ; car, avec la condition accessoire de l'instantanéité nécessaire de l'action, la poudre à canon, comme la vapeur, n'est employée que pour produire un travail utile, qui ici consiste à lancer un corps avec une vitesse déterminée, suffisante pour renverser les obstacles éloignés.

Depuis les travaux de Piobert, que nous aurons occasion d'analyser aux articles BOUCHES A FEU, POUDRE, etc., le problème de l'artillerie, des explosions, est parfaitement déterminé et mieux résolu peut-être que celui de la machine à vapeur ; et ces questions sont d'un intérêt extrême pour toutes les personnes qui étudient la mécanique, indépendamment de celui que méritent les moyens de faire respecter par l'étranger l'indépendance de la patrie.

ARTS MÉCANIQUES. L'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert n'a été, au point de vue de l'analyse des procédés de l'industrie, que d'une très-faible valeur, mais elle a eu le mérite de montrer l'utilité de publications faites dans ce but. C'est ce que Diderot, qui a fait beaucoup d'efforts pour un résultat minime, tech-

ARTS MÉCANIQUES.

niquement parlant, a expliqué dans son bel article sur les ARTS MÉCANIQUES qui mérite d'être conservé et que nous reproduisons ici.

Origine des sciences et des arts. C'est l'industrie de l'homme appliquée aux productions de la nature ou par ses besoins, ou par son luxe, ou par son amusement, ou par sa curiosité, etc., qui a donné naissance aux sciences et aux arts, et ces points de réunion de nos différentes réflexions ont reçu les dénominations de science et art, selon la nature de leurs objets formels, comme disent les logiciens. Si l'objet s'exécute, la collection et la disposition technique des règles selon lesquelles il s'exécute s'appellent *Art*. Si l'objet est contemplé seulement sous différentes faces, la collection et la disposition technique des observations relatives à cet objet s'appellent *Science* : ainsi la métaphysique est une science, et la morale est un art. Il en est de même de la théologie et de la pyrotechnie.

Spéculation et pratique d'un art. Il est évident, par ce qui précède, que tout art a sa spéculation et sa pratique : sa spéculation, qui n'est autre chose que la connaissance inopérative des règles de l'art ; sa pratique, qui n'est que l'usage habituel et non réfléchi des mêmes règles. Il est difficile, pour ne pas dire impossible, de pousser loin la pratique sans la spéculation, et réciproquement de bien posséder la spéculation sans la pratique. Il y a dans tout art un grand nombre de circonstances relatives à la matière, aux instruments et à la manœuvre, que l'usage seul apprend. C'est à la pratique à présenter les difficultés et à donner les phénomènes, et c'est à la spéculation à expliquer les phénomènes et à lever les difficultés : d'où il suit qu'il n'y a guère qu'un artiste sachant raisonner, qui puisse bien parler de son art.

Distribution des arts en libéraux et en mécaniques. En examinant les productions des arts, on s'est aperçu que les unes étaient plus l'ouvrage de l'esprit que de la main, et qu'au contraire d'autres étaient plus l'ouvrage de la main que de l'esprit. Telle est en partie l'origine de la prééminence que l'on a accordée à certains arts sur d'autres, et de la distribution qu'on a faite des arts en arts libéraux et en arts mécaniques. Cette distinction, quoique bien fondée, a produit un mauvais effet, en avilissant des gens très-estimables et très-utiles, et en fortifiant en nous je ne sais quelle paresse naturelle, qui ne nous portait déjà que trop à croire que donner une application constante et suivie à des expériences et à des objets particuliers, sensibles et matériels, c'était déroger à la dignité de l'esprit humain, et que de pratiquer ou même d'étudier les arts mécaniques, c'était s'abaisser à des choses dont la recherche est laborieuse, la méditation ignoble, l'exposition difficile, le commerce déshonorant, le nombre inépuisable, et la valeur minutielle. Préjugé qui tendait à remplir les villes d'orgueilleux raisonneurs et de contemplateurs inutiles, et les campagnes de petits tyrans ignorants, oisifs et dédaigneux. Ce n'est pas ainsi qu'ont pensé Bacon, un des premiers génies de l'Angleterre ; Colbert, un des plus grands ministres de la France ; enfin les bons esprits et les hommes sages de tous les temps. Bacon regardait l'histoire des arts mécaniques comme la branche la plus importante de la vraie philosophie ; il n'avait donc garde d'en mépriser la pratique. Colbert regardait l'industrie des peuples et l'établissement des manufactures, comme la richesse la plus sûre d'un royaume. Au jugement de ceux qui ont aujourd'hui des idées saines de la valeur des choses, celui qui peupla la France de graveurs, de peintres, de sculpteurs et d'artistes en tout genre ; qui surprit aux Anglais la machine à faire des bas, le velours aux Génois, les glaces aux Vénitiens, ne fit guère moins pour l'État que ceux qui battirent des ennemis et leur enlevèrent leurs places fortes ; et aux yeux du philosophe, il y a peut-être plus de mérite réel à avoir fait naître les Le Brun, les Le Sueur et les Audran ; peindre et graver les batailles d'Alexandre, et exécuter en tapisserie les victoires de nos généraux, qu'il n'y en a à les avoir remportées. Mettez dans un des côtés de la balance les avantages réels des sciences les plus sublimes et des arts les plus honorés, et dans l'autre côté ceux des arts mécaniques, et vous trouverez que l'estime qu'on a faite des uns, et celle qu'on a faite des autres, n'ont pas été distribuées dans le juste rapport de ces avantages, et qu'on a bien plus loué les hommes occupés à faire croire que nous étions heureux, que les hommes occupés à faire que nous le fussions en effet. Quelle bizarrerie dans nos jugements! nous exigeons qu'on s'occupe utilement, et nous méprisons les hommes utiles.

But des arts en général. L'homme n'est que le ministre ou l'interprète de la nature ; il n'entend et ne fait qu'autant qu'il a de connaissance, ou expérimentale, ou réfléchie, des êtres qui l'environnent. Sa main nue, quelque robuste, infatigable et souple qu'elle soit, ne peut suffire qu'à un petit nombre d'effets ; elle n'achève de grandes choses qu'à l'aide des instruments et des règles ; il en faut dire autant de l'entendement. Les instruments et les règles sont comme des muscles surajoutés aux bras, et des ressorts accessoires à ceux de l'esprit. Le but de tout art en général ou de tout système d'instruments et de règles conspirant à une même fin est d'imprimer certaines formes déterminées sur une base donnée par la nature, et cette base est ou la matière, ou l'esprit, ou quelque fonction de l'âme, ou quelque production de la nature. Dans les arts mécaniques, auxquels je m'attacherai d'autant plus ici, que les auteurs en ont moins parlé, le pouvoir de l'homme se réduit à rapprocher ou à éloigner les corps naturels. L'homme peut tout ou ne peut rien, selon que ce rapprochement ou cet éloignement est ou n'est pas possible.

Projet d'un traité général des arts mécaniques. Souvent l'on ignore l'origine d'un art mécanique, ou l'on n'a que des connaissances vagues sur ses progrès : voilà les suites naturelles du mépris qu'on a eu dans tous les temps et chez toutes les nations savantes et belliqueuses pour ceux qui s'y sont livrés. Dans ces occasions, il faut recourir à des suppositions philosophiques, partir de quelque hypothèse vraisemblable, de quelque événement premier et fortuit, et s'avancer de là jusqu'où l'art a été poussé. Je m'explique par un exemple que j'emprunterai plus volontiers aux arts mécaniques, qui sont moins connus que les arts libéraux, qu'on a présentés sous mille formes différentes. Si l'on ignorait l'origine et les progrès de la verrerie ou de la papeterie, que ferait un philosophe qui se proposerait d'écrire l'histoire de ces arts? Il supposerait qu'un morceau de linge est tombé par hasard dans un vaisseau plein d'eau, qu'il y a séjourné assez longtemps, et qu'au lieu de trouver au fond du vaisseau, quand il a été vidé, un morceau de linge, on n'a plus aperçu qu'une espèce de sédiment, dont on aurait eu bien de la peine à reconnaître la nature sans quelques filaments qui restaient, et qui indiquaient que la matière première de ce sédiment avait été auparavant sous la forme de linge. Quant à la verrerie, il supposerait que les premières habitations solides que les hommes se soient construites étaient de terre cuite ou de brique. Or, il est impossible de faire cuire de la brique à grand feu, qu'il ne s'en vitrifie quelque partie; c'est sous cette forme que le verre s'est présenté la première fois. Mais quelle distance immense de cette écaille sale et verdâtre, jusqu'à la matière transparente et pure des glaces, etc.? Voilà cependant l'expérience fortuite, ou quelque autre semblable, de laquelle le philosophe partira pour arriver jusqu'où l'art de la verrerie est maintenant parvenu.

Avantages de cette méthode. En s'y prenant ainsi, les progrès d'un art seraient exposés d'une manière plus

ARTS MÉCANIQUES

instructive et plus claire que par son histoire véritable, quand on la saurait. Les obstacles qu'on aurait eu à surmonter pour le perfectionner se présenteraient dans un ordre entièrement naturel, et l'explication synthétique des démarches successives de l'art en faciliterait l'intelligence aux esprits les plus ordinaires, et mettrait les artistes sur la voie qu'ils auraient à suivre pour approcher davantage de la perfection.

Ordre qu'il faudrait suivre dans un pareil traité. Quant à l'ordre qu'il faudrait suivre dans un pareil traité, je crois que le plus avantageux serait de rappeler les arts aux productions de la nature. Une énumération exacte de ces productions donnerait naissance à bien des arts inconnus. Un grand nombre d'autres naîtraient d'un examen circonstancié des différentes faces sous lesquelles la même production peut être considérée. La première de ces conditions demande une connaissance très-étendue de l'histoire de la nature, et la seconde, une très-grande dialectique. Un traité des arts, tel que je le conçois, n'est donc pas l'ouvrage d'un homme ordinaire. Qu'on n aille pas s'imaginer que ce sont ici des idées vaines que je propose, et que je promets aux hommes des découvertes chimériques. Après avoir remarqué, avec un philosophe que je ne me lasse point de louer, parce que je ne me suis jamais lassé de le lire, que l'histoire de la nature est incomplète sans celle des arts, et après avoir invité les naturalistes à couronner leur travail sur les règnes des végétaux, des minéraux, des animaux, etc., par les expériences des arts mécaniques, dont la connaissance importe beaucoup plus à la vraie philosophie, j'oserai ajouter à son exemple : *Ergo rem quam ago, non opinionem, sed opus esse ; eamque non sectæ alicujus, aut placiti, sed utilitatis esse et amplitudinis immensæ fondamenta.* Ce n'est point ici un système; ce ne sont point les fantaisies d'un homme : ce sont les décisions de l'expérience et de la raison, et les fondements d'un édifice immense; et quiconque pensera différemment cherchera à rétrécir la sphère de nos connaissances, et à décourager les esprits. Nous devons au hasard un grand nombre de connaissances; il nous en a présenté de fort importantes que nous ne cherchions pas. Est-il à présumer que nous ne trouverons rien, quand nous ajouterons nos efforts à son caprice, et que nous mettrons de l'ordre et de la méthode dans nos recherches? Si nous possédons à présent des secrets qu'on n'espérait point auparavant, et s'il nous est permis de tirer des conjectures du passé, pourquoi l'avenir ne nous réserverait-il pas des richesses sur lesquelles nous ne comptons guère aujourd'hui? Si l'on eût dit, il y a des siècles, à ces gens qui mesurent la possibilité des choses sur la portée de leur génie, et qui n'imaginent rien au delà de ce qu'ils connaissent, qu'il est une poussière qui brise les rochers, qui renverse les murailles les plus épaisses à des distances étonnantes, qui, renfermée au poids de quelques livres dans les entrailles profondes de la terre, la secoue, se fait jour à travers les masses énormes qui la couvrent, et peut ouvrir un gouffre dans lequel une ville entière disparaîtrait, ils n'auraient pas manqué de comparer ces effets à l'action des roues, des poulies, des leviers, des contrepoids et des autres machines connues, et de prononcer qu'une pareille poussière est chimérique, et qu'il n'y a que la foudre ou la cause qui produit les tremblements de terre, et dont le mécanisme est inimitable, qui soit capable de ces prodiges effrayants. C'est ainsi que le grand philosophe parlait à son siècle et à tous les siècles à venir. Combien (ajouterons-nous à son exemple) le projet de la machine à élever l'eau par le feu, telle qu'on l'exécuta la première fois à Londres, n'aurait-il pas occasionné de mauvais raisonnements, surtout si l'auteur de la machine avait eu la modestie de se donner pour un homme peu versé dans les mécaniques? S'il n'y avait au monde que de pareils estimateurs des inventions, il ne se ferait ni grandes ni petites choses. Que ceux donc qui se hâtent de prononcer sur des ouvrages qui n'impliquent aucune contradiction, qui ne sont quelquefois que des additions très-légères à des machines connues, et qui ne demandent tout au plus qu'un habile ouvrier; que ceux, dis-je, qui sont assez bornés pour juger que ces ouvrages sont impossibles, sachent qu'eux-mêmes ne sont pas assez instruits pour faire des souhaits convenables.

Autre motif de recherches. Mais ce qui doit encore nous encourager dans nos recherches et nous déterminer à regarder avec attention autour de nous, ce sont les siècles qui se sont écoulés sans que les hommes se soient aperçus des choses importantes qu'ils avaient, pour ainsi dire, sous les yeux. Tel est l'art d'imprimer, celui de graver. Que la condition de l'esprit humain est bizarre! S'agit-il de découvrir, il se défie de sa force, il s'embarrasse dans les difficultés qu'il se fait ; les choses lui paraissent impossibles à trouver ; sont-elles trouvées, il ne conçoit plus comment il a fallu les chercher si longtemps, et il a pitié de lui-même.

Différence singulière entre les machines. Après avoir proposé mes idées sur un traité philosophique des arts en général, je vais passer à quelques observations utiles sur la manière de traiter certains arts mécaniques en particulier. On emploie quelquefois une machine très-composée pour produire un effet assez simple en apparence, et d'autres fois une machine très-simple, en effet, suffit pour produire une action fort composée : dans le premier cas, l'effet à produire étant conçu facilement, et la connaissance qu'on en aura n'embarrassant point l'esprit et ne chargeant point la mémoire, on commencera par l'annoncer, et l'on passera ensuite à la description de la machine ; dans le second cas, au contraire, il est plus à propos de descendre de la description de la machine à la connaissance de l'effet. L'effet d'une horloge est de diviser le temps en parties égales, à l'aide d'une aiguille qui se meut uniformément et très-lentement sur un plan ponctué. Si donc je montre une horloge à quelqu'un à qui cette machine était inconnue, je l'instruirai d'abord de son effet, et j'en viendrai ensuite au mécanisme. Je me garderai bien de suivre la même voie avec celui qui me demandera ce que c'est qu'une maille de bas, ce que c'est que du drap, du droguet, du velours, du satin. Je commencerai ici par le détail de métiers qui servent à ces ouvrages. Le développement de la machine, quand il est clair, en fait sentir l'effet tout d'un coup, ce qui serait peut-être impossible sans ce préliminaire. Pour se convaincre de la vérité de ces observations, qu'on tâche de définir exactement ce que c'est que la gaze, sans supposer aucune notion de la machine du gazier.

De la géométrie des arts. On m'accordera sans peine qu'il y a peu d'artistes à qui les éléments des mathématiques ne soient nécessaires ; mais un paradoxe dont la vérité ne se présentera pas d'abord, c'est que ces éléments leur seraient nuisibles en plusieurs occasions, si une multitude de connaissances physiques n'en corrigeaient les préceptes dans la pratique : connaissance des lieux, des positions, des figures irrégulières, des matières, de leurs qualités, de l'élasticité, de la roideur, des frottements, de la consistance, de la durée, des effets de l'air, de l'eau, du froid, de la chaleur, de la sécheresse, etc. Il est évident que les éléments de la géométrie de l'Académie ne sont que les plus simples et les moins composés d'entre ceux de la géométrie des boutiques. Il n'y a pas un levier dans la nature, tel que celui que Varignon suppose dans ses propositions ; il n'y a pas un levier dans la nature dont toutes les conditions puissent entrer en calcul. Entre ces conditions il y en a, et en grand nombre, et de très-essentielles dans l'usage, qu'on ne peut même soumettre à cette partie du calcul qui s'étend jusqu'aux différences les

plus insensibles des quantités, quand elles sont appréciables : d'où il arrive que celui qui n'a que la géométrie intellectuelle est ordinairement un homme assez maladroit; et qu'un artiste, qui n'a que la géométrie expérimentale, est un ouvrier très-borné. Mais il est, ce me semble, d'expérience, qu'un artiste se passe plus facilement de la géométrie intellectuelle qu'un homme, quel qu'il soit, d'une certaine géométrie expérimentale. Toute la matière des frottements est restée, malgré les calculs, une affaire de mathématique expérimentale et manouvrière. Cependant, jusqu'où cette connaissance seule ne s'étend-elle pas? Combien de mauvaises machines ne nous sont-elles pas proposées tous les jours par des gens qui se sont imaginés que les leviers, les roues, les poulies, les câbles, agissent dans une machine comme sur un papier, et qui, faute d'avoir mis la main à l'œuvre, n'ont jamais su la différence des effets d'une machine même, ou de son profil? Une seconde observation que nous ajouterons ici, puisqu'elle est amenée par le sujet, c'est qu'il y a des machines qui réussissent en petit, et qui ne réussissent point en grand, et réciproquement, d'autres qui réussissent en grand, et qui ne réussiraient pas en petit. Il faut, je crois, mettre du nombre de ces dernières toutes celles dont l'effet dépend principalement d'une pesanteur considérable des parties mêmes qui les composent, ou de la violence de la réaction d'un fluide, ou de quelque volume considérable de matière élastique à laquelle ces machines doivent être appliquées. Exécutez-les en petit, le poids des parties se réduit à rien; la réaction du fluide n'a presque plus de lieu; les puissances sur lesquelles on avait compté disparaissent, et la machine manque son effet. Mais s'il y a, relativement aux dimensions des machines, un point, s'il est permis de parler ainsi, un terme où elles ne produisent plus d'effet, il y en a un autre au delà ou en deçà duquel elles ne produisent pas le plus grand effet dont leur mécanisme était capable. Toute machine a, selon la manière de dire des géomètres, un maximum de dimensions : de même que dans la construction, chaque partie considérée par rapport au plus parfait mécanisme de cette partie est d'une dimension déterminée par les autres parties; la machine entière est d'une dimension déterminée, relativement à son mécanisme le plus parfait, par la matière dont elle est composée, l'usage qu'on en veut tirer, et une infinité d'autres causes. Mais quel est, demandera-t-on, ce terme dans les dimensions d'une machine au delà ou en deçà duquel elle est ou trop grande ou trop petite? Quelle est la dimension véritable et absolue d'une montre excellente, d'un moulin parfait, du vaisseau construit le mieux qu'il est possible? C'est à la géométrie expérimentale et manouvrière de plusieurs siècles, aidée de la géométrie intellectuelle la plus déliée, à donner une solution approchée de ces problèmes, et je suis convaincu qu'il est impossible d'obtenir quelque chose de satisfaisant là-dessus de ces géométries séparées, et très-difficile de ces géométries réunies.

De la langue des arts. J'ai trouvé la langue des arts très-imparfaite par deux causes : la disette des mots propres, et l'abondance des synonymes. Il y a des outils qui ont plusieurs noms différents; d'autres n'ont au contraire que le nom générique, *engin*, *machine*, sans aucune addition qui les spécifie; quelquefois la moindre petite différence suffit aux artistes pour abandonner le nom générique et inventer des noms particuliers; d'autres fois, un outil, singulier par sa forme et son usage, ou n'a point de nom, ou porte le nom d'un autre outil avec lequel il n'a rien de commun. Il serait à souhaiter qu'on eût plus d'égard à l'analogie des formes et des usages. Les géomètres n'ont pas autant de noms qu'ils ont de figures; mais, dans la langue des arts, un marteau, une tenaille, une auge, une pelle, etc., ont presque autant de dénominations qu'il y a d'arts. La langue change en grande partie d'une manufacture à une autre.

ARTS MÉCANIQUES.

Cependant je suis convaincu que les manœuvres les plus singulières et les machines les plus composées s'expliqueraient avec un assez petit nombre de termes familiers et connus, si on prenait le parti de n'employer des termes d'art, que quand ils offriraient des idées particulières. Ne doit-on pas être convaincu de ce que j'avance, quand on considère que les machines composées ne sont que des combinaisons de machines simples; que les machines simples sont en petit nombre, et que, dans l'exposition d'une manœuvre quelconque, tous les mouvements sont réductibles, sans aucune erreur considérable, au mouvement rectiligne et au mouvement circulaire? Il serait donc à souhaiter qu'un bon logicien, à qui les arts seraient familiers, entreprit des éléments de la grammaire des arts. Le premier pas qu'il aurait à faire, ce serait de fixer la valeur des corrélatifs, *grand*, *gros*, *moyen*, *mince*, *épais*, *faible*, *petit*, *léger*, *pesant*, etc. Pour cet effet, il faudrait chercher une mesure constante dans la nature, ou évaluer la grandeur, la grosseur et la force moyenne de l'homme et y rapporter toutes les expressions indéterminées de quantité, ou du moins former des tables auxquelles on inviterait les artistes à conformer leurs langues. Le second pas, ce serait de déterminer sur la différence et sur la ressemblance des formes et des usages d'un instrument et d'un autre instrument, d'une manœuvre et d'une autre manœuvre, quand il faudrait leur laisser un même nom et leur donner des noms différents. Je ne doute point que celui qui entreprendra cet ouvrage ne trouve moins de termes nouveaux à introduire que de synonymes à bannir, et plus de difficulté à bien définir des choses communes, telles que *grace* en peinture, *nœud* en passementerie, *creux* en plusieurs arts, qu'à expliquer les machines les plus compliquées. C'est le défaut de définitions exactes, et la multitude, et non la diversité des mouvements dans les manœuvres, qui rendent les choses des arts difficiles à dire clairement. Il n'y a de remède au second inconvénient, que de se familiariser avec les objets; ils en valent bien la peine, soit qu'on les considère par les avantages qu'on en tire, ou par l'honneur qu'ils font à l'esprit humain. Dans quel système de physique ou de métaphysique remarque-t-on plus d'intelligence, de sagacité, de conséquence, que dans les machines à filer l'or, faire des bas, et dans les métiers de passementiers, de gaziers, de drapiers ou d'ouvriers en soie? Quelle démonstration de mathématique est plus compliquée que le mécanisme de certaines horloges, ou que les différentes opérations par lesquelles on fait passer ou l'écorce du chanvre, ou la coque du ver, avant d'en obtenir un fil qu'on puisse employer à l'ouvrage? Quelle projection plus belle, plus délicate et plus singulière que celle d'un dessin sur les cordes d'un sample, et des cordes du sample sur les fils d'une chaîne? Qu'a-t-on imaginé, en quel genre que ce soit, qui montre plus de subtilité que le chiner des velours? Je n'aurais jamais fait, si je m'imposais la tâche de parcourir toutes les merveilles qui frapperont, dans les manufactures, ceux qui n'y porteront pas des yeux prévenus ou des yeux stupides.

Je m'arrêterai, avec le philosophe anglais, à trois inventions, dont les anciens n'ont point eu connaissance, et dont, à la honte de l'histoire et de la poésie modernes, les noms des inventeurs sont presque ignorés : je veux parler de l'art d'imprimer, de la découverte de la poudre à canon, et de la propriété de l'aiguille aimantée. Quelle révolution ces découvertes n'ont-elles pas occasionnée dans la république des lettres, dans l'art militaire et dans la marine? L'aiguille aimantée a conduit nos vaisseaux jusqu'aux régions les plus ignorées; les caractères typographiques ont établi une correspondance de lumières entre les savants de tous les lieux et de tous les temps à venir, et la poudre à canon a fait naître tous ces chefs-d'œuvre d'architecture qui dé-

fendent nos frontières et celles de nos ennemis; ces trois arts ont presque changé la face de la terre.

Rendons enfin aux artistes la justice qui leur est due. Les arts libéraux se sont assez chantés eux-mêmes; ils pourraient employer maintenant ce qu'ils ont de voix à célébrer les arts mécaniques. C'est aux arts libéraux à tirer les arts mécaniques de l'avilissement où le préjugé les a tenus si longtemps; c'est à la protection des rois à les garantir d'une indigence où ils languissent encore. Les artisans se sont crus méprisables, parce qu'on les a méprisés; apprenons-leur à mieux penser d'eux-mêmes, c'est le seul moyen d'en obtenir des productions plus parfaites. Qu'il sorte du sein des académies quelque homme qui descende dans les ateliers, qui y recueille les phénomènes des arts, et qui nous les expose dans un ouvrage qui détermine les artistes à lire, les philosophes à penser utilement, et les grands à faire un usage utile de leur autorité et de leurs récompenses.

Un avis que nous oserons donner aux savants, c'est de pratiquer ce qu'ils nous enseignent eux-mêmes, qu'on ne doit pas juger des autres avec trop de précipitation, ni proscrire une invention comme inutile, parce qu'elle n'aura pas dans son origine tous les avantages qu'on pourrait en exiger. Montaigne, cet homme d'ailleurs si philosophe, ne rougirait-il pas s'il revenait parmi nous, d'avoir écrit : « Que les armes à feu sont de si peu d'effet, sauf l'étonnement des oreilles, à quoi chacun est désormais apprivoisé, qu'il espère qu'on en quittera l'usage. » N'aurait-il pas montré plus de sagesse à encourager les arquebusiers de son temps à substituer à la mèche et au rouet quelque machine qui répondit à l'activité de la poudre, et plus de sagacité à prédire que cette machine s'inventerait un jour? Mettez Bacon à la place de Montaigne, et vous verrez ce premier considérer en philosophe la nature de l'agent et prophétiser, s'il m'est permis de le dire, les grenades, les mines, les canons, les bombes, et tout l'appareil de la pyrotechnie militaire.

Mais Montaigne n'est pas le seul philosophe qui ait porté sur la possibilité ou l'impossibilité des machines un jugement précipité. Descartes, ce génie extraordinaire, né pour égarer et pour conduire, et d'autres qui valaient bien l'auteur des *Essais*, n'ont-ils pas prononcé que le miroir d'Archimède était une fable? Cependant ce miroir est exposé à la vue de tous les savants au jardin du roi, et les effets qu'il y opère entre les mains de M. de Buffon qui l'a retrouvé ne nous permettent plus de douter de ceux qu'il opérait sur les murs de Syracuse entre les mains d'Archimède. De si grands exemples suffisent pour nous rendre circonspects.

Nous invitons les artistes à prendre de leur côté conseil des savants, et à ne pas laisser périr avec eux les découvertes qu'ils feront. Qu'ils sachent que c'est se rendre coupable d'un larcin envers la société, que de renfermer un secret utile, et qu'il n'est pas moins vil de préférer en ces occasions l'intérêt d'un seul à l'intérêt de tous, qu'en cent autres où ils ne balanceraient pas eux-mêmes à prononcer. S'ils se rendent communicatifs, on les débarrassera de plusieurs préjugés, et surtout de celui où ils sont presque tous, que leur art a acquis le dernier degré de perfection. Leur peu de lumières les expose souvent à rejeter sur la nature des choses un défaut qui n'est qu'en eux-mêmes. Les obstacles leur paraissent invincibles dès qu'ils ignorent les moyens de les vaincre. Qu'ils fassent des expériences, que dans ces expériences chacun y mette du sien, que l'artiste y soit pour la main-d'œuvre, l'académicien pour les lumières et les conseils, et l'homme opulent pour le prix des matières, des peines et du temps, et bientôt nos arts et manufactures auront sur celles des étrangers toute la supériorité que nous désirons.

De la supériorité d'une manufacture sur une autre. Mais ce qui donnera la supériorité à une manufacture sur une autre, ce sera surtout la bonté des matières qu'on y emploiera, jointe à la célérité du travail et à la perfection de l'ouvrage. Quant à la bonté des matières, c'est une affaire d'inspection; pour la célérité du travail et la perfection de l'ouvrage, elles dépendent entièrement de la multitude des ouvriers rassemblés. Lorsqu'une manufacture est nombreuse, chaque opération occupe un homme différent. Tel ouvrier ne fait et ne fera de sa vie qu'une seule et unique chose, tel autre une autre chose, d'où il arrive que chacune s'exécute bien et promptement, et que l'ouvrage le mieux fait est encore celui qu'on a à meilleur marché. D'ailleurs le goût et la façon se perfectionnent nécessairement entre un grand nombre d'ouvriers, parce qu'il est difficile qu'il ne s'en rencontre quelques-uns capables de réfléchir, de combiner et de trouver enfin le seul moyen qui puisse les mettre au-dessus de leurs semblables, le moyen ou d'épargner la matière, ou d'allonger le temps, ou de surfaire l'industrie, soit par une machine nouvelle, soit par une manœuvre plus commode. Si les manufactures étrangères ne l'emportent pas sur nos manufactures de Lyon, ce n'est pas qu'on ignore ailleurs comment on travaille là, on a partout les mêmes métiers, les mêmes soies, et à peu près les mêmes pratiques; mais ce n'est qu'à Lyon qu'il y a 30,000 ouvriers rassemblés et s'occupant tous de l'emploi de la même matière. Nous pourrions encore allonger cet article, mais ce que nous venons de dire, joint à ce qu'on trouvera dans notre discours préliminaire, suffira pour ceux qui savent penser, et nous n'en aurions jamais assez dit pour les autres. On y rencontrera peut-être des endroits d'une métaphysique un peu forte; mais il était impossible que cela fût autrement. Nous avions à parler de ce qui concerne l'art en général; nos propositions devaient donc être générales; mais le bon sens dit qu'une proposition est d'autant plus abstraite, qu'elle est plus générale, l'abstraction consistant à étendre une vérité en écartant de son énonciation les termes qui la particularisent. Si nous avions pu épargner ces épines au lecteur, nous nous serions épargné bien du travail à nous-mêmes. DIDEROT.

ASBESTE. Voyez AMIANTE.

ASPHALTE. Voyez BITUME.

ASSEMBLAGES. Voyez CHARPENTE.

ASTICOTS. On nomme ainsi les larves qui se développent dans les viandes et qui proviennent des œufs que plusieurs espèces de mouches y déposent. On s'en est servi de tous temps, comme amorce, pour la pêche à la ligne; depuis quelques années seulement, on les emploie avec le plus grand succès pour engraisser les volailles. Sous l'influence de cette nourriture, elles acquièrent en peu de temps un embonpoint tout à fait surprenant. Quelques personnes prétendent que la graisse et la chair des volailles, nourries de cette manière, contractent une mauvaise odeur; si cela est vrai, rien n'est plus facile que de la faire disparaître; il suffit pour cela de ne leur donner que du grain pendant les deux ou trois jours qui précèdent leur mise à mort.

Pour les faire naître et les récolter aux environs de Paris, on étale sur le sol, au midi et à l'abri du vent, les chairs, les muscles et particulièrement les intestins provenant de l'équarrissage des chevaux, de manière à en former une couche de 0m,15 à 0m,20 d'épaisseur, sur laquelle on jette quelques poignées de paille, pour prévenir une dessiccation trop prompte; si la couche était trop épaisse, la fermentation développerait dans la masse une chaleur trop forte qui, jointe à l'ammoniaque qui se dégage, en éloignerait les mouches ou tuerait les larves au fur et à mesure de leur naissance. Bientôt trois espèces de mouches à viande, connues sous les noms de *musca cæsar*, *musca carnaria*, *musca vivipara* s'insinuant à travers les brins de paille, viennent déposer leurs œufs ou leurs petits sur ces matières animales, à la place desquelles on ne trouve plus au bout de quelques jours,

qu'une masse mouvante composée de myriades de vers, et de quelques détritus de matières animales; on sépare à la main ou avec le râteau les plus gros de ces détritus; on ramasse les asticots avec une pelle de bois; on les mesure comme du grain, et on les expédie dans des sacs de la capacité d'un à trois hectolitres. Quoique l'odeur que dégagent ces exploitations soit extrêmement infecte et désagréable, ce qui devra toujours faire reléguer à une grande distance de tout lieu habité les emplacements destinés à la production des asticots, il est à remarquer qu'elle n'est aucunement nuisible à la santé, et que tous les ouvriers qui vivent journellement au milieu de ces odeurs n'en sont nullement incommodés.

ATOMES, POIDS ATOMIQUES. L'expérience a démontré que : 1° Lorsque deux corps sont susceptibles de former ensemble différents composés, cela a toujours lieu de telle sorte que, pour une même quantité de l'un des corps, les diverses quantités de l'autre corps sont en rapport simple; ainsi, 345,9 de manganèse se combinent avec 100, 150, 200, 300 et 350 parties en poids d'oxygène pour former 3 oxydes et 2 acides; c'est là la loi des proportions multiples.

2° Dans les sels neutres, le rapport de la quantité d'oxygène contenue dans l'acide à celle contenue dans la base est constant; ainsi, dans les nitrates, il est de 5 : 1; dans les sulfates de 3 : 1; dans les phosphates de 5 : 3; etc... Il y a cependant quelques exceptions où l'on trouve un rapport multiple; ainsi, on trouve des phosphates dans lesquels le rapport ci-dessus est : : 5 : 2, ou : : 5 : 1; cela tient dans ce cas à une modification de l'acide, qui, quoique lui ayant conservé la même composition, a changé ses propriétés, de sorte qu'on peut le considérer comme un nouvel acide.

3° Si en partant de la base salifiable ou du protoxyde pour les oxydes, et de la composition des acides pour ceux-ci, on détermine les équivalents des différents corps simples, c'est-à-dire les quantités de ces corps en poids qui s'unissent à 100 d'oxygène pour former des composés bien définis; on trouve ultérieurement que les composés binaires ou multiples, formés par ces différents corps entre eux, s'obtiennent par la réunion d'un certain nombre d'équivalents en rapport simple des composants; cette loi porte le nom de loi des proportions définies. On peut s'en servir pour déterminer les équivalents de nouveaux corps; ainsi l'eau se compose de 88,9 en poids d'oxygène, et de 11,1 d'hydrogène, d'où l'on tire pour équivalent de l'hydrogène $11,1 \times \frac{100}{88,9} = 12,48$; l'acide hydrochlorique se compose de 2,74 d'hydrogène, et de 97,26 de chlore, d'où l'on tirera, pour l'équivalent du chlore, $97,26 \times \frac{12,48}{2,74} = 442,6$. Quelque soit du reste le composé dont l'on se sert pour déterminer l'équivalent d'un corps, si on arrive pour le même corps à des résultats différents, les équivalents obtenus seront multiples ou sous-multiples les uns des autres.

4° Lorsque les corps qui se combinent sont gazeux, les volumes des combinaisons sont en rapport simple, et s'il y a contraction, elle a ordinairement lieu dans un rapport simple avec les volumes des gaz composants; ainsi 1 vol. d'oxygène et 2 vol d'hydrogène en se combinant donnent 2 vol. de vapeur d'eau; 2 volumes d'hydrogène et 2 volumes de chlore se combinent sans condensation et donnent 4 volumes d'acide hydrochlorique, etc.

Si maintenant nous supposons que les molécules constituantes ou *atomes* des corps simples réduits à l'état gazeux occupent le même volume, ces atomes se combineront entre eux en proportions simples et seront représentés soit par les équivalents eux-mêmes, soit par des multiples ou sous-multiples de ces équivalents; ainsi le poids atomique de l'hydrogène sera la moitié de son équivalent ou 6,24, etc. Les atomes des corps simples étant une fois déterminés, l'analyse de leurs composés permettra facilement d'en déduire le poids de leurs atomes; comme tous les corps ne sont pas susceptibles de se réduire à l'état gazeux, on s'est servi des deux lois suivantes pour déterminer dans la plupart des cas où il y avait doute, celui des multiples de l'équivalent que l'on devait admettre pour le *poids atomique*.

1° *Loi de l'isomorphisme*. Tous les corps qui ont une composition atomique analogue affectent la même forme cristalline; ainsi, par exemple, les sels d'alumine et d'oxyde de chrôme étant *isomorphes* avec ceux de peroxyde de fer, et ce dernier ayant pour formule Fe^2O^3, on adoptera pour représenter l'alumine et l'oxyde de chrôme les formules Al^2O^3, Cr^2O^3, ce qui d'après la connaissance de leur composition permettra de déterminer les poids des atomes d'aluminium et de chrôme.

2° *Loi des chaleurs spécifiques*. Dulong et Petit ont reconnu que le produit du poids atomique d'un corps simple par sa capacité pour la chaleur, était constant, de sorte que la chaleur spécifique des atomes des corps simples est la même. Ainsi on est conduit d'après cette loi à prendre pour atome de l'argent 675,5 au lieu de 1351 que l'on admettait généralement, et alors à représenter l'oxyde d'argent par Ag^2O au lieu de AgO. Cette loi a encore été vérifiée plus tard par Regnault qui a en outre découvert qu'elle était vraie pour les corps composés renfermant le même élément électro négatif ou le même acide, et pouvait dans ce cas s'énoncer ainsi : *le produit des poids atomiques de corps composés renfermant le même élément électro-négatif, par leurs chaleurs spécifiques, est un nombre constant et différent pour chaque série de composés ayant l'élément électro-négatif différent*.

On représente les atomes des corps simples par leurs initiales, et dans une combinaison, on met en exposant le nombre d'atomes de chaque composant; ainsi l'acide nitrique composé de 2 atomes d'azote et de 5 at. d'oxygène sera représenté par la formule Az^2O^5. Les sels s'indiquent en interposant le signe + entre les atomes de l'acide et de la base; ainsi le nitrate de potasse aura pour formule $Az^2O^5 + KO$. Très souvent on double l'atome d'un corps en le barrant horizontalement, ex : Az représente 2 at. d'azote; on marque souvent les atomes d'oxygène par des points que l'on met au-dessus du corps oxydé : ainsi $\dot{A}z$ représente l'acide nitrique; $\dot{A}z\,\dot{K}$ le nitrate de potasse. A cause de l'analogie que présentent les combinaisons du soufre avec celles de l'oxygène, on indique souvent les atomes de soufre par des virgules au lieu de points comme dans le cas précédent; ainsi $\dot{H}$ ou H^2S est l'hydrogène sulfuré.

Comme dans les arts chimiques, il est très important pour arriver sans tâtonnements à des réactions complètes de connaître les poids atomiques des différents corps, nous jugeons indispensable de donner ici les tables suivantes :

POIDS ATOMIQUES DES CORPS SIMPLES.

Corps simples.	Formules.	Poids des atomes.
Aluminium.	Al	171,167
Antimoine.	Sb	806,452
Argent.	Ag	1351,607
Arsenic.	As	470,042
Azote.	N ou Az	88,518
Baryum.	Ba	856.880
Bismuth.	Bi	1330,376
Bore.	B	135,983
Brôme.	Br	489,150
Cadmium.	Cd	696,767

POIDS ATOMIQUES DES CORPS SIMPLES (*suite*).

Corps simples.	Formules.	Poids des atomes.	Corps simples.	Formules.	Poids des atomes.
Calcium	Ca	256,019	Oxigène	O	100,000
Carbone	C	75,000	Palladium	Pd	714,618
Cérium	Ce	574,718	Phosphore	P	196,155
Chlore	Cl	221,325	Platine	Pt	1215,220
Chrôme	Cr	351,819	Plomb	Pb	1294,498
Cobalt	Co	368,991	Potassium	K	489,916
Cuivre	Cu	395,695	Rhodium	R	750,680
Étain	Sn	735,294	Sélénium	Se	494,582
Fer	Fe	339,213	Silicium	Si	277,478
Fluor	F	116,900	Sodium	Na	290,897
Glucinium	Be ou G	331,479	Soufre	S	201,165
Hydrogène	H	6,2398	Strontium	Sr	547,285
Iode	I	768,781	Tantale	Ta	1152,715
Iridium	Ir	1233,260	Tellure	Te	806,452
Lithium	L	127,757	Thorium	Th	744,900
Magnésium	Mg	158,353	Titane	Ti	389,092
Manganèse	Mn	345,900	Tungstène	W	1183,196
Mercure	Hg	1265,822	Urane	U	2711,360
Molybdone	Mo	598,525	Vanadium	V	855,840
Nickel	Ni	369,675	Yttrium	Y	401,840
Or	Au	1243,013	Zinc	Zn	403,226
Osmium	Os	1244,210	Zirconium	Zr	420,238

Nous ferons suivre cette table de la suivante, où nous donnons les poids atomiques des principaux composés binaires, à l'aide desquels on pourra former au besoin ceux qui ne se trouveraient pas dans la table.

POIDS ATOMIQUES DES PRINCIPAUX COMPOSÉS BINAIRES.

Noms des composés.	Formules.	Poids atomiques.	Noms des composés.	Formules.	Poids atomiques.
Alumine	$Al^2 O^3$	642,334	Magnésie	Mg O	258,353
Ammoniaque	$Az^2 H^6$	214,474	Protoxyde de manganèse	Mn O	445,900
Oxyde d'antimoine	$Sb^2 O^3$	1912,904	Deutoxyde de manganèse	$Mn^2 O^3$	991,800
Acide antimonieux	$Sb^2 O^4$	2012,904	Peroxyde de manganèse	$Mn O^2$	545,900
Acide antimonique	$Sb^2 O^5$	2112,904	Acide manganique	$Mn^2 O^5$	1191,800
Oxyde d'argent	Ag O	1451,607	Acide hypermanganique	$Mn^2 O^7$	1391,800
Acide arsénieux	$As^2 O^3$	1240,084	Protoxyde de mercure	$Hg^2 O$	2631,645
Acide arsénique	$As^2 O^5$	1440,084	Deutoxyde de mercure	Hg O	1365,822
Protoxyde d'azote	$Az^2 O$	277,036	Acide molybdique	$Mo O^3$	898,525
Deutoxyde d'azote	Az O	188,518	Oxyde de nickel	Ni O	469,675
Baryte	Ba O	956,880	Acide nitreux	$Az^2 O^3$	477,036
Oxyde de bismuth	$Bi^2 O^3$	2960,752	Acide nitrique	$Az^2 O^5$	677,036
Acide borique	$B^2 O^6$	871,966	Protoxyde d'or	$Au^2 O$	2586,026
Oxyde de cadmium	Cd O	796,767	Deutoxyde d'or	$Au^2 O^3$	2786,026
Oxyde de carbone	CO	175,000	Acide oxalique	$C^2 O^3$	450,000
Acide carbonique	CO^2	275,000	Acide phosphorique	$P^2 O^5$	892,310
Oxydule de cérium	Ce O	674,718	Oxyde de platine	$Pt O^2$	1415,220
Oxyde de cérium	$Ce^2 O^3$	1449,436	Protoxyde de plomb	Pb O	1394,498
Chaux	Ca O	356,019	Litharge	$Pb^2 O^3$	2888,996
Acide chlorique	$Cl^2 O^5$	942,650	Peroxyde de plomb (oxyde puce)	$Pb O^2$	1494,498
Acide perchlorique	$Cl^2 O^7$	1142,650	Potasse	K O	589,916
Oxyde de chrôme	$Cr^2 O^3$	1003,638	Peroxyde de potassium	$K O^3$	789,916
Acide chrômique	Cr O^3	651,819	Oxyde de rhodium	$R^2 O^3$	1801,360
Oxyde de cobalt	Co O	468,991	Acide sélenieux	$Se O^3$	694,582
Peroxyde de cobalt	$Co^2 O^3$	1037,982	Acide silicique	$Si O^2$	577,478
Oxydule de cuivre	$Cu^2 O$	801,390	Soude	Na O	390,897
Oxyde de cuivre	Cu O	495,695	Peroxyde de sodium	$Na^2 O^3$	881,794
Cyanogène	$Az^2 C^2$ ou Cy^2	327,036	Strontiane	Sr O	647,285
Eau	$H^2 O$	112,479	Acide hyposulfureux	S O	301,165
Oxyde d'étain	Sn O	835,294	Acide sulfureux	$S O^2$	401,165
Acide stannique	Sn O^2	935,294	Acide hyposulfurique	$S^2 O^5$	902,330
Protoxyde de fer	Fe O	439,213	Acide sulfurique	$S O^3$	501,165
Peroxyde de fer	$Fe^2 O^3$	978,426	Acide tantalique	$Ta^2 O^3$	2607,430
Glucine	$Be^2 O^3$	962,958	Acide tellureux	$Te O^2$	1006,452
Acide hydrochlorique	$H^2 Cl^2$	455,129	Thorine	$Th^2 O$	1589,800
Acide hydrocyanique	$H^2 Az^2 C^2$	339,515	Acide titanique	$Ti O^2$	589,092
Acide hydrosulfurique	$H^2 S$	213,644	Acide tungstique	$W O^3$	1483,200
Acide iodique	$I^2 O^5$	2037,562	Oxydule d'urane	U O	801,390
Lithine	L O	227,757			

POIDS ATOMIQUES DES PRINCIPAUX COMPOSÉS BINAIRES (*suite*).

Noms des composés.	Formules.	Poids atomiques.
Oxyde jaune d'urane.	$U^2 O^3$	5722,720
Acide vanadique. . .	$V O^3$	1155,840
Yttria.	Y O	501,840
Oxyde de zinc. . . .	Zn O	502,226
Zircone.	$Zr^2 O^3$	1140,476
Sulfate de potasse. . .	$So^3 Ko$	1091,084
Sulf. de protox. de fer.	$SO^3 Fe O$ ou $\dot{S} Fe$	940,376
Sulf. de perox. de fer.	$3S O^3 + Fe^2 O^3$	2481,906
Protochlorure de fer.	$Fe Cl^2$	781,863
Perchlorure de fer. . .	$Fe^2 Cl^6$	2006,376
Protochlorure de mercure (calomel). . . .	$Hg^2 Cl^2$	2974,295
Perchlorure de mercure (sublimé corrosif).	$Hg Cl^2$	1708,472
Bleu de Prusse. . . .	$2Az^3 C^3 K + Az^2 C^2 Fe$	2308,778
Alun.	$\dddot{S} K + \dddot{S}^3 \dddot{A}l + 24 \dot{H}$	5936,406
Feldspath.	$\dddot{S}i \dddot{K} + \dddot{S}i^3 \dddot{A}l$	3542,162

Nous terminerons en disant en quoi consiste la *notation minéralogique*, qui est aussi très-souvent employée, à cause de sa simplicité, et qui diffère de la précédente: en ce que l'on n'exprime pas les quantités d'oxygène contenues dans les oxydes et acides, et qu'on se contente seulement d'indiquer, par des exposants, leurs rapports dans chacun des éléments binaires qui se combinent ensemble pour former des sel simples ou multiples; ainsi, par exemple, l'alun, dont la formule chimique est $\dddot{S} \dot{K} + \dddot{S}^3 \dddot{A}l + 24 \dot{H}$, a pour formule minéralogique $KS^3 + 3AS^3 + 24Aq$, et celle du feldspath est $KSi^3 + 3AlSi^3$.

Poids atomiques pour H = 1. Les progrès de la chimie organique, où l'hydrogène, le carbone, l'oxygène et l'azote sont les seuls éléments en jeu, ont conduit à l'étude de composés multipliés à l'infini, dans lesquels l'oxygène ne joue plus le rôle prépondérant qu'il remplit dans la chimie minérale et qui était l'objectif principal des travaux de Berzélius. On a été ainsi conduit à prendre pour unité le poids atomique de l'hydrogène, qui donne des nombres simples pour les poids atomiques des éléments avec lesquels il se rencontre dans les composés organiques et à prendre de nouveau en considération la loi émise par Prout en 1815, à savoir que les poids atomiques de tous les corps devaient être des multiples exacts de celui de l'hydrogène. L'idée d'une matière unique primordiale, constituant les atomes divers, était au fond de l'hypothèse de Prout et c'est une notion dont les progrès de la science ont plutôt rapproché qu'éloigné les penseurs. En faisant rentrer dans cette grande loi un assez grand nombre de corps simples, Dumas a montré que ceux qui n'y rentraient pas s'en éloignaient bien peu, si on prenait pour unité un sous-multiple de l'hydrogène 0,50 par exemple ou même 0,25, ce qui est peut-être admissible, mais rend les résultats d'expérience de peu de valeur pour démontrer le principe, vu les limites infranchissables de la précision des déterminations expérimentales et le faible poids atomique de l'hydrogène par rapport à ceux de la plupart des corps. Ce point de vue, d'ailleurs, n'est que d'importance secondaire pour les travaux des chimistes, les affinités n'étant pas proportionnelles au poids des atomes, et ceux-ci devant être considérés comme les centres des forces qui donnent naissance aux combinaisons, forces dont le travail se révèle par les phénomènes calorifiques qui apparaissent alors.

Nous donnons ci-après le tableau des principaux poids atomiques, d'après des déterminations faites avec le plus grand soin, et en tenant compte des atomicités, c'est-à-dire du nombre minimum d'atomes d'un corps entrant en combinaison; telle est la diatomicité admise pour l'oxygène qui se combine à deux atomes d'hydrogène pour engendrer l'eau.

Corps.	Poids atomiques.	Corps.	Poids atomiques.
Hydrogène. . .	1	Fer	56
Bore.	11	Nickel.	58
Carbone. . . .	12	Cobalt.	59
Azote.	14,044	Cuivre.	63,5
Oxygène. . . .	16	Zinc.	67
Fluor.	19	Arsenic. . . .	75
Sodium. . . .	23,043	Brome.	79,95
Magnésium. . .	24	Argent	107,93
Aluminium. . .	27,5	Etain	118
Silicium. . . .	28	Antimoine . . .	120
Phosphore. . .	31	Iode.	126,85
Soufre. . , . .	32	Barium. . . .	137,2
Chlore.	35,45	Tungstène. . .	184
Potassium. . .	39	Or.	197
Calcium. . . .	40	Platine	198
Titane.	50	Mercure. . . .	200
Chrôme. . . .	52,40	Plomb.	207
Manganèse . . .	55,20	Bismuth. . . .	210

AUNAGE. Ce mot désigne, à proprement parler, le *mesurage des étoffes par aune* (ancienne mesure), mais on l'emploie généralement pour déterminer l'opération *du mesurage au mètre*, qui est la mesure légale aujourd'hui.

Au résumé, l'*aunage* consiste à mesurer *au mètre courant* ou *mètre de cours* qui se prend sur la longueur de l'étoffe, sans considérer sa largeur. Dans tout le commerce, l'usage est encore d'*auner* à la main, malgré l'invention de plusieurs machines assez simples pour effectuer cette opération.

AUTOGRAPHIE. Voy. LITHOGRAPHIE.

AUTOMATE (*angl.* automaton, *all.* automate). Dans le sens étymologique, ce mot (se mouvant de soi-même) sert à désigner toute construction mécanique qui, au moyen d'une force intérieure cachée et invisible à l'extérieur, est susceptible d'exécuter, pendant un temps limité, certains mouvements ayant plus ou moins de ressemblance avec ceux des êtres animés. Sous le rapport de la continuité du mouvement, les horloges, montres, planétaires et tournebroches, de même qu'un nombre immense de machines actuellement employées dans nos manufactures sont de véritables automates. Mais la dénomination d'*automate* est, dans le langage vulgaire, particulièrement appliquée à une classe de machines dans lesquelles un mécanisme caché a pour but d'imiter les mouvements volontaires des créatures vivantes.

Quoique, comme nous venons de le dire, on ne puisse pas, à proprement parler, ranger les horloges dans la classe des automates, on est néanmoins en droit de penser que c'est l'horlogerie, au fur et à mesure de son perfectionnement progressif et de son extension, qui a donné naissance à la construction des automates. La plupart de ceux-ci, dans leur structure intérieure, aussi bien que dans le mode d'appliquer le pouvoir moteur, ont une analogie frappante avec les horloges, et se montent presque toujours de la même manière que les montres. Vers la fin du XIIIe siècle, plusieurs horloges, et entre autres celles de Strasbourg, de Lubeck, de Prague, et d'Olmutz, faisaient déjà mouvoir des mécanismes remarquables. On peut aisément en juger par un des plus célèbres, celui de la cathédrale de Strasbourg, que M. Schwilgué a restauré si admirablement. L'enquête historique la plus soigneuse prouve que l'invention des automates proprement dits n'est certainement pas antérieure à celle des horloges à engrenages, et que les combinaisons les plus parfaites en ce genre

AUTOMATE.

sont postérieures à l'introduction générale des ressorts de pendules. Plusieurs relations d'anciens automates, tels que la colombe volante d'Archytas de Tarente, les mouches en fer de Regiomontanus, et l'aigle qui vola devant l'empereur Maximilien, dans Nuremberg, en l'année 1470, sont des déceptions ou des récits exacts.

Des automates du célèbre mécanicien français *Vaucanson* excitèrent au plus haut point l'admiration publique dans le courant du siècle dernier. Bien que ces œuvres de pure curiosité soient peu estimées de nos jours, où les efforts des mécaniciens se portent de préférence vers la construction des utiles machines de nos ateliers, nous reproduirons ici la majeure partie du mémoire publié en 1738, dans lequel Vaucanson a décrit son *Joueur de flûte*. En montrant les ressources de la mécanique, ce grand inventeur a eu une grande influence sur les progrès de la construction des machines des ateliers industriels, auxquels il a d'ailleurs efficacement contribué par ses machines pour le travail de la soie et son métier à tisser automatiquement. C'est une pièce capitale dans l'histoire de l'industrie française qui doit être conservée.

Flûteur de Vaucanson. La figure, de cinq pieds et demi de hauteur environ (la sculpture était de Coysevox), est assise sur un bout de rocher, et placée sur un piédestal carré, de quatre pieds et demi de haut sur trois pieds et demi de large (fig. 172).

Fig. 172.

A la face antérieure du piédestal (le panneau étant ouvert), on voit à la droite un mouvement, qui, à la faveur de plusieurs roues, fait tourner en-dessous un axe d'acier de deux pieds six pouces de long, coudé en six endroits dans sa longueur par égale distance, mais en sens différents. A chaque coude sont attachés des cordons qui aboutissent à l'extrémité des panneaux supérieurs de six soufflets de deux pieds et demi de long sur six pouces de large, rangés dans le fond du piédestal, où leur panneau inférieur est attaché à demeure; de sorte que, l'axe tournant, les six soufflets se haussent et s'abaissent successivement les uns après les autres.

A la face postérieure, au-dessus de chaque soufflet est une double poulie, dont les diamètres sont inégaux, savoir: l'un de trois pouces, et l'autre d'un pouce et demi, et cela pour donner plus de levée aux soufflets, parce que les cordons, qui y sont attachés, vont se rouler sur le plus grand diamètre de la poulie, et ceux qui sont attachés à l'axe qui les tire se roulent sur le petit.

Sur le grand diamètre de trois de ces poulies du côté droit, se roulent aussi trois cordons qui, par le moyen de plusieurs petites poulies, aboutissent aux panneaux supérieurs de trois soufflets placés sur le haut du bâti, à la face antérieure et supérieure.

La tension qui se fait à chaque cordon, lorsqu'il commence à tirer le panneau du soufflet où il est attaché, fait mouvoir un levier placé au-dessus, entre l'axe et les doubles poulies, dans la région moyenne et inférieure du bâti. Ce levier, par différents renvois, aboutit à la soupape, qui se trouve au-dessous du panneau inférieur de chaque soufflet, et la soutient levée, afin que l'air y entre sans aucune résistance, tandis que le panneau supérieur, en s'élevant, en augmente la capacité. Par ce moyen, outre la force que l'on gagne, on évite le bruit que fait ordinairement cette soupape, causé par le tremblement que l'air occasionne en entrant dans le soufflet : ainsi, les neuf soufflets sont mus sans secousse, sans bruit, et avec peu de force.

Ces neuf soufflets communiquent leur vent dans trois tuyaux différents et séparés. Chaque tuyau reçoit celui de trois soufflets; les trois qui sont dans le bas du bâti à droite par la face antérieure, communiquent leur vent à un tuyau qui règne en devant sur le montant du bâti du même côté, et ces trois-là sont chargés d'un poids de quatre livres : les trois qui sont à gauche dans le même rang donnent leur vent dans un semblable tuyau, qui règne pareillement sur le montant du bâti du même côté, et ne sont chargés chacun que d'un poids de deux livres; les trois qui sont sur la partie supérieure du bâti donnent aussi leur vent à un tuyau qui règne horizontalement sous eux et en devant; ceux-ci ne sont chargés que du poids de leur simple panneau.

Ces tuyaux, par différents coudes, aboutissent à trois petits réservoirs placés dans la poitrine de la figure. Là, par leur réunion, ils en forment un seul qui, montant par le gosier, vient par son élargissement former dans la bouche une cavité, terminée par deux espèces de petites lèvres qui posent sur le trou de la flûte ; ces lèvres donnent plus ou moins d'ouverture, et ont un mouvement particulier pour s'avancer et se reculer. En dedans de cette cavité est une petite languette mobile qui, par son jeu, peut ouvrir et fermer au vent le passage que lui laissent les lèvres de la figure.

Voilà par quel moyen le vent a été conduit jusqu'à la flûte. Voici ceux qui ont servi à le modifier.

A la face antérieure du bâti, à gauche, est un autre mouvement qui, à la faveur de son rouage, fait tourner un cylindre de deux pieds et demi de long sur soixante-quatre pouces de circonférence. Ce cylindre est divisé en quinze parties égales d'un pouce et demi de distance. A la face postérieure et supérieure du bâti, est un clavier traînant sur ce cylindre, composé de quinze leviers très-mobiles, dont les extrémités du côté du dedans sont armées d'un petit bec d'acier, qui répond à chaque division du cylindre. A l'autre extrémité de ces leviers, sont attachés des fils et chaînes d'acier, qui répondent aux différents réservoirs de vent, aux doigts, aux lèvres et à la langue de la figure. Ceux qui répondent aux différents réservoirs de vent sont au nombre de trois, et leurs chaînes montent perpendiculairement derrière le dos de la figure jusque dans la poitrine, où ils sont placés, et aboutissent à une soupape particulière à chaque

réservoir : cette soupape étant ouverte laisse passer le vent dans le tuyau de communication qui monte, comme on l'a déjà dit, par le gosier dans la bouche. Les leviers qui répondent aux doigts sont au nombre de sept, et leurs chaînes montent aussi perpendiculairement jusqu'aux épaules, et là se coudent pour s'insérer dans l'avant-bras jusqu'au coude, où elles se plient encore pour aller le long du bras jusqu'au poignet; elles y sont terminées chacune par une charnière qui se joint à un tenon que forme le bout du levier contenu dans la main, imitant l'os que les anatomistes appellent l'os *du métacarpe*, et qui, comme lui, forme une charnière avec l'os de la première phalange, de façon que, la chaîne étant tirée, le doigt puisse se lever. Quatre de ces chaînes s'insèrent dans le bras droit, pour faire mouvoir les quatre doigts de cette main, et de trois dans le bras gauche pour trois doigts, n'y ayant que trois trous qui répondent à cette main. Chaque bout de doigt est garni de peau, pour imiter la mollesse du doigt naturel, afin de boucher le trou exactement. Les leviers du clavier qui répondent au mouvement de la bouche sont au nombre de quatre : les fils d'acier qui y sont attachés forment des renvois, pour parvenir dans le milieu du rocher en dedans; et là ils tiennent à des chaînes qui montent perpendiculairement et parallèlement à l'épine du dos dans le corps de la figure; et qui, passant par le cou, viennent dans la bouche s'attacher aux parties, qui font faire quatre différents mouvements aux lèvres intérieures : l'un fait ouvrir ces lèvres pour donner une plus grande issue au vent; l'autre la diminue en les rapprochant; le troisième les fait retirer en arrière, et le quatrième les fait avancer sur le bord du trou.

Il ne reste plus sur le clavier qu'un levier, où est pareillement attachée une chaîne qui monte ainsi que les autres, et vient aboutir à la languette qui se trouve dans la cavité de la bouche derrière les lèvres, pour en boucher le trou, comme on l'a dit ci-dessus.

Ces quinze leviers répondent aux quinze divisions du cylindre par les bouts où sont attachés les becs d'acier, et à un pouce et demi de distance les uns des autres. Le cylindre venant à tourner, les lames de cuivre placées sur ses lignes divisées rencontrent les becs d'acier, et les soutiennent levés plus ou moins longtemps, suivant que les lames sont plus ou moins longues : et, comme l'extrémité de tous ces becs forme entre eux une ligne droite, parallèle à l'axe du cylindre, coupant à angle droit toutes les lignes de division, toutes les fois qu'on placera à chaque ligne une lame, et que toutes leurs extrémités formeront entre elles une ligne également droite, et parallèle à celle que forment les becs des leviers, chaque extrémité de lame (le cylindre retournant) touchera et soulèvera dans le même instant chaque bout de levier; et l'autre extrémité des lames formant également une ligne droite, chacune laissera échapper son levier dans le même temps. On conçoit aisément par là comment tous les leviers peuvent agir et concourir tous à la fois à une même opération, s'il est nécessaire. Quand il n'est besoin de faire agir que quelques leviers, on ne place des lames qu'aux divisions où répondent ceux qu'on veut faire mouvoir : on en détermine même le temps, en les plaçant plus ou moins éloignées de la ligne que forment les becs : on fait cesser aussi leur action plus tôt ou plus tard, en les mettant plus ou moins longues.

L'extrémité de l'axe du cylindre du côté droit est terminée par une vis sans fin à simples filets, distants entre eux d'une ligne et demie, et au nombre de douze, ce qui comprend en tout l'espace d'un pouce et demi de longueur, égale à celui des divisions du cylindre.

Au-dessus de cette vis, est une pièce de cuivre immobile, solidement attachée au bâti, à laquelle tient un pivot d'acier d'une ligne environ de diamètre, qui tombe dans une cannelure de la vis et lui sert d'écrou, de façon que le cylindre est obligé, en tournant, de suivre la même direction que les filets de la vis, contenus par le pivot d'acier, qui est fixe. Ainsi, chaque point du cylindre décrira continuellement en tournant une ligne spirale, et fera par conséquent un mouvement progressif de droite à gauche.

C'est par ce moyen que chaque division du cylindre, déterminée d'abord sous chaque bout de levier, changera de point à chaque tour qu'il fera, puisqu'il s'en éloignera d'une ligne et demie, qui est la distance qu'ont les filets de la vis entre eux.

Les bouts des leviers attachés au clavier restant donc immobiles, et les points du cylindre auxquels ils répondent d'abord, s'éloignant à chaque instant de la perpendiculaire, en formant une ligne spirale, qui, par un mouvement progressif du cylindre, est toujours dirigée au même point, c'est-à-dire à chaque bout de levier, il s'ensuit que chaque bout de levier trouve à chaque instant des points nouveaux sur les lames du cylindre, qui ne se répètent jamais, puisqu'elles forment entre elles des lignes spirales qui forment douze tours sur le cylindre, avant que le premier point de division vienne sous un autre levier que celui sous lequel il a été déterminé en premier lieu.

C'est dans cet espace d'un pouce et demi qu'on place toutes les lames, qui forment elles-mêmes les lignes spirales, pour faire agir le levier sous lequel elles doivent toujours passer pendant les douze tours que fait le cylindre. A mesure qu'une ligne change pour son levier, toutes les autres changent pour le leur; ainsi, chaque levier a douze lignes de lames, de 64 pouces de diamètre, qui passent sous lui, et qui font entre elles une ligne de 768 pouces de long. C'est sur cette ligne que sont placées toutes les lames suffisantes pour l'action du levier durant tout le jeu.

Il ne reste plus qu'à faire voir comment tous ces différents mouvements ont servi à produire l'effet qu'on s'est proposé dans cet automate, en les comparant avec ceux d'une personne vivante.

Est-il question de lui faire tirer du son de sa flûte, et de former le premier ton, qui est le *ré* d'en bas? On commence d'abord à disposer l'embouchure; pour cet effet, on place sur le cylindre une lame dessous le levier qui répond aux parties de la bouche, servant à augmenter l'ouverture que font les lèvres. Secondement, on place une lame sous le levier qui sert à faire reculer ces mêmes lèvres. Troisièmement, on place une lame sous le levier qui ouvre la soupape du réservoir du vent qui vient des petits soufflets qui ne sont point chargés. On place, en dernier lieu, une lame sous le levier qui fait mouvoir la languette pour donner le coup de langue; de façon que, ces lames venant à toucher dans le même temps les quatre leviers qui servent à produire les susdites opérations, la flûte sonnera le *ré* d'en bas.

Par l'action du levier qui sert à augmenter l'ouverture des lèvres, on imite l'action de l'homme vivant, qui est obligé de l'augmenter dans les tons bas. Par le levier, qui sert à faire reculer les lèvres, on imite l'action de l'homme, qui les éloigne du trou de la flûte, en la tournant en dehors. Par le levier qui donne le vent provenant des soufflets qui ne sont chargés que de leur simple panneau, on imite le vent faible que l'homme donne alors, vent qui n'est pareillement poussé hors de son réservoir que par une légère compression des muscles de la poitrine. Par le levier qui sert à faire mouvoir la languette, en débouchant le trou que forment les lèvres pour laisser passer le vent, on imite le mouvement que fait aussi la langue de l'homme, en se retirant du trou pour donner passage au vent, et par ce moyen lui faire articuler une telle note. Il résultera donc de ces quatre opérations différentes, qu'en donnant un vent faible, et le faisant passer par une issue large

AUTOMATE.

dans toute la grandeur du trou de la flûte, son retour produira des vibrations lentes, qui seront obligées de se continuer dans toutes les particules du corps de la flûte, puisque tous les trous se trouveront bouchés, et par conséquent la flûte donnera un ton bas; c'est ce qui se trouve confirmé par l'expérience.

Veut-on lui faire donner le ton au-dessus, savoir, le *mi?* aux quatre premières opérations pour le *ré* on en ajoute une cinquième; on place la lame sous le levier, qui fait lever le troisième doigt de la main droite, pour déboucher le troisième trou de flûte, et on fait approcher tant soit peu les lèvres du trou de la flûte, en baissant un peu la lame du cylindre qui tenait le levier élevé pour la première note, savoir, le *ré*: ainsi, donnant plutôt aux vibrations une issue en débouchant le premier trou du bout, la flûte doit sonner un ton au-dessus; ce qui est aussi confirmé par l'expérience.

Toutes ces opérations se continuent à peu près les mêmes dans les tons de la première octave, où le même vent suffit pour les former tous; c'est la différente ouverture des trous, par la levée des doigts, qui les caractérise : on est seulement obligé de placer sur le cylindre des lames sous les leviers, qui doivent lever les doigts pour former tel ou tel ton.

Pour avoir les tons de la seconde octave, il faut changer l'embouchure de situation, c'est-à-dire placer une lame dessous le levier, qui contribue à faire avancer les lèvres au delà du diamètre du trou de la flûte, et imiter par là l'action de l'homme vivant, qui, en pareil cas, tourne la flûte un peu en dedans. Secondement, il faut placer une lame sous le levier, qui, en faisant rapprocher les deux lèvres, diminue leur ouverture: opération que fait pareillement l'homme quand il serre les lèvres pour donner une moindre issue au vent. Troisièmement, il faut placer une lame sous le levier qui fait ouvrir la soupape du réservoir, qui contient le vent provenant des soufflets chargés du poids de deux livres: vent qui se trouve poussé avec plus de force, et semblable à celui que l'homme vivant pousse par une plus forte compression des muscles pectoraux. De plus, on place des lames sous les leviers nécessaires, pour faire lever les doigts qu'il faut. Il s'ensuivra de toutes ces différentes opérations, qu'un vent envoyé avec plus de force, et passant par une issue plus petite, redoublera de vitesse et produira par conséquent des vibrations doubles; et ce sera l'*octave*.

A mesure qu'on monte dans les tons supérieurs de cette seconde octave, il faut de plus en plus serrer les lèvres, pour que le vent, dans un même temps, augmente de vitesse.

Dans les tons de la troisième octave, les mêmes leviers, qui vont à la bouche, agissent comme dans ceux de la seconde, avec cette différence que les lames sont un peu plus élevées, ce qui fait que les lèvres vont tout à fait sur le bord du trou de la flûte, et que le trou qu'elles ferment devient extrêmement petit. On ajoute seulement une lame sous le levier qui fait ouvrir la soupape, pour donner le vent qui vient des soufflets les plus chargés, savoir, du poids de quatre livres; par conséquent le vent poussé avec une plus forte compression, et trouvant une issue encore plus petite, augmentera de vitesse en raison triple : on aura donc *la triple octave*.

Il se trouve des tons dans toutes ces différentes octaves plus difficiles à rendre les uns que les autres; on est pour lors obligé de les ajuster, en plaçant les lèvres sur une plus grande ou plus petite corde du trou de la flûte, en donnant un vent plus ou moins fort, ce que fait l'homme dans les mêmes tons où il est obligé de ménager son vent, et de tourner la flûte plus ou moins en dedans ou en dehors.

On conçoit facilement que toutes les lames placées sur le cylindre sont plus ou moins longues, suivant le temps que doit avoir chaque note, et suivant la différente situation où doivent se trouver les doigts pour les former; ce qu'on ne détaillera point ici, pour ne point donner à cet article trop d'étendue. On fera remarquer seulement que, dans les enflements de son, il a fallu, pendant le temps de la même note, substituer imperceptiblement un vent faible à un vent fort, et à un plus fort un plus faible, et varier conjointement les mouvements des lèvres, c'est-à-dire les mettre dans leur situation propre pour chaque vent.

Lorsqu'il a fallu faire le doux, c'est-à-dire imiter un écho, on a été obligé de faire avancer les lèvres sur le bord du trou de la flûte, et envoyer un vent suffisant pour former un tel ton, mais dont le retour, par une issue aussi petite qu'est celle de son entrée dans la flûte, ne peut frapper qu'une petite quantité d'air extérieur; ce qui produit, comme on l'a dit ci-dessus, ce qu'on appelle *écho*.

Les différents airs de lenteur et de mouvement ont été mesurés sur le cylindre, par le moyen d'un levier, dont une extrémité, armée d'une pointe, pouvait, lorsqu'on frappait dessus, marquer ce même cylindre. A l'autre bras du levier, était un ressort qui faisait promptement relever la pointe. On lâchait le mouvement qui faisait tourner le cylindre avec une vitesse déterminée pour tous les airs : dans le même temps, une personne jouait sur la flûte l'air qu'on voulait mesurer; un autre battait la mesure sur le bout du levier, qui pointait le cylindre, et la distance qui se trouvait entre les points était la vraie mesure des airs qu'on voulait noter; on subdivisait ensuite les intervalles en autant de parties que la mesure avait de temps.

VAUCANSON.

Encouragé par le succès, Vaucanson exposa, en 1741, d'autres *automates*, qui ne furent pas moins bien reçus. Nous reproduirons ici ce qu'en dit l'Encyclopédie de Diderot et D'Alembert.

1° *Un canard*, dans lequel il représente le mécanisme des viscères destinés aux fonctions du boire, du manger et de la digestion; le jeu de toutes les parties nécessaires à ces fonctions y est exactement imité: il allonge son cou pour aller prendre du grain dans la main, il l'avale, le digère, et le rend par les voies ordinaires tout digéré, tous les gestes d'un canard qui avale avec précipitation, et qui redouble de vitesse dans le mouvement de son gosier, pour faire passer son manger jusque dans l'estomac, y sont copiés d'après nature : l'aliment y est digéré comme dans les vrais animaux, par dissolution, et non par trituration; la matière digérée dans l'estomac est conduite par des tuyaux, comme dans l'animal par ses boyaux, jusqu'à l'anus, où il y a un sphincter qui en permet la sortie.

L'auteur ne donne pas cette digestion pour une digestion parfaite, capable de faire du sang et des sucs nourriciers pour l'entretien de l'animal; on aurait mauvaise grâce de lui faire ce reproche. Il ne prétend qu'imiter la mécanique de cette action en trois choses, qui sont: 1° d'avaler le grain; 2° de le macérer, cuire ou dissoudre; 3° de le faire sortir dans un changement sensible.

Il a cependant fallu des moyens pour les trois actions, et ces moyens mériteront peut-être quelque attention de la part de ceux qui demanderaient davantage. Il a fallu employer différents expédients pour faire prendre le grain au canard artificiel, le lui faire aspirer jusque dans son estomac, et là, dans un petit espace, construire un laboratoire chimique, pour en décomposer les principales parties intégrantes, et le faire sortir à volonté, par des circonvolutions de tuyaux, à une extrémité de son corps tout opposée.

On ne croit pas que les anatomistes aient rien à désirer sur la construction de ses ailes. On a imité, os par os, toutes les éminences qu'ils appellent *apophyses*. Elles y sont régulièrement observées, comme les diffé-

rentes charnières, les cavités, les courbes. Les trois os qui composent l'aile y sont très-distincts: le premier, qui est l'*humerus*, a son mouvement de rotation en tous sens avec l'os qui fait l'office d'omoplate; le second, qui est le *cubitus* de l'aile, a son mouvement avec l'*humerus* par une charnière, que les anatomistes appellent *par ginglime*; le troisième, qui est le *radius*, tourne dans une cavité de l'*humerus*, et est attaché par les autres bouts aux petits os du bout de l'aile, de même que dans l'animal.

Pour faire connaître que les mouvements de ces ailes ne ressemblent point à ceux que l'on voit dans les grands chefs-d'œuvre du coq de l'horloge de Lyon et de Strasbourg, toute la mécanique du canard artificiel a été vue à découvert, le dessein de l'auteur étant plutôt de démontrer, que de montrer simplement une machine. L'emploi des excentriques, disposés autour d'un grand cylindre placé dans le piédestal, y était admirablement multiplié; les leviers et les cordes y remplaçaient les os et les muscles.

On croit que les personnes attentives sentiront la difficulté qu'il y a eu de faire faire à cet *automate* tant de mouvements différents: comme lorsqu'il s'élève sur ses pattes, et qu'il porte son cou à droite et à gauche. Elles connaîtront tous les changements des différents points d'appui; elles verront même que ce qui servait de point d'appui à une partie mobile devient à son tour mobile sur cette partie, qui devient fixe à son tour; enfin elles découvriront une infinité de combinaisons mécaniques.

2° *Le Joueur de tambourin*. Le second *automate* est le Joueur de tambourin, fig. 173, planté tout droit sur son

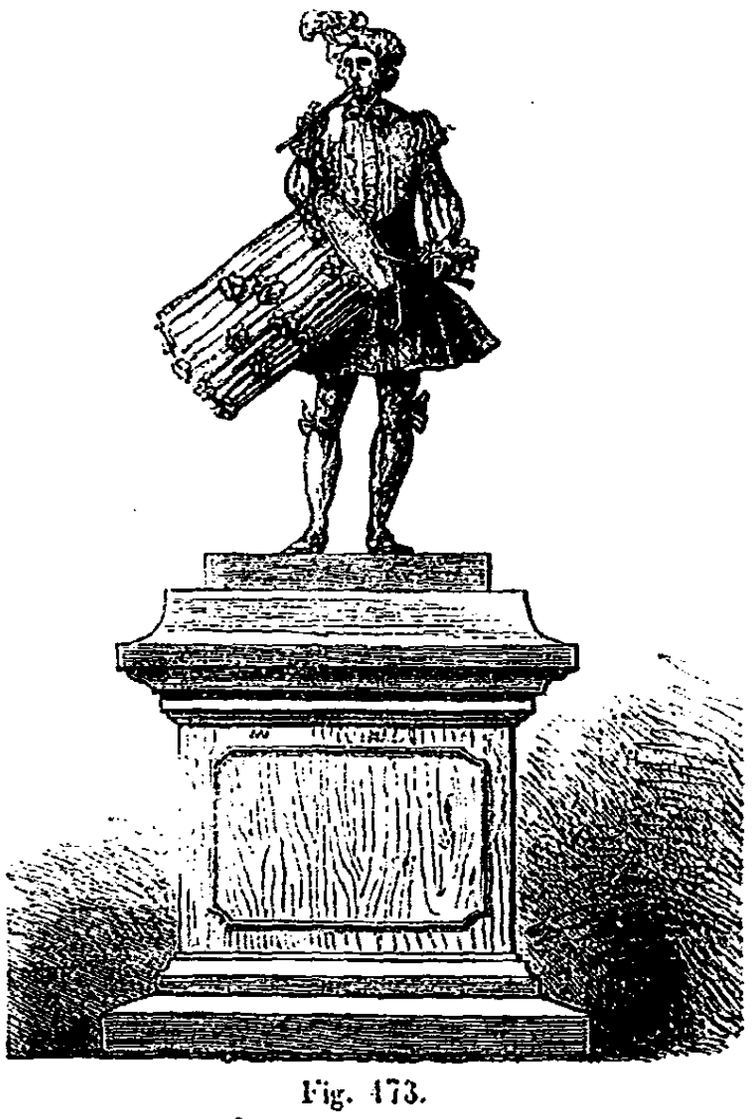


Fig. 173.

piédestal, habillé en berger danseur, qui joue une vingtaine d'airs, menuets, rigodons et contredanses.

On croirait d'abord que les difficultés ont été moindres qu'au flûteur *automate* mais, sans vouloir élever l'un pour rabaisser l'autre, il faut faire réflexion qu'il s'agit de l'instrument le plus ingrat et le plus faux par lui-même; qu'il a fallu faire articuler une flûte à trois trous, où tous les tons dépendent du plus ou moins de force de vent et de trous bouchés à moitié; qu'il a fallu donner tous les vents différents, avec une vitesse que l'oreille a de la peine à suivre; donner des coups de langue à chaque note, jusque dans les doubles croches, parce que cet instrument n'est point agréable autrement.

L'*automate* surpasse en cela tous nos joueurs de tambourin, qui ne peuvent remuer la langue avec assez de légèreté, pour faire une mesure entière de doubles croches toutes articulées; ils en coulent la moitié: tandis que ce tambourin *automate* joue un air entier avec des coups de langue à chaque note.

L'auteur a constaté que cette petite flûte est un des instruments à vent qui fatigue le plus la poitrine des joueurs.

Les muscles de leur poitrine font un effort équivalent à un poids de 56 livres, puisqu'il faut cette même force de vent, c'est-à-dire un vent poussé par cette force ou cette pesanteur, pour former le *si* d'en haut, qui est la dernière note où cet instrument puisse s'étendre. Une once seule fait parler la première note qui est le *mi*: que l'on juge quelle division de vent il a fallu faire pour parcourir toute l'étendue du flageolet provençal.

Ayant si peu de positions de doigts différentes, on croirait peut-être qu'il n'a fallu de différents vents, qu'autant qu'il y a de différentes notes: point du tout. Le vent qui fait parler, par exemple le *ré* à la suite de l'*ut*, le manque absolument quand le même *ré* est à la suite du *mi* au-dessus, et ainsi des autres notes. Qu'on calcule, on verra qu'il a fallu le double de différents vents, sans compter les dièses pour lesquels il faut toujours un vent particulier. L'auteur a été lui-même étonné de voir cet instrument avoir besoin d'une combinaison si variée, et il a été plus d'une fois prêt à désespérer de la réussite: mais le courage et la patience l'ont enfin emporté.

Ce n'est pas tout: ce flageolet n'occupe qu'une main; l'*automate* tient de l'autre une baguette, avec laquelle il bat du tambour de Marseille. Il donne des coups simples et doubles; fait des roulements variés à tous les airs, et accompagne en mesure les mêmes airs qu'il joue avec son flageolet de l'autre main. Ce mouvement n'est pas un des plus aisés de la machine. Il est question de frapper tantôt plus fort, tantôt plus vite, et de donner toujours un coup sec, pour tirer du son du tambour. Cette mécanique consiste dans une combinaison infinie de leviers et de ressorts différents, tous mus avec assez de justesse pour suivre l'air; ce qui serait trop long à détailler.

Nous répéterons ici ce que nous avons dit plus haut, c'est surtout sur l'emploi d'excentriques bien tracés, avec celui de cylindres à chevilles et de touches, que Vaucanson faisait reposer ses constructions.

Autres automates. Vaucanson a eu plusieurs imitateurs, parmi lesquels les frères Droz de la Chaux-de-Fonds furent les plus distingués. Plusieurs de leurs automates sont justement célèbres. L'un d'eux représente un dessinateur; un autre joue du piano, et un troisième est un écrivain. Frédéric de Knaus a également exposé à Vienne, en l'année 1760, un automate écrivain; il est maintenant dans le cabinet des modèles de l'Institut polytechnique de cette ville. Il consiste en un globe de 0m, 61 de diamètre, contenant le mécanisme, sur lequel repose une figure de 0m, 18 de hauteur, qui écrit sur une feuille de papier fixée sur un pupitre placé d'avance sur un cylindre régulateur. Au bout de chaque ligne, la figure relève la main, et la meut obliquement de manière à recommencer une nouvelle ligne.

Aucun automate compliqué, sauf, peut-être, quelques pièces de Robert-Houdin, n'a été fait de nos jours, parce que ces machines sont très-coûteuses, et qu'ayant bien-

tôt satisfait la curiosité elles cessent d'intéresser les Européens, car ils sont fort estimés par les rayahs de l'Inde, qui en donnent de très-hauts prix; les mécaniciens habiles trouvent beaucoup plus d'avantages à consacrer leur temps à la confection des machines de nos manufactures modernes. Nous pouvons noter ici, cependant, l'automate trompette de Maelzel, à Vienne, et un automate semblable de Kauffmann, à Dresde. Dans la Suisse française, plusieurs artistes continuent à faire de petits automates qu'ils réunissent à des boites à musique à languettes métalliques : tels sont les serins qui chantent avec des mouvements variés, de petits oiseaux, ayant quelquefois à peine 1 centimètre de longueur, qu'on place dans des tabatières et montres d'or émaillées. Certaines figures artificielles, qui ont été nommées automates, méritent à peine ce nom, puisque le charlatanisme à plus ou moins de part à leur fonctionnement. On peut ranger dans cette classe un grand nombre de figures qui parlent en apparence par mécanisme: les horloges qui commencent à sonner ou à jouer, quand une personne fait un signe en levant le doigt, etc., le joueur d'échecs de Kempelen, qui a excité la curiosité dans le dernier siècle, et qui tous fonctionnent au moyen de personnages cachés. Les ingénieuses figures des Tendler père et fils, construites à Eisenerz (Styrie), qui imitaient un cavalier anglais et des danseurs de corde, n'étaient probablement aussi pas plus de vrais automates que les *fantoccini*, marionnettes d'une grande perfection, que l'on voit dans beaucoup de villes d'Italie et particulièrement à Rome.

Le pouvoir moteur de presque tous les automates est un ressort en acier, à cause de la force qu'il possède sous un très-faible volume et de la facilité que présente son emploi. On se sert rarement de poids, et seulement d'une manière partielle; l'emploi d'autres puissances motrices est plus limité. Quelquefois du sable fin tombe sur la circonférence d'une roue par laquelle le reste du mécanisme est mis en mouvement. On a employé l'eau dans le même but; et quand elle tombe dans une chambre remplie d'air, elle peut déterminer un courant d'air suffisant pour produire dans des tuyaux convenables une série de sons musicaux; il vaut mieux dans ce cas employer des lames métalliques vibrantes. Dans des cas particuliers, on a fait usage du vif-argent, comme, par exemple, dans les magots chinois.

On construit fréquemment, pour joujoux, de petits

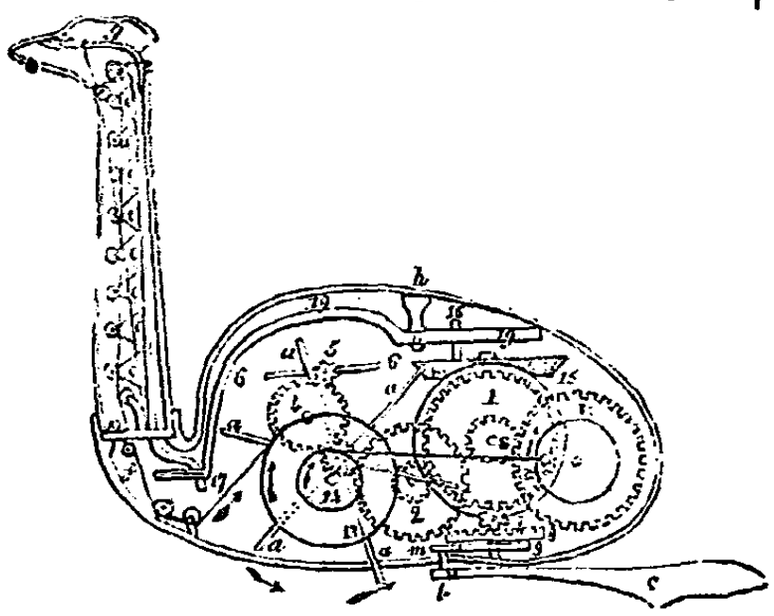


Fig. 174.

automates qui se meuvent au moyen d'un système d'engrenages à peine visibles. Cette industrie est surtout très-répandue dans la Forêt-Noire et aux environs de Nuremberg (Bavière), où elle fait l'objet d'un grand commerce. On voit (fig. 174) le mécanisme de l'un de ces automates, qui pourra donner une idée suffisante de tous les autres; cet automate est un cygne susceptible d'effectuer des mouvement variés. Pour plus de clarté dans l'explication du mécanisme, nous la diviserons en deux parties bien distinctes: la première relative au mouvement de natation du cygne; la seconde qui lui permet de plier son cou de temps à autre, au point de pouvoir plonger le bec et une partie de la tête sous l'eau, et en outre, de dandiner lentement, de côté et d'autre, son cou et sa tête.

Le barillet du ressort extérieur a une roue à rochet ordinaire, il porte une roue d'engrenage 1 qui engrène avec le pignon de la roue 2; celle-ci engrène à son tour dans un pignon, représenté sur la figure en lignes ponctuées, aux extrémités de l'axe duquel sont fixées deux roues à palettes *a*, *a*.... Ces palettes passent à travers des fentes pratiquées à la partie inférieure du cygne et plongent d'une petite quantité dans l'eau, de telle sorte qu'en tournant dans le sens indiqué par les flèches, elles font avancer le canard; les chambres dans lesquelles ces roues tournent sont séparées par des cloisons imperméables à l'eau du reste du mécanisme, afin d'en prévenir la destruction par l'action de l'humidité. Le pignon dont nous venons de parler engrène en outre avec la roue 4 qui engrène elle-même avec le pignon 5 dont l'axe porte un volant 6, qui sert à régulariser le mouvement; un arrêt mobile, qui n'est pas représenté sur le dessin, vient s'engager entre les bras du volant et permet d'arrêter la machine et de la mettre en marche à volonté. Il va sans dire qu'il faut dans ce dernier cas que le ressort soit préalablement tendu, ce qui se fait au moyen d'une clef comme dans les montres ordinaires. Par le mécanisme que nous venons de décrire, on n'obtient encore qu'un mouvement rectiligne; on produit un changement de direction au moyen du levier horizontal *m*, maintenu dans sa position par un ressort et tournant autour d'un axe vertical, qui porte une barre transversale *b*, aux extrémités de laquelle sont fixées deux pattes palmées *c*, *c*; la roue 4 engrène avec le pignon 7, et celui-ci fait mouvoir la roue de côté 8, dont l'axe porte un excentrique 9 qui, agissant sur l'extrémité du levier *m*, fait incessamment varier l'inclinaison des pattes *c*, *c*, qui servent de gouvernail. On conçoit aisément qu'on puisse produire à volonté tel mouvement que l'on voudra, en faisant varier convenablement la forme de l'excentrique.

Le cou est la partie qui réclame l'exécution la plus soignée; il doit être flexible et consiste en un tube spiral de fil de fer, recouvert de cuir très-mince, ou mieux de la peau même du cou d'un cygne, préparée et ayant conservé ses plumes. La plaque 10 qui sert de base au cou est mobile autour d'un axe horizontal parallèle au plan de la figure; elle porte un ressort d'acier maintenu à sa partie inférieure par la fourchette 17 et traversant tout le cou. Ce ressort est très-délié, et doit être seulement assez fort pour redresser sur-le-champ le cou et même le rejeter un peu en arrière; sa roideur doit varier dans toute sa longueur, de manière à correspondre à la courbure naturelle du cou de l'oiseau. A sa partie supérieure est fixée une corde à boyau *f*, qui passe sur une série de petits rouleaux en acier ou en cuivre supportés sur les châssis *e*, *e*...., fixés sur le ressort même, et qui vient enfin s'enrouler sur la gorge d'une poulie 13; l'axe de cette poulie en porte une seconde 14, sur laquelle s'enroule une chaine légère, fixée par son autre extrémité en un point proche de la circonférence du tambour 12 monté sur l'arbre d'une roue dentée 11, qui engrène avec le pignon *s* de la roue 1. Celle-ci en tournant fait mouvoir les roues dont nous venons de parler dans le sens indiqué par les flèches, tend la corde *f* et fait ployer le cou du cygne jusqu'à ce qu'il ait le bec dans l'eau; mais aussitôt après que le tambour 11 a fait une demi-révolution à partir de la position indiquée dans la figure, le ressort du cou

commence à agir et le relève peu à peu, en ramenant en même temps les poulies 13 et 14 dans leur positon primitive.

La tête, de son côté, est liée au moyen de charnières très-mobiles à la partie supérieure du cou; un petit ressort en acier fixé au cou est lié par son extrémité à la plaque 10, par le moyen d'une corde à boyau. Cette corde est tendue dans la position naturelle, mais elle devient de plus en plus lâche au fur et à mesure que le cou se ploie, de sorte que le ressort *g* agit alors sur la tête et la courbe de manière à ce que le bec puisse entrer dans l'eau.

Enfin une roue d'angle, montée sur l'arbre de la roue 1, engrène avec la roue d'angle à axe vertical 15; celle-ci porte excentriquement une tige 16, qui se meut dans une ouverture rectangulaire ou ovale, pratiquée dans l'un des bras du levier 19, mobile autour du support *h* et dont l'autre extrémité se termine par la fourchette 17 dont nous avons déjà parlé; de sorte que la rotation de la roue 1 communiquera au levier 19, et par suite au ressort du cou et au cou de l'oiseau même, un mouvement latéral oscillatoire. Nous ferons remarquer en terminant que la fig. 174 est à peu près à l'échelle de moitié, et que le corps du cygne doit être formé en tôle mince de laiton ou de cuivre.

Les fig. 175, 176 et 177 indiquent le mécanisme

Fig. 175.

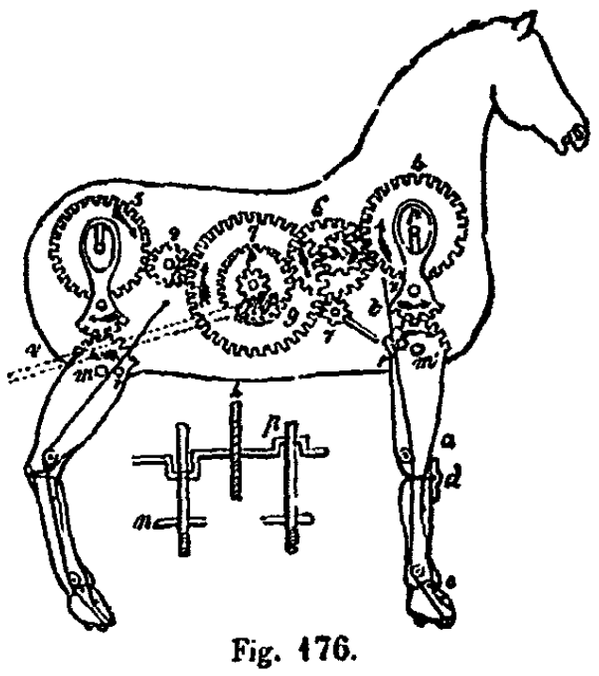


Fig. 176.

d'un autre automate : c'est un cheval qui traîne une voiture, dans laquelle sont deux personnes, et dont les roues ne sont aucunement liées au mécanisme moteur. Une roue centrale 1 fait tourner, par l'intermédiaire des pignons 2 et 3, les roues 4 et 5 dont les axes font mouvoir les pieds de l'animal. L'axe de la roue 4 est coudé en sens diamétralement inverses (fig. 176), au-dessus des pieds de devant, et chacun de ces coudes tourne dans une ouverture ovale *p* pratiquée dans l'extrémité d'un levier, mobile autour de l'axe *n*, lequel, par suite du mécanisme ci-dessus, reçoit un mouvement alternatif de rotation, qu'il communique à la cuisse *a*, mobile autour de l'axe *m*, par le moyen d'un simple engrenage indiqué sur la figure. La jambe et le sabot sont liés à la cuisse et entre elles, par des charnières *d* et *e*; enfin une chaîne *t*, guidée par des rouleaux placés au bas de la cuisse et de la jambe, est fixée d'une part à l'extrémité du sabot, et de l'autre à un point fixe situé dans l'intérieur du corps. La tension de cette chaîne est réglée par un rouleau de pression *r*, fixé non loin du centre de rotation *m*, et détermine en temps et lieu la flexion des articulations de la jambe et du sabot. Une roue dentée, montée sur l'axe de la roue 1, et engrenant avec la roue 6, qui, à son tour, engrène avec le pignon du volant 7, sert à régulariser le mouvement. Il reste encore assez de place dans l'intérieur du cheval pour y mettre, si l'on veut, le mécanisme nécessaire pour imprimer certains mouvements à la tête et aux oreilles.

a (fig. 177) est une roue dentée, montée sur le barillet d'un ressort en acier, qui engrène avec la roue dentée *b*; celle-ci porte une espèce de lanterne dont les fuseaux venant successivement frapper l'une des extré-

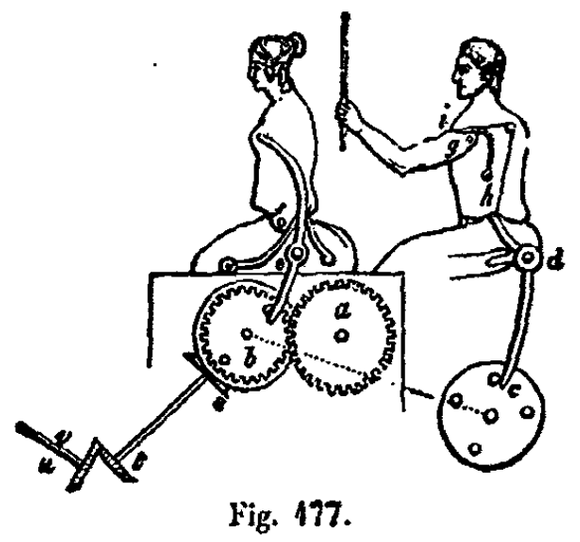


Fig. 177.

mités d'un levier coudé mobile autour du point *e*, font incliner en avant la partie supérieure du corps de la femme, mobile autour d'un axe *f*, et la font ainsi saluer. Une seconde lanterne *c*, montée également sur l'arbre de la roue *b*, et qu'on en a séparée de la figure, ainsi que l'homme, qui, dans sa position naturelle, est assis sur le même banc que la femme, agit d'une manière intermittente par les fuseaux qu'elle porte sur un levier coudé, mobile autour de l'axe *d*, à l'autre extrémité duquel une ficelle passant sur une poulie de renvoi placée près du dos et attachée à la naissance du bras en *i*, le soulève en le faisant tourner autour du point fixe *g*. Un ressort indiqué sur la figure sert à ramener le bras dans la position primitive et à empêcher qu'il ne retombe brusquement.

On peut faire marcher le mécanisme du cheval au moyen d'un ressort particulier, ou bien au moyen de celui de la voiture lequel dans ce cas doit être très-fort, ou se composer de plusieurs ressorts plus petits juxta posés dans le même barillet; dans ce dernier cas, on communique le mouvement de rotation de la roue *b* à l'axe *v*, au moyen des deux engrenages coniques *s*, *tu* (fig. 176 et 177); et cet axe à son tour se termine par une vis sans fin 9 qui, engrenant avec la roue 8 montée sur l'arbre de la roue 1, fait mouvoir tout le mécanisme.

AUTOMATIQUE. Terme employé par le docteur Ure, et adopté en Angleterre pour désigner tout système de manufactures dans lequel les produits sont fabriqués au moyen de machines agissant d'elles-mêmes, et où le rôle de l'homme se borne à une surveillance destinée à éviter les cas d'interruption du travail. C'est surtout dans les filatures de coton, de lin, etc., qu'il faut étudier l'admirable ensemble de fonctions qu'accomplissent des milliers d'organes mécaniques, mis en mouvement par une machine à vapeur ou une roue hydraulique.

L'invention de machines diverses appliquées à une industrie n'est réellement complète, que lorsqu'elle est parvenue à résoudre tous les problèmes relatifs à la création d'un même produit, et à faire se succéder toutes les opérations, de telle sorte que le travail s'accomplisse entièrement sans l'intervention manuelle de l'homme. C'est là le problème que l'industrie moderne tend chaque jour à résoudre dans toute les directions.

Il est un certain nombre d'opérations industrielles auxquelles le système automatique paraissait difficile-

ment applicable: ce sont celles qui ont rapport à la fabrication de produits discontinus par leur nature même. La fabrication des cardes, par exemple, se compose du placement dans les trous percés dans un cuir d'une infinité de petits bouts de fil de fer recourbés convenablement, et il paraît bien difficile d'effectuer mécaniquement ces opérations. On est pourtant parvenu à résoudre ce problème d'une manière complète et à opérer le travail par un procédé automatique.

Cette machine et celles qui sont inventées chaque jour pour effectuer des opérations multiples mais toujours les mêmes, qui, par leur nature, paraissent devoir être rebelles à la continuité du travail, peuvent être conçues, quant à leur ensemble, de ce point de vue :

Un mouvement de rotation continu étant imprimé à un ou plusieurs axes par une manivelle ou tout autre moyen, des excentriques montées sur ces arbres impriment des mouvements alternatifs à des pièces guidées dans leur course rectiligne ou à des leviers coudés oscillant autour de leur axe, de manière à répéter leurs opérations, dont les petits mouvements remplacent les doigts de l'ouvrier. On peut établir comme démontré aujourd'hui par l'expérience des machines à bouter les cardes, à faire les pointes, etc., qu'il est toujours possible de créer par ce procédé entièrement automatique des produits de ce genre, pourvu toutefois, *en général*, que la matière puisse être fournie d'une manière continue, ce qui est facile, par exemple, dans les machines que nous avons prises pour exemple, en se servant de fil de fer enroulé sur des bobines.

En se plaçant à un point de vue un peu élevé et en tenant compte de la gratuité du travail des forces naturelles (voy. ÉCONOMIE INDUSTRIELLE), c'est un admirable progrès que de parvenir presque entièrement à faire accomplir, par les forces naturelles, les travaux les plus compliqués et les plus délicats ; et on conçoit aisément la part immense que doit avoir l'industrie dans la puissance des nations et le bien-être du genre humain, lorsqu'elle proportionne ses résultats non plus à l'effort musculaire des hommes, mais qu'elle réduit leur rôle à surveiller le travail des doigts mécaniques mis en mouvement par un moteur hydraulique ou une machine à vapeur, agissant avec précision et régularité, et dont l'exactitude, pour ainsi dire mathématique, frappe d'étonnement et d'admiration, celui qui, par exemple, visite pour la première fois un grand atelier de filature mécanique.

Ce grand progrès qui fait époque dans l'industrie, est principalement dû au génie mécanique de *Arkwright*, qui le premier eut la gloire de combiner le *système automatique* de la filature du coton. Lors de l'introduction de son système en 1770, les manufactures anglaises ne consommaient pas annuellement en coton 2,000,000^{k}, et l'Europe entière 5,000,000^{k}; tandis qu'en 1859, cette consommation est montée pour les îles Britaniques seulement, à 443,000,000^{k}. Dans des manufactures spacieuses, la puissance de la vapeur fait mouvoir des myriades d'ouvriers mécaniques, à chacun desquels est assignée une tâche régulière, substituant ainsi à de pénibles efforts musculaires l'énergie de ses bras gigantesques, et ne demandant seulement, en retour, qu'un peu d'attention et de dextérité de la part du surveillant pour corriger les petits accidents qui se présentent accidentellement pendant le travail. De magnifiques établissements surpassant, par leur nombre, leur valeur, leur utilité et l'habileté dans leur construction tous les vains monuments de l'antiquité, élevés dans le court espace d'un demi-siècle, d'où sortent chaque jour des quantités immenses d'objets utiles, viennent nous montrer jusqu'à quel point l'industrie et les sciences peuvent augmenter la richesse générale.

Tel est le système automatique, si plein de prodiges en mécanique et en économie politique, et qui est devenu l'élément le plus puissant des progrès de la civilisation matérielle du monde moderne. Nous en dirions trop long si, à propos de cet élément fondamental du développement immense de l'industrie en un siècle, nous voulions entrer dans l'indication des résultats matériels et intellectuels qui en ont été la conséquence.

AVANCE DU TIROIR. Dans toute machine à vapeur, dit Lamé dans un intéressant rapport sur un travail de Clapeyron, où l'histoire et la théorie de l'avance du tiroir dans les machines à vapeur sont fort bien traitées, une des faces du piston, dans une double oscillation qui correspond à une révolution complète du volant, traverse quatre périodes distinctes, dont les durées relatives ont une influence sur le travail transmis. Lors de la première, la face du piston est en communication avec la vapeur dans la chaudière et marche en général dans le sens de la pression qu'exerce cette vapeur. Plus tard, la communication avec la chaudière est interrompue; la vapeur renfermée entre le piston et l'appareil distributeur agit par détente; c'est la deuxième période. La troisième commence à l'instant où la communication s'ouvre, soit avec le condenseur, soit avec l'atmosphère, et finit au moment où cette communication est interrompue; le mouvement du piston est alors ordinairement rétrograde. Enfin la quatrième période s'étend depuis le moment où la communication se ferme avec le condenseur jusqu'à celui où la communication s'ouvre avec la chaudière; pendant cet intervalle de temps, la vapeur, d'abord à la pression du condenseur, reste emprisonnée entre le piston et l'appareil de distribution, et peut même éprouver une certaine compression. Pour simplifier, nous appellerons ces quatre périodes: *période d'admission*, *période de détente*, *période d'échappement* ou *d'évacuation*, enfin *période de compression*.

Si l'on représente par une ligne droite, considérée comme axe des abscisses, l'espace décrit par le piston; si l'on élève des ordonnées représentant chacune la pression éprouvée en son lieu par la face du piston que l'on considère, tant lors du mouvement direct que lors du mouvement rétrograde, les extrémités de ces ordonnées décriront une courbe rentrante ou un polygone fermé, et le travail transmis par la vapeur sera représenté par l'aire de ce polygone

Cela posé, le meilleur règlement du tiroir ou la meilleure distribution sera réalisée, si l'on peut rendre l'aire dont il s'agit un maximum pour une même quantité de vapeur fournie par la chaudière. C'est le but que M. Clapeyron s'est proposé d'atteindre par de nombreuses recherches théoriques et pratiques dirigées particulièrement sur les machines locomotives. Mais avant d'exposer le résultat de ses travaux, il importe de rappeler à quel point en était la question quand il l'aborda à son tour.

Avant lui la plupart des constructeurs de machines locomotives étaient dans l'habitude de donner à la partie de la paroi du tiroir qui forme une sorte de soupape glissante, et que l'on désigne dans les ateliers par l'expression singulière de *bride du tiroir*, une largeur ou épaisseur précisément égale à la lumière de communication avec le cylindre. Par cette disposition primitive, lorsque le piston est à l'extrémité de sa course, le tiroir est au milieu de la sienne, et sa bride recouvre exactement la lumière. La période d'admission dure alors tout le temps du trajet direct du piston; la période de détente est nulle; la période d'échappement dure autant que le mouvement rétrograde du piston; enfin la période de compression est nulle.

Le polygone fermé, dont l'aire représente le travail transmis quand on néglige la contre-pression reconnue plus tard, se réduit alors à un rectangle dont les côtés horizontaux sont la course même du piston, et dont les côtés verticaux représentent la différence entre la ten-

AVANCE DU TIROIR.

...n initiale de la vapeur et la pression dans le condenseur ou l'atmosphère. C'est au reste la traduction géométrique de la formule admise dans la théorie ordinaire de la machine à vapeur sans détente.

Mais les praticiens avaient reconnu depuis longtemps que la machine locomotive gagne en puissance et économise en combustible, lorsque, sans rien changer au tiroir, on fait tourner à demeure l'excentrique qui dirige son mouvement sur l'essieu coudé, de telle sorte que l'admission de la vapeur et son évacuation, au lieu de commencer précisément au moment où le piston atteint le point mort, précèdent cet instant d'une certaine quantité. Cette disposition s'était introduite dans les ateliers sous le nom d'*avance du tiroir*. Elle était établie sur les machines locomotives importées d'Angleterre en 1837 pour le service du chemin de fer de Saint-Germain.

L'explication des avantages qui résultent de cette disposition n'était pas un mystère : on savait que l'avance du tiroir a pour effet de diminuer l'influence de la compression qui, dans le règlement sans avance, a lieu pendant tout le temps qui s'écoule entre l'ouverture de la lumière d'échappement et l'instant où l'équilibre de pression s'établit entre la vapeur qui a accompli son travail et le condenseur ou l'atmosphère. En outre, on s'était aperçu que l'*avance* introduisait la vapeur sur une des faces du piston avant que cette face eût atteint le fond du cylindre, et l'on avait paré à cet inconvénient en accroissant la bride de quelques millimètres du côté de la chaudière, ou en lui donnant un faible recouvrement extérieur. L'avance du tiroir est mentionnée dans la première édition de l'ouvrage de M. Pambour sur les locomotives.

Plus tard cette disposition a été l'objet de recherches approfondies dans l'ouvrage intitulé : *Guide du Mécanicien*, publié en 1840, par MM. Flachat et Pétiet. Ces ingénieurs conseillent de régler les machines locomotives de telle sorte, que la vapeur s'introduisant un moment avant que le piston ait changé de mouvement, commence à s'échapper lorsque la manivelle a encore 23 degrés à parcourir pour atteindre le point mort; la vapeur n'est alors introduite que pendant les 0,87 de la course du piston. MM. Flachat et Pétiet ont fait ressortir les avantages qui résultent de cette économie de vapeur; ensuite, à l'aide d'hypothèses plausibles et d'une méthode de calcul approximative, ils ont cherché à découvrir la loi de la pression variable que conserve la vapeur durant l'échappement, et à représenter par des nombres le bénéfice que l'on trouve à faire tourner au profit du travail utile cette même pression qui, dans le règlement sans avance, en consomme inutilement une portion très notable. Mais, à l'imitation des constructeurs, MM. Flachat et Pétiet s'étaient trop arrêtés dans la voie du progrès signalé par de premiers succès pratiques, et qu'ils avaient eux-mêmes contribué à éclaircir et à répandre.

Jusque-là on s'était uniquement occupé de l'idée d'ouvrir la communication avec l'atmosphère ou le condenseur, avant que le piston ait atteint le terme de sa course. Le recouvrement du tiroir, du côté extérieur, avait pour but de n'introduire la vapeur que dans le voisinage du point mort. On avait remarqué, il est vrai, que ce recouvrement donnait naissance à une véritable détente; mais, tout en reconnaissant cet avantage, on le regardait comme une conséquence heureuse de la disposition adoptée, et l'on ne faisait aucun effort pour l'accroître.

C'est en cela que les dispositions proposées et appliquées par M. Clapeyron, se distinguent nettement du mode de règlement connu sous le nom d'avance du tiroir. La détente, acceptée jusqu'à lui comme une conséquence, il se l'est proposée comme un but, et il est effectivement parvenu à l'accroître notablement sans employer aucun nouvel appareil, et sans rien changer aux conditions essentielles de l'admission et de l'échappement de la vapeur.

Revenons maintenant aux quatre périodes que nous avons distinguées dans le mouvement direct et rétrograde de l'une des faces du piston. Il est évident, à priori, que la période d'admission doit avoir son origine au moment où le piston commence sa course, et se terminer lorsque la quantité de vapeur introduite est celle que comporte la puissance évaporatrice de la chaudière. La période de détente, au premier abord, semble se terminer à l'instant où la vapeur dilatée n'a plus qu'une tension égale à la pression de l'atmosphère ou à celle du condenseur; mais ici interviennent deux considérations pratiques qu'on ne saurait abstraire : d'abord on ne peut accroître outre mesure les dimensions du cylindre, et ensuite, pour les locomotives, il faut conserver à la vapeur s'échappant dans l'atmosphère une pression suffisante pour accélérer son évacuation, ou, comme le croient les praticiens, pour opérer convenablement le tirage; afin de tenir compte de ces restrictions, on peut dire que la période de détente doit avoir lieu pendant la plus grande fraction possible de la course du piston. La période d'échappement doit se terminer à l'instant même où la face du piston que l'on considère a atteint le terme de son mouvement direct; néanmoins on peut avec avantage sacrifier quelque chose de la rigueur de ce principe dans le but de diminuer la capacité du cylindre, et assigner pour condition, que la troisième période se termine lorsque le piston, dans son mouvement rétrograde, ne s'est encore éloigné que fort peu du point mort. Enfin la période de compression doit se terminer à l'instant où le piston achève sa double course.

Telles sont les conditions que doit remplir une bonne distribution. On peut y satisfaire à l'aide de plusieurs appareils connus depuis longtemps, et qui ont l'avantage de procurer une détente variable; mais ces appareils ajoutent une nouvelle complication dans la locomotive, où une extrême simplicité est plus désirable encore que pour toute autre machine à vapeur. Or, l'appareil ordinaire de distribution nommé *tiroir* renferme plusieurs éléments indéterminés; ne serait-il pas possible d'en disposer, de manière à remplir les conditions que nous venons d'énoncer sans ajouter aucun nouveau mécanisme? voilà le problème que s'est posé M. Clapeyron.

Mais pour satisfaire à quatre conditions, il faut pouvoir disposer de quatre variables; l'appareil de distribution les fournit-il? c'est ce qu'il importe d'examiner. Supposons le tiroir au milieu de sa course; la lumière qui communique avec le cylindre est alors recouverte par la bride du tiroir qui, dans le cas le plus général, dépasse la lumière des deux côtés : du côté de la vapeur, cet excédant porte le nom de *recouvrement extérieur*; du côté du condenseur ou de l'atmosphère, on peut l'appeler *recouvrement intérieur*. Ces deux recouvrements sont à la disposition du constructeur. Ce n'est pas tout : l'excentrique qui commande le tiroir peut être diversement placé par rapport au bras de la manivelle; voilà une troisième variable dont on peut encore disposer, mais là cesse toute indétermination. Ainsi il n'existe que trois variables pour satisfaire à quatre conditions : ces trois variables sont : le recouvrement extérieur, le recouvrement intérieur, et l'angle qui fixe l'axe de l'excentrique.

Des quatre conditions à remplir il fallait donc en sacrifier une, et conséquemment rechercher avec soin les trois conditions qui influent le plus sur la marche de la machine. La discussion nécessaire pour atteindre ce but fait partie du mémoire de M. Clapeyron. Nous devons nous borner ici à indiquer les résultats pratiques auxquels cet ingénieur a été définitivement conduit.

Dans la machine le *Creuzot*, sur laquelle eurent lieu

les premières expériences, et dont le nouveau mécanisme fut commencé en mai 1840, le recouvrement extérieur fut porté à 0m,103 ou au quart de la course du tiroir, le recouvrement intérieur à 0m,018, et l'angle compris entre l'axe de la manivelle et celui de l'excentrique à 55 degrés. Avec ces dispositions, et comme l'auteur le fait voir à l'aide d'une construction géométrique fort simple, la période d'admission cesse quand le piston a parcouru les 0,7 de sa course. La période de détente finit aux 0,96, la manivelle faisant alors un angle de 19° avec la position correspondante au point mort. La période d'évacuation dure jusqu'à ce que le piston ait atteint les 0,79 de sa course rétrograde. Là commence la période de compression qui se termine au moment où la communication avec la chaudière s'ouvre de nouveau, et lorsque le piston a presque atteint le point mort, la manivelle n'en étant séparée que d'un angle de 6°.

M. Clapeyron admet dans son Mémoire que, dans la quatrième période, la vapeur, d'abord à la pression du condenseur, peut se comprimer sans se liquéfier, à cause de la haute température que doivent conserver les parois du cylindre dans les locomotives. Il était à désirer que ce fait remarquable fût vérifié par des expériences directes. C'est ce que vient de faire M. Clapeyron, à l'aide de l'indicateur de Watt : la courbe tracée par l'instrument justifie toutes ces prévisions.

Cette compression, dont l'existence est maintenant constatée, semble au premier abord devoir réduire le travail utile de la vapeur employée, et il paraît même que cette considération a empêché les constructeurs d'augmenter convenablement les recouvrements du tiroir. Mais, comme le fait observer M. Clapeyron, il n'y aura inconvénient que si la vapeur comprimée acquiert une tension supérieure à celle de la chaudière : si cette limite n'est pas dépassée, et seulement atteinte, il arrivera qu'au commencement de la période d'admission, l'espace que le piston laisse libre à l'extrémité du cylindre, et les conduits qui y aboutissent, renfermeront un fluide à la pression de la chaudière; la consommation sera donc réduite du poids de la vapeur qui, dans l'hypothèse ordinaire, eût dû remplir ces espaces, auxquels on pourra toujours donner une capacité suffisante pour qu'il en soit ainsi.

Si l'on compare la disposition adoptée par M. Clapeyron à ce qui avait été fait par ses devanciers, on remarquera qu'il ne change rien aux époques où doivent commencer les périodes d'admission et d'échappement, mais qu'il profite d'une indétermination qui reste encore pour accroître la détente dans des limites pratiques. Le succès obtenu dans la machine le *Creuzot* le porta à pousser plus loin encore la détente dans d'autres locomotives, où la vapeur est maintenant interceptée aux 0,65 de la course du piston.

Dans le matériel des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), le nombre des locomotives modifiées d'après cette théorie monte actuellement à treize. Le diamètre des cylindres a été porté de 13 pouces à 15 pour sept de ces machines, et de 11 pouces à 13 pour les six autres. Dans toutes, l'effet utile s'est accru de 40 à 50 p. 100. La consommation a été réduite, mais cette diminution doit être attribuée en partie à d'autres causes que l'emploi de la détente. Le mode de distribution ou de *détente fixe*, inventé par M. Clapeyron, s'est introduit, depuis plus de deux ans, dans la plupart des ateliers où l'on construit et répare les locomotives.

Avant ce perfectionnement, les fortes locomotives du chemin de Versailles (rive droite) ne pouvaient franchir la rampe de $\frac{1}{200}$ qui existe sur 18 kilom. du parcours total, qu'avec un convoi de huit wagons. Aujourd'hui les mêmes machines, modifiées d'après la théorie actuelle, sans consommer une plus grande quantité de vapeur, conservent la vitesse normale de 4 myriamètres à l'heure, en tête d'un convoi de douze wagons, d'un poids total de 73 tonnes, et cela sur une rampe ascendante, que son inclinaison et surtout sa longueur, rendaient très difficile à gravir.

Certes, il y a lieu de s'étonner qu'un résultat aussi important que celui d'augmenter de 40 à 50 p. 100 le travail utile d'une même quantité de vapeur ait été obtenu par quelques millimètres de plus donnés aux recouvrements du tiroir, appareil qui occupe une si petite place dans une locomotive. On pourrait être surpris, surtout, que le bénéfice énorme qui résulte d'une modification aussi simple, et qui peut s'appliquer à toutes les machines à vapeur, eût été découvert si tard. Mais des recherches intéressantes faites récemment par M. Clapeyron, et qu'il nous a communiquées, établissent que l'importance du règlement du tiroir avait été pressentie avant 1805 par Watt lui-même; qu'une pratique s'en était suivie dans ses ateliers, pratique conservée mystérieusement, et en quelque sorte comme une propriété exclusive, par les constructeurs anglais, élèves de cet illustre maître; que vers 1836, des ingénieurs de la marine française, en recevant et essayant les machines importées d'Angleterre pour les bateaux à vapeur de l'État, ont reconnu les avantages du mode de distribution adopté dans ces machines; que l'un d'eux, M. Reech, en a fait une étude approfondie, et a rédigé sur ce point un travail important, qui a fait grand honneur à cet ingénieur. D'autres renseignements font voir que, depuis 1840, les ingénieurs des chemins de fer anglais ont été conduits à un mode de règlement de tiroirs, dans les locomotives, qui présente une grande analogie avec les dispositions adoptées par M. Clapeyron, mais qui en diffère par plusieurs points essentiels.

Pour trouver la date des premiers efforts tentés dans le but d'opérer un vide moins imparfait derrière le piston, avant qu'il retourne sur ses pas, il faut donc remonter jusqu'à l'illustre Watt. Cette origine est mise hors de doute par la copie d'un dessin communiqué à M. Campaignac, ingénieur de la marine, par M. Miller, célèbre constructeur anglais. Ce dessin est dressé d'après les indications de Watt, et porte la date de 1805 ; il fait voir que, dès cette époque, Watt avait reconnu la convenance de déterminer les dimensions du tiroir et la position de l'excentrique, de manière à interrompre l'admission de la vapeur aux 0,87 de la course du piston, et à ouvrir la communication avec le condenseur lorsque le bras de la manivelle a encore 24° 1/2 à parcourir avant d'atteindre le point mort.

Cette méthode fut conservée dans l'établissement de Watt et Bolton, à Soho, où M. Miller la recueillit vers 1814 ou 1815. Un petit nombre d'autres constructeurs en eurent connaissance par la même voie; et cet utile perfectionnement, dû au génie de Watt, resta pendant longtemps la propriété exclusive de quelques-uns de ses élèves.

Lorsque la marine française, après avoir importé d'Angleterre les premières machines destinées à l'armement de ses bâtiments à vapeur en eut fait construire d'autres, sur les mêmes modèles, dans les établissements français, on fut frappé de la différence des effets obtenus avec ces diverses machines, en apparence identiques. Avec les appareils français, la production de vapeur était insuffisante, le nombre des coups de piston moindre, et les bâtiments marchaient moins vite, quoique la consommation en combustible fût plus considérable.

Il fut enfin reconnu que cette différence d'effets tenait uniquement à la *régulation des valves glissantes*, ou au règlement des tiroirs : les appareils anglais arrêtant l'admission de la vapeur aux 0,8 et même aux 0,7,

tandis que dans les machines françaises cette admission se prolongeait jusqu'à la fin de la course du piston.

Ce résultat est principalement dû à des recherches suivies avec persévérance par M. Reech, ingénieur de la marine. Dans un rapport adressé, le 7 décembre 1836, au ministre de la marine, M. Reech fait voir que l'infériorité des appareils français disparaîtrait si, par un simple déplacement du *toc* qui fixe la position de l'excentrique sur l'arbre de la manivelle, on arrêtait l'introduction de la vapeur entre les 0,7 et les 0,8 de la course du piston.

Depuis, de nouvelles expériences faites à Lorient, pour recevoir les paquebots-postes de la Méditerranée, et d'autres expériences entreprises, en 1837, à Lorient et à Indret, sur les bâtiments à vapeur de la marine royale, ayant confirmé ses assertions antérieures, M. Reech revit ses calculs, les rendit plus complets, et en composa un Mémoire qu'il adressa à l'Académie avant le 1er mai 1838, et qu'il retira en juin 1839 pour le remettre au ministère de la marine.

L'un des résultats les plus saillants, renfermés dans le travail de M. Reech, est compris dans l'énoncé suivant :

« Dans les machines à vapeur à basse pression, disposées et proportionnées comme celles du *Sphinx* (bâtiment de l'Etat), avec un tiroir qui doit fermer l'entrée de la vapeur aux 0,9 de la course, si l'on avance ou recule le toc de l'excentrique sur l'arbre moteur, de manière à faire varier le point de fermeture du tiroir depuis les 0,8 jusqu'à la course entière, toute chose restant égale d'ailleurs, le travail utile, loin d'être proportionnel à la vapeur dépensée, est au contraire à son minimum quand la fermeture a lieu à la fin de la course, et croît rapidement à mesure que l'on donne moins de vapeur, jusqu'à ce que la fermeture ait lieu vers les 0,854. A cette fraction d'introduction correspond le maximum absolu de puissance. Pour une moindre fraction, la puissance diminue en même temps que la dépense, mais le rapport de cette puissance à la consommation ne cesse pas d'aller encore en augmentant. »

Ce n'est pas ici le lieu d'analyser le savant Mémoire de M. Reech (voyez BATEAUX A VAPEUR), les détails qui précèdent suffisent pour constater l'antériorité de ses recherches en ce qui concerne les machines établies sur les bâtiments à vapeur.

Relativement aux machines locomotives, divers articles insérés dans le *Rail-way magazine* prouvent que les ingénieurs anglais ont successivement modifié le règlement des tiroirs de manière à obtenir en dernier résultat une économie de combustible, que M. Wood évalue à 30 p. 100. La disposition définitivement adoptée ne paraît pas remonter au-delà du mois d'août 1840 ; elle fut établie l'année suivante sur plusieurs locomotives du chemin de fer de Liverpool à Manchester. Depuis, cette méthode s'est étendue dans toute l'Angleterre et sur le continent.

De son côté, M. Clapeyron était arrivé à un résultat analogue par une voie théorique, et dès le mois de mai 1840, il établissait ses nouvelles dispositions sur la machine *le Creusot*. Toutefois, quoique ces deux perfectionnements s'appuient évidemment sur le même principe, ils diffèrent quant à leurs applications : les ingénieurs anglais ont pris pour but l'économie du combustible ; M. Clapeyron s'est proposé d'accroître la puissance de ses machines sans augmenter la consommation.

Les méthodes nouvelles se distinguent en outre sur deux points essentiels : les constructeurs anglais n'interceptent pas la vapeur avant les 0,7 de la course du piston ; M. Clapeyron adopte la limite de 0,65. Les premiers, dans toutes leurs machines à vapeur, suppriment complétement le recouvrement intérieur, tandis que M. Clapeyron regarde les deux recouvrements comme étant indispensables dans ses locomotives ; la nécessité de les conserver résulte pour lui d'expériences comparatives qu'il a citées dans son Mémoire.

Au reste, la question du recouvrement intérieur, ou, ce qui revient au même, celle de l'angle sous lequel commence l'échappement, se lie au temps que met la vapeur à perdre son excès de pression. Cet angle doit être plus petit lorsque les lumières d'évacuation sont plus larges, plus grand lorsqu'elles sont plus étroites. Or M. Clapeyron, en faisant construire ses nouveaux cylindres, a notablement accru la largeur des conduits de vapeur, et cette circonstance paraît expliquer l'avantage constaté d'un recouvrement intérieur dans ses machines, en opposition avec la méthode anglaise.

Tels sont les faits historiques relatifs à la régularisation des organes distributeurs dans les machines à vapeur. Il est remarquable qu'en Angleterre et en France, des hommes de pratique et de théorie soient ainsi arrivés à des résultats à peu près identiques, qu'il s'agisse de machines fixes, d'appareils pour les bâtiments à vapeur ou de locomotives, sans que, comme tout porte à le croire, il y ait eu aucune liaison entre leurs travaux. Quand on pense à l'époque reculée à laquelle remonte la pratique de Watt, on se demande comment une disposition aussi simple, et qui, employée avec intelligence, peut ajouter 40 à 50 p. 100 au travail utile d'une quantité donnée de combustible, a pu rester pendant près d'un demi-siècle le secret d'un petit nombre de constructeurs. Nous voyons là un motif de se féliciter que l'Académie ait approuvé les conclusions du rapport. La publicité donnée au travail de M. Clapeyron a contribué à répandre des notions utiles, et provoqué des recherches nouvelles, indispensables pour éclaircir plusieurs points qui restaient encore obscurs, tels que : la limite de la détente possible, sans l'emploi d'un appareil spécial ; la nécessité absolue ou relative du recouvrement intérieur ; enfin, la possibilité de s'opposer à toute perte de force qui proviendrait de la compression, en donnant des dimensions convenables à l'espace libre du cylindre et aux conduits de vapeur.

Nous étudions les dispositions propres à produire la détente dans toute espèce de machines à vapeur, locomotives ou autres, au mot DÉTENTE, mode d'action de la vapeur qui a donné lieu à une grande économie sur le combustible.

AVOINE (*angl.* oats, *all.* hafer). La composition de l'avoine a été moins étudiée que celle des autres céréales ; suivant Vogel, elle fournit moyennement sur 100 parties : 66 de farine et 34 de son, et la farine est composée sur 100 parties de :

Huile grasse d'un jaune verdâtre. . .	2,00
Matière extractive légèrement amère. .	8,20
Gomme.	2,50
Substance grisâtre, ressemblant plus à l'albumine qu'au gluten.	4,30
Fécule.	59,00
Eau et perte.	24,00
	100,00

Schrœder a trouvé dans les cendres de l'avoine de la silice, des carbonates de chaux et de magnésie, de l'alumine et des oxydes de fer et de manganèse.

AZOTATES. Nom donné aux nitrates par quelques chimistes (voyez NITRATES).

ACIDE AZOTIQUE. Nom donné à l'acide nitrique par quelques chimistes (voyez acide NITRIQUE).

AZOTE. Corps gazeux, permanent, incolore, sans odeur ni saveur, qui éteint les corps en combustion et n'est pas susceptible d'entretenir la respiration ; sa densité par rapport à celle de l'air est de 0,976, de sorte qu'un litre de ce gaz, sous la pression barométrique de

0m,76 de mercure et à la température de 0° pèse 1g,267. Il forme en volume 0,782 de l'air et se dégage en abondance de certaines sources minérales, par exemple, à *Lenk*, près du Gemmi (Suisse) et en quelques endroits dans les Pyrénées, l'île Ceylan et les deux Amériques. En chauffant dans une cornue du nitrite d'ammoniaque ($Az^2O^3 + Az^2H^6 + H^2O$), il se forme de l'eau ($4H^2O$) et de l'azote ($4Az$) qui se dégage. On peut également l'obtenir en brûlant du phosphore sous une cloche pleine d'air et renversée sur de l'eau, dans une cuve pneumatique ; le phosphore en brûlant absorbe tout l'oxygène, et il ne reste que de l'azote que l'on peut purifier en l'agitant avec une dissolution de potasse caustique ou de l'eau de chaux, qui s'empare de l'acide phosphorique formé pendant la réaction et de la petite quantité d'acide carbonique contenue primitivement dans l'air. Le procédé le plus simple pour préparer l'azote parfaitement pur, consiste à faire passer un courant d'air d'abord à travers une dissolution concentrée de potasse caustique où il se dépouille de l'acide carbonique qu'il renferme, puis à travers un tube plein de chlorure de calcium qui s'empare de toute la vapeur d'eau qu'il contenait, et enfin à travers un tube de porcelaine chauffé au rouge et rempli de tournure de cuivre, d'abord oxydée par un grillage préalable, puis réduite à l'état métallique par un courant d'hydrogène ; le cuivre absorbe l'oxygène de l'air et s'oxyde, de sorte qu'il ne s'échappe du tube que de l'azote sec et parfaitement pur, que l'on peut recueillir sous une cloche remplie d'eau ou de mercure.

L'azote n'est pas susceptible de se combiner directement avec l'oxygène ; cependant il forme avec lui cinq composés remarquables : le *protoxyde d'azote*, le *deutoxyde d'azote* et les acides NITREUX, HYPO-NITRIQUE et NITRIQUE. Il se combine également avec l'hydrogène pour donner un composé alcalin très important, l'AMMONIAQUE, dont nous avons déjà parlé.

Protoxyde d'azote. Gazeux, inodore, d'une saveur sucrée très sensible ; les bougies y brûlent ou s'y rallument presque aussi bien que dans l'oxygène, pourvu toutefois qu'elles offrent seulement quelques points en ignition. La respiration de ce gaz produit sur quelques individus une sorte d'ivresse et d'excitation analogues à celles que procurent les spiritueux, à d'autres elle occasionne de violents maux de tête, et, dans tous les cas, si la quantité de gaz inspiré était considérable, elle donnerait lieu à une asphyxie. La densité de ce gaz, par rapport à celle de l'air, est de 1,527, de sorte qu'un litre pèse 1g,98. Il se compose de 2 volumes d'azote et de 1 vol. d'oxygène, condensés en 2 vol., ou en poids de :

Azote.	63,64	Az^2O.
Oxygène.	36,36	
	100,00	

l'eau en dissout son volume ; on peut le liquéfier sous une pression très considérable. On le prépare en décomposant par la chaleur le nitrate d'ammoniaque $Az^2O^6 + Az^2H^6 + H^2O$; il se forme de l'eau $4H^2O$, et du protoxyde d'azote $2Az^2O$. Il se produit également, mélangé d'une quantité plus ou moins considérable de deutoxyde d'azote dans la réaction de l'acide nitrique concentré sur beaucoup de substances et particulièrement certains métaux.

Deutoxyde d'azote. Gazeux incolore ; sa densité est de 1,039, de sorte qu'un litre de ce gaz pèse 1g,340 ; du moment qu'il arrive en contact avec l'air, il en absorbe l'oxygène en donnant naissance à des vapeurs nitreuses rouges excessivement corrosives et irritantes ; il est composé de volumes égaux d'azote et d'oxygène sans condensation ou en poids de :

Azote.	47	Az^2O^2
Oxygène.	53	
	100	

On se procure aisément le deutoxyde d'azote en traitant de la tournure de cuivre par de l'acide nitrique étendu de la moitié de son poids d'eau, et recueillant le gaz qui se dégage dans une cloche pleine d'eau, purgée d'air par l'ébullition, ou de mercure, et renversée sur une cuve pneumatique.

On peut représenter cette réaction par l'équation suivante :

$4Az^2O^5$ (acide nitrique), $+ 3Cu$ (cuivre métallique), $= 3[Az^2O^5 + CuO]$ (nitrate de cuivre), $+ Az^2O^2$ (deutoxyde d'azote). Ce même gaz se produit également en grande quantité dans la réaction de l'acide nitrique sur beaucoup de substances : par exemple, le fer, le mercure, l'argent, le phosphore, le sucre, l'amidon, etc. ; mais souvent, si la réaction est trop violente, comme dans le cas où l'on verse de l'acide nitrique concentré sur de la tournure de cuivre, il se dégage en même temps une quantité considérable de protoxyde d'azote.

Une propriété caractéristique du deutoxyde d'azote, sur laquelle est fondé le procédé le plus sensible que l'on connaisse pour reconnaître la présence de l'acide nitrique, consiste dans la faculté qu'il possède d'être complétement absorbé par les sels de protoxyde de fer qu'il colore en noir-violacé très foncé.

AZOTÉ. Se dit de certaines substances végétales, qui, contenant de l'azote, sont supposées participer en même temps de la nature animale ; la plupart des corps animaux étant caractérisés par la présence de beaucoup d'azote dans leur composition. Les produits végétaux, indigo, café, gluten et plusieurs autres, contiennent de l'azote en abondance.

AZUR. Voyez COBALT.

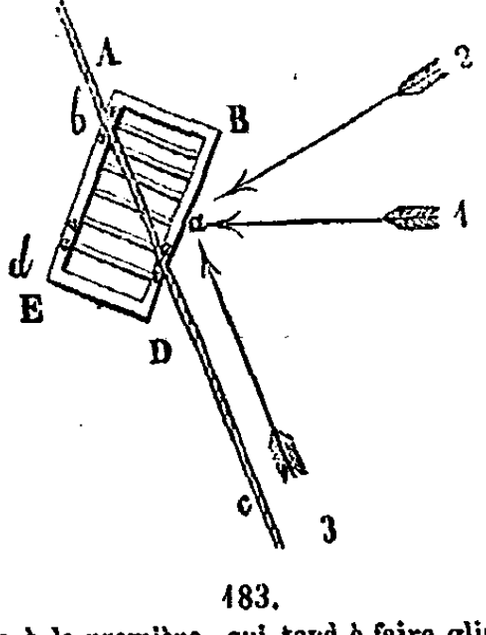
B

BAC. Bateau plat employé pour passer d'une rive à l'autre d'un fleuve, là, où il n'y a point de pont. Un bac doit satisfaire aux conditions suivantes : 1° Facilité d'embarquer et de débarquer malgré les variations de la hauteur des eaux qui déplacent les points de départ et d'arrivée ; 2° tirer peu d'eau ; 3° présenter une grande solidité. Il en résulte que l'on donne aux bacs une forme rectangulaire ; les parois latérales sont parallèles et verticales ; et l'avant et l'arrière sont inclinés de part et d'autre parallèlement au chemin qui amène les voitures ; de telle sorte que la section longitudinale est un trapèze renversé et très surbaissé. Aux deux extrémités sont de petits planchers ou *tabliers*, mobiles autour de charnières horizontales, qui peuvent être abaissés ou levés à volonté, à la manière des PONT-LEVIS ; on les maintient levés tant que dure la traversée, mais lorsqu'on a atteint le bord, on rabat sur le rivage le tablier correspondant, ce qui forme un plancher solide, qui facilite l'entrée et la sortie des voitures et des bestiaux.

Ce n'est pas à l'aide d'avirons ou de perches qu'on pourrait diriger, au travers du courant, un bateau aussi

chargé et aussi grand que l'est un bac ; on se sert de la force même du courant, en dirigeant le bateau au moyen d'une corde attachée, soit sur les deux bords, soit au milieu du passage ; dans ce dernier cas l'ensemble du bateau et de la corde qui le retient porte le nom de *traille*.

Dans les cours d'eau peu rapides, on tend une corde ou *grelin*, d'un bord à l'autre, au moyen d'un cabestan, et on en arrête les bouts sur deux pieux solidement enfoncés dans la grève. Cette corde ne peut traverser d'une rive à l'autre qu'en s'enfonçant dans l'eau durant une grande partie de sa longueur, puisque sans cela elle empêcherait la navigation. On fait passer cette corde c, d'un côté sur un cylindre vertical *a* (fig. 183) mobile sur son axe qui est fixé sur l'un des flancs BD du bac en son milieu, et de l'autre dans une encoche *b* située près de l'une des extrémités du flanc opposé. L'effort du courant qui est dirigé suivant la flèche 1, se décompose en deux ; la force 2 normale au câble directeur, qui est détruite par la résistance de ce câble ; et la force 3 perpendiculaire à la première, qui tend à faire glisser le bac dans le sens du câble directeur suivant le sens indiqué par la flèche. A moins que les eaux ne soient très fortes, le courant ne suffit pas seul pour opérer le trajet ; et même, quand il le pourrait, il le ferait lentement ; aussi y a-t-il toujours un ou deux bateliers qui hâlent sur le câble en allant de *b* vers *a*, pour accélérer la traversée. Arrivé près du rivage, le batelier soulève la corde *c c*, pour la retirer de l'encoche *b*, et la porte vers B, de telle sorte qu'elle devienne parallèle au flanc BD ; BA devient parallèle au rivage, et il ne reste plus qu'à abaisser le tablier pour décharger et recharger le bac. Pour faire revenir le bac à la première rive, on commence par le dégager de la grève, on relève le tablier, puis on fait tourner le bateau en tirant le câble de D vers E jusqu'à ce qu'il soit arrivé dans l'encoche *d*, de manière à ce que le flanc BD présente, en sens inverse, relativement au câble directeur, une inclinaison égale à celle qu'il avait d'abord. Les bacs de cette espèce établis sur la Seine, aux environs de Paris, ont 9[m] de longueur sur 5 à 6[m] de largeur, et l'expérience a montré que le flanc BD devait être incliné de telle sorte, que l'angle qu'il forme avec la direction du courant, soit de 50 à 55°.



183.

Lorsque le fleuve est très large et le courant très rapide on préfère les *trailles*, qui sont très employées sur l'*Escaut*, le *Rhin*, le *Pô*, etc. On plante au milieu du fleuve un pieu très fort, ou bien on y jette une ANCRE ; on y attache solidement un câble qui est soutenu au-dessus de l'eau par de petits PONTONS sur lesquels il est attaché, et dont l'autre extrémité se termine au bac. Pour le mettre en mouvement, on le dégrave, et à l'aide d'un GOUVERNAIL, on dirige le flanc de manière à ce qu'il se présente obliquement au courant ; il est alors poussé comme précédemment, et le bateau s'éloigne du rivage. La pression des eaux fait ainsi passer le bac d'une rive à l'autre, en lui faisant décrire un arc de cercle dont le centre est l'ancre, et dont le câble est le rayon ; pour que toutes les manœuvres s'exécutent avec facilité, il suffit que la longueur totale du câble soit égale à la largeur de la rivière. De plus, comme il n'est tendu que par l'action du courant contre la barque, il éprouve une traction bien moindre que dans le cas d'un câble fixé sur les deux rives. Les trailles sont donc préférables aux bacs ordinaires, dans tous les lieux où l'on peut choisir entre ces deux dispositions, et il est à regretter, qu'en France, leur usage soit encore si peu répandu.

BAGASSE. Nom donné aux cannes à sucre dont on a exprimé le suc ou *vesou* à l'aide de presses à cylindres (voyez SUCRE). On les laisse sécher à l'air et on les emploie ensuite comme combustible dans le traitement ultérieur du *vesou*.

BAINS (*angl.* baths, *all.* bæder). Les bains, tant sous le rapport de la salubrité que sous celui de la propreté et du bien-être qui en résultent, ont été recherchés de tous temps et dans tous les pays. Comme dans nos climats la température, habituellement froide, nous met, pendant la majeure partie de l'année, dans l'impossibilité de prendre des bains de rivière, et que d'ailleurs les questions qui se rattachent aux bains froids sont du ressort de l'*hygiène*, dont l'étude n'entre pas dans le cadre que nous nous sommes tracés, nous ne parlerons ici que des bains chauds ; cependant les bains de rivière, lorsqu'on peut les supporter, et que la température de l'eau et de l'air les rend agréables, étant pour le moins aussi utiles que les bains chauds, nous ne devons pas les passer sous silence.

Nous donnerons une idée du prodigieux accroissement que l'emploi des bains chauds prend de nos jours, par suite de l'abaissement de prix qui résulte de la concurrence, en rappelant qu'en 1780, tous les établissements de bains publics existant dans Paris ne contenaient ensemble que 250 baignoires ; qu'en 1813, ce nombre s'éleva à 300 ; qu'en 1832, on comptait à Paris 78 maisons de bains, renfermant 2374 baignoires en place, et 1059 baignoires mobiles pour le transport des bains à domicile ; et qu'enfin chaque jour nous voyons de nouveaux établissements de bains s'élever dans l'un ou l'autre des nombreux quartiers de la capitale.

On construit ordinairement les baignoires en cuivre étamé, à cause de la facilité avec laquelle le cuivre se travaille, et parce que la tôle de fer et même le fer-blanc sont trop facilement attaqués par la rouille.

On fait aussi depuis peu de temps des baignoires en FER GALVANISÉ, qui durent aussi longtemps que celles en cuivre et ont l'avantage de coûter moins cher. Pour les bains sulfureux qui attaqueraient le cuivre, on emploie des baignoires en bois, qui ont l'inconvénient de se gercer par suite des alternatives de sécheresse et d'humidité auxquelles elles sont soumises, ou mieux des baignoires en zinc qui sont peu ou point attaquées par les sulfures alcalins que les eaux tiennent en dissolution. On trouve aussi, surtout dans les établissements thermaux, des baignoires en bois doublées de plaques de marbre poli ou de faïence, qui sont très élégantes et très durables, seulement leur poids empêche de les placer dans les étages supérieurs, et leur prix élevé est presque toujours le motif qui les fait rejeter.

La forme des baignoires peut varier à l'infini ; elle est ordinairement ovoïde, parce que cette disposition diminue un peu la quantité d'eau nécessaire pour prendre un bain. Leur nombre varie dans les maisons de bains, suivant les localités et le besoin ; elles peuvent être placées à un étage quelconque ; seulement il va sans dire que le réservoir d'eau chaude doit toujours être placé à la partie supérieure, afin de pouvoir desservir toutes les parties de l'établissement.

La partie la plus importante dans une maison de bains, vu la grande concurrence et par suite le bas prix

auquel ils sont livrés, est l'alimentation d'eau chauffée aussi économiquement que possible.

L'eau chaude qui sert à l'alimentation des baignoires, ne devant pas être chauffée au delà de 70 à 80°, on peut, pour ainsi dire, utiliser dans ce genre de chauffage toute la puissance calorifique du combustible, en faisant faire aux produits de la combustion un circuit assez développé, dans l'intérieur de la masse liquide, pour qu'ils ne s'échappent dans l'atmosphère qu'à une température inférieure à 100°; mais, dans ce cas, le tirage du fourneau, et, par suite, la quantité d'eau échauffée dans un temps donné, se trouvent considérablement diminués. On peut du reste rétablir et même augmenter beaucoup le tirage du fourneau au moyen d'un ventilateur, que l'on met en mouvement, sans frais, pour les bains placés sur des rivières, à l'aide d'une roue pendante établie sur l'une des parois du bateau. Ainsi, d'après Péclet, il a existé aux bains Vigier une chaudière reposant sur un fourneau dont le tirage était déterminé par un ventilateur, et qui utilisait la presque totalité de la puissance calorifique du combustible.

Ce qu'il y a de plus simple est de disposer le foyer dans le réservoir même, et de faire circuler les produits de la combustion dans un certain nombre de tubes décrivant un assez long chemin dans l'intérieur du réservoir. Dans un appareil de ce genre, présenté par Lemare à la Société d'encouragement, il a fallu moins de 2 heures et 33 kilog. de houille pour porter 2000 litres d'eau à l'ébullition. C'est en opérant en grand l'appareil le plus économique qui ait encore été établi. Cet appareil pesait près de 1000 kilogr., et coûtait avec la soupape et les ajustages 2000 fr.

Quand le nombre des bains à donner chaque jour, n'est pas considérable, les appareils contenant toute l'eau à chauffer sont coûteux à cause de leurs grandes dimensions, ce qui doit leur faire préférer les appareils à circulation. Nous empruntons à l'ouvrage de Péclet la description d'un appareil de ce genre, établi par MM. Thomas et Laurens, lequel donne de bons résultats. C'est un véritable calorifère à eau chaude, qui offre l'avantage de séparer le réservoir de l'appareil de chauffage, bien que celui-ci agisse toujours sur la partie la plus froide du liquide.

« Cet appareil (fig. 184) se compose d'une chaudière cylindrique horizontale, réunie par les extrémités à une autre chaudière verticale de 3 mètres de hauteur, renfermant neuf tubes verticaux en cuivre, fixés à la manière des tubes des chaudières tubulaires, et complétement ouverts par les deux bouts. La maçonnerie est disposée de telle sorte que les produits de la combustion baignent les deux parties de la chaudière et puissent simultanément s'élever par les tubes intérieurs. A l'extrémité supérieure se trouve un entonnoir renversé, en tôle, destiné à conduire les produits de la combustion dans la cheminée d'appel, et qu'on peut enlever au besoin pour nettoyer les carneaux ; un réservoir, placé à côté, contient l'eau qui est chauffée par circulation. L'appareil renferme 16 mètres carrés de surface de chauffe et consomme 40 kilogr. de houille par heure. Les gaz qui s'échappent à la partie supérieure n'ont plus qu'une température de 50 à 60° ; et le tirage est toujours suffisant, même quand le cône qui surmonte le fourneau est enlevé. »

Depuis que l'usage s'est établi de porter des bains à domicile, on transporte l'eau dans des tonneaux que l'on rend susceptibles d'en conserver longtemps la chaleur, en les faisant doubles, de manière à ce que le tonneau intérieur, qui renferme l'eau chaude, se trouve environné d'une couche d'air qui ne peut se renouveler, et qui, étant peu conducteur de la chaleur, rend la déperdition de celle-ci à peine sensible.

Dans les établissements de bains, il est nécessaire d'avoir une étuve dans laquelle on tienne du linge constamment chaud ; à cet effet, il suffit de le placer dans une caisse que l'on fait traverser par l'un des tuyaux de l'appareil de chauffage.

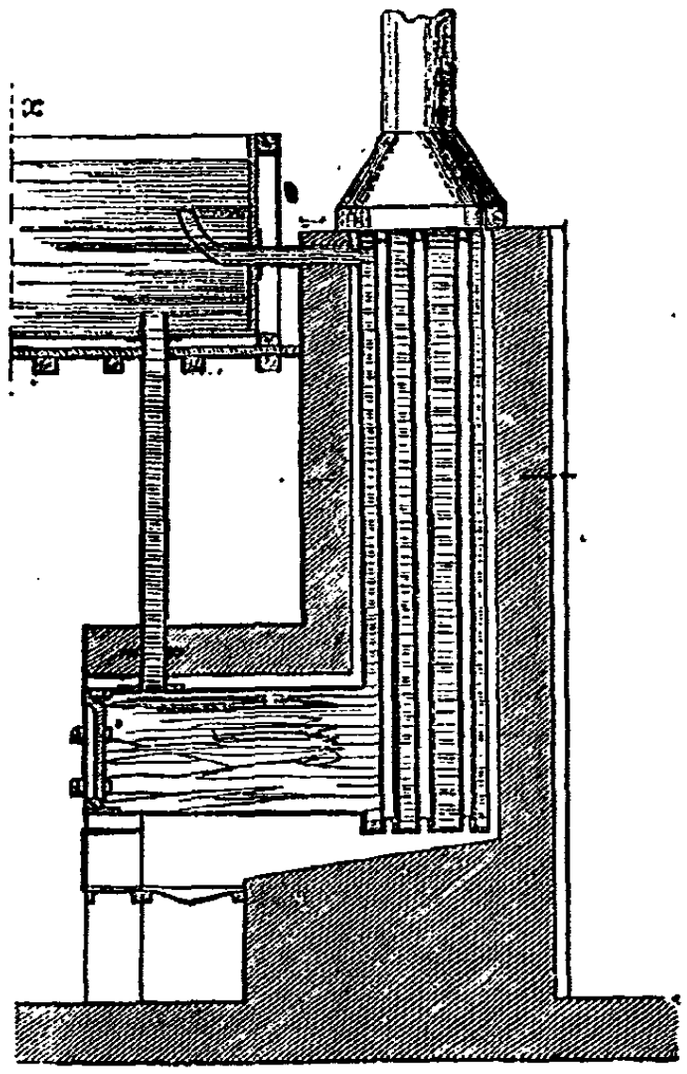


Fig. 184.

Pour les bains établis dans les maisons particulières, le moyen le plus simple consiste à chauffer l'eau au moyen d'un fourneau portatif placé sous la baignoire, et dont le tuyau s'élève verticalement de manière à échauffer une petite caisse destinée à renfermer le linge. L'emploi d'un appareil chauffé par de nombreux becs de gaz est extrêmement commode et convient aux installations riches. (Voy. CHAUFFAGE, *Complément.*)

BALANCE. La balance étant une application directe du levier, nous pensons devoir dire quelques mots de cette machine simple avant de décrire les diverses espèces de balances.

Le levier est une barre, ordinairement métallique, mobile autour d'un point fixe, à laquelle sont appliquées deux forces, l'une mouvante et l'autre résistante.

Quand le point fixe est entre ces deux forces, le levier est de première espèce ; si la résistance est entre le point fixe et la puissance, le levier est de seconde espèce. Enfin, le levier est de troisième espèce quand la puissance est appliquée entre le point fixe et la résistance.

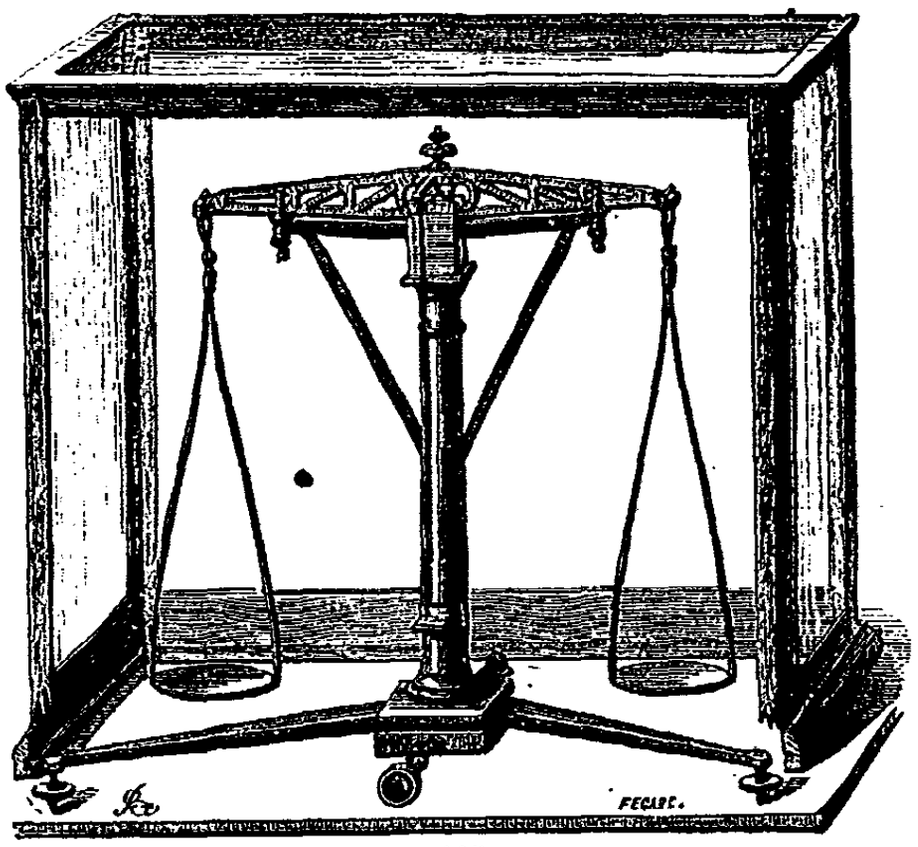
Si l'on étudie les conditions d'équilibre du levier, on voit facilement que, pour que cet équilibre existe, la puissance et la résistance doivent se trouver avec le point fixe dans un même plan ; de plus, ces forces tendent à faire tourner le levier en sens contraire, et leurs intensités doivent être en raison inverse de la distance au point fixe. Dans les leviers de la première espèce viennent se ranger les fléaux de balances, les balanciers des machines à vapeur.

Le levier de la seconde espèce est surtout employé par les tailleurs de pierre ; il sert à soulever les blocs.

La résistance a son point d'application au contact du levier avec le bloc ; le point fixe est situé au contact du levier avec le sol, et la puissance se trouve appliquée à l'autre extrémité.

Le levier de la troisième espèce a moins d'applications que les deux premières ; on peut toutefois citer un exemple de son emploi dans les pédales : l'effort du pied s'exerce entre le point fixe, qui est la charnière de la pédale, et la résistance qui se trouve à l'autre extrémité, au point d'articulation de la tige avec la pédale.

La balance ordinaire (fig. 485) n'est autre chose



485.

qu'un levier de la première espèce. Ce levier prend le nom de *fléau* : il supporte à ses deux extrémités, qui sont également distantes du point fixe, deux plateaux suspendus au fléau par des chaînes. Les matières que l'on dépose dans ces plateaux forment avec eux la puissance et la résistance dont nous avons parlé, et si ces forces sont égales il y a équilibre. La balance peut donc servir à apprécier un poids inconnu par sa comparaison avec des poids déterminés à l'avance ; mais pour qu'elle puisse servir à cet usage, elle doit être *juste*, c'est-à-dire se tenir en équilibre lorsqu'on charge dans chacun des plateaux des poids égaux, et perdre cet équilibre quand les poids sont inégaux, ce qui exige que les bras du fléau soient rigoureusement égaux ; de plus, comme le poids du fléau est négligé, ainsi que celui des plateaux, il est important que le fléau soit tout à fait symétrique, par rapport au point fixe, ou, ce qui revient au même, que son centre de gravité se trouve placé sur la verticale qui passe par ce point. Il est très difficile de résoudre pratiquement cette condition, sans laquelle cependant une balance ne peut être juste. Il ne suffit pas qu'une balance soit juste, elle doit être très *sensible;* c'est surtout dans les expériences de chimie et dans l'appréciation du poids d'une matière précieuse que cette condition est indispensable ; elle dépend, comme on va le voir, de la position du centre de gravité du fléau.

Ce centre de gravité, situé dans la verticale qui passe par le point fixe, peut se confondre avec ce point, être situé en dessus ou en dessous. Si le centre de gravité passe par le point fixe, il est évident que dans toute position la balance sera en équilibre ; de plus, l'inégalité la plus faible dans les poids chargés sur les deux plateaux la fera basculer ; dans ce cas, la balance est *indifférente.*

Si au contraire le centre de gravité est situé au dessus du point fixe, on peut établir l'équilibre ; mais cet équilibre *sera instable*, et le plus léger écart fera basculer le fléau du côté où le premier mouvement l'aura porté. On dit alors que la balance est *folle ;* dans ce cas elle ne peut être d'aucun usage, puisque l'équilibre, même momentané, est à peu près impossible.

Examinons le ca où le centre de gravité est inférieur au point fixe ; il est évident que dans cette position l'équilibre sera stable, c'est-à-dire que si l'on force le fléau à tourner sur son axe d'une petite quantité, il tendra à y revenir par une série d'oscillations, dont l'amplitude ira en diminuant, jusqu'à ce qu'elles soient complétement éteintes. Si on met des poids différents dans les deux plateaux d'une pareille balance, le fléau s'inclinera et prendra pour la même charge une position d'équilibre, qui sera d'autant plus inclinée sur l'horizontale, que la distance entre le point fixe et le centre de gravité de l'ensemble du fléau et des plateaux sera moindre. Lorsque la charge sur les plateaux augmente, toutes choses égales d'ailleurs, la *sensibilité* diminue, inconvénient auquel on remédie en rapprochant le centre de gravité de la balance du point fixe, à l'aide d'un écrou mobile placé dans la verticale du couteau médian.

Lorsqu'on veut acheter une balance, on doit lui faire subir quelques épreuves pour s'assurer de sa bonté. Quoique ces épreuves varient avec l'espèce de balances dont il s'agit, néanmoins on comprendra aisément en quoi elles consistent dans chaque cas, lorsqu'on connaîtra celles auxquelles on doit soumettre les balances de précision. Voici comment on doit procéder à l'examen de ces dernières :

1° On examine avec soin le plan d'acier ou d'agate qui supporte l'axe de suspension du fléau, on le dispose horizontalement à l'aide d'un niveau à bulle d'air, et l'on s'assure s'il est bien plan en tournant le niveau dans tous les sens ;

2° On examine si les tranchants des trois couteaux du fléau sont droits, s'ils sont parallèles entre eux et perpendiculaires à la direction du fléau. Cela fait, on met le fléau en place sans les plateaux, et l'on vérifie si, quand il est en repos, son aiguille tombe au zéro de la division tracée sur le pied ; si, quand il est en mouvement, les oscillations sont lentes et régulières, et l'on compte combien il faut de ces oscillations pour que leur amplitude diminue d'une quantité connue, d'un degré de la graduation par exemple, ensuite on retourne le fléau et l'on fait les mêmes observations ;

3° On met les plateaux en place, on les charge successivement du plus petit poids, du plus grand qu'ils peuvent supporter, et d'un poids intermédiaire ; et, les oscillations de part et d'autre de la verticale étant égales sous chacune de ces charges, on cherche quel est le poids qu'il faut ajouter dans l'un des plateaux pour que le fléau trébuche ;

4° Enfin, il faut, après avoir fait une pesée, changer de bassin les deux poids qui se font équilibre, et examiner si après cette transposition il y a encore équilibre.

« Quelle que soit la balance dont on se sert, il y a toujours à craindre quelque différence dans la longueur des bras du fléau, ce qui donnerait lieu à une erreur que l'on fait disparaître au moyen du procédé de *double pesée*, dû à Borda, et qui est applicable à toutes les balances pourvu qu'elles soient sensibles. Il consiste à

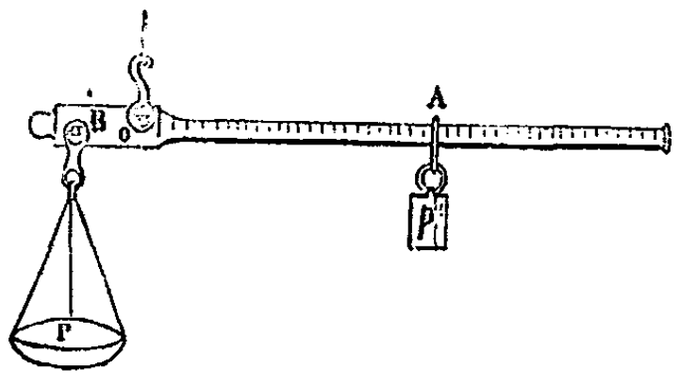
BALANCE.

tarer d'abord ce corps, c'est-à-dire à le mettre en équilibre en plaçant dans l'autre bassin de la grenaille de plomb, des morceaux de plume ou de papier, etc., puis, à retirer de son bassin le corps proposé, et lui substituer des poids gradués, comme si l'on voulait peser la tare ; il est clair que ces derniers poids réunis forment exactement celui du corps.

M. *Bockoltz* a imaginé une balance d'essai qui a été approuvée par la Société d'Encouragement, et qui est fondée sur un principe analogue : l'un des bras du fléau porte seul un plateau, l'autre est chargé d'un contre-poids fixe, tel que la balance ne peut être en équilibre que lorsque le bassin est chargé d'un poids constant, 250 grammes par exemple. On place dans le bassin le corps à peser (qui d'après l'hypothèse que nous avons faite doit au plus peser 250 grammes), puis on ajoute dans le même bassin, ou dans un bassin supérieur, le poids nécessaire pour mettre la balance en équilibre. Supposons, par exemple, qu'il ait fallu ajouter $58^{gr},425$, le poids du corps sera de $250^{gr} - 58^{gr},425 = 191^{gr},575$. Cette balance extrêmement ingénieuse a, dit-on, tous les avantages des bonnes balances ordinaires de précision construites par nos meilleurs artistes, tout en revenant à un prix deux ou trois fois moins élevé, parce que toutes les difficultés de fabrication pour obtenir deux bras de levier parfaitement égaux et mettre les trois couteaux en ligne droite, disparaissent dans cette nouvelle méthode de fabrication.

Toutes les bonnes balances sont pourvues d'un appareil à fourchettes, qui permet de ne faire porter les couteaux que pendant les pesées ; il faut tout à la fois abaisser la *chape* et faire porter les plateaux sur la tablette, afin de ne fatiguer ni le couteau médian, ni ceux des extrémités. Presque toujours le fléau porte une aiguille dont l'axe est perpendiculaire à la ligne des points d'appui. Cette aiguille, à laquelle on donne une grande longueur, parcourt un arc de cercle divisé, sur lequel on marque le point où elle doit s'arrêter quand le fléau sera en équilibre. En la voyant osciller, on peut juger d'avance si elle s'arrêtera sur ce point, ce qui abrège l'opération. Dans les bonnes balances de Fortin, si l'on charge dans chaque plateau un poids d'un kilogramme, une addition subséquente d'un milligramme dans l'un des plateaux, fera tourner l'aiguille et l'amènera à un demi-degré de sa position d'équilibre. Enfin, on place les balances de précision dans une cage de verre dans laquelle on met de la chaux, du chlorure de calcium, ou toute autre substance desséchante, qu'on renouvelle chaque fois qu'il en est besoin. Cette cage, qui s'ouvre par devant lorsqu'on veut exécuter une pesée, sert encore à abriter l'instrument des courants d'air qui en l'agitant troubleraient l'opération.

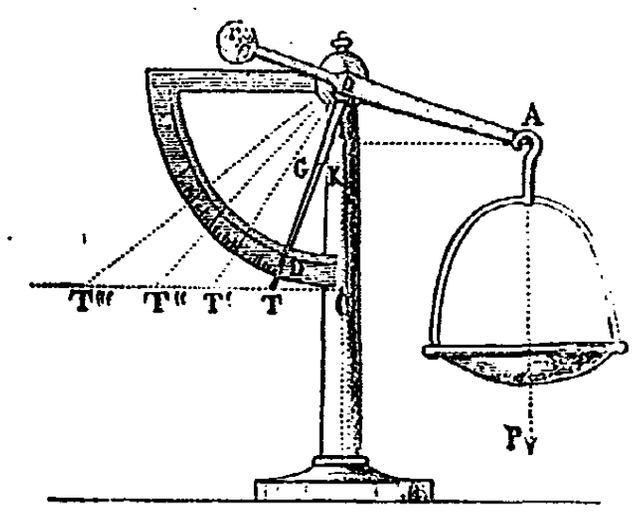
Romaine. La romaine est une balance dont les bras sont inégaux ; le bras le plus court porte le bassin destiné à recevoir les corps à peser, l'autre bras est gradué et porte un curseur que l'on fait glisser tout le long, jusqu'à ce que l'équilibre soit établi. On marque le zéro au point où l'on doit amener le curseur, pour que l'ensemble de la balance vide soit en équilibre ; ensuite on charge un certain poids dans le plateau, un kilogramme par exemple, on éloigne le curseur jusqu'à ce qu'il y ait de nouveau équilibre, et on marque 1 kilogr. au point où il s'arrête ; on subdivise alors l'espace compris entre le zéro et le n° 1 en parties aliquotes et égales, 1000 p., par exemple, si l'on veut que la balance indique des grammes, et l'on prolonge la même graduation sur toute la longueur du bras. Il est facile de donner l'explication de cette graduation (fig. 186) : soit p le poids du curseur A et a la distance du zéro, déterminé comme il vient d'être dit, à l'axe de rotation O de la balance, le *moment* $p \times a$, de ce poids, par rapport à l'axe, sera précisément égal à celui de la balance vide par rapport au même axe ; soit, en outre, A la longueur du bras OB qui porte le plateau si on charge un poids P dans celui-ci, et qu'il faille amener le curseur à une distance b de l'axe de rotation pour rétablir l'équilibre, on aura l'équation des moments $P \times A$ (moment du poids P par rapport à l'axe de rotation) $+ p \times a$ (moment de la balance vide) $= p \times b$ (moment du curseur), d'où l'on tire $P = \frac{p}{A}$ (constante) $\times (b - a)$.



186.

ce qui traduit dans le langage ordinaire, veut dire que *la distance à laquelle il faut éloigner le curseur du zéro de la graduation, varie proportionnellement au poids du corps placé dans le plateau de la romaine.*

La romaine, du reste, peut, comme la balance ordinaire, être indifférente, folle, paresseuse ou sensible suivant la position de son centre de gravité par rapport à l'axe de rotation.



187.

Peson. Cette balance (fig. 187) se compose d'un levier portant à l'une de ses extrémités A un plateau où l'on applique la puissance P ; un contre-poids ordinairement sphérique fait équilibre à ce plateau. Au point fixe autour duquel se meut tout le système, est appliquée une aiguille DG perpendiculaire au levier, cette aiguille décrit un arc de cercle sur un cadran gradué. Si de l'extrémité A du bras de levier qui supporte le plateau et du centre de gravité G de l'aiguille on abaisse des perpendiculaires sur la verticale KC qui passe par le point fixe, si de plus on mène par le point C une droite CT perpendiculaire à CK, il résulte de ces différentes lignes plusieurs triangles rectangles semblables entre eux, de la comparaison desquels on tire cette conséquence : que la puissance, c'est-à-dire, la charge sur le plateau est proportionnelle à la tangente de l'angle formé par l'aiguille avec la verticale qui passe par le point fixe ; ainsi cette longueur étant CT pour 1^k, sera $CT'' = 2CT$ pour 2^k, etc.

Ceci posé, il est facile de déterminer les points T', T'', T''', etc. pour 2^k, 3^k, 4^k, etc., puis en les joignant à l'axe de rotation, on détermine leurs traces sur le cadran et par suite les différentes positions de l'ai-

guille correspondant à 2^k, 3^k, 4^k, etc.; les positions intermédiaires se déterminent de la même manière; si l'on veut avoir des décagrammes, par exemple, il suffit de diviser les espaces CT, TT', etc., etc., chacun en dix parties égales et de joindre les points de division avec l'axe de rotation; le cadran se trouvera ainsi convenablement gradué. L'usage de cette balance est assez répandu dans les filatures et les papeteries, pour les pèse-lettres, etc.

Balance de Roberval. Balance extrêmement commode. Voici le principe de cette balance: Soit ABB'A' un parallélogramme articulé à ses quatre sommets (fig. 188-1).

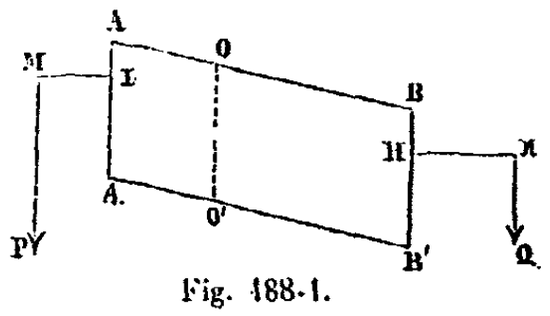


Fig. 188-1.

Supposons son plan vertical, les côtés AA', BB' verticaux et les côtés AB, A'B' mobiles autour de deux points O et O' situés sur une même verticale et par conséquent sur une parallèle aux côtés AA', BB'. Soit N un point quelconque lié au côté BB' et M un second point quelconque lié également par des attaches rigides au côté AA'. Si le parallélogramme vient à se mouvoir, le côté AA' ne cessera pas d'être égal et parallèle à OO', c'est-à-dire vertical; tous ses points s'élèveront donc ou s'abaisseront de la même quantité: le point M s'élèvera ou s'abaissera de la même quantité que l'extrémité I de l'horizontal MI; par conséquent les chemins décrits dans le sens vertical par les points A et M sont les mêmes. On verrait semblablement que les points B et N s'élèvent et s'abaissent aussi de quantités égales. Cela posé, supposons qu'on ait appliqué en M et en N deux forces verticales P et Q qui se fassent équilibre, la somme des travaux virtuels de ces deux forces devra être nulle, pour l'équilibre, les travaux des réactions que les axes exercent en O et en O' étant nuls d'eux-mêmes, Si donc a et b désignent les chemins élémentaires décrits dans le sens vertical par les points M et N, ou ce qui revient au même par les points A et B, on devra avoir:

$$P\,a = Q\,b, \text{ et où } \frac{P}{Q} = \frac{b}{a}.$$

Or, dans un déplacement infiniment petit, les points A et B décrivent de petits arcs semblables, c'est-à-dire proportionnels à leurs rayons OA et OB; d'ailleurs ces petits arcs, perpendiculaires à AB, font des angles égaux avec la verticale; leurs projections sur la verticale sont donc proportionnelles aux arcs eux-mêmes et par conséquent aux rayons; on a donc:

$$\frac{b}{a} = \frac{OB}{OA}, \text{ et par suite } \frac{P}{Q} = \frac{OB}{OA};$$

c'est-à-dire que les forces P et Q sont dans le même rapport que si elles étaient directement appliquées aux extrémités A et B du levier AB, supposé mobile autour du point O, mais indépendant des trois autres côtés du parallélogramme. Et cette conclusion reste la même, quels que soient les points M et N, pourvu qu'ils soient invariablement liés, l'un au côté AA', l'autre au côté BB'. Du temps de Roberval, cette conclusion paraissait paradoxale, parce qu'on n'avait en vue que la théorie du levier; mais l'application du principe plus général du travail virtuel fait disparaître le paradoxe.

Lorsque l'on applique ce principe à la construction d'une balance, on simplifie ordinairement les rapports en prenant les points O et O' au milieu des côtés AB et A'B' (fig. 188-2); il faut alors, pour l'équilibre, que les forces P et Q soient égales. On dispose sur le prolongement des côtés AA' et BB' les plateaux destinés à recevoir les matières à peser et les poids qui doivent leur

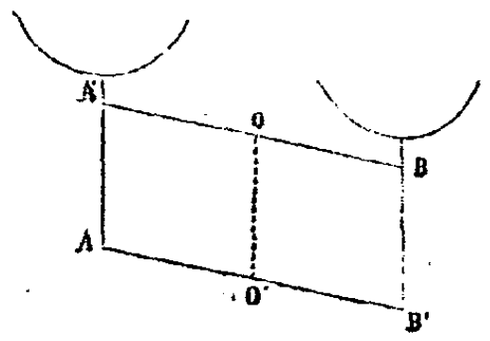


Fig. 188-2.

faire équilibre. Ce genre de balance offre le grand avantage que les plateaux, étant soutenus par-dessous, on n'est pas gêné dans le maniement de la balance par les chaînes de suspension de ces plateaux comme dans les balances ordinaires. Cependant leur adoption a été lente, parce que le frottement des articulations multiples tendait à les rendre peu sensibles; il a fallu, pour les faire accepter, que l'ingénieux mécanicien de Strasbourg. Schwilgué, trouvât le moyen de leur donner une grande mobilité. Il y est parvenu de la manière suivante.

Le fléau supérieur est suspendu à l'aide de couteaux comme dans les balances ordinaires, et c'est également à l'aide de couteaux que les côtés AA' et BB' sont suspendus aux extrémités A et B de ce fléau. Mais pour le fléau inférieur la disposition est différente. La figure 188-3 représente l'extrémité de ce fléau vu par-dessous. Les parties n, n sont des couteaux inclinés en sens contraire et dont les arêtes ab et cd sont placées en ligne droite dans le plan inférieur du fléau. Cette extrémité entre dans un étrier formant le bout inférieur du

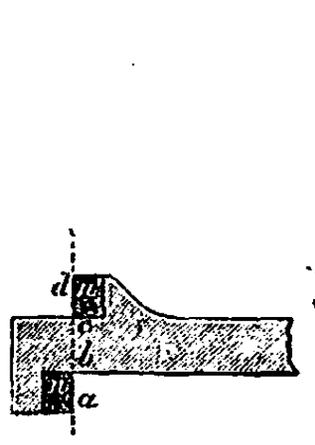


Fig. 188-3.

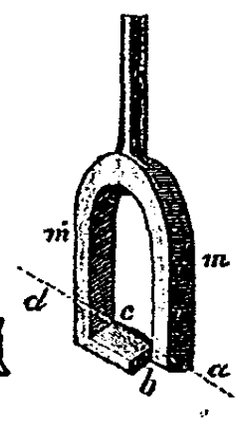


Fig. 188-4.

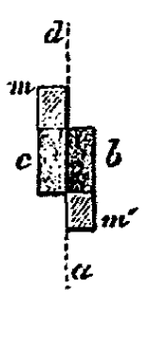


Fig. 188-5

côté AA', et que la figure 188-4 représente en perspective et la figure 188-5 en plan. Sa traverse inférieure est un couteau qui tourne son arête bc vers le haut; les deux montants m et m' sont disposés de telle sorte, que cette arête se trouve dans le plan de la face antérieure de l'un m et dans le plan de la face postérieure de l'autre m'. Lorsque le bout du fléau est assemblé avec l'étrier, l'arête ab du couteau n porte sur la face antérieure du montant m, l'arête cd du couteau n' porte sur la face postérieure du montant m', et la face inférieure du fléau porte sur l'arête bc du couteau formant la traverse de l'étrier. Les arêtes des trois couteaux se trouvent ainsi dans le prolongement l'une de l'autre et chacune d'elles porte sur une surface plane correspondante. Il en résulte que, dans toutes les positions du parallélogramme, le contact a lieu suivant cette même arête, qui forme ainsi l'axe de l'articulation, sans donner lieu à aucun frottement appréciable. Le bout opposé du fléau est articulé de la même manière avec l'étrier qui forme le bout inférieur du côté BB'. En O, l'articulation est encore de même nature, avec cette différence que l'étrier

est fixe. Ce système d'articulation donne au parallélogramme toute la mobilité désirable.

Le fléau inférieur et la plus grande partie des côtés latéraux sont ordinairement cachés par le corps de la balance, comme on le voit fig. 188-6.

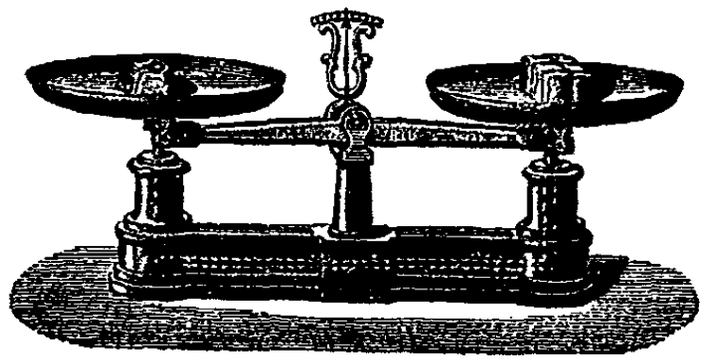


Fig. 188-6.

Les conditions de stabilité et de sensibilité sont d'ailleurs les mêmes que dans la balance ordinaire; il faut toujours que le centre de gravité de chaque fléau, et particulièrement du fléau supérieur, soit à une petite distance au-dessous de l'axe de suspension de ce fléau.

. *Balance-bascule de Quintenz.* Voici en quoi consiste le mécanisme de cet utile et ingénieux instrument. Sur un pied AB (fig. 189), placé verticalement, repose en A

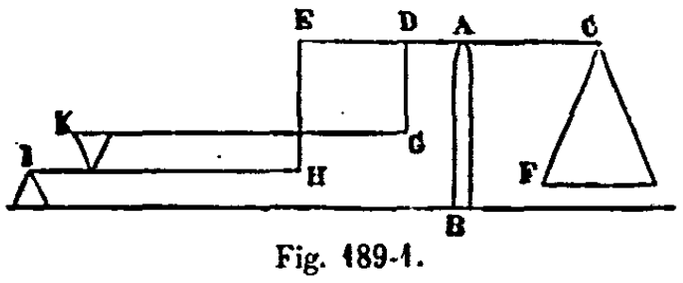


Fig. 189-1.

un fléau CDE; à l'extrémité C de ce fléau est accroché un plateau F destiné à recevoir les poids; de l'autre côté du point A sont suspendues deux tiges verticales DG, EH; cette dernière EH supporte en H le bout d'une verge HI qui porte en I sur un couteau fixe et qui supporte en K une autre verge GK, qui repose elle-même en G sur la tige verticale DG. C'est sur GK que s'appuie la *plate-forme* ou le *pont* sur lequel on place le corps à peser. Le contact des pièces aux points A, C, D, E, G, H, I, K, a lieu au moyen de couteaux; cette disposition rend le système très-mobile. Si l'on place un corps sur la plate-forme, pour que celle-ci s'abaisse en restant toujours horizontale, on voit qu'il faut que l'abaissement du point G, ou, ce qui est le même, du point D, soit égal à l'abaissement du couteau K; ou que l'on ait $\frac{AE}{AD} = \frac{IH}{IK}$.

Suppposons maintenant que l'on charge un poids P sur le *pont* en un point quelconque situé entre H et K, ce poids se décomposera en deux forces: l'une a appliquée en G ou D, et l'autre P-a appliquée en K, qui se décompose elle-même en deux autres: l'une détruite par le point fixe I, l'autre (P-a) $\frac{IH}{IK}$ dont le point d'application est en H ou E, et qui peut être remplacée par une force (P-a) $\frac{IH}{IK} \times \frac{AD}{AE}$ ou P-a, appliquée en D (puisque nous avons vu plus haut que par la construction même de la balance $\frac{IH}{IK} \times \frac{AD}{AE}$ est égal à l'unité), de sorte qu'en résumé, l'effort exercé se réduira à deux forces a et P-a appliquées au même point ou à leur somme P, et, en définitive, les poids chargés dans le plateau de la balance seront proportionnels aux fardeaux placés sur la plate-forme; il en résulte aussi que si, comme on le fait souvent, AD = 1/10 AC, le poids à placer dans le plateau F sera le dixième de celui qu'on place sur la plate-

forme, et enfin que le poids du fardeau est indépendant du lieu qu'il occupe sur la plate-forme.

Cette balance est représentée en son entier fig. 189-2. On y voit comment, au moyen d'un levier coudé

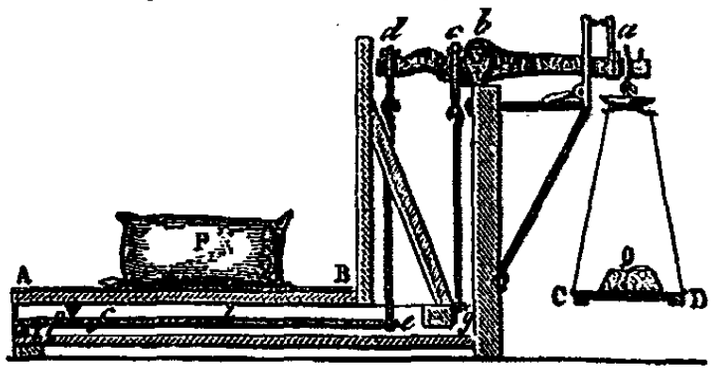


Fig. 189-2.

on arrête le mouvement du fléau et par suite celui de la plate-forme. Lorsqu'on veut s'en servir, on dispose d'abord horizontalement le châssis qui supporte la plate-forme, en le posant sur le sol ou mieux dans une cavité préparée d'avance et telle que le dessus de la plate-forme soit au niveau du sol. Alors on ôte le levier d'arrêt; on équilibre l'instrument à l'aide de grains de plomb que l'on met dans la coupe fixée au-dessus du plateau; enfin, on place sur ce plateau et sur la plate-forme des poids dont l'un soit décuple de l'autre, et l'on vérifie si ces poids se font équilibre, quel que soit le lieu occupé sur la plate-forme par celui qui s'y trouve. Si l'instrument satisfait à ces essais, on peut s'en servir avec confiance pour toutes les pesées qui n'excèdent pas sa force. Chaque couteau ne porte qu'une partie des poids, ce qui augmente sa durée; la machine occupe moins de place qu'une balance à plateaux de même force; enfin, les pesées se font avec une rapidité beaucoup plus grande, augmentée encore en remplaçant le plateau par un poids unique courant sur un fléau forme romaine, etc.

P. DEBETTE.

Peso-mesureur. Nous décrirons ici seulement le principe sur lequel est fondé le jeu du peso-mesureur construit par M. Catenot-Béranger. Dans la bascule ordinaire qui pèse au centième, on n'a point à s'inquiéter de la nature du curseur; quel qu'il soit, des différences égales de poids correspondront toujours à des déplacements égaux. Mais si, à l'aide d'un litre de blé, disposé à la place du curseur, on veut reconnaître la contenance d'un sac rempli du même grain, il est indispensable d'éliminer l'influence de toutes les parties mobiles qui ne sont pas le blé lui-même, telles que le curseur, le plateau qui supporte le litre et la mesure du litre elle-même. S'il était possible d'annuler l'influence de toutes ces pièces, il est évident que la bascule ordinaire indiquerait avec autant de facilité la contenance d'un sac, qu'elle indique aujourd'hui avec un curseur du poids de 1 kilogramme le poids en kilogrammes de ce sac; la même division servirait dans l'un et l'autre cas, et l'on aurait à volonté la contenance en litres et le poids par deux lectures absolument semblables.

Pour annuler l'influence du déplacement des pièces accessoires, M. Catenot à disposé au-dessous du fléau de bascule ordinaire une autre tige parallèle, sur laquelle peut glisser un contre-poids équivalant exactement à celui de ces pièces; le curseur est lié à ce contre-poids par un ruban d'acier continu, qui force ce contre-poids à reculer quand le curseur avance, à avancer quand le curseur recule. Le centre de gravité du système reste donc invariable malgré le déplacement de ses diverses parties, si la mesure du litre est vide; et, si elle est pleine, c'est seulement le déplacement du poids du grain qui exerce une influence; la position du point de suspension correspondra toujours à la division qui indique le rapport entre le

BALANCE.

poids du sac à peser et celui du grain contenu dans le litre.

Tandis que la bascule ordinaire ne permet de peser qu'en kilogrammes, celle-ci pèsera en unités de la valeur du poids additionnel dont on chargera momentanément le fléau, et sa division unique servira dans toutes les circonstances. Cette bascule ne saurait être mieux caractérisée que par cette propriété qu'elle possède de peser à poids constant ou à poids variable, et elle est ainsi dotée d'une propriété que les appareils de ce genre ne possédaient pas jusqu'ici.

Des dispositions accessoires sont prises pour que le grain qui doit servir au pesage arrive toujours dans la mesure d'une manière uniforme, et que par conséquent son tassement soit toujours le même.

Quant à l'exactitude des pesées, elle est attestée par ce fait qu'à l'exposition de Besançon elle a donné, en pesant avec un litre d'eau, des indications très-concordantes avec le volume directement mesuré.

Nous citerons, comme une de ses applications les plus intéressantes, la vérification de la contenance d'un tonneau, au moyen d'un litre du liquide qu'il renferme. Il suffirait, pour que cette vérification fût tout à fait concluante que la tare du tonneau fût inscrite sur l'un des fonds : on l'équilibrerait d'abord avec des poids dans le petit plateau, que l'on dispose habituellement à l'extrémité du fléau pour cet objet, et l'on déterminerait, par la lecture directe sur la tige, le rapport entre la capacité totale du vase et celle de la mesure avec laquelle on aurait opéré.

Bascule élastique de M. Taurines. — M. Taurines, l'ingénieur inventeur d'un système de DYNAMOMÈTRES à ressort a proposé l'application de ce système aux bascules, qui sont en réalité des dynamomètres employés à la mesure de l'action de la gravité. A cet effet, il supprime les couteaux qui s'altèrent par le frottement, les chocs et l'oxydation; il n'emploie que des ressorts très-courts accouplés dans une position verticale, idée aussi heureuse que nouvelle. Quand le tablier s'abaisse, les ressorts s'inclinent un peu; ils éprouvent une si légère flexion que leur courbure est à peine sensible sous une charge de 300 kilogrammes. C'est par le jeu de quatre couples de ressorts et de diverses barres de fer horizontales auxquelles ils sont adaptés que l'extrémité d'un levier s'abaisse et fait descendre la tringle verticale suspendue au petit bras de levier d'une romaine. Le poids curseur manœuvré par le peseur indique la charge du tablier. M. Taurines a exposé, en 1862, une bascule dans laquelle la tringle est remplacée par une crémaillère qui, au moyen d'un pignon, fait tourner une aiguille qui indique le poids sur un cadran. Cette bascule à cadran est une machine automatique; il n'y a plus de romaine à manœuvrer, peu de chance d'erreur, et tout le monde peut lire le poids sur le cadran.

Les ressorts accouplés verticalement sont dans une condition mécanique très-favorable à leur conservation et à une action constante. La tension presque longitudinale qu'ils éprouvent par l'abaissement du tablier les courbe très-légèrement; mais, aussitôt que la pression cesse, ils ont peu de chose à faire pour revenir à leur état primitif.

BALANCE D'EAU. On donne ce nom à une machine hydraulique d'une simplicité extrême, et qui, dans certains cas, lorsque la disposition des lieux le permet, est employée avec beaucoup d'avantage par suite des faibles frais qu'occasionne son établissement. Elle consiste en une tonne suspendue à une corde s'enroulant sur un treuil, cette tonne est munie à sa partie inférieure d'une soupape à queue s'ouvrant de bas en haut; lorsque la tonne est arrivée au haut de sa course, on y fait arriver un courant d'eau, et dès qu'elle en renferme une quantité suffisante pour l'emporter sur le poids qu'il s'agit d'élever, et qui est attaché à une corde qui s'enroule sur la gorge de la poulie du treuil, elle descend en commençant dans son mouvement par fermer, au moyen d'un mécanisme à marteau très-simple, le robinet du tuyau d'alimentation; puis, arrivée au bas de sa course, la queue de la soupape vient buter contre un tasseau, qui l'ouvre, et la tonne se vide; il serait plus simple de supprimer cette soupape, et de disposer hors de l'axe de la tonne une barre, qui lui communiquerait un mouvement de bascule lorsqu'elle viendrait buter contre elle. Lorsque la tonne est vide, elle remonte d'elle-même, et à l'aide du mécanisme ci-dessus, elle ouvre au haut de sa course le robinet du tuyau d'alimentation. Ce mécanisme est très-facile à établir; on peut, par exemple, avoir deux axes parallèles portant deux manivelles réunies par une bielle articulée, ce qui les rend solidaires l'une de l'autre; ces deux axes portent des bras placés dans une direction rectangulaire, et enfin l'axe supérieur porte un marteau ou contre-poids enfilé sur une tige normale à cet axe, et pouvant se mouvoir de 45° d'un côté ou de l'autre de la verticale. Le bras de l'axe inférieur étant vertical, et celui de l'axe supérieur horizontal, ce dernier sera soulevé par la tonne montante, et lorsque dans ce mouvement le marteau aura dépassé la position verticale, il retombera brusquement en relevant le bras supérieur dans la position verticale, et, par suite de la liaison qui existe entre les deux axes, le bras inférieur prendra une position horizontale; la tonne en descendant viendra abaisser ce bras et ramener le mécanisme dans sa position première, où il sera maintenu par le marteau. On obtient ainsi un mouvement alternatif circulaire de 90°, que l'on emploie pour manœuvrer le robinet du tuyau d'alimentation.

On emploie souvent cette machine hydraulique dans les usines à fer, pour élever, sur la plate-forme du gueulard, le combustible et le minerai. Le câble qui porte le plateau à élever les charges passe sur une poulie de renvoi, et vient s'enrouler sur la roue du treuil, dont l'arbre porte la corde qui soutient la tonne motrice; il va sans dire que les rayons de l'arbre et de la poulie du treuil doivent être en raison directe des espaces à parcourir par la tonne et le plateau, et le rapport du poids de l'eau dépensée à celui du corps élevé, devra être en raison inverse de ces mêmes quantités; ainsi, par exemple, si l'on doit élever les charges à 15 mèt., et que l'on dispose d'une chute de 40 mèt., il faudra que le rapport entre les rayons de l'arbre et de la poulie du treuil soit : : 40 : 15 ou : : 2 : 3, et, en admettant que 25 p. 100 de l'effet de moteur soient absorbés par les frottements, il faudra dépenser $\frac{400}{75} \cdot \frac{3}{2} \cdot 400 = 200$ litres d'eau pour élever, au gueulard, une charge de 400 kilog. On trouve aussi, sur quelques mines, en Angleterre, des machines analogues servant soit à l'extraction des minerais ou de la houille, soit à l'épuisement des eaux au moyen de *bennes*. La tonne motrice est placée dans un compartiment du puits d'extraction ou dans un puits voisin; elle reçoit l'eau de la surface et se vide dans la galerie d'écoulement (voyez MINES).

BALANCIER HYDRAULIQUE. On appelle ainsi une machine dont on a souvent varié les dispositions de détail, mais qui se compose en principe de deux vases oscillant autour d'un balancier, et d'un système de soupapes qui fait que ces vases reçoivent alternativement l'eau au commencement de leur course, et se vident quand ils sont descendus. Il en résulte un mouvement alternatif qui peut être utilisé.

Ces machines à mouvement alternatif peu régulier sont trop évidemment inférieures, pour utiliser la force motrice de l'eau, aux roues hydrauliques, aux turbines, etc., pour qu'on puisse les considérer comme des

machines industrielles. Nous ne pensons pas qu'il en existe aujourd'hui, et nous ne pouvons que les citer.

BALANCIER. A l'article MONNAIE, nous décrivons le balancier mû à bras qui y est habituellement employé pour le monnayage, car le problème de faire mouvoir, autrement qu'à bras d'homme, les balanciers propres à découper, à emboutir, à estamper, etc., n'avait pu, jusque dans ces derniers temps, être résolu. Dans les ateliers de construction les plus complets, tandis que toutes les machines-outils sont mues par la machine à vapeur, d'une manière si économique et si précieuse par la puissance qu'on peut leur appliquer, on voit encore des balanciers mus à force de bras; aussi les a-t-on remplacés, dans quelques cas où cela était possible, par d'autres machines, telles que les découpoirs et machines à percer à excentrique.

C'était surtout dans les ateliers où se frappent les monnaies, opération pour laquelle le balancier, agissant par percussion, est l'outil par excellence, que l'on pouvait, il y a quelques années, juger de la grande importance de la solution du problème de faire mouvoir mécaniquement les balanciers, en voyant dans des ateliers de premier ordre, tels que celui de la Monnaie de Paris, le grand nombre de manœuvres employés à tirer sur les cordons.

Les Anglais, qui comprennent si bien l'utilité de remplacer le travail inintelligent de l'homme par un moteur naturel, avaient essayé de résoudre le problème, et depuis longtemps Bolton et Watt avaient fait mouvoir par une machine à vapeur les balanciers de la Monnaie de Londres. Toutefois, la solution coûteuse et compliquée à laquelle ils étaient arrivés ne fut nulle part imitée sur le continent, et la presse monétaire, dont l'invention fut surtout inspirée par la recherche de la solution du problème dont nous parlons, est venue se substituer aux balanciers pour la fabrication des monnaies, dans les ateliers placés dans les grands centres, où les réparations sont faciles, mais pour la frappe des médailles d'un grand relief et des articles divers qui varient chaque jour, l'ancien balancier est toujours resté en usage.

Si la question de mouvoir mécaniquement le balancier a perdu un peu de son intérêt au point de vue des monnaies, par suite de l'adoption de la presse monétaire, il n'en est pas de même pour l'industrie, qui a vu se multiplier le balancier, qu'aucune autre machine-outil ne saurait remplacer dans une foule de cas, qui se prête avec une facilité bien précieuse à toutes les variations voulues dans la course, l'intensité du choc, etc. Il y avait donc toujours un grand progrès à réaliser; c'est ce qu'a fait M. Chéret, mécanicien à Paris.

Si l'on passe en revue les conditions à remplir pour mettre un balancier en communication avec une machine motrice, on se rend facilement compte des difficultés qui s'opposent à l'emploi des transmissions usitées dans les cas ordinaires. L'arrêt brusque du balancier, et le mouvement de translation dans la direction de l'axe de la vis, forment les deux obstacles qui ne peuvent être surmontés que par des dispositions toutes particulières. C'était par l'intermédiaire de tringles et varlets tirés par des pistons, mus dans des corps de pompe dans lesquels la vapeur faisait le vide, que Bolton et Watt cherchèrent une solution coûteuse et compliquée du problème. On peut ajouter qu'elle est imparfaite, et que, si elle suffit pour le monnayage des souverains d'or, elle ne pourrait donner de bons résultats pour frapper des médailles de grand module et même notre pièce de 5 francs en argent.

La disposition présentée par M. Chéret est, au contraire, complète, simple et peu coûteuse; elle constitue un moyen direct et parfaitement satisfaisant de

transmission de mouvement. On peut le considérer comme de la nature des organes agissant par frottement, dont il a les avantages; comme les cônes de friction, il est propre à réunir et à désunir deux parties de mécanisme, suivant les variations de la résistance, et, comme dans les engrenages par frottement, les parties en communication permettent le mouvement de descente du balancier. De la sorte, les conditions spéciales à remplir se trouvent satisfaites; c'est, au reste, ce que montrera bien la description du mécanisme.

M. Chéret remplace les boules qui garnissent habituellement les extrémités de la verge du balancier par un volant circulaire en fonte (la couronne pesait 434 kilog. dans celui sur lequel nous avons fait quelques expériences), dont il garnit la circonférence d'un cuir épais (fig. 189 bis). Un axe placé à angle droit avec la vis, et qui reçoit un mouvement de rotation de la machine à vapeur, porte deux plateaux pouvant glisser dans le sens de la longueur, de manière à pouvoir venir en contact avec le volant et, par suite, l'entraîner dans un sens ou en sens contraire, suivant que ce sera le plateau de droite ou le plateau de gauche qui viendra en contact avec le volant. Le mouvement pour frapper est donné au moyen d'un levier mû par une pédale pressée par le pied de l'ouvrier qui travaille au balancier, ce qui lui permet de faire varier à volonté la pression au contact du volant et de l'un des plateaux. Un contre-poids fait cesser le contact dès qu'on n'agit plus sur la pédale, et applique l'autre plateau contre le volant; celui-ci est ainsi relevé et maintenu en l'air.

Il m'a semblé que la facilité avec laquelle le mécanisme dont je viens de donner une idée permettait de varier les conditions de travail du balancier devait rendre facile et profitable une étude expérimentale à l'aide de tracés produits directement par les pièces en mouvement : elle m'a fourni quelques résultats assez curieux, et surtout a bien montré avec quelle perfection fonctionnait le mécanisme dont je cherchais à analyser les effets.

A cet effet, on a adapté à la botte coulante portée par l'extrémité de la vis, un crayon qui traçait sur un petit cylindre en bois garni d'un papier et mis en mouvement par un barillet. Comptant, ce qui était facile avec un compteur à pointage de Bréguet, le temps total du mouvement du volant, on avait, avec assez d'exactitude, la mesure des abscisses (qui représentaient le temps) des courbes tracées sur le cylindre, dont les ordonnées représentaient l'espace parcouru verticalement par l'axe de la vis. Il était donc facile d'obtenir, en chaque instant, la vitesse de cet axe et, par suite, la vitesse angulaire du volant, de mesurer notamment la force vive qu'il possédait au moment du choc.

Ceci établi, donnons quelques résultats des expériences :

L'axe mis en mouvement par la machine à vapeur faisait, dans nos expériences, 190 tours en 70″, soit 2,70 par seconde. Le plateau moteur porté par cet axe, dont le diamètre est de 0,64, avait donc la même vitesse angulaire, et les vitesses à ses circonférences de rayons 0,20 et 0,267 (ceux à considérer dans l'expérience spéciale dont nous donnerons plus loin les chiffres), étaient de 3m,39 et 4m,78.

Le volant monté sur la tête de la vis du balancier est en fonte, et sa section est de 10 centimètres sur 10 centimètres. Il part du repos pour arriver à produire un choc avec une vitesse accélérée. La loi de variation de cette vitesse est dans un rapport facile à déterminer avec celle de la descente de la vis, qui est représentée par des courbes tracées sur l'appareil à rotation. Ainsi, dans l'expérience 5, dans laquelle

nous avons frappé sur du cuivre rouge et dans laquelle l'ouvrier qui pesait sur la pédale exerçait une pres-

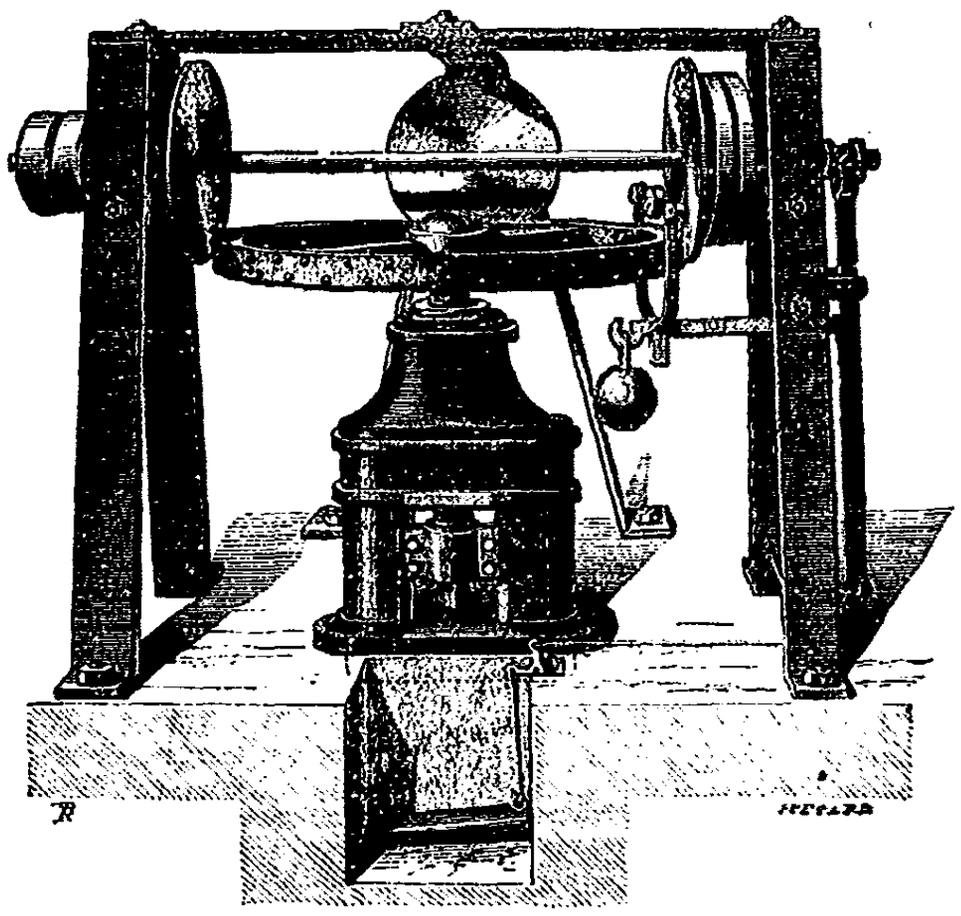


Fig. 489 bis,

sion bien moindre que s'il s'était agi de frapper sur un métal plus dur, nous trouvons, pour la progression des ordonnées Δe de l'espace parcouru, mesurée sur une même génératrice voisine du point de départ, les valeurs ci-après, jusqu'au moment où commence l'enfoncement dans le métal :

	Δe	v	$r\omega$
1. . .	0,0013. . .	0,0002. . .	0,131
2. . .	0,0024. . .	0,0024. . .	0,262
3. . .	0,004 . . .	0,0066. . .	0,432
4. . .	0,0067. . .	0,0111. . .	0,725
5. . .	0,0090. . .	0,015 . . .	0,984
6. . .	0,011 . . .	0,0188. . .	1,200
7. . .	0,0123. . .	0,020 . . .	1,312
8. . .	0,0163. . .	0,027 . . .	1,771
	0,0630		

La courbe faisant 7 révolutions complètes, et le temps total étant de 4″,25, y compris le temps perdu de la vis et la durée de l'enfoncement, qui correspondent à 0,75 de révolution, chaque tour que l'on peut prendre pour l'élément Δt du temps, est effectué sensiblement en $\frac{4'',25 - 0,75}{7} = \frac{3,50}{7} = 0,6$ de seconde. D'où les vitesses v en 1″ consignées dans la seconde colonne du tableau ci-dessus.

Le rapport entre les vitesses en ligne droite de la vis et les vitesses circulaires du volant, qu'il s'agissait d'obtenir expérimentalement, se déduit des dimensions relatives des éléments du balancier. Dans celui sur lequel on opérait, le pas de vis était de 0m,105, et le volant avait 2m,30 de diamètre extérieur, soit 2m,20 pris au centre de la couronne circulaire. On avait donc un tour, soit une vitesse de $\pi \times 2^m,20$ pour 0,105, de déplacement de la vis, c'est-à-dire que ces vitesses étaient dans le rapport de $\frac{\pi \times 2.20}{0,105} = 65,6$ à 1. En multipliant donc par 65,6 les nombres précédemment trouvés, on a les vitesses du volant rapportées dans la 3e colonne, qui passent rapidement, d'un peu plus de 1 décimètre par seconde dans le voisinage du point de départ, à près de 2 mètres au moment du choc.

Enfin ces vitesses permettent de calculer la force vive que possède le volant au moment du choc, c'est-à-dire le travail emmagasiné qui va être détruit, et qui, dans le cas actuel, le volant pesant 434 et la verge transversale 113 kil., poids comprenant un anneau autour de l'axe, s'élève à 76 k. m., c'est-à-dire à l'action de plus de 5 hommes travaillant au balancier, leur action étant évaluée habituellement à 15 k. pour chaque coup.

Pourtant, dans l'expérience rapportée ici, l'ouvrier pressait peu sur la pédale pour donner peu de vitesse, vu qu'il s'agissait seulement de produire un enfoncement dans du cuivre rouge. Dans une autre expérience, faite pendant qu'on frappait une médaille sur un métal très-dur, la vitesse maximum s'est élevée à 3 mètres, et la force vive a été presque double de la précédente.

La durée de l'enfoncement dans une plaque de cuivre de 6 millimètres d'épaisseur, pour la réduire à 2mm,7 sur une surface de 427 millimètres, a été de 0,15 de seconde, et la courbe décrite pendant cet enfoncement est sensiblement rectiligne. La disposition du mécanisme que nous décrivons peut permettre des recherches de physique moléculaire, relativement aux lois d'écrasement des corps malléables, question peu connue et d'un haut intérêt. Le diagramme indiquant une ligne droite, montre que la résistance à l'écrasement est une quantité constante, que le métal s'*écoule* sans opposer une résistance croissante, et que l'accroissement de densité résultant de l'écrouissage est une quantité limitée, qui ne s'étend pas loin, dépendant de la nature de chaque corps. Pour ce qui est du balancier, je dirai qu'on peut obtenir par ce tracé la vitesse vers la fin de l'enfoncement, et, par suite, le travail consommé pour la résistance élastique du balancier, celui qui se dissipe en vibrations, partie très-considérable du travail moteur dont il n'a pas été tenu un compte suffisant dans les études faites jusqu'ici sur ce genre d'outils ; ce qui conduisait à des conséquences fausses d'accroissement indéfini, avec la diminution de l'écrasement, de la pression susceptible de produire le même effet que le choc. Cette conséquence erronée disparaît, et la théorie du balancier devient très-claire, en faisant, pour un travail effectué dans les conditions normales, la division du travail moteur en trois parties : le travail résistant du métal frappé, les résistances du frottement de la vis le long de ses filets et sur son extrémité, enfin la résistance élastique des côtés de la cage du balancier, division clairement manifestée par les effets calorifiques qui ne peuvent appartenir qu'à la première partie, qui, seule, répond à des déplacements moléculaires permanents. (Voir ce calcul dans les *Annales du Conservatoire*).

Nous dirons un mot des effets calorifiques extrêmement remarquables qui apparaissent dans ces ex-

périences. Pour des médailles frappées sur du métal très-dur, de faible épaisseur, l'échauffement était nul, comme les déplacements moléculaires extrêmement minimes, tandis qu'il était déjà très-notable sur des plaques de cuivre rouge de 6 millimètres d'épaisseur, lorsqu'une fraction bien plus grande du travail total était consommée par l'écrasement du métal. Il y a là un cas très-remarquable de transformation de travail chaleur.

Pour en revenir au mécanisme inventé par M. Chéret, nous en avons plus haut montré toute la puissance, bien constatée par la pratique de l'industrie, puisqu'on peut à volonté, en variant simplement la pression sur la pédale, lui donner la même puissance que s'il était mû par dix hommes et plus, c'est-à-dire se rapprocher à volonté de la limite que la solidité du balancier peut permettre d'atteindre sans danger de rupture ; aussi M. Barre se loue-t-il beaucoup de l'avoir adopté pour la fabrication des coins de monnaies en acier. Nous n'avons pas besoin d'insister sur sa simplicité, qui permet de varier à volonté les courses sans rien changer au mécanisme ; enfin son prix d'établissement est très-modéré, bien que l'économie qu'il procure soit considérable.

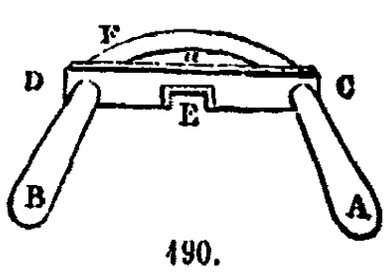
Le seul soin que doive prendre l'ouvrier, non au point de vue de son travail, mais pour ne pas consommer inutilement de force motrice, est de ne pas presser trop brusquement, au départ, sur la pédale agissant sur un levier qui double la pression. En effet, dans l'exemple cité, le plateau moteur, ayant une vitesse considérable au moment où le volant part avec une vitesse minime, agirait comme frein si la pression était trop forte ; mais bientôt la différence des vitesses du plateau et du volant diminue assez pour que la différence des chemins parcourus, cause du frottement (cuir sur fonte à sec égal à 0,30 de la pression), soit peu considérable, et, par suite aussi, le travail consommé par ce frottement. Le désir de faire beaucoup produire à l'outil fait peut-être trop oublier la recommandation de l'inventeur, que nous répétons ici, et cela surtout parce que, la machine à vapeur faisant toujours fonctionner la transmission, rien ne manifeste l'inutile consommation de travail, qu'il est toujours facile d'éviter.

On voit de quelle importance est l'ingénieuse invention de M. Chéret, qui nous paraît avoir rendu un service réel à l'industrie en général, et surtout à l'industrie parisienne, qui fait un usage si multiple du balancier. Rien de plus aisé que de lui adjoindre une main-poseur et de faire mouvoir automatiquement ce balancier comme la presse monétaire ; on en fait ainsi un appareil très-satisfaisant pour la frappe des monnaies.

CH. LABOULAYE.

BALEINE (*angl.* whalebone, *all.* fischbein). Nom donné aux fanons de la baleine ; ces fanons sont méplats et tiennent à ce cétacé la place des dents qui lui manquent complétement. La longueur du fanon maximun est généralement adoptée par les baleiniers pour désigner la taille de l'animal qu'ils viennent de capturer. La plus grande longueur jusqu'ici observée est de 5 mèt. ; mais elle en dépasse rarement 4. La largeur à la racine est de 0m,25 à 0m,30, et l'épaisseur moyenne de 0m,015 à 0m,018. On nettoie les fanons et on les ramollit avant de les couper, en les faisant digérer pendant 1 heure 1/2 à 2 heures dans de l'eau bouillante. La baleine nous arrive du Groënland en paquets, de 10 à 12 fanons, tantôt entiers, tantôt ayant déjà subi une subdivision qui les rend plus portatifs. En cet état elle se vend de 120 à 375 fr. les 100 kilog.

Après avoir scié les fanons de longueur, on les ramollit dans l'eau chaude, on les fixe dans un étau de menuisier, et on les débite en baguettes, dans le sens des fibres, à l'aide d'un outil représenté fig. 190. Cet outil se compose d'une plaque de fer CD, munie de poignées A, B, dans laquelle est pratiquée une entaille directrice E, et d'un couteau F à lame circulaire, dont le tranchant est parallèle au bord supérieur de l'entaille E, et qui est fixé sur la plaque CD à une hauteur variable, suivant l'épaisseur à donner aux baguettes.



190.

La force et la légèreté de la baleine, jointes à la grande élasticité qu'elle présente, la font employer dans beaucoup d'industries, notamment pour la confection des parapluies et des ombrelles, des corsets, des chapeaux de femmes, etc. Lorsqu'on la chauffe dans un bain de sable, ou dans un bain de vapeur ou d'eau, elle se ramollit et peut alors se travailler, comme la corne et l'écaille, en tabatières, pommes de cannes, etc... On en polit la surface avec un morceau de feutre, sur lequel on place une bouillie faite avec de l'eau et de la pierre ponce finement pulvérisée ; enfin l'on donne le dernier fini avec de la chaux éteinte à l'air libre et tamisée.

BALLES (*art militaire*). Projectile en plomb lancé par une arme à feu portative. On emploie le plomb pour faire les balles, parce qu'il est facilement fusible, très pesant, mou et facile à manipuler. Le procédé ordinaire de fabrication bien connu consiste à couler le plomb fondu dans un moule formé de deux parties assemblées à charnière, et portant chacune un vide hémisphérique ; nous ferons seulement remarquer que, presque toujours, par suite du retrait qui résulte du refroidissement par l'extérieur, il se forme dans l'intérieur même de la masse de plomb une ou plusieurs cavités, dont on peut reconnaître l'existence en coupant la balle en plusieurs sens, et qui altèrent la justesse du tir. On a remédié tout dernièrement avec succès à cet inconvénient, à Berlin, en fondant les balles elliptiques, puis les comprimant au BALANCIER dans un moule qui leur donne la forme sphérique, et fait disparaître les cavités signalées ci-dessus. On tente aujourd'hui en Angleterre de fabriquer les balles mécaniquement, c'est-à-dire par étirage et estampage. On arriverait à un résultat également satisfaisant en fondant les balles sous une forte pression, au lieu de les couler simplement. On obtiendrait alors les mêmes résultats que ceux obtenus pour la FONDERIE EN CARACTÈRES dans des conditions semblables.

BANC-A-TIRER, *tréfilerie* (*angl.* wire-drawing, *all.* draht-ziehen). Le banc-à-tirer est une machine qui sert à étirer les métaux en les forçant à passer à travers des ouvertures de dimensions invariables, et qui forment alors la section du corps contraint à s'allonger. Il se compose donc essentiellement : 1° d'une partie fixe construite avec une matière aussi résistante et aussi dure que possible, appelée *filière*, laquelle est percée de trous correspondants à la forme qu'on veut obtenir ; 2° d'un moyen de saisir le corps dont on a fait passer l'extrémité préalablement amincie au travers du trou, ce qui constitue la pince ; 3° d'un moyen d'exercer un traction suffisante sur cette pince pour forcer le corps à traverser la filière.

Reprenons, en partant de la dernière, les diverses parties qui constituent le banc-à-tirer, et cherchons à indiquer les divers perfectionnements qu'a subis cette machine pour arriver à l'état où elle est aujourd'hui. La traction ne s'opérait dans les premiers bancs-à-tirer, et dans ceux qu'emploient encore les bijoutiers pour tirer des fils métalliques de faibles dimensions, qu'au moyen d'un moulinet adapté sur un axe sur lequel vient s'enrouler une forte bande de cuir fixée à l'extrémité de la pince.

Ce système de banc-à-tirer, dans lequel l'action de la force est irrégulière, et qui ne peut servir que pour

des tractions peu considérables, est généralement remplacé par le banc à engrenages représenté par la fig. 191.

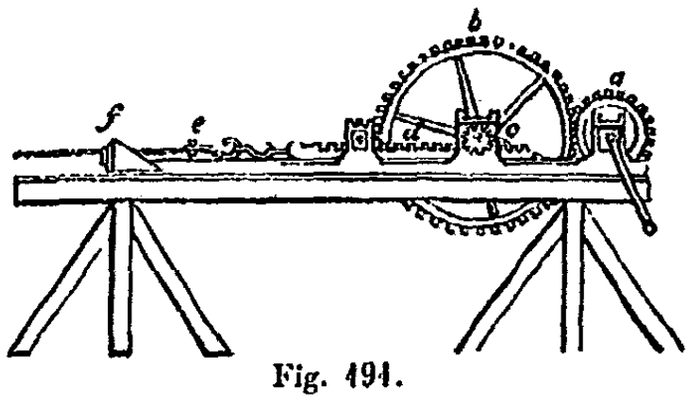


Fig. 191.

L'ouvrier agissant sur une manivelle exerce une traction puissante au moyen d'un pignon et d'une crémaillère. Par suite du mouvement régulier qui en résulte, les produits deviennent plus uniformes, en même temps que la puissance de l'outil est accrue.

On a cependant encore perfectionné le système que nous venons de décrire, en supprimant la crémaillère, dont l'action n'était pas régulière, et causait des efforts variables avec les positions respectives de ses dents et de celles du pignon. On l'a remplacée par une chaîne sans fin, une chaîne de Galle à laquelle on peut donner autant de résistance qu'on le désire, en augmentant le nombre et les épaisseurs des plaques qui la composent, et qui vient s'articuler sur deux roues dentées placées, l'une près de la filière, l'autre sur l'axe de la roue dentée mise en mouvement par l'engrenage. On peut voir, à l'article MONNAIE, la figure d'un banc à tirer de ce genre employé avantageusement dans la fabrication des monnaies, pour donner une grande régularité aux bandes sortant du laminoir.

Pinces. Nous ne nous attacherons pas à donner ici les diverses formes de pinces qui peuvent être employées; nous nous contenterons seulement de décrire une forme encore peu usitée et qui a été reconnue être parfaite, vu que le fil ne l'abandonne jamais, même sous les efforts les plus grands, par la raison que la force avec laquelle elle serre le fil augmente avec la traction. C'est une pince à coulant (fig. 192-193), composée de deux moitiés de cônes réunies par un ressort. A la chaîne sans fin est ajustée une plaque dans laquelle est percé un trou conique. Il est bien clair que, quand on y entrera la pince entre les mâchoires de laquelle on aura placé l'extrémité du corps à étirer, l'effort de traction la fera serrer avec une force croissante avec la traction, telle que la séparation ne pourra plus avoir lieu.

Fig. 192.

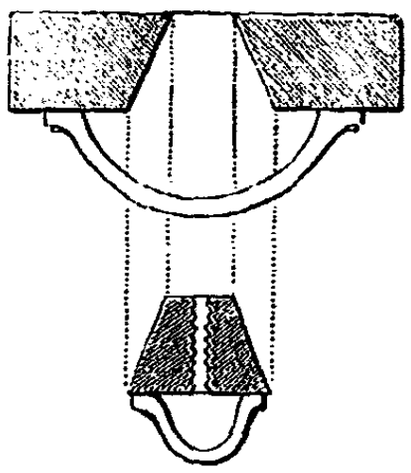


Fig. 193.

Filières. Il y a deux genres de filières, la filière simple et celle dite filière mécanique :

1° *La filière simple,* employée dans les tréfileries, se compose d'une plaque d'acier trempé (fig. 194), dans laquelle ont été percés des trous de forme déterminée et de grandeurs croissantes, de manière à réduire successivement le diamètre des fils, pour les amener peu à peu à la dimension voulue. On comprend quelle fatigue et quelle pression doit résulter sur les trous de la filière du refoulement du métal soumis à l'étirage. Aussi la fabrication de bonnes filières, dont la déformation ne soit pas trop rapide, est-elle d'une très-grande difficulté. Les meilleures se font avec une plaque de bon acier nerveux, formant étoffe entre deux plaques de

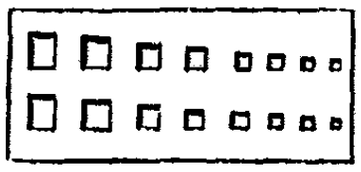


Fig. 194.

fer. Fabriquée de la sorte, la filière peut se redresser quand elle se voile à la trempe. Les trous sont percés au moyen de poinçons coniques de dimensions croissantes qui refoulent le métal sur les parois du trou et en augmentent la résistance latérale.

Les filières françaises sont très-estimées en Angleterre et jugées meilleures que celles qu'on y fabrique, à un point tel que, pendant les guerres de l'empire, les filières françaises se vendaient en Angleterre leur poids en argent.

Quelquefois, quand il est nécessaire d'obtenir des longueurs considérables de fil métallique, d'un diamètre parfaitement régulier, on a recours à une plaque garnie d'agates, de rubis ou autres pierres extrêmement dures et dont la résistance est très-grande. Voy. FILIÈRE.

A travers un rubis percé d'un trou de 0mm,08, on a tiré des fils d'argent formant une longueur de plus de 200 kilom., dont la section est restée absolument la même, ce dont on s'est assuré, tant par des mesures micrométriques, qu'en pesant des portions de fil d'égale longueur. Dans une filière d'acier, au contraire, le diamètre d'un trou est tellement agrandi par le tirage de 25,000 mèt. de fil de laiton, qu'il ne peut plus servir pour donner la même grosseur *commerciale.*

2° *Filière mécanique* ou mieux *composée.* La filière mécanique a fait entrer le banc dans l'atelier du mécanicien; elle consiste dans un ensemble de parties mobiles qui s'assemblent en laissant entre elles, fermé de toutes parts, le vide qui doit servir à l'étirage. Les figures 195-196

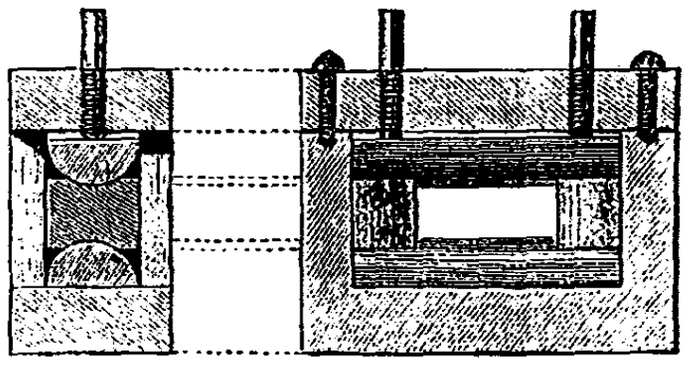


Fig. 196.

Fig. 195.

font facilement comprendre la disposition des pièces. Les deux coussinets verticaux sont des prismes ajustés à tenons dans une rainure pratiquée dans le côté vertical du châssis et terminés par une surface cylindrique du côté du vide. Les coussinets horizontaux sont formés de deux surfaces cylindriques concaves qui s'emboîtent dans les coussinets verticaux, terminés pareillement du côté du vide par une surface cylindrique. Le tout est pressé par deux fortes vis qui rendent l'assemblage inébranlable.

Il est clair, d'après cette disposition :

Qu'avec des séries de coussinets horizontaux on pourra obtenir des sections de fil de toute largeur et de toute épaisseur;

Que l'outil peut se réparer sur la pierre à l'huile, quand, malgré une forte trempe, il s'est formé une dépression par la fatigue de l'étirage, condition essentielle d'un bon outil.

La forme des coussinets horizontaux est assez en

nuyeuse à exécuter ; la plupart du temps, surtout quand ils sont de peu d'épaisseur, on se dispense de faire les faces concaves, on les fait seulement plates, en ayant soin de ne tremper fortement que leur partie antérieure, le serrage des vis y incruste suffisamment les coussinets verticaux pour éviter tout dérangement.

Disons maintenant quelques mots de la manière d'employer le banc-à-tirer.

Le fil métallique étant forcé de passer dans un trou d'une section moindre que la sienne, s'allonge en raison inverse du carré des diamètres ; ainsi, en passant dans un trou de diamètre moitié du sien, il doit nécessairement quadrupler de longueur (sauf bien entendu l'écrouissement du métal, qui résulte de la pression à laquelle il se trouve soumis).

Pour que l'étirage marche bien, il faut :

1° Éviter toute action de grippement entre le métal et la filière, qui détruirait bientôt celle-ci. Pour cela on graisse ou mieux encore on enduit de cire le corps que l'on étire.

2° La vitesse doit être peu considérable surtout pour les premières passes, dans lesquelles, à cause de l'irrégularité primitive du fil, l'effort est très considérable, et pourrait dépasser la résistance due à la ténacité du métal, si l'action était comparable à un choc. Les fils de fer et de laiton de 7 à 8 millim. de diamètre supportent une vitesse de 0m,50 par seconde ; ceux de 1/2 millim. une vitesse de 1 mèt. Les fils d'argent et de cuivre plus fins peuvent être étirés encore plus rapidement.

3° Il faut après chaque passage, ou au moins après un petit nombre de passages successifs à la filière, recuire le fil qui est devenu aigre par suite de l'écrouissement qu'il a subi, et qui serait incapable de supporter un étirage ultérieur, si, par un recuit préalable, on ne lui rendait sa douceur et sa ductilité premières. De plus, les parties qui primitivement étaient plus épaisses que le reste, font nécessairement naître des bosses correspondant aux parties où le métal plus comprimé a pu faire céder quelque peu la filière, et garder assez de ressort pour se gonfler à la sortie du trou plus que les parties voisines. Ce n'est que par des passes, correspondant à un faible serrage, qu'on donne au fil bien recuit, qu'il est possible de les faire disparaître.

4° Ne jamais donner des passes trop fortes capables de désagréger le métal et d'en détruire le nerf quand même on ne le casse pas.

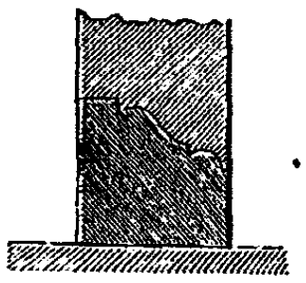
Le banc-à-tirer, tel que nous venons de le décrire, est certes un outil fort ingénieux, et dont l'emploi n'est plus limité à la tréfilerie proprement dite, à la fabrication des fils de fer et de laiton. M. Vefide et son élève, M. Roger, en ont varié l'emploi à l'infini, par l'étirage de fils de formes très variées, la fabrication de tubes, de prismes creux obtenus en faisant passer le corps dans la filière, autour d'un mandrin, qui a la forme que doit avoir l'intérieur du tube ; mais néanmoins ces produits étaient nécessairement limités par la forme des filières à des fils formant des surfaces continues, sans arêtes ni saillies.

C'est à M. Roger, habile mécanicien, dont j'ai cité les travaux persévérants, que l'on doit d'avoir ouvert une voie toute nouvelle pour obtenir d'une manière extrêmement avantageuse, au moyen du banc-à-tirer, des produits qu'il serait coûteux et difficile d'obtenir par aucun autre procédé. On a pu voir, à l'exposition de 1839 et à celle de 1844, les produits vraiment merveilleux de cette manière d'opérer. Des entablements doriques, des ciselures de tout genre, du fil pour pignons, de longues bandes rainées et fouillées en tous sens servant à la construction des BATTANTS-BROCHEURS, ont à juste titre excité l'admiration.

Disons quelques mots de ce procédé.

Au lieu d'employer seulement le banc-à-tirer à l'étirage du métal, M. Roger a eu l'idée de s'en servir aussi pour le couper. Pour cela, après avoir donné au corps, par la filière ordinaire, une forme rectangulaire, enveloppe de la forme définitive qu'on veut obtenir, M. Roger le fait passer dans une espèce de filière dans laquelle un des coussinets, et quelquefois les deux, sont taillés suivant le profil qu'on veut obtenir.

Ce couteau est mobile de manière à pouvoir descendre et monter au moyen d'une vis, et à enlever le métal peu à peu comme le fait le couteau d'une machine à raboter. Le corps rectangulaire supporté par une partie plane ne peut changer de position, et la rainure ou le profil qu'il s'agit d'obtenir se trouve découpé avec une pureté extrême.



197.

Nous donnons ici (fig. 197) le dessin d'un de ces couteaux, qui fera bien comprendre la manière d'opérer, et tous les mécaniciens apprécieront facilement les grands avantages d'un pareil procédé.

Nous terminerons en disant quelques mots des phénomènes qui résultent de l'action de l'étirage.

La pression des parois des trous de la filière s'exerçant à la surface du corps, les molécules de cette partie devront prendre plutôt la forme filamenteuse qui résulte de l'action à laquelle elles sont soumises, que les molécules placées plus près de l'axe, et s'incliner davantage sur celui-ci. Il en résulte ce singulier phénomène que, quelquefois (surtout dans l'étirage de l'acier fondu, lequel présente une difficulté extrême), le corps étiré se divise en petits cônes ou en petits gobelets superposés, ce qui montre bien le mouvement qu'ont pris les molécules.

En général l'acier perd toujours un peu de sa résistance par son passage à la filière, quelque soin qu'on y apporte, mais les corps très malléables, le fer, le laiton y gagnent un accroissement de résistance par suite de l'écrouissage qu'ils y éprouvent.

On peut obtenir au banc-à-tirer des fils d'une finesse extrême. Le docteur Wollaston a fait des fils de platine pour les croisements des lunettes astronomiques de 0mm,005 de diamètre ; il en a même obtenu de 0mm,00125. Il serait impossible de travailler un semblable fil, de le tirer sans le rompre, comme aussi de percer des trous réguliers d'un diamètre microscopique. Pour les obtenir, il a renfermé un fil de platine dans un fil d'argent dix fois plus gros, puis a étiré le tout. Les deux métaux, en s'allongeant, conservent sensiblement le même diamètre proportionnel, et quand le fil obtenu est aussi délié qu'il est possible de l'obtenir, on sépare le fil de platine, dix fois plus fin, en dissolvant l'argent par l'acide nitrique, qui laisse le fil de platine intact.

M. Becquerel a obtenu, par un procédé analogue, des fils d'acier extrêmement fins, en se servant de mercure pour dissoudre l'argent.

Nous avons cru nécessaire d'entrer dans quelques détails peu connus sur le banc-à-tirer, parce que cet outil offre des ressources qui ne sont pas encore suffisamment utilisées. Le seul défaut qu'on puisse lui reprocher, qui paraît inhérent à sa nature, et qu'il semble bien difficile d'éviter, consiste en ce que les pièces étirées se courbent toujours, en quittant la filière, par suite des refoulements inégaux du métal dans ses diverses parties. Il faut les redresser, ce à quoi on parvient, soit en les frappant avec un maillet de bois, après les avoir placées sur des supports éloignés, la partie concave en dessous, soit en les pressant entre des surfaces planes pendant le recuit.

BANC-A-EMBOUTIR. Un outil nouveau de l'espèce du banc-à-tirer a été inventé dans ces derniers temps par un habile fabricant, M. Palmer, pour augmenter les ressources que lui procure ce dernier instrument. C'est en quelque sorte un banc-à-repousser. Disons en quoi il consiste, nous indiquerons ensuite ses applications spéciales. Si l'on emboutit au balancier, à l'aide d'un poinçon et de matières successives de profondeur croissantes, on sait qu'on arrivera à produire avec un disque de métal (dont l'épaisseur sera en rapport avec la force du balancier) un tube fermé, en forme de dé à coudre, et cela sans aucune déchirure, si les matrices successives diffèrent suffisamment peu, de telle sorte que l'action pour recourber, replier le métal ne dépasse jamais la limite d'élasticité.

C'est ce commencement de tube que M. Palmer s'est proposé d'allonger avec toute la régularité du travail du banc-à-tirer et avec cet avantage, pour certaines applications, de le conserver fermé à une extrémité.

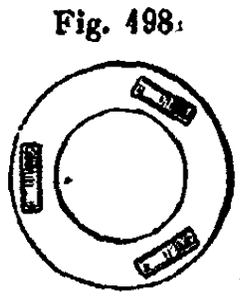
Pour y parvenir, il monte le dé obtenu au balancier sur un mandrin en acier de la dimension que doit avoir l'intérieur du tube. C'est ce mandrin qui est poussé dans des lunettes successives qui produisent l'allongement et le polissage du tube. Il y parvient à l'aide d'une machine, consistant en une forte vis horizontale (dans laquelle s'assemble le mandrin), mise en mouvement par une série d'engrenages et finalement par une manivelle

On voit que ce banc-à-repousser permet de créer des produits tout nouveaux. Nous citerons des tubes en fer étamé pour le moulage des bougies et chandelles et des bouteilles en métal sans soudure. Ce dernier et curieux produit est fait à l'aide d'un cylindre fermé, obtenu comme nous venons de le dire, et dont la partie qui doit former le goulot est successivement refoulée dans des lunettes qui décroissent très lentement.

Tubes-cordes. Nous citerons encore un curieux produit qui a été obtenu à l'aide du banc-à-tirer; nous voulons parler des tubes à filets héliçoïdes dit tubes-cordes, inventés par M. Groult, mécanicien à Paris.

Pour obtenir des cannelures héliçoïdales, il faut donner un mouvement de rotation à la filière. Ainsi tandis que l'extrémité du tube est entraînée par la chaîne ou crémaillère de tirage, parallèlement à elle-même la partie qui est dans la filière se tord en s'étirant.

Fig. 198.



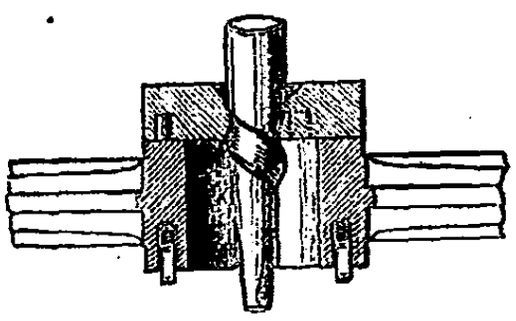


Fig. 199.

Le mouvement de rotation est donné à la filière par un système de roues dentées dont l'une est fixée sur cette filière, et la mobilité de celle-ci sur sa semelle fixe est assurée par l'interposition de trois galets en acier trempé.

Les fig. 198 et 199 montrent comment est construite la filière qui vient s'adapter sur le devant du banc à-tirer, et comment elle est ajustée par le moyen d'une roue dentée (dont deux bras seulement sont représentés sur la figure), pour permettre de lui imprimer un mouvement de rotation en même temps que la pince de la filière reçoit un mouvement de translation. C'est du rapport de ces deux mouvements que résulte l'inclinaison des filets héliçoïdaux. CH. LABOULAYE.

BARATTE. De tous les ustensiles d'une laiterie à beurre, la baratte est, sans contredit, le plus important. Elle exerce sur la qualité des produits et sur l'ensemble de la marche des opérations une influence si bien sentie, que chaque année beaucoup de sociétés d'agriculture décernent des prix aux meilleurs instruments de cette espèce soumis à leur approbation.

Le lait se compose, comme on sait, de caséine, de beurre, d'une matière sucrée, de quelques sels minéraux et d'eau. Le beurre se trouve dans le lait sous forme de globules enveloppés d'une pellicule albumineuse très mince. Ces globules, un peu plus légers que le liquide où ils nagent, se réunissent, pour former la crème, à la surface du lait, abandonné à lui-même à une température convenable.

Le lait frais ou la crème, vivement agité ou *battu*, comme on dit, à une température comprise entre 10 et 17 degrés, éprouve une série de transformations dont la théorie n'est pas encore bien connue : les pellicules qui enveloppent les globules de matière grasse se déchirent, et ceux-ci, en s'agglutinant les uns aux autres, forment des masses de beurre plus ou moins considérables. On va décrire les principaux appareils employés pour effectuer l'opération du *battage*, et quelques autres ustensiles employés dans la fabrication du beurre. Ces renseignements compléteront ce qui a été dit sur la construction de la laiterie (AGRICULTURE, chap. V), et les articles BEURRE, FROMAGE et LAIT de ce Dictionnaire.

En Normandie et dans les grandes laiteries du Gloucestershire, on emploie généralement une baratte (fig. 1) formée d'un tonneau cerclé en fer et monté sur

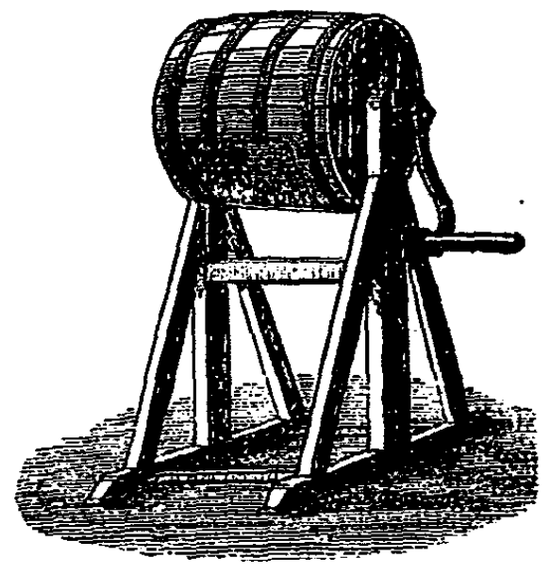


Fig. 1.

un axe horizontal, auquel est adaptée la manivelle qui sert à mettre la machine en mouvement. On introduit la crème par une ouverture pratiquée dans l'une des douves, et facile à fermer par un tampon retenu par un loquet. L'intérieur du tonneau est garni, comme le montre l'arrachement que présente le dessin, d'une série de barres transversales fixes et échancrées. La crème, pendant le mouvement du tonneau, tombe de l'une de ces barres sur l'autre, et se trouve ainsi parfaitement agitée et mêlée avec l'air. Ces barattes ont depuis 50 jusqu'à plus de 150 litres de capacité, et coûtent de 40 à 120 fr

Dans les petites fermes ou dans les ménages, on se sert presque exclusivement en France de la baratte à piston (fig. 2), dont tout le monde connaît l'usage. L'arrachement ménagé dans le dessin laisse apercevoir la forme du piston batteur, simple disque de bois percé d'un grand nombre de trous et fixé perpendiculairement à l'extrémité du manche à l'aide duquel on le manœuvre. Le couvercle de la baratte s'enlève facilement pour introduire la crème, laver et enlever le beurre. Le mouvement alternatif du piston, qui doit être aussi régulier que possible, exige de la part de la batteuse une assez grande habitude.

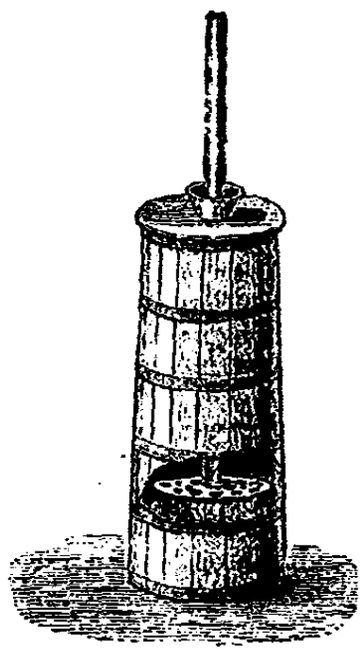


Fig. 2.

Dans certains pays où l'on bat le lait frais, ou bien dans des laiteries fort importantes, on emploie des barattes fondées sur le principe de celle que l'on vient de décrire, mais d'une capacité de 200 à 300 litres. Le piston est alors mis en mouvement par une espèce de brimbale, qui reçoit elle-même son mouvement d'un moteur quelconque.

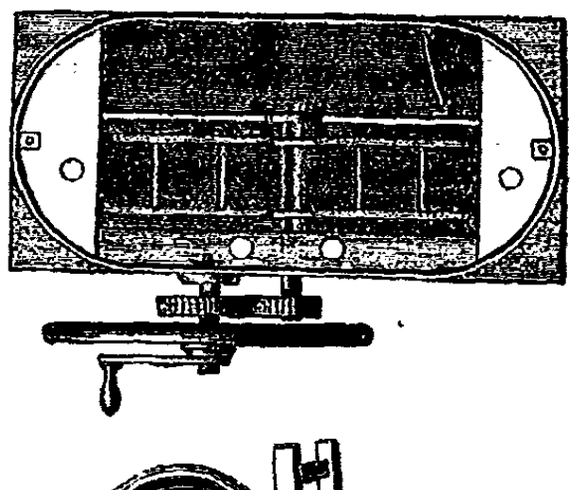
La baratte, dite écossaise, de Drummont, dont quelques agriculteurs anglais semblent faire grand cas, appartient encore à la classe des barattes à piston. Elle se compose d'une cuve en bois, de forme ovale, partagée en deux compartiments par une cloison verticale percée de trous à sa partie inférieure et à sa partie supérieure. Un piston percé de trous se meut librement dans chaque compartiment. Les tiges de ces deux pistons sont réunies, par des courroies, à une poulie animée d'un mouvement circulaire alternatif, de manière que l'un des pistons s'élève quand l'autre s'abaisse, et réciproquement. Il résulte de ce double mouvement que la crème se trouve rejetée tour à tour d'un compartiment dans l'autre et très vivement agitée. La poulie qui commande les pistons reçoit d'ailleurs son mouvement d'une manivelle montée sur un petit volant que l'on tourne à la main. Le beurre se fait très vite dans cette baratte; elle coûte, en Angleterre, 45 fr. pour 9 litres, et 100 fr. pour 50 litres.

La baratte à tonneau et la baratte à piston, dont on a donné ci-dessus les figures, sont les plus fréquemment employées. Mais il existe un grand nombre d'autres barattes, parmi lesquelles nous signalerons les suivantes, qui semblent les plus dignes de fixer l'attention.

La baratte dite de Rowan (fig. 3 et 4) se compose d'une cuve cylindrique ovale partagée en deux compartiments, dans le sens de sa longueur, par une cloison verticale que l'on aperçoit dans le plan de l'appareil. Cette cloison laisse à chacune de ses extrémités un certain espace libre qui permet au liquide de passer facilement d'un compartiment dans l'autre. Le batteur occupe une partie de l'un des compartiments; il est mis en mouvement par un pignon commandé par une roue dentée montée sur l'arbre du petit volant, auquel on imprime à la main un mouvement de rotation régulier. Le liquide, entraîné et chassé par le mouvement du batteur, passe rapidement d'un compartiment à l'autre, avec un mouvement circulatoire analogue à celui que l'on observe dans les piles à chiffon des papeteries. Les extrémités de la cuve et une partie du compartiment du batteur sont garnies de couvercles qui s'opposent à la projection de la crème. Ces couvercles sont percés

de trous garnis de bouchons mobiles, qui se lèvent pour laisser entrer ou sortir l'air comprimé par le refoulement ou l'appel du liquide. Le compartiment libre

Fig. 3



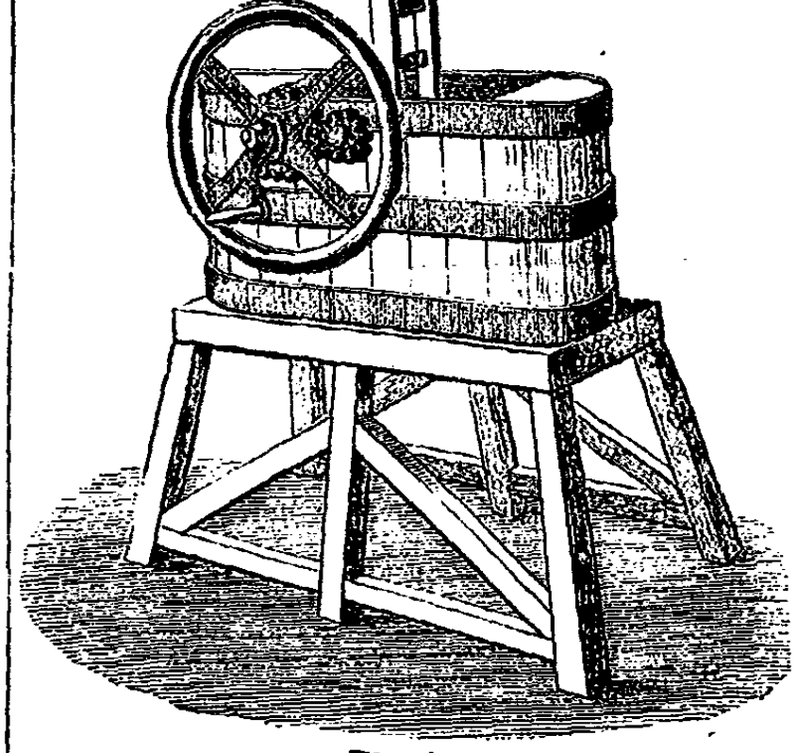


Fig. 4.

de la cuve est garni à sa partie supérieure par une petite cloison, que l'on aperçoit sur le plan, au-dessous de laquelle passe le liquide en mouvement, mais qui arrête le beurre, que sa légèreté spécifique tend à réunir à la surface.

Pendant l'hiver, on peut remplacer la cloison verticale en bois de la baratte par un vase plat en étain, rempli d'eau chaude, pour amener la masse à la température la plus favorable à la formation du beurre. On construit des barattes de Rowan de 40 à 80 litres de capacité. Leur prix varie de 25 à 100 fr.

La baratte dite de Sussex (fig. 5) se compose d'un cylindre d'étain, de fer-blanc, ou même de zinc, fixé

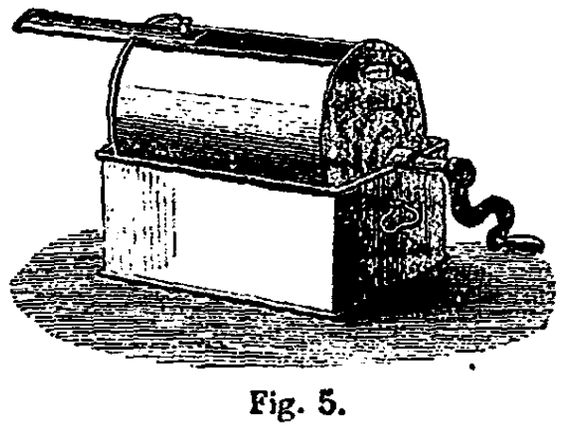


Fig. 5.

sur des tasseaux qui lui permettent de rester horizontal. On introduit le lait ou la crème par la porte à cou-

lisse que montre le dessin. L'axe du cylindre est occupé par l'axe du batteur, que l'on met en mouvement à l'aide d'une manivelle. Ce batteur est formé de deux ou de quatre lames plates et échancrées fixées à l'axe, ou bien par des tiges d'étain parallèles à l'axe, et plus ou moins rapprochées de la circonférence. Le faible volume de cette baratte permet de la placer dans un vase rectangulaire en fer-blanc, où l'on entretient de l'eau à la température la plus convenable pour le battage.

La baratte de M. Lavoisy, brevetée à Paris et mentionnée honorablement par le jury de l'exposition universelle de Londres, ne diffère de celle que l'on vient de décrire que par l'emploi d'un engrenage qui augmente la vitesse de rotation du batteur.

On donne aux barattes en métal dont nous parlons de 0m,25 à 0m,45 de longueur, sur 0m,16 à 0m,32 de diamètre. Elles ne peuvent convenir, par conséquent, qu'aux usages domestiques ou dans de très petites exploitations ; elles valent de 25 à 80 fr.

La baratte flamande et la baratte des Vosges sont formées, comme la précédente, d'un vase cylindrique fixe dans lequel tourne un batteur à axe horizontal. Dans la première, le batteur est formé de quatre tiges cylindriques parallèles à l'axe; le batteur de la baratte des Vosges, au contraire, se compose de huit ailes planes percées de trous et fixées à l'axe. Ces deux barattes sont en bois et atteignent d'assez grandes proportions. Mais leur nettoyage, surtout celui de la baratte des Vosges, est assez difficile.

La baratte, dite américaine, de MM. Anthony et Emmerson, diffère notablement de toutes les précédentes. Le lait est renfermé dans une caisse en bois de forme cubique, traversée, à peu près au milieu de sa hauteur, par un arbre horizontal, au moyen duquel on peut imprimer un mouvement de rotation à un batteur d'une construction toute particulière. Ce batteur

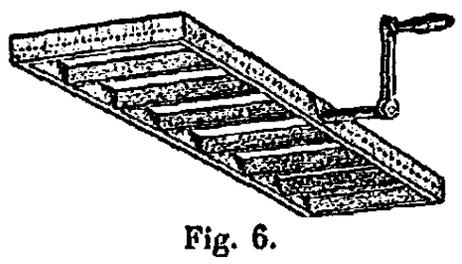


Fig. 6.

(fig. 6) n'est autre chose qu'un cadre rectangulaire partagé en un plus ou moins grand nombre de cases par de petites cloisons fixées au cadre lui-même et au grand diaphragme, qui le partage en deux dans le sens de la plus grande dimension. Ce batteur agite parfaitement la crème, et surtout force une grande quantité d'air à la traverser et à se mélanger avec elle. Le beurre se fait très vite dans cet appareil, mais il ne paraît pas qu'il convienne de lui donner plus de 40 à 50 litres de capacité.

Dans un assez grand nombre de barattes, et notamment dans les petites barattes de table en cristal dont l'idée est attribuée au célèbre Wegdwood, le batteur est formé d'un arbre vertical garni d'ailes, auquel on imprime, par différents mécanismes, un mouvement rapide de rotation. Cette disposition ne donne un battage suffisamment énergique que dans des vases de très petite dimension; pour la rendre applicable à de plus grands appareils, on a eu l'idée de placer dans l'intérieur des barattes des espèces d'ailes fixes, entre lesquelles passent les ailes du batteur. Cet artifice permet d'obtenir un très bon battage, quelles que soient les dimensions des appareils employés. Les barattes construites par M. Clyburn sont fondées sur ce principe; ce sont les plus grands appareils de cette espèce que nous ayons eu l'occasion de rencontrer; ils sont parfaitement convenables pour les laiteries des exploitations importantes ou des associations, et paraissent, à ce titre, mériter ici une mention toute particulière.

La baratte de M. Clyburn (fig. 7) se compose d'un tonneau légèrement conique et solidement cerclé, de près de 400 litres de capacité, dans lequel se meut un axe vertical en bois *h h*, garni de deux séries de tiges placées dans des plans perpendiculaires. Aux parois du tonneau sont fixées quatre séries de tiges semblables, formant contre-batteur et disposées de manière que le batteur puisse passer dans les espaces vides qu'elles laissent entre elles. L'arrachement ménagé dans le bas du tonneau permet d'apercevoir la disposition du batteur et du contre-batteur dont on vient de parler. La machine est mise en mouvement par une force mécanique. L'application des moteurs aux barattes à beurre présente le double avantage d'épargner à l'homme un travail pénible et d'imprimer à la machine une régularité de marche qui paraît très favorable à la qualité des produits. Le mouvement est transmis au batteur par la roue d'angle *c* montée sur l'arbre de la poulie *a*, sur laquelle s'enroule la courroie motrice. On arrête le batteur au moyen du levier *b* qui peut, à volonté, faire passer la courroie de la poulie *a* sur la poulie folle placée à côté. Le batteur doit faire environ 100 tours par minute.

Lorsque le battage est terminé, on enlève la clavette *g* qui réunit l'arbre en bois du batteur à l'axe de la roue d'angle, et on soulève celui-ci à l'aide de la vis *d* et du levier *e f*. On peut alors enlever le couvercle *m m*, puis le batteur et nettoyer l'intérieur de la baratte. Le robinet qui est au bas du tonneau sert à l'écoulement du lait de beurre et des eaux de lavage.

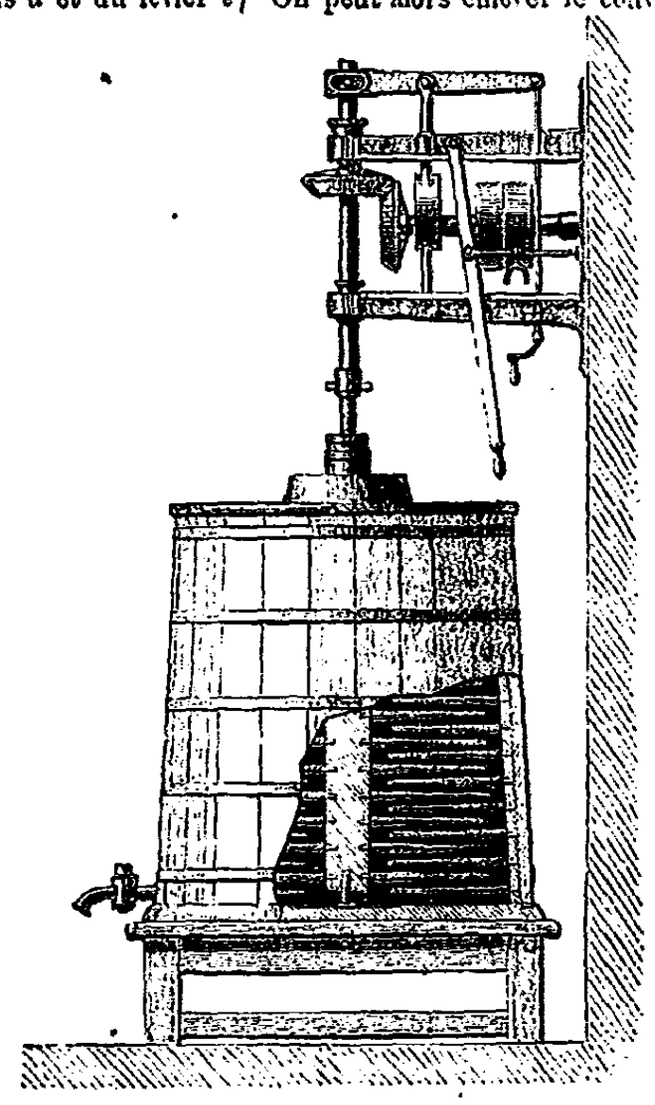


Fig. 7.

On a proposé et on emploie dans quelques pays plusieurs espèces de barattes différentes de celles que nous avons décrites, telles sont par exemple les barattes à balançoires, etc ; mais ces appareils sont ou trop im-

parfaits ou trop peu répandus pour qu'il soit utile de s'en occuper.

Outre la baratte on rencontre encore parmi les ustensiles nécessaires à la laiterie des pilons et des rouleaux pour tasser et saler le beurre, des moules, des tamis, des spatules, etc.; mais ces différents instruments sont trop simples ou trop connus pour mériter une description particulière.

Les vases employés pour recueillir et conserver le lait sont en métal ou en terre. Ces derniers sont généralement préférables, parce que les métaux, quelque soin que l'on en prenne, sont toujours sujets à s'oxyder. On commence à employer, pour déposer le lait et recueillir la crème, des terrines en verre blanc ou coloré; ces vases sont de beaucoup préférables à tous les autres, et il résulte de quelques expériences déja faites en grand que leur casse n'est pas plus considérable que celle des vases de terre. En Allemagne des terrines en verre vert, de 0m,40 de diamètre, coûtent environ 0f,80 pièce. En Angleterre de semblables terrines en verre blanc reviennent à près de 2 francs. Il est à désirer que l'emploi de terrines en verre se répande dans nos laiteries. H. M.

BAROMÈTRE. Voy. *Complément.*

BARYTE, oxyde d'un des métaux alcalino-terreux, le *Baryum*. On l'obtient aisément en dissolvant le carbonate de baryte natif (withérite) dans l'acide nitrique, et décomposant ensuite par la chaleur, le nitrate ainsi formé, dans un creuset de platine couvert, que l'on porte au rouge vif. C'est une substance d'un blanc terreux, difficilement fusible, qui a un goût âcre et caustique, corrode la langue et toute matière animale; elle est vénéneuse, même en très-faible quantité, et a une puissante réaction alcaline. Sa densité est de 4,0. Elle s'échauffe considérablement lorsqu'on l'arrose avec une petite quantité d'eau et se délite en une poudre blanche, fine, qui est de l'hydrate de baryte, renfermant 10,5 p. 100 d'eau, et qui se dissout dans dix fois son poids d'eau. Cette dissolution laisse déposer, par refroidissement, une abondante quantité de cristaux d'hydrate de baryte; mais elle retient toujours un vingtième de son poids de baryte, et porte alors le nom d'eau de baryte. Les cristaux ci-dessus contiennent 60,5 p. 100 d'eau; mais ils en perdent 50 parties par la dessiccation. L'hydrate qui reste se fond au rouge, sans perdre d'eau.

La baryte se reconnaît à la propriété qu'elle possède de former avec l'acide sulfurique un composé insoluble dans l'eau et dans les acides, propriété qui est très-usitée dans les arts chimiques et dans les laboratoires, pour constater la présence de l'acide sulfurique et en déterminer la quantité.

Le sulfate de baryte est blanc, très-pesant, assez commun dans le règne minéral, et fort souvent mélangé dans une proportion considérable avec le blanc de céruse (carbonate de plomb); on le reconnaît en dissolvant celui-ci dans de l'acide nitrique étendu, qui dissout le plomb et laisse le sulfate de baryte en résidu.

Industrie de la Baryte. — Depuis la découverte de la Baryte par Scheele, en 1774, ses précieuses propriétés ont été peu à peu révélées par les travaux d'un grand nombre de chimistes.

Conformément à la marche ordinaire de l'histoire de la chimie, dit fort bien M. Hofmann (Rapport sur l'Exposition de 1862), l'industrie a commencé, dans ces dernières années, à recueillir ce que la science avait semé, et la baryte et ses composés, cessant de figurer uniquement comme de simples produits de laboratoire, sont, d'année en année, plus recherchés dans les fabriques.

Applications des composés barytiques. — La baryte caustique possède la propriété précieuse d'absorber l'oxygène de l'air à une chaleur rouge sombre et de le dégager de nouveau sous l'influence d'une température plus élevée. Si l'on savait profiter de cette propriété pour fournir aux arts industriels de l'oxygène à bon marché, une puissante impulsion serait donnée aux moyens de produire des températures très-élevées et par suite à l'élaboration des matières les plus réfractaires. Cette source d'oxygène indiquée dans le principe par Thénard, et sur laquelle, plus récemment M. Boussingault a attiré l'attention, est demeurée jusqu'ici sans application pratique, en raison de la diminution qui se produit, après quelques répétitions de cette opération, dans le pouvoir que possède la baryte d'absorber le gaz et de le dégager alternativement. Comme il est probable que cette diminution est plutôt due à une modification de l'état physique qu'à une altération chimique de la baryte, on arrivera sans doute à remédier au mal, et l'opération deviendra alors parfaite.

Un procédé peu coûteux pour produire la baryte caustique et son dérivé, le peroxyde de barium, conduirait probablement (entre autres applications) à la fabrication en grand de l'eau oxygenée, du peroxide d'hydrogène, composé qui, par ses puissantes qualités oxydantes et décolorantes, deviendrait un auxiliaire précieux dans beaucoup d'opérations industrielles, mais dont le prix actuel s'oppose à son emploi, même dans les laboratoires.

On peut dire que l'on approche déjà de ce but, non par la décomposition par la chaleur de l'azotate de baryte, procédé de laboratoire, mais par le procédé de M. Kulhman, consistant à traiter une dissolution concentrée de chlorure de barium (produit sans frais en absorbant l'acide chlorhydrique qui se dégage des fours à soude au moyen du carbonate de baryte naturel. Voy. *Arts insalubres*, n° 5, *Complément*) par une lessive de soude également concentrée. Une double décomposition se produit alors, et l'hydrate de baryte se dépose en cristaux feuilletés. MM. Dubrunfaut et Le Play ont montré aussi que la baryte caustique s'obtenait en chauffant le carbonate de baryte mélangé de charbon au rouge vif, que la réaction donne de la baryte et de l'oxyde de carbone.

La baryte caustique à bon marché, pourrait permettre de caustifier les sulfates alcalins aussi promptement que la même transformation s'opère aujourd'hui, à l'aide de la chaux, sur les carbonates alcalins. Bien plus, dans beaucoup d'opérations, une solution de baryte caustique serait sans doute assez alcaline pour remplacer les lessives caustiques ordinaires, soit sodiques, soit potassiques.

Blanc fixe. — Parmi les applications déjà réalisées, des composés barytiques, il faut citer surtout l'emploi du sulfate de baryte natif ou artificiel pour la peinture en blanc et les papiers peints. M. Kulhman de Lille a monté une fabrication de ce *blanc fixe*, qui peut s'élever à deux tonnes par jour.

BASSIN DE RADOUB,— *système Clark, établi près des docks Victoria, à Blackwall.*— La nécessité de faire passer au bassin les vaisseaux en fer à hélice, presque à chaque voyage, rend insuffisants les bassins existants dans presque tous les ports. Un nouveau système paraît remédier à ces inconvénients, nous en emprunterons la description à l'excellent rapport sur les travaux publics représentés à l'Exposition de 1862, dû à M. Bomart, inspecteur général des ponts et chaussées.

L'ordre d'idées, dit-il, d'après lequel ont été établis ces bassins de radoub, semble pouvoir se résumer ainsi : couler préalablement, sur des traverses disposées à cet effet, un chaland ou ponton construit *ad hoc;* amener au-dessus du chaland échoué le navire à réparer; soulever mécaniquement, au moyen de presses hydrauliques, les traverses, le chaland et le navire calé sur le chaland; remettre à flot, par une simple fermeture de bondes, le chaland qui se sera vidé pen-

BASSIN DE RADOUB.

dant son ascension; emmener le chaland portant le navire dans quelque bassin à faible tirant d'eau, le long de quais ou d'embarcadères, à proximité des dépôts des matériaux de réparation; restaurer le navire sur le chaland lui-même; et, quand le travail est terminé, remettre le navire à flot, en repassant par les mêmes opérations en ordre inverse.

Par cet ensemble de combinaisons, on s'est proposé de satisfaire au service de radoub le plus actif, avec un seul appareil élévatoire, moyennant la construction d'un plus ou moins grand nombre de chalands, selon les besoins; ce qui devait avoir le plus grand avantage de ne point augmenter les dépenses d'établissement des ouvrages proportionnellement à l'accroissement d'activité du service, chaque chaland additionnel, dont le coût est relativement minime, devant équivaloir, dans ce système, à la création additionnelle d'un bassin de radoub.

Voici comment M. Edwin Clark a réalisé, à Blackwall, ces très-ingénieuses combinaisons (fig. 498).

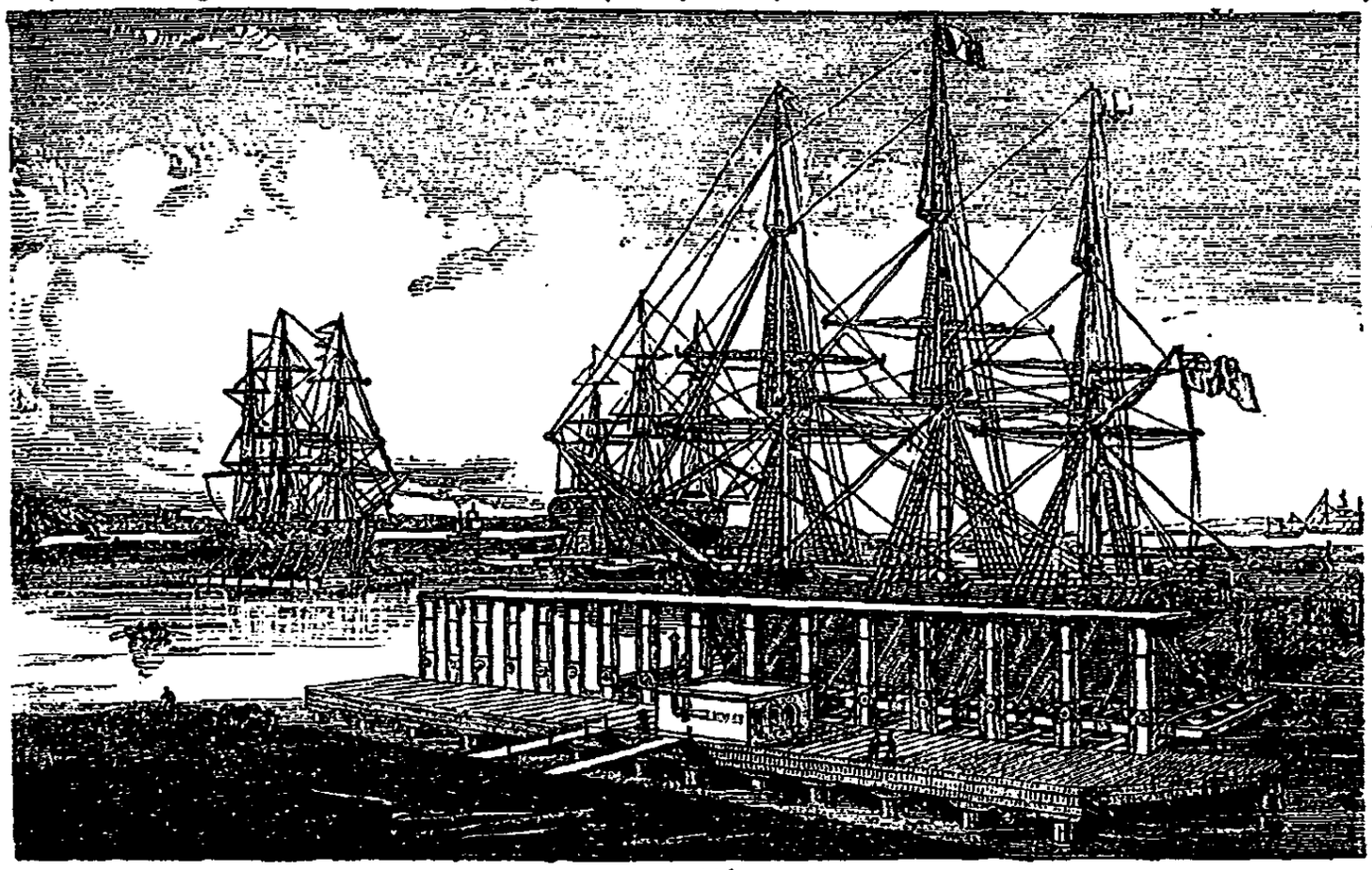


Fig. 498.

Deux rangées parallèles de colonnes comprennent entre elles l'espace dans lequel doit être reçu le navire. Chaque rangée contient seize colonnes. D'une rangée à l'autre, d'axe en axe, l'espacement est de 18m,91; dans la même rangée, la distance d'une colonne à la suivante est de 6m,40. Les colonnes sont en fonte; elles ont 1m,525 de diamètre et 18m,30 de hauteur, y compris 3m,70 de fiche. Chacune d'elles renferme une presse hydraulique. Le cylindre de cette presse a son sommet au niveau du bassin. Son piston, qui a 0,254 de diamètre et 7m,625 de course, se meut avec jeu dans le cylindre; il est guidé, dans ses mouvements de montée et de descente, par un serrage en cuir qui fait office de boîte à étoupe au sommet du cylindre, et par un joug en fer forgé qu'il porte à sa tête. Ce joug glisse dans deux rainures ménagées dans la colonne suivant le plan d'axe de la rangée, et ouvertes depuis le sommet du cylindre jusqu'au sommet de la colonne. A ce joug est suspendue, au moyen de deux tirants, une des extrémités d'une traverse formée de deux poutres jumelées, dont l'autre extrémité est suspendue de la même manière au joug de la colonne placée en face, dans l'autre rangée. Chaque presse est alimentée par un petit tuyau aboutissant un peu au-dessous du serrage. Les tuyaux des trente-deux presses viennent se réunir dans une cabine vitrée, d'où un contre-maître surveille et dirige les détails de la marche de l'appareil. Ils y aboutissent à un clavier de robinets qu'on ne fait en général agir que par groupes, mais qui peuvent agir chacun isolément quand il y a lieu. Au delà, ils ne forment plus que trois groupes, correspondant à trois récipients distincts, lesquels alimentent, l'un, les huit couples de colonnes d'amont, et chacun des deux autres, les huit colonnes de droite ou les huit colonnes de gauche restant à l'aval. L'eau est fournie à ces trois récipients par quatre pompes que met en mouvement une machine à vapeur de 50 chevaux.

Les choses étant disposées ainsi, on conçoit sans peine comment l'opération s'effectue. Dans l'état de repos, tous les pistons des presses sont au bas de leur course, et les traverses sont descendues sur le radier, à 8m,40 de profondeur. On amène entre les colonnes un chaland de dimensions appropriées à l'échantillon du navire à réparer, et portant à demeure les chantiers et coins en bois destinés à supporter et caler le navire. On place ce chaland, et on l'échoue en ouvrant les bondes de son fond. Le navire est ensuite introduit et amarré dans la position convenable au-dessus du chaland. On ouvre alors les robinets correspondant aux presses qui doivent agir, eu égard aux dimensions du chaland, et on met en jeu la machine à vapeur. Dès que le navire commence à porter sur le chaland, on opère, en agissant sur des chaînes disposées *ad hoc*, le serrage des coins qui le calent. Le contre-maître, qui, en faisant intervenir dans une proportion relative convenable les trois groupes distincts de tuyaux alimentaires, peut modifier à volonté l'inclinaison longitudinale et l'inclinaison transversale du chaland, règle la marche de l'ascension de tout le système de manière à maintenir toujours le chaland et le navire dans les conditions désirables. L'action des presses se continue jusqu'à ce que le fond du chaland sorte de l'eau; alors le chaland se trouve vide :

on ferme les robinets, et on laisse descendre les pistons des presses. Le chaland, remis à flot, s'éloigne, emportant le navire; et l'appareil élévatoire se trouve en situation de recommencer pour quelque autre navire la même opération.

Depuis trois ou quatre ans qu'il fonctionne, l'appareil de M. Clark a déjà servi à plus de quatre cents navires de toutes dimensions, jaugeant, pour la plupart, de 400 à 1,200 tonnes, et quelques-uns au delà de 2,300 tonnes. Généralement, une opération de mise en chantier demande, en tout, de deux à trois heures. Dans les conditions que comporte le service actuel du dock, toutes les manœuvres qui viennent d'être décrites, appliquées à un navire ordinaire, s'effectuent avec une merveilleuse facilité.

Tout le système élévatoire pris isolément, — c'est-à-dire, les colonnes, les traverses, les presses, les pompes, les machines à vapeur, y compris les travaux d'établissement de ces diverses parties du système, les fondations, le radier, les perrés, les planchers d'approche, le bâtiment de la machine, la cabine, etc., mais non compris les chalands ni aucune des dépendances extérieures en terrains, bassins, etc., — a coûté 26,000 livres sterling, soit 650,000 francs. Le prix des chalands a varié, suivant les dimensions, depuis 75,000 francs jusqu'à 260,000 francs.

Le très-remarquable appareil de M. Edwin Clark est du nombre des ouvrages qui ont le plus fixé l'attention des ingénieurs venus à Londres à l'occasion de l'Exposition.

BASSORINE. On appelle ainsi le principe constituant d'une espèce de gomme qui vient de *Bassora*, de la gomme adragante et de quelques gommes-résines. Elle est demi-transparente, difficile à pulvériser, se boursoufle considérablement dans l'eau froide ou bouillante, et forme un mucilage épais, sans se dissoudre. Traitée par dix fois son poids d'acide nitrique, elle produit près de 23 p. 100 de son poids d'acide mucique, ce qui est beaucoup plus qu'on n'en obtient de la gomme arabique ou de la gomme du cerisier. La bassorine est très-soluble dans l'eau, légèrement acidulée par de l'acide nitrique ou de l'acide muriatique. On la prépare en laissant digérer la gomme de Bassora dans une grande quantité d'eau froide, et filtrant pour séparer toutes les matières solubles dans l'eau.

BATEAU, voyez NAVIRES.

BATEAU A VAPEUR (*anglais*, steam-boat, *allemand*, dampfschiff). Le progrès industriel le plus remarquable de notre époque est, sans contredit, l'application de la machine à vapeur à la locomotion sur la terre et sur l'eau. Ce sont là de ces découvertes réellement providentielles, destinées à changer la face du globe et à faire faire un pas immense à l'humanité tout entière, en détruisant les barrières qui séparaient jusqu'alors les diverses nations.

A l'article CHEMIN DE FER, nous traiterons avec détail de la locomotion sur terre; ici, nous allons nous occuper du *bateau à vapeur*, qui utilise si admirablement les fleuves, les rivières et les canaux qui sillonnent en tous sens nos continents, pour la célérité des communications du transport des personnes et des marchandises, et vient soustraire le commerce maritime aux caprices des vents.

Déjà en 1695, Papin, le véritable inventeur de la machine à vapeur à piston (voy. MACHINE A VAPEUR), proposait d'employer une double machine atmosphérique à mouvoir des roues à palettes, qui feraient avancer les bateaux auxquels elles seraient fixées. Il paraît même avoir tenté la construction d'un bateau qui fut mis en pièces par les bateliers du Weser.

Le premier qui appliqua cette idée est le marquis de Jouffroy, qui construisit, en 1780, un bateau à vapeur de 46 mètres de longueur, qui fut essayé sur la Saône.

BATEAU A VAPEUR.

Le moteur consistait en une machine atmosphérique qui faisait mouvoir des espèces de volets, placés latéralement, s'ouvrant pour repousser l'eau et faire avancer le bateau, puis se reformant pour venir reprendre leur position primitive. Dans un essai subséquent il remplaça les volets ci-dessus par des roues à aubes, qu'on avait déjà essayé, sans succès, de substituer aux rames pour la navigation ordinaire; mais ce fut toujours avec peine que l'on parvint à faire marcher le bateau, sans pouvoir jamais atteindre une vitesse un peu considérable. La machine à vapeur atmosphérique était trop imparfaite, l'art du constructeur trop peu avancé, pour qu'on pût obtenir des résultats importants.

De 1785 à 1801 divers essais de navigation à vapeur ont été tentés soit en Angleterre, soit en Amérique, où des grands fleuves appelaient en quelque sorte ce moyen de navigation, mais toujours sans succès; la non-réussite provenant généralement de ce que les machines n'avaient pas assez de puissance, elles suffisaient à peine pour imprimer une faible vitesse au bateau sur une eau calme, mais étaient incapables de lui faire refouler le moindre courant.

En 1798, Livingston, ancien consul des États-Unis à Paris, et alors résidant à New-York, obtint des résultats plus importants avec des bateaux naviguant sur les fleuves, et obtint de l'État de New-York le privilége exclusif de la navigation à vapeur sur les eaux de l'État, pour vingt années, à la condition que ses bateaux fussent animés d'une vitesse de 4 milles à l'heure; mais quoique ses navires naviguassent avec quelque utilité, il ne put réaliser la condition qui lui était imposée.

Pendant ce temps, Watt avait perfectionné la machine à vapeur à double effet, avait créé, pour ainsi dire en même temps, la science du constructeur de machines. Aussi lorsque l'Américain Fulton, après avoir construit un premier bateau sur la Seine, dont les résultats bien qu'imparfaits lui firent néanmoins comprendre que la vitesse n'était limitée que par la faiblesse des machines qu'on employait, reprit ses travaux en Amérique avec l'aide de Livingston, et fit construire à New-York, en 1807, un bateau de grandes dimensions, et en demanda à Watt la machine de vingt chevaux-vapeur, il obtint des résultats incontestés, accomplissant régulièrement le trajet de New-York à Albany (120 milles) dans l'espace de 30 heures en allant et 32 en revenant, ce qui remplissait à peu près les conditions du privilége de Livingston. De ce jour, la navigation à vapeur était créée, et on entrait dans la série des perfectionnements si nombreux qui y ont été apportés depuis, et qui se succèdent encore avec tant de rapidité chaque jour.

La France qui n'avait pas compris la question de la navigation à vapeur, dont l'illustre chef Napoléon Ier, traitait Fulton, dit-on, de charlatan, ne vit pas de bateaux à vapeur avant 1820, et les débuts en furent bien modestes. C'est l'Angleterre qui nous a fourni nos premiers bateaux et nos premiers modèles.

Nous diviserons cet article en trois parties, dans lesquelles nous traiterons successivement :

1° *Du bateau et de sa forme. — De la résistance qui s'oppose au mouvement.*

2° *De la chaudière et de la machine à vapeur. — Puissance du moteur.*

3° *Appareils de propulsion. — Emploi de la force.*

Je dois rappeler ici, pour expliquer les nombreuses lacunes de cet article, qu'un autre travail, sous le même titre, est consacré dans le *Complément* de cet ouvrage à la navigation à vapeur. Comme on a dû éviter les doubles emplois, on devra recourir à cet article pour les nombreuses lacunes qui paraîtront exister dans celui-ci.

§ I. FORME DU BATEAU. La forme extérieure d'un

bateau est déterminée par la condition d'offrir le moins de résistance possible. Malheureusement la théorie de la résistance des fluides est encore trop obscure, pour que la théorie ait pu déterminer d'une manière satisfaisante la forme du solide de moindre résistance. Les nombreux résultats de la pratique peuvent seuls guider les constructeurs. Il est néanmoins des principes fondamentaux, sur lesquels reposent les principaux résultats obtenus, qui permettent de se rendre compte d'une manière générale des formes adoptées.

1° La résistance qu'éprouve un bateau à se mouvoir est sensiblement proportionnelle au maître-couple (la plus grande section immergée du bateau), et varie peu avec la longueur. Il y aura donc avantage à allonger beaucoup un bateau, puisque pour une même charge l'enfoncement, et par suite le maître-couple, sera moindre. On n'est limité que par la nécessité de conserver au bateau une solidité suffisante, surtout à la mer, où un bateau trop allongé ne saurait résister et se briserait par le milieu. D'ailleurs, comme dans ce cas on doit pouvoir employer la voile, en cas de mise hors d'état de service des machines, on ne peut adopter une forme trop différente de celle des navires à voiles.

Pour ceux-ci, le rapport de la longueur à la largeur, mesurée à la flottaison, est de $3\frac{1}{2}$ à 3 3/4; pour les bateaux à vapeur marins, il est de 5 à 6; pour les bateaux de rivière ce rapport est bien plus considérable, et n'est souvent limité que par la possibilité de tourner dans toutes les parties de la rivière. On fait aussi généralement les bateaux de rivières à fond plat, afin de diminuer le tirant d'eau et de pouvoir naviguer pendant les basses eaux.

Le moyen le plus convenable pour diminuer le tirant d'eau est de construire une coque très-légère; beaucoup de constructeurs considèrent même, pour les bateaux de rivière, cette condition comme d'une importance supérieure à toute autre. On comprend combien il est difficile d'y satisfaire, en songeant à la fatigue qui résulte, pour la coque, du poids énorme des machines, lequel se trouve concentré en son milieu. Dans ces dernières années, la fréquente substitution du fer et de la tôle de fer au bois a permis de construire des coques, assez coûteuses il est vrai, mais réunissant à beaucoup de résistance une grande légèreté.

Avant du bateau. C'est sur l'avant du bateau que se produisent les résistances directes; c'est aussi sur sa forme qu'ont principalement porté les recherches des constructeurs.

Le bateau à vapeur étant destiné à marcher avec de grandes vitesses, la proue doit en être effilée, afin que le prisme d'eau qui se trouve déplacé à chaque instant tende à être écarté latéralement au lieu d'être refoulé, et que sa résistance diminue par l'écartement produit par cette action latérale. (Voy. RÉSISTANCE DES FLUIDES.)

L'avant est terminé par une pièce saillante appelée *taille-mer*, à laquelle viennent se raccorder les courbes du bateau.

Ce que nous venons de dire de l'avant, fait aisément comprendre toute l'importance de la bonne construction de cette partie du bateau. Nous nous sommes demandé s'il n'était pas possible de diminuer encore cette partie si importante de la résistance totale, par une disposition propre à diminuer la densité du fluide, auquel la résistance est évidemment proportionnelle. On nous permettra de rapporter ici cette invention que nous avons publiée dans une brochure parue en 1843, dont nous extrayons la description suivante :

Système proposé. Le nouveau système que nous proposons consiste dans l'installation, à bord d'un bateau à vapeur, d'une machine soufflante (celle à piston est

BATEAU A VAPEUR.

la plus avantageuse, vu surtout l'extrême facilité qu'on a de la faire mouvoir par la machine à vapeur) qui chassera de l'air dans l'eau au moyen d'un tuyau placé à la partie inférieure de l'avant. Ce tuyau sera percé à sa partie supérieure d'un grand nombre de petits orifices, par lesquels l'air arrivant dans l'eau en petits filets, rendus discontinus par la progression du bateau et le mouvement de l'eau, formera dans la masse une multitude de globules. L'eau enfin serait aussi amenée à l'état d'un liquide en ébullition, et formerait un mélange d'une densité d'autant moindre, que la quantité d'air lancé serait plus grande (*fig.* 199).

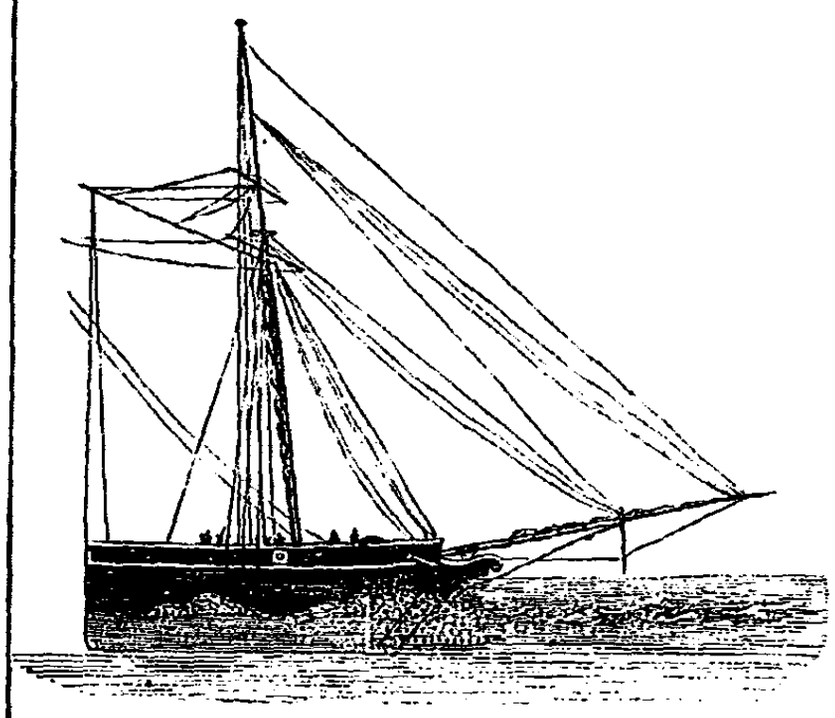


Fig. 199.

Il paraît facile de constituer à cette espèce d'état mixte la partie du liquide, fraction assez faible du volume déplacé, qui forme le remous antérieur et qui est choquée avec le plus de vitesse par la partie la plus avancée de l'avant, sans produire d'autre effet nuisible, que d'élever d'une manière insignifiante le niveau du liquide en cette partie, car la majeure partie de l'eau, remplacée par l'air, dans cette action de bouillonnement, s'écartera latéralement après avoir été un peu élevée au-dessus du niveau général. Elle ne saurait, en effet, se maintenir en gerbe isolée.

Ce système nous paraît devoir beaucoup diminuer la résistance.

1° Parce que l'effort nécessaire pour écarter les filets fluides sera moindre que celui qui serait nécessaire pour écarter le volume correspondant à la partie de l'air qui se dégagera pendant la durée de cette action d'écartement. Ce sera le même effet que si une partie du liquide à écarter était supprimée.

2° Parce que la quantité de mouvement imprimée au fluide compris dans le remous sera considérablement diminuée.

Cet effet, correspondant à la masse en mouvement, est proportionnel à la densité; or, le volume restant le même et la densité de l'air étant presque nulle, relativement à celle de l'eau, la perte des forces vives sera donc diminuée de toute la quantité qu'eût absorbée le volume d'eau remplacé par un volume d'air.

3° En ce que le choc qui a lieu à la rencontre du fluide en repos par le corps en mouvement, et dont l'effet croît rapidement avec la vitesse, absorbera une moindre quantité de travail, parce que : outre l'effet indiqué ci-dessus, par l'effet de l'espèce de coussin élastique que formera le mélange d'eau et d'air, le choc aura lieu entre corps élastiques, au lieu d'avoir lieu entre des corps privés d'élasticité, et cela d'autant

BATEAU A VAPEUR.

plus que l'air, s'élevant le long des faces inclinées de l'avant qu'il rencontre, s'accumulera à l'endroit du contact du bateau et de l'eau.

Nous pensons donc être fondés à conclure de ce qui précède, que le mouvement d'un bateau rencontrant ce nouveau fluide élastique, composé d'eau et d'air d'une densité bien moindre que celle de l'eau, sera produit avec une moindre dépense de force motrice, ou bien en augmentant celle-ci et en appliquant une partie à l'établissement du système proposé, qu'on fera *croître la vitesse* résultant des systèmes de locomotion déjà employés, et auxquels son effet viendrait s'ajouter.

Mais il faudrait savoir jusqu'à quel point il est avantageux d'utiliser ainsi partie de la force motrice. Or, pour cela, il faudrait calculer d'une part la force nécessaire pour l'insufflation de l'air, et de l'autre, l'effet produit en proportion du volume lancé et de la position de l'eau qu'il remplace par rapport au bateau. Malheureusement, il nous paraît impossible, dans l'état actuel de la science, de pouvoir se rendre un compte quelque peu approché de cet effet. Il faudrait recourir à quelques expériences préparatoires.

Nous pensons cependant que, dût la proportion d'effet utile de ce système être moins considérable qu'on peut l'espérer, il doit permettre, par son application plus ou moins étendue, de dépasser la limite du maximum de vitesse qu'il a été possible d'obtenir jusqu'à ce jour. Cette limite, résultant bien plus de la diminution rapide de la proportion d'effet utile de l'appareil moteur quand on augmente sa vitesse, que de la difficulté d'accroître la force motrice, il deviendra souvent plus avantageux d'employer le nouveau système que l'ancien pour obtenir les derniers accroissements de vitesse.

En effet, à mesure que la vitesse augmente, la proportion d'effet utile diminue rapidement pour l'appareil d'impulsion; elle doit augmenter pour l'insufflation d'air, car la dépense croissant comme la quantité de fluide rencontrée, c'est-à-dire, comme la vitesse, l'effet utile ou la diminution de résistance correspondant au choc ou à la communication de forces vives doit croître comme le carré de celle-ci.

Il paraît donc que le succès commercial de ce système est probable, surtout pour les cas où il importe d'obtenir, avant tout, de *grandes vitesses*.

Flancs et arrière du bateau. L'eau déplacée par l'avant du bateau ne pouvant passer instantanément à l'arrière, et le vide qui se produit en cette partie par suite de la progression, ne pouvant être instantanément comblé par le liquide environnant, à cause de son inertie, il en résulte un accroissement de pression à l'avant et une diminution à l'arrière, relativement à la pression statique, effets qui tous deux accroissent la résistance. Il importe donc de faciliter autant qu'il est possible par la construction du bateau le passage du fluide de l'avant à l'arrière; c'est pour cela, autant que pour la stabilité du bateau, qu'on en construit les murailles verticales, sans renflement inutile dans le sens de la longueur. La poupe effilée, à flancs très-évidés, facilite encore le passage du liquide, et tend à diminuer autant que possible le frottement latéral. Ce frottement peu sensible pour de faibles vitesses, n'est pas à négliger quand elles deviennent considérables, car il paraît croître proportionnellement au carré de la vitesse, d'après les dernières expériences faites à ce sujet en Angleterre.

Nous traiterons de ces questions, comme de la construction des navires dans des articles spéciaux; toutefois les lecteurs qui voudront faire une étude spéciale de la question devront recourir au beau travail de M. de Fréminville, qui fait partie du *Guide du Marin*.

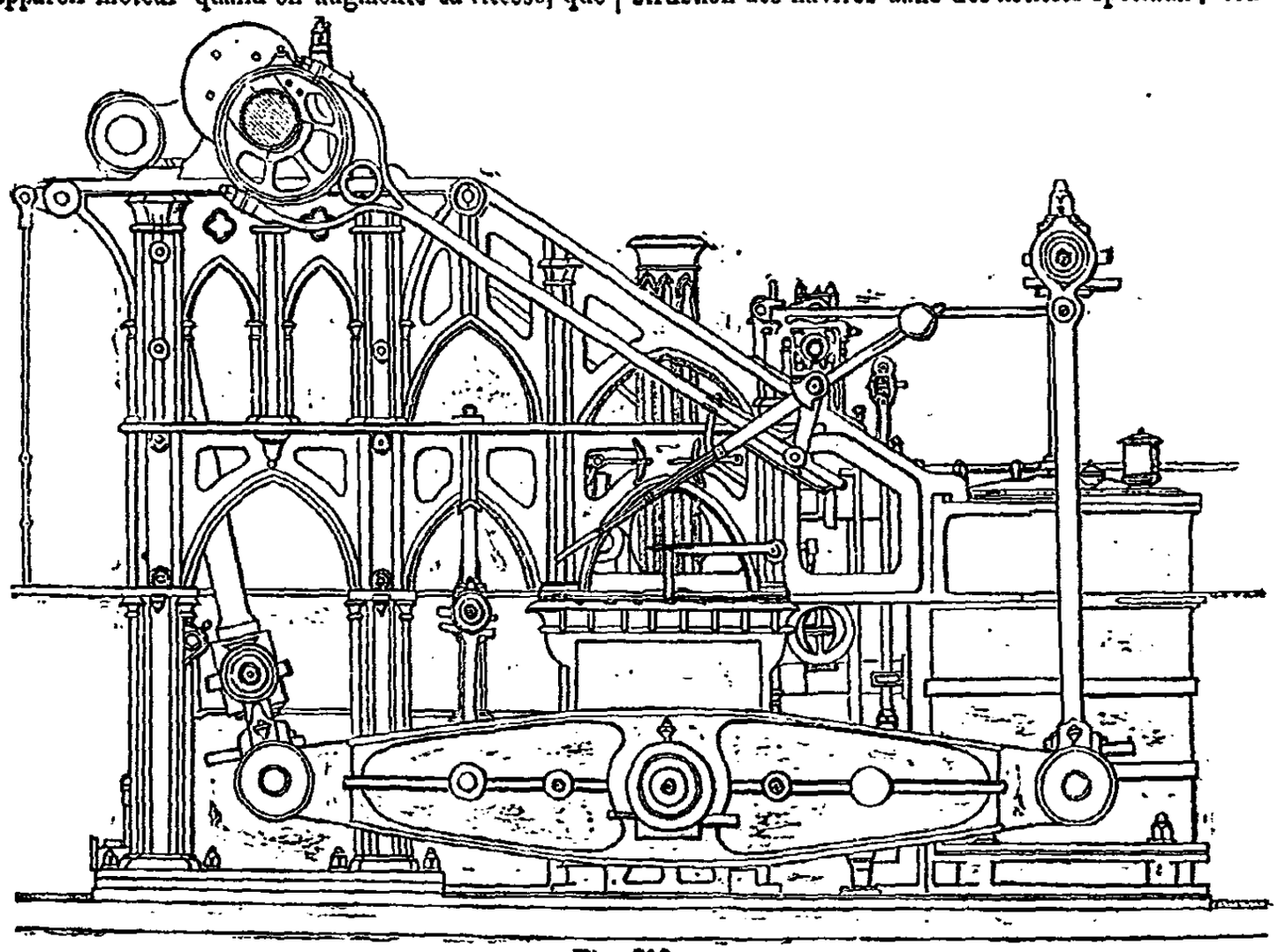


Fig. 200.

§ II. De la machine a vapeur. Les machines le plus généralement employées sont :

1° *Les machines oscillantes;* elles conviennent à la

BATEAU A VAPEUR.

navigation des rivières d'un faible tirant d'eau à cause de leur extrême simplicité, qui rend leur poids peu considérable. Ce système a été souvent exécuté par M. Cavé de Paris, et a fait la juste réputation de M. Penn de Londres. Le peu d'espace qu'il occupe permet d'établir les machines à bord du bateau, de telle sorte qu'elles ne puissent participer que très-peu à la déformation qu'il finit toujours par éprouver (voir la figure de ce genre de machines à l'article BATEAU A VAPEUR du *Complément*). Ces machines à cause de leur simplicité sont préférables à toutes autres lorsque les cylindres ne doivent pas être de très-grandes dimensions, car alors elles n'ont plus toute la solidité désirable; toutefois Penn a construit d'excellentes machines de ce système de 500 chevaux pour les deux machines accouplées.

2° *Les machines à balancier.* C'est réellement la machine de Watt, dans laquelle seulement on a mis à la partie inférieure le balancier, qu'il eût été trop difficile de placer à la partie supérieure. C'est le système de machines le plus généralement adopté pour les grands navires à roues. Des différences de peu d'importance se remarquent dans le grand nombre de machines construites dans ce système, mais comme le disait le savant ingénieur de la marine M. Hubert de Rochefort : Cette uniformité dans les détails principaux n'est pas le résultat d'une aveugle routine, ainsi qu'on pourrait le supposer, mais le résultat d'un grand nombre d'expériences dirigées par l'intérêt particulier, dans le but de trouver les moyens mécaniques qui conviennent le mieux au service de la mer.

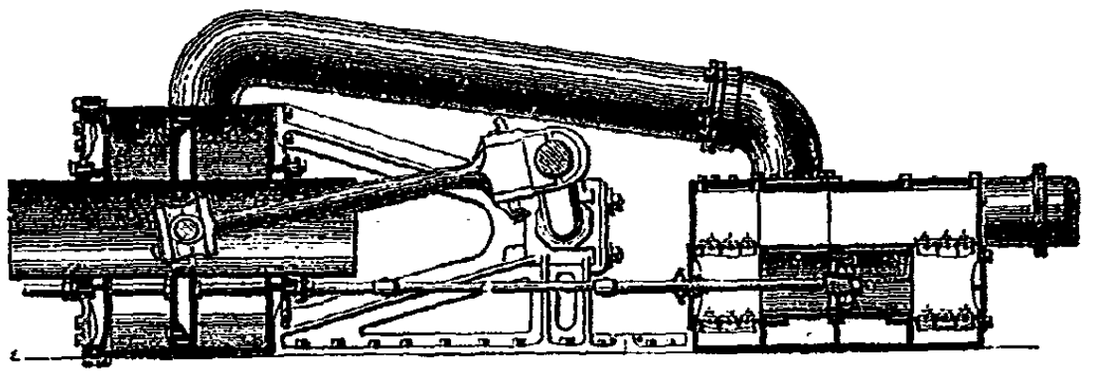


Fig. 201.

Le dessin (fig. 200) représente la machine des anciens navires de 450 chevaux de la marine de l'État. La machine à balancier n'a été abandonnée par la marine militaire que depuis que l'hélice à mouvement rapide a remplacé les roues dans la flotte.

Le principal avantage de ces machines consiste dans une parfaite liaison de toutes les parties qui en assure la solidité, un balancement des pièces principales, cause de sécurité contre les avaries.

3° *Machines à connexion directe.* L'hélice conduisait aux machines à action directe qui rappellent le type des locomotives. Nous les décrivons à l'article BATEAU A VAPEUR, du *Complément*, spécialement destiné à l'étude des bateaux à vapeur à grande vitesse, des transatlantiques. Nous le compléterons en disant ce qui a été fait de nouveau dans cette voie. La machine à connexion directe a en général une bielle trop courte, cause d'échauffement et d'usure; le véritable modèle adopté aujourd'hui dérive de celle-ci, en reportant l'attache de la bielle à l'aide d'une double tige du piston, pour laisser passer l'arbre, sur une glissière placée à l'autre bord. C'est le système le plus généralement adopté aujourd'hui pour la marine militaire.

Machines à fourreau. — Une solution que les progrès de l'art de la construction semblent tendre à rendre plus satisfaisante chaque jour est celle si simple adoptée par Penn et fils. Dérivant de la machine oscillante qui a donné d'excellents résultats pour les petites constructions, la machine à fourreau (*fig.* 204) consiste à faire toujours partir la bielle du piston, avec lequel son extrémité est assemblée à articulation, et à cet effet à la faire osciller dans un fourreau faisant corps avec le piston. La possibilité de bien exécuter une garniture métallique autour du fourreau, a fait disparaître les difficultés que pouvait présenter ce système; son défaut d'offrir de grandes surfaces de refroidissement, ne paraît pas balancer

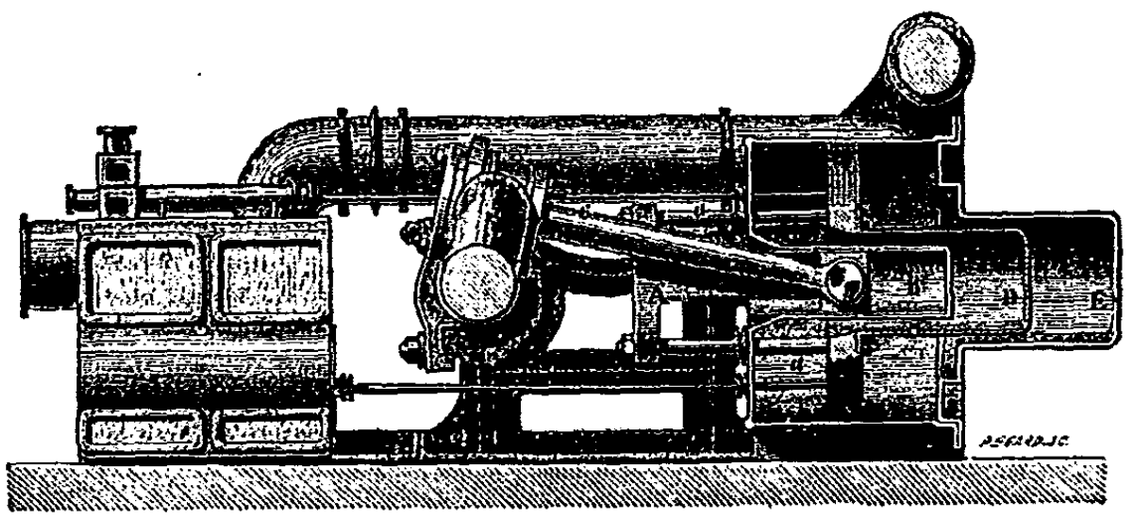


Fig. 204 bis.

les avantages de simplicité et de légèreté des appareils.

Leur vitesse, que dans la pratique il faut obtenir aussi considérable que possible avec des machines puissantes, et qu'on n'atteint pas avec des systèmes plus lourds, fait que la consommation de chaleur, due à ce refroidissement, n'est pas très-grande relativement à la quantité de chaleur utilisée.

Une disposition curieuse destinée à éviter les défauts de la machine à fourreau est celle de M. Cowan. MM. Burg et Cowan, qui en sont les inventeurs, ont cherché à obtenir les avantages que présentent les machines à fourreau par rapport à l'allongement de la bielle, sans tomber dans l'inconvénient de ces énormes *stuffing-box* que l'emploi même des fourreaux rendait nécessaires (fig. 204 bis).

Dans leur disposition, le piston annulaire est muni de deux tiges $a\ a$, faisant corps avec une forte pièce à T, désignée sur la figure par A; c'est cette pièce

qui se prolonge dans le fourreau fixe B, dans l'intérieur duquel elle glisse, et qui porte l'extrémité de la bielle motrice C. Quant au piston, il est prolongé par une sorte de poche D, assez profonde pour ne jamais rencontrer le fourreau, et le cylindre lui-même est muni d'une poche semblable E, pour laisser place à cet appendice du piston. Cette disposition est très-ramassée, mais la saille du fond du cylindre compense pour une certaine part la diminution de longueur totale, que l'on cherche à obtenir par l'emploi des fourreaux. D'un autre côté, les *stuffing-box* sont réduits à leurs dimensions ordinaires, et le piston n'a besoin que de la seule garniture extérieure, qu'on serait obligé de lui donner pour toute machine de même dimension.

Nous ne parlons pas des machines à rotation immédiate, souvent appliquées pour de petits bateaux à hélice, la rotation rapide de celle-ci rendant l'application de ces systèmes extrêmement favorable. Les fuites de vapeur qui accompagnent ces machines après quelque temps de marche les rendent bientôt désavantageuses, et en tous cas toujours inapplicables à de puissantes machines.

De la pression. Les dépôts salins considérables auxquels l'eau de mer donne lieu, rendent dangereuse une combustion aussi vive que celle qui a lieu sous des chaudières produisant de la vapeur à haute pression. Il en est de même du mouvement de roulis du navire qui projette l'eau contre les parties de chaudière qui se sont fortement échauffées par l'abaissement du niveau. Il ne saurait cependant être douteux qu'on ne doive employer avec avantage des machines à moyenne pression, de 2 à 3 atmosphères, pour lesquelles la vapeur peut encore se produire facilement. C'est ce qui se fait déjà pour les bateaux à hélice mus à l'aide de machines à action directe; il ne saurait être douteux non plus, qu'on ne doive repousser l'emploi de machines à haute pression et sans condensation; l'idée de l'emploi semble absurde pour un bateau qui se meut au milieu de l'eau, et par suite quand l'eau d'injection est fournie abondamment et pour ainsi dire sans dépense. Les Américains emploient, il est vrai, sur les eaux de l'ouest, des machines à très-haute pression; mais on sait combien les accidents y sont fréquents.

Cependant il faut distinguer dans tous les cas de construction de bateaux à vapeur, ceux qui n'ont à faire que de courts trajets et pour lesquels une grande vitesse est la grande condition de succès, de ceux qui sont destinés à fournir de grands trajets en utilisant le mieux possible le charbon et en évitant toute cause de réparations. La basse pression conviendra toujours mieux aux seconds mais non aux premiers; nous renverrons pour ceux-ci à l'article *Bateau à vapeur* du Complément qui leur est spécialement consacré.

De la détente et de l'avance du tiroir. — L'expérience a prouvé qu'en ne laissant entrer la vapeur dans le cylindre que pendant une partie de la course du piston, pour profiter de la détente, on obtenait non-seulement une économie de combustible et une diminution dans les dimensions de l'appareil évaporatoire, mais encore le même effet utile, entre certaines limites, que si on avait introduit la vapeur pendant toute la course du piston. Nous empruntons ce qui suit à l'intéressant mémoire de M. l'ingénieur Reech, cité par M. Campaignac. « Dans les machines disposées et proportionnées comme le sont celles de la marine royale dites de 160 chevaux, le maximum de la puissance ne correspond pas au cas où la vapeur afflue pendant la totalité de la course du piston, mais à celui où la détente commence aux $\frac{854}{1000}$ de la course; en sorte qu'il y aura augmentation de puissance d'une manière absolue pendant qu'on réduira la dépense de vapeur et par suite celle du combustible de $\frac{1}{7}$. »

La cause de cette particularité gît dans la longueur du temps qui est physiquement nécessaire pour que le vide puisse s'effectuer convenablement devant le piston au commencement de chaque course nouvelle, et qui met dans la nécessité de commencer à faire évacuer la vapeur au condenseur avant la fin de chaque course du piston. Ce n'est même que par suite de cette condition et afin de pouvoir y satisfaire que nous proposerons comme règle générale de ne jamais admettre la vapeur dans un cylindre au delà des $\frac{4}{5}$ de la course, et exceptionnellement au plus jusqu'aux $\frac{5}{6}$.

Lorsqu'on voudra économiser le combustible, il faudra utiliser la force expansive de la vapeur déjà avant les $\frac{4}{5}$ de la course; alors la puissance absolue que l'on obtiendra dans une machine donnée décroîtra en même temps que la dépense de vapeur ou de combustible; mais le rapport de la puissance à la dépense ira en croissant jusqu'à une certaine limite qui n'est pas parfaitement connue. On est fondé à croire qu'on aura les résultats suivants :

FRACTIONS DE LA COURSE pendant laquelle la vapeur afflue dans le cylindre.	DÉPENSE de vapeur et de combustible.	PUISSANCE obtenue.
1,000	1,171	0,82
0,975	1,142	0,85
0,854	1,000	1,00
0,800	0,930	0,98
0,750	0,870	0,97
0,500	0,580	0,81

M. Maudslay, dans ses machines, n'introduit la vapeur dans le cylindre que pendant les $\frac{7}{10}$ de la course; il profite ainsi de tous les avantages énoncés ci-dessus sans employer la détente dans une proportion assez forte pour que l'affaiblissement de la tension de la vapeur force à employer des pistons d'un trop grand diamètre et par suite des machines trop pesantes.

La détente s'obtient par le *recouvrement du tiroir*, auquel on donne une largeur plus grande que l'orifice d'introduction de la vapeur. L'*avance du tiroir*, au contraire, prépare la condensation en ouvrant la communication avec le condenseur un peu avant que le piston ne soit arrivé à l'extrémité de sa course, et par suite économise l'action de la vapeur qui ne serait utilisée qu'à vaincre l'inertie de celle qui doit se rendre au condenseur.

Le règlement du tiroir, par la bonne disposition des pièces qui le font mouvoir et qui déterminent la durée de la détente et le moment de la condensation, est certes la partie la plus importante du montage des bateaux à vapeur, celle dont la mauvaise disposition peut avoir l'effet le plus nuisible.

On voit que dans la pratique, la détente se réduit à peu de chose dans les machines marines. En présence des grands résultats qu'indique la théorie et de ceux déjà obtenus par la machine fixe, nul doute que ce ne soit dans cette voie que les perfectionnements ne doivent être dirigés (Voy. *Complément*).

Du condenseur. — Le condenseur des machines de

bateaux à vapeur est le même que celui des machines fixes. On a cependant essayé, mais jusqu'ici avec peu de succès, un système particulier de condensation par contact de la vapeur avec de grandes surfaces métalliques refroidies, dans le but d'éviter l'emploi de l'eau de mer. Les incrustations qui s'opposent à l'emploi d'une pression un peu élevée à la mer, condition essentielle de l'emploi d'une détente un peu étendue de la vapeur, seraient évitées radicalement par l'emploi des condenseurs à surface.

Nous dirons ici ce qui a été fait de nouveau dans cette voie qui est celle de l'avenir, car elle fournit seule une solution complète du problème. (Voir *Dictionnaire* et *Complément*. Articles INCRUSTATIONS).

Haal, qui le premier a tenté la combinaison du condenseur à surface, disposait son condenseur sous forme de longs tubes enroulés (de plusieurs milles de longueur pour de puissantes machines), recevant la vapeur à condenser à l'intérieur et plongés dans l'eau enlevée à mesure de l'échauffement par la partie supérieure. Il pensait avoir reconnu qu'une surface condensante de $1^{m},68$ était suffisante par force de cheval. Un laborieux inventeur, M. Sauvage, a depuis établi un petit condenseur de ce genre, dans lequel une surface de $0^{m},50$ était suffisante par force de cheval, en faisant marcher l'eau condensante en sens inverse de la vapeur renfermée dans un tube placé à l'intérieur de celui qui contenait l'eau.

Il n'y aurait rien à désirer de mieux que ce système, s'il fonctionnait toujours, après quelque temps de service, comme lors de la mise en train. Malheureusement les dépôts que l'eau de mer fait sur les tuyaux, et aussi la graisse qui tapisse leur intérieur et qui provient de la vaporisation de celle qui a servi à lubrifier le piston de la machine, font que le contact entre la vapeur et l'eau n'est plus seulement gêné par un passage à travers des corps métalliques bons conducteurs de la chaleur, mais encore à travers des substances qui la conduisent fort mal et qui s'opposent à une rapide condensation.

En pratique, le système de Haal, fort bien accueilli par l'amirauté anglaise, a été abandonné après bien des essais, et les appareils de condensation à surface supprimés.

Les avantages de tout genre que ferait obtenir l'emploi de la haute ou au moins de la moyenne pression à la mer ont fait revenir au condenseur de Haal, l'alimentation à l'eau pure étant la première condition de ce progrès. Les constructeurs anglais varient les dispositions pour y parvenir, et l'on doit signaler l'emploi du caoutchouc vulcanisé entre deux plaques boulonnées pour assembler les extrémités des tubes de manière à rendre le démontage et le nettoyage de ceux-ci faciles, et par suite faire disparaître l'amoindrissement de conductibilité qui résulte de la graisse qui vient se déposer à leur surface et les empêche d'être mouillés par l'eau qui se condense.

Nous reproduirons ici le condenseur à surfaces et à petits tubes imaginé par M. Pirson, constructeur américain, qui est le plus apprécié aujourd'hui, et qui, établi sur un principe nouveau, évite les dangers d'introduction d'air qui ont été la cause de l'insuccès de plusieurs condenseurs à surface.

L'appareil tubulaire est constitué, comme à l'ordinaire, au moyen d'un grand nombre de petits tubes dirigés horizontalement et ajustés avec des plaques de tête en bronze : à l'une des extrémités arrive la vapeur qui circule à l'intérieur des tubes; à l'extrémité opposée se rassemble l'eau condensée, qui est recueillie et renvoyée à la chaudière par une pompe alimentaire ordinaire. La différence caractéristique de ce système consiste en ce que le compartiment d'arrivée de la vapeur communique avec le compartiment moyen, par l'intermédiaire de petites ouvertures *a* et *b* (fig. 202 et 202 bis), pratiquées vers la partie supérieure de la

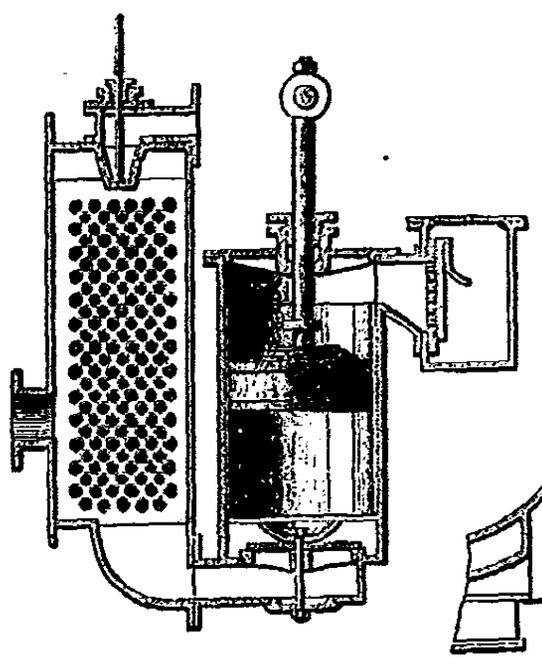


Fig. 202.

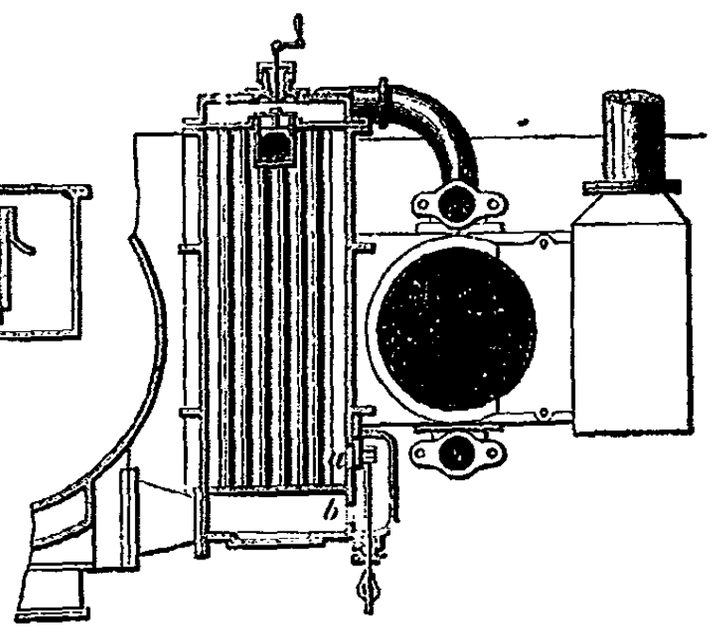


Fig. 202 bis.

plaque de tête; une pompe à air entretient le vide dans ce compartiment, ainsi que dans la capacité intérieure des tubes, au moyen de l'ouverture *b*. L'eau réfrigérante ne forme pas un bain complet, mais est lancée sous forme d'injection ordinaire, se répandant en pluie, ou au moins en filets très-multipliés sur la surface extérieure des tubes. Par suite de ces dispositions, les tubes supportent toujours une égale pression à l'intérieur et à l'extérieur, et, par conséquent, ils peuvent être réduits à des épaisseurs impossibles dans les autres systèmes; de plus, leur assemblage avec les plaques de tête est notablement simplifié. Il suffit qu'il présente un contact passable pour prévenir le mélange de l'eau douce et de l'eau salée, et il peut se produire un glissement des parties en contact, de manière à laisser libre jeu aux dilatations, sans qu'il en résulte d'inconvénients.

Dans un appareil monté à bord de la *Mouette*, bateau à vapeur employé à Toulon au service de la rade, la surface tubulaire est de 124^{mq}, pour 192 chevaux-vapeur, ce qui fait seulement $0^{m},74$ par cheval; la pompe à air est d'un faible volume, 0,1 de celui du cylindre à vapeur, ce qui ne permet pas de pousser l'injection aussi loin que dans le mélange d'eau et de la vapeur. Dans ces conditions, le vide à l'intérieur des

tubes atteint de 51 à 59 centimètres de mercure; c'est plus que dans la plupart des appareils à condensation extérieure.

De l'appareil évaporatoire. — La chaudière à vapeur est la partie qu'on s'est le plus efforcé d'améliorer pour la navigation à vapeur, et le problème était difficile à cause de l'impossibilité de réduire les pertes par rayonnement par de lourdes constructions en briques, et celle de donner beaucoup de hauteur à la cheminée.

L'article CHAUDIÈRES A VAPEUR, étant spécialement consacré à cette question, nous dirons seulement ici que les chaudières le plus généralement employées pour bateaux sont;

1° *Les chaudières à tombeau*, pour les basses pressions; leur entretien et leur nettoyage offrent une grande simplicité.

2° *Les chaudières à foyer et à tubes intérieurs*, qui permettent de rendre très-grande la surface de chauffe et de produire une vaporisation rapide; elles ont l'inconvénient d'être d'un nettoyage difficile et d'un entretien coûteux.

3° *Les chaudières à bouilleurs*, qui sont fréquemment employées à terre pour obtenir la vapeur à une pression élevée, toutes les parties étant formées par des surfaces de révolution qui résistent parfaitement aux pressions intérieures, ont été rarement employées dans les bateaux. Elles ne conviennent pas à la mer, exigeant des fourneaux en briques d'un poids énorme et n'offrant pas les avantages spéciaux des foyers intérieurs, de mettre à l'abri de l'incendie.

Les Anglais emploient souvent de grandes chaudières carrées, dont sont munis les meilleurs bateaux à vapeur de leur marine royale, où la flamme et la fumée circulent dans des galeries verticales pratiquées dans leur intérieur. Ces appareils, d'un nettoyage difficile, ont l'inconvénient de se déformer aisément. On ne remédie qu'incomplétement à ce défaut par des armatures intérieures; mais on parvient à leur donner par ces dispositions des surfaces de chauffe très-considérables. Elles ne sauraient résister à des pressions un peu grandes, et dans ce cas on arrive toujours, pour obtenir un bon chauffage, à se rapprocher des chaudières de locomotives, malheureusement coûteuses. Aussi les chaudières tubulaires, à la partie supérieure, au-dessus de la région où se forment les incrustations les plus abondantes, tendent à faire disparaître toutes les autres. (Voy. leur description, art. BATEAU A VAPEUR, *Complément.*)

Nous avons donné à d'autres articles les moyens d'activer le tirage, c'est-à-dire, concurremment avec l'étendue des surfaces de chauffe, d'obtenir de grandes quantités de vapeur. Je citerai notamment l'appareil Thierry, à vapeur surchauffée, comme donnant de précieux résultats. (Voy. FUMÉE.)

Réservoir de vapeur. — Les chaudières ne renferment jamais de l'eau que dans une partie de leur capacité, le reste forme réservoir de vapeur. Il y a avantage à ce que le volume de cette partie soit considérable, la tension de la vapeur fournie aux cylindres est plus régulière, et elle se dépouille mieux de l'eau à l'état vésiculaire qu'elle entraîne mécaniquement en se dégageant du liquide en ébullition. Plusieurs constructeurs ont surmonté avec succès leurs chaudières de vastes réservoirs pour obtenir cette purification de la vapeur; ces capacités additionnelles sont jusqu'ici le seul remède applicable à certains appareils évaporatoires d'un volume trop faible, relativement à la machine, et qui présentent le grave inconvénient, que la vapeur entraîne de l'eau jusque dans les cylindres.

Des conduites de vapeur. — Il importe beaucoup que les conduites n'offrent pas d'étranglements qui gênent le passage de la vapeur, et ne rendent pas, par exemple, comme cela a lieu dans quelques machines, la pression dans le cylindre moindre que la pression dans la chaudière. Il faut partir des dimensions adoptées dans les machines bien construites pour fixer les dimensions de ces conduites, et il n'y a pas d'inconvénient à les faire plutôt trop grandes, tandis qu'il est très-nuisible de leur donner des dimensions insuffisantes.

Des dépôts salins. — Nous ne reviendrons pas ici sur les dépôts salins et les incrustations; questions traitées en détail dans des articles spéciaux. (Voy. INCRUSTATIONS, *Dictionnaire* et *Complément.*)

Foyer, cheminée. — La cheminée des bateaux à vapeur ne pouvant être fort élevée, le tirage n'est jamais très-fort, d'autant plus que la nécessité de la construire en tôle vient encore diminuer l'action des gaz échauffés. On ne peut donc obliger la flamme à faire autant de circuits autour de la chaudière que dans le cas d'une machine fixe.

Vapeur surchauffée. — On a employé, avec succès, partie de la chaleur perdue, à surchauffer la vapeur, ce qui la sèche et augmente son volume, source d'économies très-notables pour des machines sans détente. (Voy. SURCHAUFFE, *Complément.*)

Nous donnerons comme exemple de disposition du-

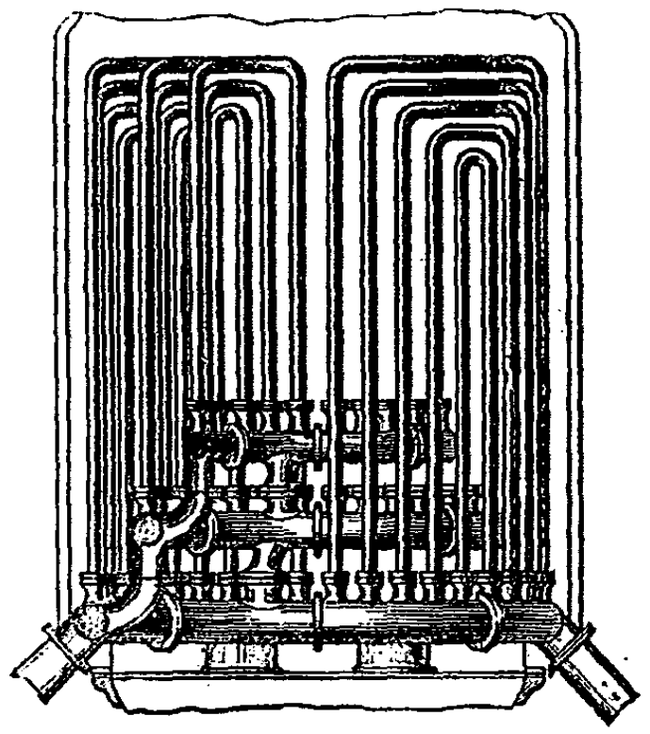


Fig. 203.

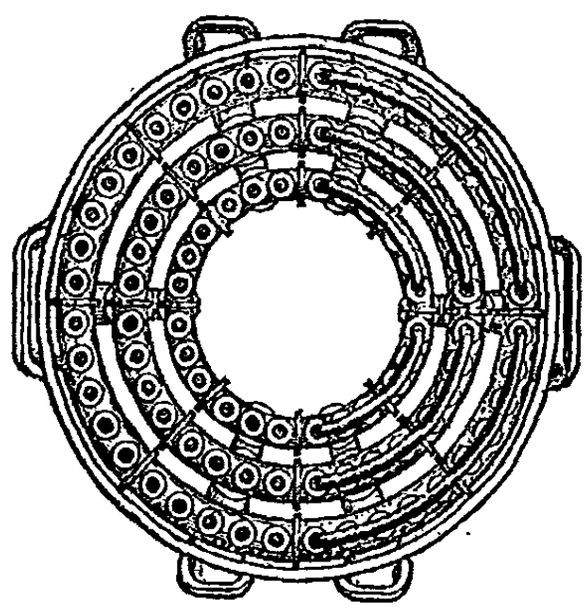


Fig. 203 *bis.*

rable et pas trop coûteuse, l'appareil surchauffeur du *Fontenoy* (fig. 203 et 203 *bis*), qui a donné de bons ré-

BATEAU A VAPEUR.

sultats. Il est placé à la base de la cheminée et se compose de trois tores en fonte de fer, divisés chacun en quatre segments égaux. Ces tores, de diamètres différents, sont placés les uns au-dessus des autres sur le même axe et dans des plans parallèles, convenablement éloignés les uns des autres pour laisser passer la fumée. Ils sont reliés entre eux par des tubulures qui leur servent mutuellement de supports. Le premier, qui a pour diamètre intérieur le diamètre de la cheminée, est supporté par une large bride placée à la base de cette cheminée. La série des segments opposés et placés dans le sens transversal du bâtiment reçoit directement la vapeur des chaudières des deux bords. Les deux autres séries de segments opposés et placés dans le sens longitudinal portent la vapeur aux cylindres. Les segments d'entrée communiquent avec ceux de sortie au moyen de tubes-siphons en fer au nombre de quarante-huit, qui s'ajustent sur les tubulures que présentent les tores. Ils montent à une hauteur de 3 mètres dans la cheminée, dont le diamètre, dans cette partie, est convenablement augmenté.

Des papillons sont placés dans les tuyaux, qui permettent de se servir à volonté de l'appareil. Ces papillons servent aussi, dans le cas de la marche avec de la vapeur surchauffée, à établir à volonté, et dans les proportions que l'on veut, le mélange de la vapeur surchauffée avec la vapeur saturée. Au delà de 200 degrés, le mélange est indispensable si l'on veut ménager les garnitures et éviter des accidents trop fréquents; un thermomètre placé sur la boîte de distribution des tiroirs donne les indications nécessaires à cet effet.

De la puissance nominale et de la puissance effective des machines. — C'est au moyen de l'INDICATEUR de Watt que l'on cherche à évaluer la puissance réelle des machines sur le piston de celles-ci, point de départ seul comparable pour des bateaux de formes différentes. Mais on a conservé dans la pratique l'habitude de donner une évaluation *nominale* en appliquant les règles de Watt, c'est-à-dire en supposant de la vapeur à basse pression et une faible vitesse du piston. Elle n'est pas, pour certaines machines modernes, le tiers de la puissance réelle, mais cette mesure n'en donne pas moins une indication des dimensions générales de la machine d'un bateau à vapeur.

Ainsi le *Lafayette*, transatlantique français, de 950 chevaux de force nominale, a, d'après les renseignements donnés par M. Gaudry à la Société des ingénieurs civils, développé sur les pistons une force de 3,296 chevaux-vapeur.

Le même ingénieur a fait entre un semblable navire et une locomotive Engerth une comparaison curieuse, sinon très-exacte, que je reproduirai ici.

Comme la locomotive, la machine marine doit avoir son poids réparti sur une surface donnée; la solidarité doit exister entre le mécanisme et la chaudière; les actions perturbatrices, les conditions d'équilibre, de stabilité, de répartition symétrique des poids, d'abaissement du centre de gravité sont les mêmes de part et d'autre.

Les sérieuses différences se bornent à la continuité du service de la machine marine, à la violence formidable des contre-coups qu'elle ressent dans les gros temps, à la chaleur intense qui est rayonnée dans la chambre du moteur, et surtout à l'emploi de l'eau salée, qui rend dangereuses les chaudières à évaporation rapide et à haute pression.

Ceci posé, il est intéressant de comparer une grande machine marine, comme celle du *Lafayette*, avec une locomotive; l'Engerth peut être choisie pour point de comparaison, car sa vitesse de 25 kilom. à l'heure est précisément celle du *Lafayette*, et de plus c'est une très-puissante machine à vapeur, dont la force effective peut être évaluée à 564 chevaux d'après les éléments d'appréciation connus.

Quant à la force effective de 3,296 chevaux qui a été relevée à l'indicateur sur les pistons du *Lafayette*, il faut évidemment en déduire le travail consommé dans la machine elle-même par les résistances passives et par la perte d'effet utile du propulseur.

D'après divers ingénieurs de la marine consultés par M. Gaudry, la réduction totale se bornerait seulement au quart de la force indiquée sur les pistons, en sorte que le travail utile employé à la propulsion du *Lafayette* dans l'essai précité resterait égal à 2,472 chevaux. Tel serait le travail effectif à comparer avec les 564 chevaux de la machine Engerth.

M. Gaudry n'entend nullement considérer ces évaluations comme des résultats mathématiques. Ce sont des à peu près, des approximations grossières; mais elles concordent assez avec les résultats dont nous avons le sentiment, pour permettre quelques comparaisons intéressantes faute de données exactes qui se feront peut-être longtemps attendre à cause de la difficulté de les recueillir. M. Gaudry dresse à cet effet entre la locomotive Engerth et la machine marine du *Lafayette* le tableau comparatif suivant :

	Engerth.	Lafayette.
Puissance effective.....	564ch	2472ch
Charge totale transportée.....	650tx	4872tx
Vitesse à l'heure.....	25k	25k
Tonnes-kilomètre par heure. .	16.250	121.800
Par cheval effectif.....	30t.k	50t.k
Combustible brûlé par heure..	500k	4836k
Par cheval effectif.....	0k,88	1k,91
Par tonnes-kilomètre à l'heure.	0k,0307	0k,0391

Si ces données ne sont pas une évaluation précise de la consommation des machines considérées, on peut cependant en conclure que leurs résultats de service ne s'écartent pas notablement les uns des autres, et que la machine marine ne se classe pas à une aussi grande distance des bonnes machines à vapeur en général, qu'on l'a cru quelquefois.

Le chiffre du travail admis ici, sans tenir compte de la perte de 30 p. 100 due à l'action des roues est trop grand, mais les indications ci-dessus n'en offrent pas moins d'intérêt comme approximation de phénomènes complexes.

§ III. EMPLOI DE LA FORCE. — APPAREILS DE PROPULSION. — Le premier moyen qui se présenta à l'esprit des inventeurs qui cherchaient à appliquer la machine à vapeur à la navigation, fut de faire mouvoir par la machine des rames analogues à celles employées par les rameurs. Les volets articulés du marquis de Jouffroy étaient l'application de cette idée. On a aussi essayé plusieurs fois, et Achille de Jouffroy, fils de l'inventeur des bateaux à vapeur, a encore proposé l'emploi de palmes articulées, auxquelles on imprimerait un mouvement de va-et-vient; ces palmes se composent de parties mobiles, afin que la résistance que le fluide oppose à leur mouvement soit très-grande pour déterminer l'impulsion du bateau et très-faible dans l'autre sens. On voit qu'il s'agit d'imiter l'appareil nageur des palmipèdes, qui se meuvent sur l'eau avec tant d'aisance par l'effet de la force motrice renfermée en eux, ce qui faisait dire à Buffon que le cygne était le plus beau modèle que la nature nous ait offert pour l'art de la navigation.

Mais si les divers appareils à action intermittente

peuvent paraître convenables théoriquement, si même on ne peut nier que l'action intermittente puisse permettre de mieux utiliser la force motrice que ne le font des appareils presque continus, dont les parties rencontrent l'eau, déjà ébranlée par le mouvement des parties précédentes; cependant, l'expérience a clairement démontré qu'il fallait renoncer aux appareils de ce genre pour les bateaux à vapeur. Toute machine à mouvement discontinu doit être rejetée quand il est possible de la remplacer par une machine à mouvement continu; celle-ci seulement peut agir d'une manière régulière, sans ces variations dans des forces en jeu, qui à la longue détruisent les appareils les plus solides. Les roues à aubes jouissent de cette grande régularité, à laquelle concourt puissamment leur mouvement rotatoire qui les fait agir en guise de volants. La vis d'Archimède, l'hélice, dont nous parlerons plus loin, possède aussi cet avantage.

Des roues à aubes. — Les roues à aubes ordinaires, garnies à leur circonférence d'un certain nombre de bordages en bois appelés pales ou aubes, sont fixées invariablement à un axe ou arbre qui leur transmet le mouvement de rotation imprimé par la machine. Ces aubes sont maintenues par des boulons à crochet ou à écrou, qui les lient aux rayons des roues de la manière la plus solide; et leur disposition est telle, que leur surface impulsive est dirigée vers le centre des roues ou en diverge généralement très-peu. Il en résulte que chaque aube n'agit dans la direction la plus avantageuse pour faire avancer le bateau, qu'au point le plus bas de sa révolution; c'est à cette position seulement qu'elle utilise la totalité de son action dans la direction de la résistance à vaincre. Dans les autres positions, une partie de l'effort imprimé à l'aube est inutilement employé à pousser l'eau en avant ou à la projeter en arrière, efforts qui croissent avec la vitesse des roues à aubes.

Ces pertes de force augmentent aussi avec l'immersion des roues, qui est la plus convenable quand l'aube verticale plonge au-dessous du niveau de l'eau de 8 à 10 centimètres; il est évident que si elles plongeaient jusqu'à l'axe, l'effet de chaque aube, à son entrée et à sa sortie, serait complétement nul pour la marche du bateau. Il importerait donc que l'immersion des aubes restât constante malgré les variations de tirant d'eau du bateau résultant de son chargement variable. On y est parvenu en simplifiant les moyens d'assemblage des aubes avec la roue, de telle sorte qu'il devient possible de démonter avec rapidité la partie inférieure de l'aube (que l'on forme de trois parties) pour la remonter au-dessus de la partie supérieure, quand le tirant d'eau du navire augmente, et inversement, quand il diminue.

Ce système est surtout avantageux pour les navires à vapeur qui, devant profiter des vents favorables pour marcher à la voile, éprouvent une résistance nuisible par suite de la présence des roues à aubes, résistance que l'on annule en les démontant. On a employé aussi dans ce cas un système d'embrayage qui permet de rendre à volonté les roues *folles*, ou indépendantes de l'axe, ce qui exige des pièces d'un poids considérable pour de grands navires.

Systèmes divers de roues à aubes. — Pour corriger le défaut des roues à aubes, d'entrer et de sortir de l'eau sous des inclinaisons nuisibles, on a employé plusieurs systèmes qui consistent à rendre les aubes mobiles autour d'un axe horizontal, de manière à leur faire prendre une position verticale à leur entrée dans l'eau et à leur sortie, par l'action d'une tige qui dirige leur inclinaison.

Système Cavé. — Dans ce système (*fig.* 204 *bis*) l'axe horizontal de chaque aube porte une manivelle du côté de la muraille du bateau. Ces manivelles sont articulées à des bras qui vont se réunir au collier d'un excentrique monté sur l'arbre des roues et adhèrent à la muraille, de telle sorte que ces bras étant successivement plus courts et plus longs à l'entrée et à la sortie de l'eau, que dans la position la plus basse, les aubes entrent et sortent dans une position verticale; mais cet avantage ne saurait être acheté qu'au prix de frottements qui ont lieu dans toutes les parties de ce système et de chances de rupture qui compensent en grande partie, pour les grands navires qui ont besoin de roues extrêmement solides, les avantages qu'il paraît offrir.

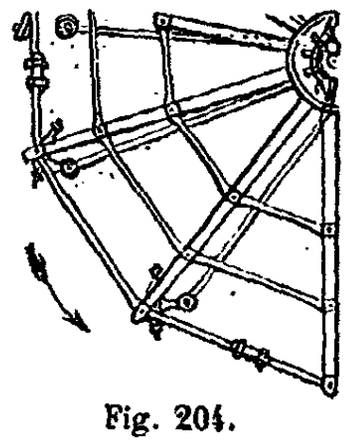


Fig. 204.

Système Morgan. — Les Anglais emploient un système analogue au précédent.

Voici le mode de construction adopté aujourd'hui en Angleterre lorsqu'on emploie des aubes mobiles.

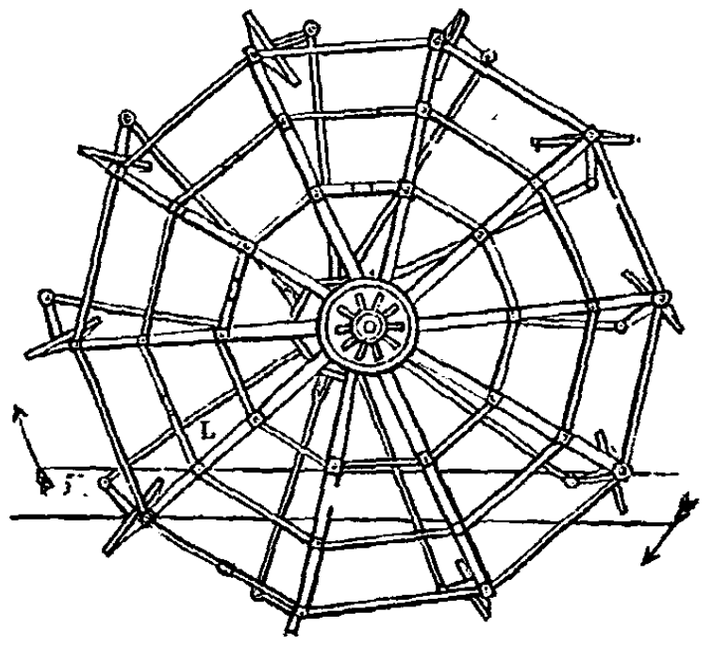


Fig. 204 *bis.*

L'arbre (*fig.* 204) porte un moyeu assemblé avec les axes des aubes des roues. Les manivelles des aubes les saisissent au milieu de leur longueur, et les bras sont articulés avec un disque tournant sur l'extrémité d'une coudée fixée solidement aux élongis extérieurs des tambours, à l'endroit même où le prolongement de l'arbre viendrait aboutir. Ce disque est supporté par le moyeu extérieur de la roue, sur lequel son axe est porté à frottement doux par une espèce de manivelle, ce qui produit un effet analogue à celui du système précédent. La hauteur des aubes mobiles n'étant pas limitée comme celle des aubes ordinaires, on les fait presque carrées, ce qui diminue la saillie des tambours, et permet aux navires munis de ce système de mieux marcher à la voile que ceux ayant des roues ordinaires, plus larges et plus saillantes.

Roues à aubes, dites roues cycloïdales. — Ne voulant pas parler de quantité de systèmes qui ont été imaginés et qui ne fonctionnent qu'avec des complications de mécanisme très-grandes, nous ne citerons plus que le suivant, dont nous empruntons la description à M. Galy-Cazalat.

Pour éviter les pertes de forces qu'entraînent les mécanismes qui font pivoter les aubes, M. Gallevoy a eu l'heureuse idée de diviser la largeur de chaque aube en cinq bandes plus étroites, placées en échelons

BATEAU A VAPEUR.

les unes derrière les autres. Quand les cinq portions de l'aube sont dans l'eau, elles la frappent comme si leur surface totale était continue; mais à mesure qu'elles s'approchent de leur émergence, les intervalles qui les séparent permettent à l'eau de s'écouler entre elles au lieu d'être soulevée. L'expérience n'a pas été favorable à ce système, perfectionné par M. Field, qui donna aux échelons une disposition plus convenable et une largeur croissante à mesure qu'ils se rapprochaient de l'axe. Dans les bâtiments anglais munis de ces roues, on a généralement réduit à deux les parties composant les aubes, dont l'action était en réalité moindre que celle d'aubes pleines de même surface. Leur effet se trouve alors bien peu différent de celui des aubes ordinaires.

Ces roues étaient dites *cycloïdales*, parce que les parties composant l'aube étaient disposées suivant un arc de cycloïde, de telle sorte qu'elles entraient successivement dans l'eau, à la même place, afin d'éviter le choc à l'entrée, produit par les aubes ordinaires. On ne peut disconvenir que la conception de ces aubes était extrêmement ingénieuse; malheureusement l'expérience a prouvé, comme nous l'avons dit, qu'elles étaient peu avantageuses; ce qui provient surtout de ce que les parties successives de l'aube ne trouvent plus la même résistance dans l'eau, agitée par l'entrée de la première partie, que dans le liquide en repos, et qu'il en résulte une diminution de résistance considérable.

Travail utile des roues à aubes. — M. d'Aubuisson, dans son *Traité d'hydraulique*, rapporte une expérience de M. Poncelet pour déterminer un nombre représentant le coefficient par lequel il faut multiplier l'action d'une palette verticale (qui était dans cette expérience d'une largeur inusitée), déduite de la théorie du choc de l'eau, pour en déduire l'action totale des aubes. On a trouvé 2,80; or, comme il n'y a que 3 aubes agissant en chaque instant (1 1/2 de chaque côté), on voit que la résistance utile est presque égale au travail dépensé. Nous pensons que cette valeur est un peu trop grande. M. Seguin, dans un mémoire, dit avoir constaté que la force utilisée par les palettes est à celle perdue dans le rapport de 4,13 à 1,26 pour un bateau très-bien construit, c'est-à-dire que la perte est comprise entre 1/4 et 1/3.

Position des roues à aubes. — Pour que le bateau gouverne bien, on place les roues à aubes un peu en avant du centre de gravité. Quelquefois les deux roues ont été remplacées par une roue unique placée, soit à l'arrière, soit au milieu du bateau, divisé en deux bateaux accolés. Ces dispositions qui peuvent offrir quelques avantages dans des cas particuliers, tels que la navigation des canaux, n'ont pas d'importance au point de vue général.

Vitesse des roues à aubes. — La vitesse des roues à aubes doit être plus grande que celle du bateau qu'elles font mouvoir, puisque se mouvant avec celui-ci, elles n'agissent qu'avec la différence des deux vitesses. Il y aura d'autant moins de chocs et de pertes de forces que cette vitesse sera moindre, mais aussi le travail de la machine diminuera en même temps. L'expérience a démontré que la vitesse la plus convenable, celle qui correspond à la moindre perte de forces, pour un bon travail du moteur, est celle qui est mesurée par 4 au centre de l'aube, celle du bateau étant 3; c'est-à-dire plus grande de 1/4 que celle du bateau, la vitesse du bord intérieur de l'aube ne dépasse alors que très-peu celle du bateau. Cette proportion est dépassée dans les bateaux se mouvant à grande vitesse, pour lesquels on économise peu la force motrice.

Obliquité des aubes. — Pour éviter les frottements et les communications de vitesse en arrière de l'eau projetée par les aubes à la partie postérieure de la carène, on monte les palettes un peu obliquement de manière à écarter l'eau projetée. Cette précaution ne s'emploie guère que sur les eaux tranquilles des rivières et serait d'un faible avantage à la mer.

Rapport de la dépense de forces aux accroissements de vitesse du bateau. M. Barlow a fait des expériences sur des bateaux mus avec une grande vitesse, et a cherché quelle est la diminution de dépense de force, qu'on peut évaluer approximativement par la dépense de combustible, qu'on pouvait obtenir par une diminution de vitesse.

Il a reconnu que les derniers accroissements de vitesse coûtaient fort cher, et cela, moins par l'augmentation de résistance de l'eau, que parce que l'effet utile des roues à aubes n'augmente que très-lentement avec la vitesse, tandis que la machine à vapeur fonctionne alors dans des conditions moins avantageuses par suite de l'augmentation de la vitesse du piston.

Une expérience a donné, pour une réduction de 1/24 dans la vitesse, une diminution correspondante de 1/6 sur le combustible dépensé.

Un autre expérience a donné, pour une réduction de 1/4 dans la vitesse, une réduction de moitié dans la dépense en combustible.

On doit donc en conclure que les dernières portions de la vitesse sont produites dans les bateaux à vapeur dans des conditions très-désavantageuses, et que si l'on possédait un autre moyen quelconque d'utiliser la force pour le mouvement, il y a presque certitude qu'il serait avantageux de l'employer pour les 1 ou 2 derniers dixièmes de la force des machines actuelles, qui ne produisent guère qu'un 30e à un 20e de la vitesse.

C'est cette observation qui nous a fait attacher de l'importance au perfectionnement dont nous avons parlé plus haut.

Rapport entre la force et le tonnage. La proportion entre la puissance et le tonnage des bâtiments à vapeur varie de 2 à 4 tonneaux par force de cheval; elle dépend de l'emploi du bâtiment et de la longueur de la traversée. La première proportion est celle des bateaux de rivière, la dernière celle des vapeurs transatlantiques. Une forte puissance sur les petits navires procure une grande vitesse; mais ils ne peuvent alors se charger que d'une faible quantité de charbon, au plus suffisante pour les alimenter pendant quelques jours, tandis que les grands navires doivent en emmagasiner une proportion beaucoup plus grande, qui les mette à même de parcourir de grandes distances.

La capacité d'un navire croissant comme le cube de ses dimensions, tandis que la résistance croît comme le carré de ces mêmes longueurs, puisqu'elle est sensiblement proportionnelle au maître-couple, on voit qu'il y a avantage à construire d'énormes bâtiments pour les longues traversées, comme on le fait pour les bateaux destinés à établir des communications avec l'Amérique, et que leur vitesse croîtra en même temps que leur approvisionnement de combustible. De plus, il résulte du tableau ci-dessous, donné par M. Campaignac, comme résultat d'expérience, que les grandes chaudières permettent de mieux utiliser le combustible.

Force de la chaudière..... Chevaux.	50	80	100	140	180	200	250	320	400	500
Consommation de charbon par cheval et par heure. Kilogr.	5,00	4,50	4,34	4,03	3,71	3,55	3,38	3,25	2,98	2,65
Surface de chauffe par cheval..... En mètr. carrés.	1,20	1,08	1,04	0,96	0,89	0,85	0,81	0,78	0,71	0,63

BATEAU A VAPEUR.

Hélice propulsive. Les roues à aubes qui suffisent parfaitement pour la navigation des rivières, offrent beaucoup d'inconvénients dans la navigation maritime. Le roulis du navire fait sans cesse immerger une des roues en élevant l'autre, ce qui cause des à-coups continuels, et des variations très-nuisibles à la machine et au bateau; l'action n'ayant plus lieu que sur une roue, on est obligé de diminuer l'entrée de la vapeur, et par suite le travail de la machine, dans les moments où il serait souvent le plus nécessaire de l'augmenter. Enfin les tambours des roues offrent prise au vent, et rendent le bateau mauvais voilier.

Au point de vue militaire, les roues complétement exposées aux coups des boulets rendent le bateau à vapeur de nulle valeur pour une lutte d'artillerie. On conçoit, d'après cela, combien il était intéressant de trouver un propulseur à action continue, condition indispensable pour le bon rendement de la machine motrice, qui agit toujours sous l'eau, qui permit de placer les machines au-dessous de la flottaison, sans rien changer à la forme extérieure du navire, et sans prendre la place d'un seul canon; aussi, l'emploi des propulseurs immergés a-t-il été le point de départ d'une transformation complète des marines de guerre.

C'est au capitaine du génie *Delisle*, dont l'esprit inventif a été bien connu dans l'armée, et dont nous citerons encore une ingénieuse invention à l'article PONT-LEVIS, qu'est réellement dû ce système de propulseur, qu'il proposa dès 1823 au ministre de la marine, mais que nous n'avons expérimenté que dans ces dernières années, quand les Anglais, mieux avisés que nous, l'eurent fait passer dans la pratique. M. *Sauvage*, autre Français, avait bien compris l'importance de cette idée, qu'il espéra perfectionner par un autre mode de construction de l'hélice; mais, malgré tous ses efforts, il ne put jamais réaliser d'essais sur une échelle suffisante pour prouver l'excellence de son système.

Nous empruntons la majeure partie de la description suivante à un intéressant mémoire publié par M. Labrousse, officier de la marine, qui à l'apparition du système qu'il avait été chargé d'aller étudier en Angleterre, en rapporta les résultats dans un excellent travail.

Les vis propulsives, de quelque manière qu'elles soient construites, tirent leur pouvoir propulsif de cloisons hélicoïdales fixées sur un axe parallèle à la quille du bateau par rapport à laquelle elles constituent une succession de plans inclinés; de sorte qu'en faisant tourner l'axe avec une certaine vitesse, il en résultera un effet de propulsion sur l'eau, lequel, par réaction, tendra à faire avancer le bateau. L'eau n'offrant pas une résistance absolue, il s'ensuit qu'une partie de la force dépensée ne servira qu'à déplacer les molécules

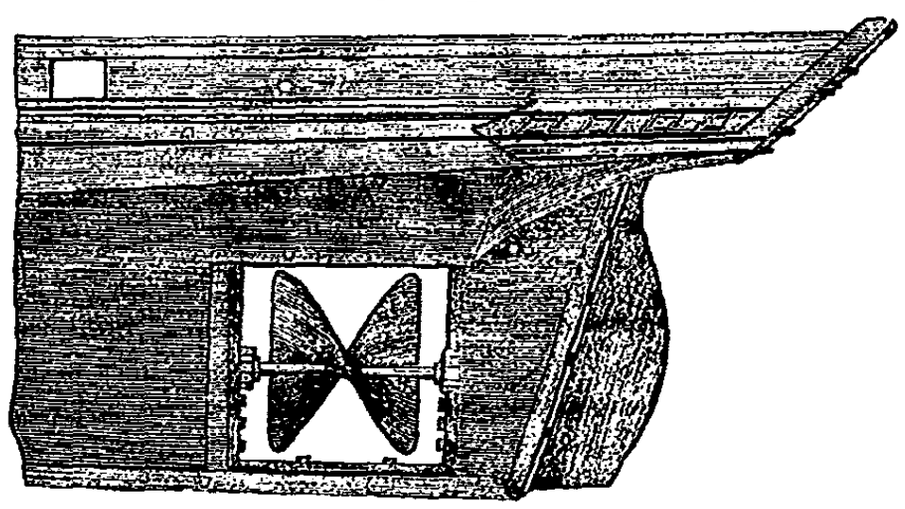


Fig. 204.

fluides et à les faire glisser les unes sur les autres, effet qui d'ailleurs se produit également plus ou moins dans tous les autres systèmes de propulsion; c'est à diminuer cette perte par différentes modifications de la vis, que se sont surtout appliqués les divers constructeurs dont nous allons parler, et l'expérience a bien vite fait reconnaître que la grande vitesse de rotation de l'hélice était la première condition d'un rendement avantageux, l'eau résistant d'autant mieux par son inertie que cette vitesse est plus grande.

Système Saurage ou *Smith*. Ce système, appliqué pour la première fois par M. Smith à un grand navire appelé l'*Archimède*, dont la fig. 204 représente l'arrière, était composé de deux segments hélicoïdes formant ensemble un tour entier dont l'angle milieu d'inclinaison était d'environ 45°. Ces hélices reposaient sur l'arbre lui-même, et par conséquent l'hélice était pleine. Les dimensions de la vis adoptée par M. Smith, après avoir essayé plusieurs modèles différents, étaient : longueur $2^m,44$, diamètre $1^m,75$.

La machine de l'*Archimède* était disposée de telle sorte que l'axe mis en mouvement fût dirigé suivant la grande longueur du bateau, c'est-à-dire que les deux machines fussent placées dans ce sens et non pas en travers du bateau. Cet axe horizontal portait une grande roue à engrenage qui faisait tourner une petite roue dentée montée sur l'axe de l'hélice prolongé. Par un embrayage, cet axe et par suite l'hélice pouvaient être séparés de la machine, et tourner librement quand on voulait faire marcher le navire à la voile seulement.

Cet engrenage, nécessité par la grande vitesse qu'il faut donner à la vis, causait un bruit très-désagréable.

Dans la plupart des machines modernes, on est parvenu, comme il a été dit, à supprimer les engrenages, en adoptant des dispositions qui reviennent à employer l'action directe de la vapeur à haute pression, à imiter la disposition des locomotives, le piston agissant directement pour faire tourner l'hélice.

La position de la machine, dans les bateaux à hélice, combinée avec la réduction de la hauteur des machines pour la navigation, comme le prouve le développement du système des machines oscillantes, des machines à fourreau, etc., permet de considérer en quelque sorte le poids de la machine comme diminué du poids nécessaire pour lester le navire. L'avantage de mettre les machines au-dessous de la flottaison, et qui n'est pas le seul au point de vue militaire des bateaux à hélice, a décidé l'amirauté anglaise, et bientôt toutes les nations qui ont des marines militaires, à les multiplier. Il est bien évident que pour les vapeurs de guerre la question n'était nullement la même que pour les bateaux destinés à des traversées qu'il importe surtout d'abréger.

En effet, l'expérience a indiqué que des bateaux à roues bien construits l'emportaient sur des bateaux à hélices, au moins en mer calme, car quand la mer est mauvaise, ces derniers paraissent l'emporter, pourvu que le vent ne soit pas debout (Voy. HÉLICE, *Complément*). Ce fut le résultat des premiers essais tentés avec l'*Archimède*. C'est ainsi que les bateaux transatlantiques sont restés, malgré des essais faits sur grande échelle, des bateaux à roues.

Disons aussi que les expériences sur la forme et la vitesse la plus convenable de l'hélice commencent, à peine, à être suffisantes aujourd'hui pour fournir aux constructeurs des règles qui les assurent contre des mécomptes graves, et les guider afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles par l'emploi du meilleur propulseur.

Le *Napoléon*, construit par notre habile constructeur M. Normand, du Havre, a donné le premier des

BATEAU A VAPEUR.

résultats remarquables; après avoir fait varier les dimensions de l'hélice, sa forme, le nombre des ailes, et surtout augmenté sa vitesse de rotation, on a obtenu avec la machine seule, en temps calme, une vitesse de 10 nœuds à l'heure, et avec l'aide des voiles jusqu'à 13 nœuds 1/2.

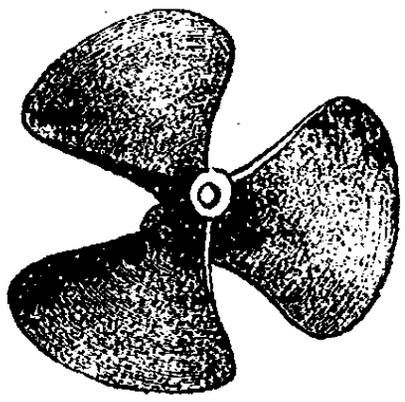


Fig. 205.

Nous donnons ici (*fig.* 205) l'hélice du *Napoléon* de M. Normand. Aujourd'hui on emploie plus fréquemment l'hélice à deux ailes (fig. 206). Elle seule peut être remontée sur le pont par un puits de petite dimension, qui n'altère pas trop la solidité des parties arrière du navire, ce qui se fait assez rarement aujourd'hui.

Nous ne parlerons pas de beaucoup de dispositions qu'a fait naître le succès de l'hélice immergée à grande vitesse, et qui se réduisent en général à des dispositions de plans inclinés qui ne paraissent pas pouvoir soutenir la comparaison avec les surfaces continues de l'hélice. Nous nous bornerons à parler de deux systèmes qui n'offrent aujourd'hui d'intérêt qu'au point de vue historique, celui de M. Rennie et celui de MM Delisle ou Ericson.

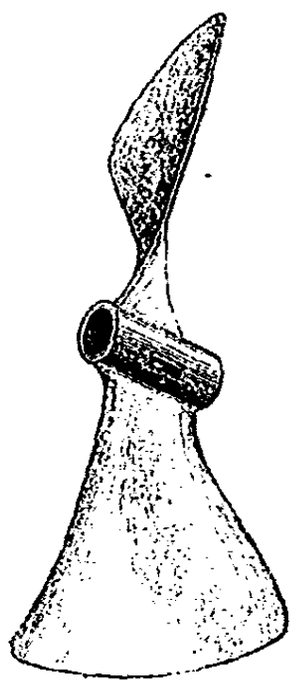
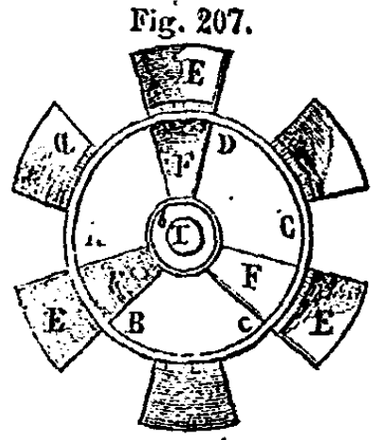


Fig. 206.

Les parties de la surface hélicoïdale qui se rapprochent de l'axe ne doivent avoir que peu d'effet et seulement à des vitesses très-grandes, pour faire avancer le navire. C'est d'après cette considération que sont établis les deux systèmes dont nous avons à parler.

Fig. 207.



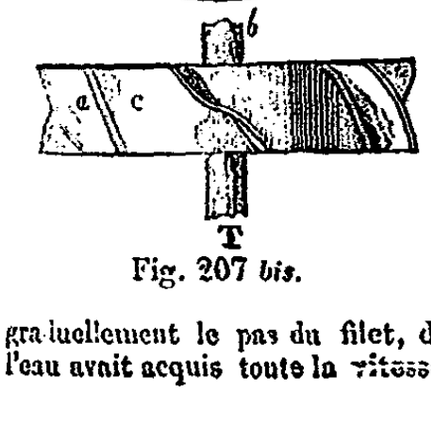


Fig. 207 *bis*.

Système Rennie. — M. Rennie, qui a eu l'honneur de comprendre le premier les avantages du système de propulsion que M. Smith expérimentait sur un petit modèle, et qui osa construire l'*Archimède*, a proposé de remplacer l'hélice par une vis spirale formée par l'enroulement d'un plan incliné autour d'un cône. Son but était d'augmenter graduellement le pas du filet, de sorte que, lorsque l'eau avait acquis toute la vitesse que la partie antérieure de la vis peut lui donner, elle continue à recevoir une nouvelle impulsion. Le but de l'inventeur a été surtout d'imiter les queues des poissons qui nagent le plus vite, par l'action de cette partie de leur corps qu'ils étendent, et à laquelle ils impriment un mouvement de rotation. La pratique n'a pas pu utiliser cette conception.

Système Delisle ou Ericson. Dans ce système, les parties voisines du centre sont entièrement supprimées, d'après les raisons énoncées ci-dessus, et les palettes héliçoïdales placées à la surface d'un tambour. Les fig. 207 et 207 *bis* représentent la disposition de ces segments, qui sont au nombre de 6, et forment dans leur ensemble un tour presque entier de la vis. L'angle du milieu est de 45°.

Ce système, qui offrait l'avantage de fonctionner avec des machines à petite vitesse de piston, les seules employées jadis, ne donna pas les résultats qu'on espérait, et pour la flotte militaire n'offrait pas l'avantage immense d'un propulseur immergé. Dans un cas cependant, il semble conserver ses avantages, pour l'application de la vapeur sur les canaux, car il occasionne peu de remous; et paraît avoir donné, dans ce cas, quelques résultats avantageux en Amérique. Il n'a pas réussi sur nos canaux à faible section.

Du mécanisme de l'hélice. — L'emploi de l'hélice offre diverses difficultés qui n'ont été levées que successivement et même incomplétement en quelques parties. Nous indiquerons ici les principaux systèmes adoptés pour satisfaire aux exigences de la pratique.

Nous ne reproduirons pas ici la disposition du palier de butée donnée à l'article BATEAU A VAPEUR du *Complément*, disposition à l'aide de laquelle on est parvenu à transmettre, sans trop d'usure, les efforts énormes du moteur, à la vitesse de rotation de 40 à 50 tours par minute. Nous ne parlerons ici que du placement des hélices.

Hélice en porte à faux. — L'installation la plus simple des hélices fixes, dit M. de Freminville (*Guide du Marin*), que nous prendrons ici pour guide, consiste à faire poser directement l'arbre de l'hélice sur le tube d'étambot.

C'est en Angleterre que ce système a été exécuté en premier lieu, et l'on s'est contenté d'ajuster aussi exactement que possible l'arbre sur le tube d'étambot lui-même, en donnant de grandes étendues aux surfaces en contact, et en augmentant les épaisseurs de matières de manière à prévenir l'usure ou les effets qui pourraient en être la conséquence; mais, à l'origine, les résulats obtenus de la sorte ont été peu satisfaisants, les surfaces en contact ont toujours subi des altérations rapides et profondes.

M. Penn eut alors l'idée de garnir le tube d'étambot dans toute la partie en contact avec l'arbre, avec des lattes de gaïac dirigées dans le sens des génératrices, et présentant leurs fibres longitudinales à l'action du frottement. Cette installation, exécutée sur l'*Himalaya*, qui fit un service très-actif pendant la guerre de Crimée, donna les meilleurs résultats, et l'on put constater que ni les surfaces de l'arbre, ni les lattes de gaïac n'avaient éprouvé d'usure sensible.

Les lattes qui garnissent le tube laissent entre elles des interstices longitudinaux qui forment autant de petits canaux constamment remplis d'eau qui baigne les surfaces métalliques et prévient les échauffements; en outre, le frottement du métal poli sur le gaïac, et surtout le gaïac imbibé d'eau est fort doux, et c'est à ces deux causes réunies que l'on doit attribuer les bons résultats obtenus.

Hélices amovibles. — Les hélices amovibles diffèrent des hélices fixes en ce qu'elles sont supportées par un cadre en bronze, maintenu et guidé par les étambots, et qu'elles doivent pouvoir être séparées à volonté de

l'arbre moteur, lorsqu'il est nécessaire de les remonter hors de l'eau.

Pour établir la jonction du propulseur avec l'arbre moteur, on emploie le plus souvent le système d'*emmanchement* dit à T.

Dans ce système (*fig.* 208) le moyeu de l'hélice est ajusté sur un petit arbre en bronze *a b*, dont les collets

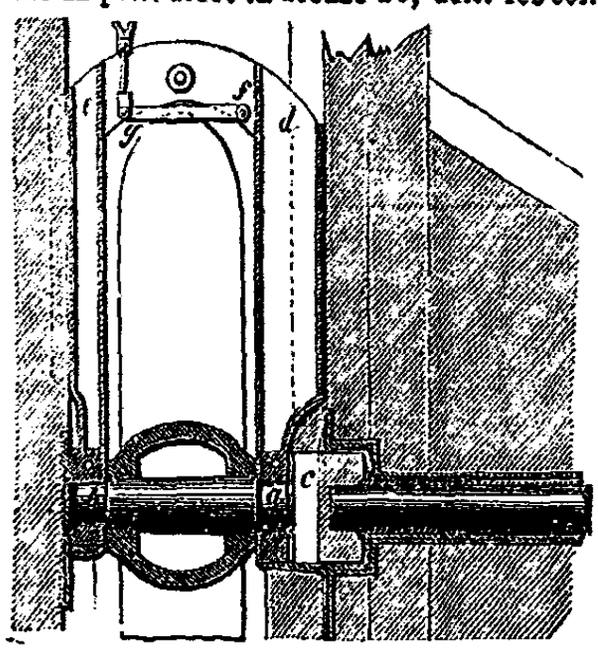


Fig. 208.

sont supportés par deux bielles de suspension réunies à la partie supérieure par une traverse de forme simple *de*. Les têtes de ces bielles sont en deux pièces, afin de permettre l'introduction de l'arbre, leurs chapes sont réunies aux montants par le moyen d'un boulon transversal : lorsque l'hélice est en place, elles s'engagent dans des supports ou bénitiers chevillés aux étambots, et qui les fixent dans des positions convenables

L'arbre *ab* présente une traverse en croisillon *c*, qui s'engage dans une mortaise pratiquée dans un manchon cylindrique claveté à demeure sur l'extrémité de l'arbre moteur; ce dernier repose sur le bout du tube qui l'emboîte exactement, le manchon repose également, par tout son pourtour, sur la surface cylindrique qui l'entoure, et appuie, par sa face plane, sur la surface verticale de l'armature d'étambot, qui reçoit aussi directement la poussée de l'hélice.

Pour relever l'hélice, on la place dans une direction verticale, en agissant sur le vireur ordinaire, on l'assujettit dans cette position au moyen d'un verrou *ef*, fixé à la traverse supérieure, et en frappant sur la traverse *de*, un appareil de palans quelconque, tout le système peut être remonté hors de l'eau; l'opération inverse pour la remettre en prise, s'exécute également avec la plus grande facilité; l'hélice étant maintenue par son verrou, la mortaise du tenon est placée verticalement, on laisse descendre le cadre à sa place, on dégage le verrou et le vireur, et la machine est prête à fonctionner.

Flotte à hélice. — La supériorité du navire de guerre à hélice sur le bateau à vapeur à roues et le navire à voiles est telle, comme batterie d'artillerie, que ces derniers ne peuvent penser à affronter son feu, comme on l'a vu à la guerre de Crimée. Mais presque aussitôt un nouveau progrès est venu rendre presque inutiles ces beaux navires pour la guerre maritime. Nous dirons quelques mots de ces nouvelles constructions.

Navires cuirassés. — Un nouvel élément d'importance capitale s'est produit dans ces dernières années dans la marine militaire. Nous voulons parler des navires cuirassés, recouverts de plaques de fer de 12 centimètres d'épaisseur pesant 2 à 3000 kilogrammes, c'est-à-dire résistant par la qualité du métal et par leur masse, appuyées sur un fort matelas de bois, que les

BATEAU A VAPEUR.

projectiles des bouches à feu ordinaires ne peuvent traverser.

Proposé vers 1834, par le général Paixhans, l'emploi du fer pour accroître les ressources de la défense, en présentant aux projectiles de l'artillerie une substance suffisamment résistante, fût considéré comme inadmissible à cause de l'énormité des dépenses auxquelles il entraînait. Mais depuis cette époque, les développements qu'a reçu l'industrie du fer, par suite de la construction des chemins de fer et surtout l'accroissement considérable de la richesse publique ont conduit à entrer dans cette voie, et lors de la guerre de Crimée, des canonnières blindées, construites par les ordres directs de l'Empereur, sont venues affronter avec succès des fortifications établies à terre. Loin de s'arrêter dans cette voie, on a construit aujourd'hui des bâtiments de grandes dimensions, recouverts de plaques de fer pesant, avec les accessoires, près d'un tonneau par mètre carré, et en totalité près d'un million de kilogrammes, et l'on n'a pas craint de leur faire effectuer de longues traversées. Nos Ingénieurs constructeurs de la marine, et à leur tête M. Dupuy de Lôme se sont trouvés à la hauteur de la difficile mission qui leur est incombée.

Si un corps flottant de grande dimensions est éminemment propre à transporter des poids considérables, et si par suite l'idée d'accroître dans une très-grande proportion, par une cuirasse de fer, la puissance des batteries que représentent les grands navires de la marine militaire, est parfaitement juste; il n'est pas douteux toutefois qu'on ne les rende ainsi bien lourds, que les masses dont on les charge n'accroissent les difficultés de la navigation lointaine. Sans doute lorsqu'ils sortent du port où ils ont été construits, lorsque la machine fonctionne dans la perfection, que la chaudière fournit des pressions élevées, on obtient de belles vitesses, grâce à la grande puissance des machines; mais en sera-t-il longtemps de même? quelques mois de navigation fatigueront bientôt ces coûteuses constructions, et en tout cas le poids énorme de la carapace ne permet pas d'embarquer des approvisionnements de charbon qui étendent leur sphère d'action.

Ainsi donc, en tant que bâtiments naviguants et non en tant que défense des côtes (cas pour lequels ils offrent des ressources très-grandes), nous ne croyons pas qu'on doive aller au delà de ce qui a été fait, sous peine de rendre ces navires impropres aux longues navigations. C'est ainsi que des bateaux à fleur d'eau, avec canons cachés dans des tourelles tournantes sombrent nécessairement par le mauvais temps, comme le fameux *Monitor* du capitaine Ericsson. La résistance des cuirasses conduit à la recherche d'une artillerie capable de les traverser, problème intéressant mais qui jusqu'à présent paraît laisser une certaine supériorité à la défense sur l'attaque, vu qu'on n'a pu y parvenir qu'à l'aide de pièces d'un poids énorme, d'un maniement presque impossible.

Systèmes divers. En terminant cet article, nous citerons pour mémoire :

1° Le *système Bernouilly*, essayé plusieurs fois, et qui consiste à élever sur le bateau des masses d'eau pour les laisser sortir à l'arrière et faire avancer le bateau par la réaction qui en résulte. On n'a toujours eu pour une dépense de travail considérable qu'un effet utile extrêmement minime, comme il était facile de le prévoir d'avance.

2° Le *système Pelletan*, dans lequel on refoule mécaniquement, par l'arrière, l'eau entrée par l'avant dans un tuyau traversant le bateau. Les expériences ont condamné ce système d'une grande simplicité apparente, mais dans lequel les causes de perte de travail et de résistances nuisibles sont nombreuses.

CH. LABOULAYE.

BATEAU DE SAUVETAGE.

BATEAU DE SAUVETAGE (*angl.* Life-boat). La difficulté de porter secours aux naufragés, pendant une tempête, réside surtout dans la difficulté de construire une embarcation aussi stable que possible, gouvernant bien et surtout insubmersible, propriété qui constitue le caractère propre de ce bateau; c'est dans l'emploi de caisses à air qu'on a trouvé la solution de cette dernière partie du problème. En 1790, un constructeur anglais, Greathead produisit un bateau insubmersible, doué d'excellentes qualités nautiques, qui servit de modèle pour la construction d'un grand nombre d'embarcations. Mais ces bateaux ne se vidaient pas et ne se redressaient pas spontanément. On ne s'est occupé de ces deux propriétés capitales pour les bateaux de sauvetage que beaucoup plus tard, alors qu'un concours fut ouvert, à la suite de la formation en Angleterre des premières sociétés de sauvetage pour la confection d'un type de bateau. C'est par la réunion de tous les efforts qu'a été ainsi créé le *life-boat* de la grande société anglaise, qui a été adopté par les sociétés qui se sont formées sur le continent à l'imitation de cette utile institution.

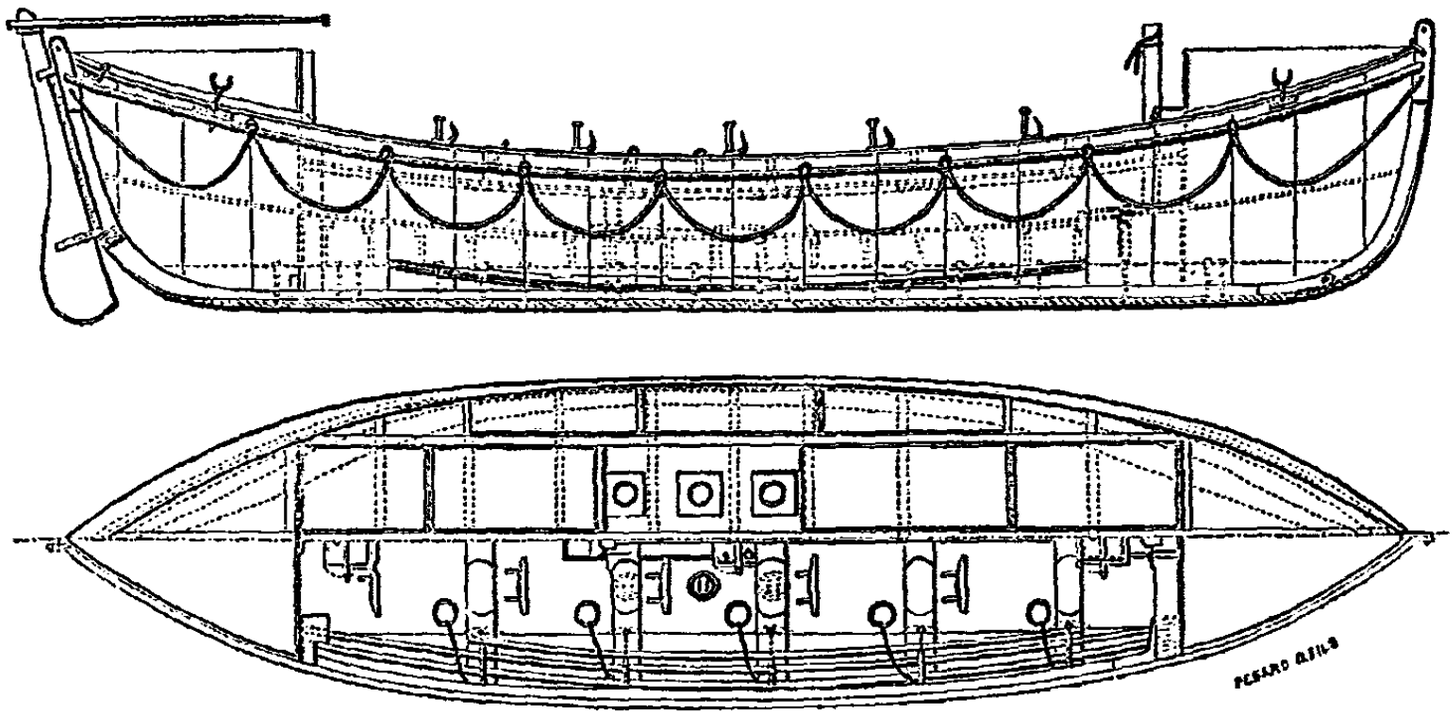


Fig. 1 et 2.

Ce bateau est pointu aux deux extrémités, un peu plus fin de l'arrière que de l'avant, et sans différence du tirant d'eau. La figure 1 le représente en plan, la figure 2 est l'élévation et la figure 3 la coupe transversale. L'arrière et l'avant, fortement relevés, sont protégés par des tambours en dos d'âne. Les dimensions principales sont : 9m,78 de longueur de tête en tête au plat-bord ; 2m,24 de largeur hors bordée au milieu ; 0m,91 du plat-bord au-dessus de la quille; au milieu, 1m, 65 à l'étrave et 1m,60 à l'étambot. Le poids total de la coque avec les caisses à air est de 2,140 kilogrammes. La quille est en chêne d'un seul morceau; une fausse quille en fer forgé pesant 300 kilogrammes double le dessous de la première sur toute la longueur. La coque est formée par deux couches en bois d'acajou superposées et croisées à 45°; ces couches ont ensemble une épaisseur de 16 centimètres et sont séparées par une toile imprégnée de glu marine. Le tirant d'eau avec les objets d'armement et douze hommes d'équipage est de 0m,45 ; avec une surcharge supplémentaire de 975 kil. représentant quinze hommes, de 0m,52. Le pont court de bout en bout; son élévation aux extrémités tend à ramener l'eau embarquée vers le centre, où elle trouve issue par six tubes en cuivre. Ces tubes ont leur orifice supérieur au niveau du pont, ils sont formés par des soupapes automotrices. Une pompe à main sert à vider l'eau qui peut pénétrer dans la cale. Les caisses à air sont au nombre de vingt-huit: deux formées à l'avant et à l'arrière par la coque, les tambours et les cloisons verticales; quatorze dans la cale et douze sous le pont. Les tambours sont recouverts d'une toile imprégnée de glu marine et, par-dessous, de plaques de liége que l'on imbibe d'huile de lin bouillie. Les autres caisses en bois et couvertes en toile s'adaptent aux formes de l'embarcation suivant la place qu'elles occupent.

La propriété du redressement spontané est obtenue au moyen de la fausse quille lourde en fer et des coffres à air de l'avant et de l'arrière. Lorsque le canot est chaviré, il porte sur les deux coffres, dont la forme en dos d'âne est une cause d'instabilité. Dans cette situation, le centre de gravité est très-élevé au-dessus du plan de flottaison ; le canot se trouve dès lors en équilibre instable, le plus léger mouvement du flot, même en

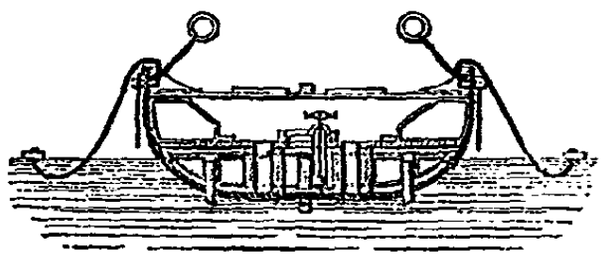


Fig. 3.

la mer la plus calme, détruit l'équilibre; l'embarcation se retourne vivement alors et reprend son assiette ordinaire. Dans ces circonstances, qu'on ne peut absolument éviter, malgré la grande stabilité d'une construction étudiée par les constructeurs et les marins les plus expérimentés, en naviguant sur des brisants, en accostant un navire par des mers furieuses, les sauveteurs, soutenus par des ceintures de sauvetage, s'accrochant aux amarres qu'entraîne le bateau, remontent à bord et reprennent leur œuvre de dévouement.

La bonne construction de ces bateaux, leurs qualités nautiques qui les font résister admirablement aux mers les plus furieuses, en inspirant confiance aux meilleurs marins des stations où les sociétés de secours aux naufragés les tiennent installés sur leurs chariots, tout prêts à être traînés à la mer, permettent de sauver, tous les ans, plusieurs milliers de navigateurs en danger.

BATTANT-BROCHEUR. Le battant-brocheur est une des dernières et des plus remarquables inventions au moyen desquelles la fabrique de Lyon conserve, malgré l'activité de la concurrence étrangère, une supériorité incontestée. C'est à M. Meynier, habile fabricant de Lyon, un de ces praticiens expérimentés qui font la grandeur de notre industrie des soies, qu'est due l'invention du battant-brocheur que nous allons décrire, de l'appareil qui a fait une véritable révolution dans le tissage de certaines étoffes brochées. Si plusieurs inventeurs avaient essayé avant lui de résoudre le même problème, c'est à lui que revient l'honneur d'y être parvenu par un procédé simple et pratique.

Dans la fabrication des étoffes brochées, châles, etc., on sait que le dessin s'obtient en faisant passer le fil

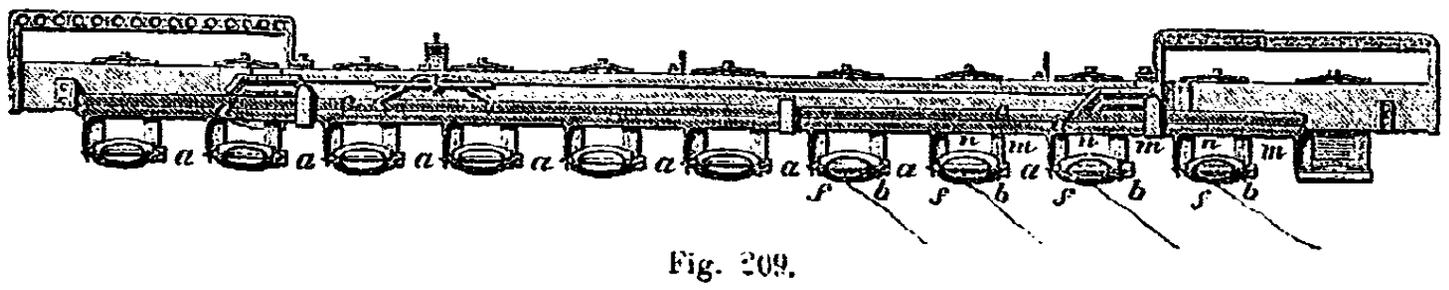


Fig. 209.

destiné à le former sur certains fils de la chaîne, et en dessous de tous les autres (voyez TISSAGE.). Il en résulte que pour une petite partie du fil utilisée, tout ce qui passe en dessous de la trame est perdu, et que le plus souvent, le poids de l'étoffe devenant trop considérable, ou les longs fils de l'envers trop gênants, il faut couper toutes les parties du fil du broché qui formait l'envers, ce qui présente le grand inconvénient que les fils du dessin ne sont plus retenus que par le serrage des fils entre lesquels passent les extrémités perpendiculaires à l'étoffe, adhérence qui est souvent insuffisante, surtout pour la soie qui ne se feutre pas; de sorte que, quelques fils mal serrés s'échappant par l'usage, l'étoffe est bientôt hors de service.

C'est pour remédier à ces inconvénients qu'a été inventé le battant-brocheur qui remplit admirablement le but qu'on s'était proposé. C'est avec son aide que se brochent aujourd'hui presque toutes les étoffes de soie portant des bouquets ou dessins séparés. Il est fort employé pour faciliter le tissage des cachemires français, et surtout dans les essais de fabrication, par moyens mécaniques, du cachemire façon de l'Inde (voyez CACHEMIRE). C'est l'avenir que lui avait prédit, dans le rapport de l'exposition de 1839, l'habile M. Deneirousse, qui, après avoir tenté, à plusieurs reprises, la solution du problème, a reconnu dans le battant-brocheur des dispositions qui permettent de lever la plupart des difficultés qui l'avaient arrêté. C'est là une conquête importante dont se rapproche, de plus en plus chaque jour, l'industrie française.

Passons à la description du battant-brocheur, et faisons remarquer, ce que du reste la multiplicité des navettes va rendre bien sensible, que les fils correspondant à un même fil de la trame peuvent être de couleur différente, ce qui ne peut avoir lieu aux brochés produits au lancé, et que tous les bouquets peuvent être de couleurs différentes. C'est donc non-seulement le broché au lancé que remplace le battant-brocheur, mais encore celui qu'on obtenait par une espèce de broderie en passant à la main, sur les fils levés par la Jacquart, de petits espoulins portant des soies de couleur différente. Dans ce cas le battant fait non-seulement à meilleur marché, mais beaucoup mieux que la main, parce que la tension du fil passé autour de la trame étant mesurée par un ressort, et par suite parfaitement constante, la jonction du broché et de l'étoffe n'offre jamais les éraillures qui résultent du travail à la main selon qu'on a plus ou moins serré le fil.

Soient *a*, *a*, les intervalles correspondant aux places de l'étoffe dans lesquels se trouvent les brochés, des bouquets par exemple; *b*, *b*, des navettes portées sur des porte-navettes *f*, *f*, soutenus par une tige formant fourche et dont le pied glisse sur une barre rectangulaire qu'il entoure. Ces navettes ou espoulins sont chargés de soies de diverses couleurs. Ces petits espoulins renferment intérieurement des ressorts à boudins qui renvident le fil quand le système est revenu à sa première position et que la traction de la bobine qui a fait dévider le fil a cessé ; *c*, *d*,. sont des tringles d'acier se mouvant sur le corps du bâti et portant des dents saillantes pour agir sur des portes-navettes. Les dents *m*, *m*..., sont terminées par de petites palettes, les dents *n*, *n*..., de la barre *d* sont pointues et légèrement recourbées. Elles sont destinées à entrer à l'intérieur de la navette de manière à pouvoir la pousser par l'oreille qu'elle porte, et qui est destinée à soutenir l'espoulin.

Ceci décrit, il est facile de concevoir le jeu du battant-brocheur.

La Jacquart ayant fait lever tous les fils de la chaîne correspondant à un fil de la trame, devant figurer une ligne du broché, l'ouvrier pousse au moyen de la manette toutes les navettes, qui se placent au-dessous de ces fils par l'effet de la tringle *c*. Les navettes *b*, *b*..., s'avancent sur leurs supports ; elles doivent arriver sur les supports voisins, sans cesser jamais d'être guidées, les intervalles étant un peu moindres que les navettes. Or, en continuant de pousser la manette, la barre *c* s'élève par l'effet d'un plan incliné, pour ne pas rencontrer les fils de la chaîne et abandonne les navettes, tandis qu'un crochet adapté à la manette rencontrant la barre *d*, fait abaisser celle-ci, et les dents *n*, *n*..., continuant le mouvement font passer entièrement les navettes sur le support voisin. On abaisse alors les fils de la chaîne et les navettes sont ramenées par un mouvement inverse à leur première position.

Cet appareil fonctionne avec la plus parfaite régularité; les navettes n'étant jamais libres ne peuvent jamais tomber, inconvénient qu'offraient quelques inventions antérieures. Les fils du tissu n'éprouvent aucune pression autre que dans le tissage ordinaire. Le battant étant double et le mouvement pouvant être direct ou rétrograde, on peut faire passer une quelconque des quatre navettes voisines des fils levés, à son choix, ce qui permet de varier les couleurs. Le changement des navettes, et par suite des couleurs se fait avec la plus grande facilité, les supports pouvant tourner et laisser échapper les navettes quand on fait effort sur les ressorts qui les maintiennent dans une position parallèle au corps du châssis. P...

BATTEUR D'OR, D'ARGENT ET DE CUIVRE. Les procédés que l'on suit pour réduire, par le battage, ces trois métaux en feuilles d'une ténuité extrême étant les mêmes, nous nous contenterons ici de décrire en détail l'art du *batteur d'or*.

La ductilité de l'or étant notablement altérée par l'alliage d'une très-petite quantité de métaux étrangers, il importe d'employer de l'or aussi fin que possible, que l'on fond avec un peu de borax et que l'on coule ensuite, en général, en lingots de 20 millim. de côté. Ces lingots sont réduits sous le marteau à une épaisseur de 4 millim., puis étirés au laminoir en rubans de 1/30 de millimètre

BATTEUR D'OR.

d'épaisseur, en ayant soin d'adoucir le métal, pendant toute cette série d'opérations, par un nombre suffisant de recuits intermédiaires.

On coupe ces rubans en *quartiers* de 25 à 30^{mm} de côté, que l'on superpose au nombre de 150, en les séparant chacun par carré de vélin de 0^{m},10 à 0^{m},12 de côté, en ayant soin de placer en dessus et en dessous du paquet 20 feuilles de vélin sans interposition de feuilles d'or. Cet assemblage se nomme le *premier caucher*; et les feuilles de vélin vides, qui servent à amortir l'action des coups de marteau sur les premiers quartiers, portent le nom d'*emplures*. Le caucher se couvre de deux fourreaux en fort parchemin, ouverts par les deux bouts et que l'on place l'un sur l'autre à angle droit, de telle sorte que, quoique isolément chacun des fourreaux soit ouvert par les deux bouts, réunis, ils couvrent néanmoins partout le caucher. Le battage s'exécute sur un bloc de marbre poli de 0^{m},25 de côté, enveloppé sur ses quatre faces verticales, de planches débordant de 0^{m},10 trois de ces mêmes faces, tandis que la quatrième reste un peu au-dessous du niveau supérieur du bloc, et porte une peau solidement clouée que l'ouvrier s'attache par l'autre bout en guise de tablier, et dans laquelle il reçoit les *bavures* du travail. On bat le premier caucher en le retournant de temps à autre, et allant du centre à la circonférence, avec un marteau à manche très court, du poids de 6^{k},80 à 7^{k},25 et à panne circulaire légèrement convexe de 0^{m},12 à 0^{m},13 de diamètre. Il est nécessaire de *défourrer* de temps à autre le caucher pour examiner l'état des quartiers, qui ne s'étendent jamais tous également; les uns n'occupent qu'une partie de l'étendue des feuilles de vélin; les autres les remplissent en entier; d'autres enfin débordent. On enlève les derniers, et si l'on veut les avant-derniers, et on continue le battage jusqu'à ce que tous les quartiers restants aient atteint les dimensions des feuilles de vélin qui les séparent; cela fait, la première partie de l'opération est terminée.

Les quartiers du premier caucher sont partagés, à l'aide d'un couteau émoussé par le bout, en quatre parties égales, que l'on réunit pour en former un second caucher, tout à fait analogue au premier, et qui n'en diffère qu'en ce que l'on remplace, par de la BAUDRUCHE, les feuilles de vélin que l'on intercalait précédemment entre les quartiers. Le battage s'exécute à l'aide d'un marteau plus léger, qui ne pèse que 4^{k},50, et est terminé lorsque les nouveaux quartiers commencent à désaffleurer les outils.

On pose alors un à un chacun des quartiers sur un coussin en cuir, et on les divise en quatre parties égales, à l'aide de deux couteaux en croix très affilés fixés à une planchette; enfin, ces nouveaux quartiers sont encore réunis pour former un troisième et dernier caucher, que l'on bat comme précédemment; de sorte qu'en définitive, l'or s'est étendu sur une surface 256 fois plus grande, et chaque feuille n'a plus que $\frac{1}{768}$ de millimètre d'épaisseur, ce qui est encore bien au-dessus de l'épaisseur minimum que l'on peut obtenir par le battage; mais on préfère s'arrêter à ce point parce que, d'une part le travail subséquent exigerait un soin extrême de la part de l'ouvrier, et donnerait lieu à un déchet considérable, tandis que, d'un autre côté, des feuilles plus minces fourniraient une dorure moins solide et beaucoup plus difficile à appliquer, inconvénients qui seraient loin d'être compensés par la faible économie que l'on réaliserait sur la matière première.

Il ne reste plus qu'à couper les feuilles d'or en quatre et à les placer dans les *quartérons*, petits livrets dont le papier, de couleur rouge-orangé, donne un plus beau reflet à la feuille d'or, et qu'on a eu soin de frotter préalablement avec un peu de terre bolaire de même couleur afin de prévenir toute adhérence de la part du métal. Chaque quarteron contient ordinairement 25 feuilles d'or; quand ils sont tous remplis on les assemble par douzaines, que l'on presse fortement entre deux petites planches de bois dur de même dimension, et à l'aide d'un morceau de linge nommé *frottoir*, on enlève tout ce qui excède les bords des livrets.

En France, on amène seulement l'or au laminoir à l'épaisseur de 1^{mm} environ, puis on le découpe en quartiers de 27^{mm} de large sur 40^{mm} de longueur; on assemble ces quartiers par paquets de 24, que l'on bat sur une enclume en fer jusqu'à ce qu'ils soient réduits à l'épaisseur d'une feuille de papier, et qu'ils aient atteint les dimensions d'un carré de 60^{mm} environ de côté. On prend ensuite 56 des feuilles ainsi battues pour former avec des feuilles doubles de vélin, un *premier caucher*, que l'on bat comme il a été dit ci-dessus. Lorsque les feuilles d'or désaffleurent les outils, on les retire et on les coupe en quatre, ce qui forme de nouveaux quartiers que l'on assemble au nombre de 112 pour former un *second caucher;* ce caucher battu donne de nouvelles feuilles, qui, coupées en quatre, servent à faire un nouvel assemblage dans lequel les feuilles de vélin intercalées sont remplacées par des feuilles de baudruche, et qui porte le nom de *chaudret*. Les feuilles du chaudret, après le battage, sont encore coupées en quatre et assemblées au nombre de 800 pour former une *moule*. Les feuilles de la moule sont enfin placées dans les *quartérons*, comme il est dit plus haut. En résumé, l'or s'est étendu sur une surface 832 fois plus grande, de sorte qu'il est réduit définitivement à une épaisseur de $\frac{1}{800}$ de millimètre environ. Les feuilles défectueuses, ou *bactréoles* que l'on obtient, servent, avec les rognures, à faire l'or *en coquilles*.

Les feuilles de vélin ou de baudruche sont recouvertes d'une couche de sulfate de chaux (gypse) calciné, réduit en poudre fine, et que l'on y étend au moyen d'une patte de lièvre; le sulfate de chaux est appelé par les ouvriers *brun*, et l'opération se dit : *passer au brun*.

La baudruche préparée par les boyaudiers, a besoin, pour servir au travail du batteur d'or, d'être dégraissée; ce que les ouvriers appellent *suer*. Ordinairement on place, à cet effet, les feuilles de baudruche entre des feuilles de papier non collé, et on bat le tout à coups de marteau. Il serait certainement préférable de saupoudrer chaque feuille de baudruche, de craie réduite en poudre impalpable, et d'en former un paquet que l'on comprimerait à une chaleur modérée; la craie absorberait toute la graisse, beaucoup mieux que ne le fait le papier buvard dans le procédé actuel. Quand la membrane a été bien dégraissée, on y passe une couche d'une liqueur composée de : colle de poisson, 90 p.; poivre blanc, 30; clous de girofle, 45; cannelle, 45; muscade, 45; fleur de muscade, 12. On concasse le tout, et l'on fait macérer dans cinq litres de vin blanc ou dans un litre d'eau-de-vie pendant cinq à six jours; on fait bouillir ensuite pendant six heures, et, après avoir passé la liqueur au travers d'un linge, on en imprègne une éponge avec laquelle on donne à chaud deux couches aux feuilles de baudruche, en laissant sécher entre chacune, et on les presse ensuite.

Les feuilles de parchemin et de baudruche deviennent par l'usage très dures et très cassantes. On leur rend leur flexibilité première en les plaçant une à une entre des feuilles de papier blanc que l'on mouille avec du vinaigre ou du vin blanc, et que l'on réunit en paquets que l'on recouvre de planches surchargées de poids. Au bout de 3 à 4 heures, on retire ces paquets, on les place entre des *emplures* de parchemin de 0^{m},30 de côté et on les bat pendant une journée entière.

Comme les feuilles de baudruche dégraissée sont très hygrométriques et attirent l'humidité de l'air, il est nécessaire de les dessécher chaque fois que l'on veut s'en servir, ce qui se fait en en réunissant un certain nom-

bre dans une presse dont la plaque inférieure a été chauffée. U...

Battage mecanique. M. Favrel, batteur d'or, a inventé une machine à battre et à réduire tous les métaux en feuilles. Cette machine frappe régulièrement, et sa disposition est telle que le renvoi du marteau est utilisé pour le relever sans secousse, et donner ainsi le même mouvement que le bras. Le marteau frappe ainsi sur la moule (cahier de baudruches, dans laquelle est renfermé l'or). Cette moule est mise en mouvement sur un bloc de marbre au moyen d'un châssis en cuivre, dans lequel elle est enchâssée, et vient présenter successivement sous le marteau les diverses parties où il est nécessaire de battre suivant la grandeur du carré d'or placé dans la moule; au moyen de leviers, les coups sont distribués suivant la surface du métal; ils sont éloignés ou rapprochés les uns des autres, soit dans un sens, soit dans un autre, à volonté et avec plus de régularité que ne le ferait la main. Cette moule reçoit en outre, par un mouvement spécial, et ainsi que le ferait la main de l'ouvrier, une impulsion de rotation au moyen d'une chaîne enroulée sur une roue dont le ressort est continuellement tendu. Tous ces divers mouvements de la moule sont calculés d'une telle façon, qu'ils s'opèrent pendant l'ascension du marteau.

Le succès pratique n'a pas récompensé les efforts de M. Favrel qui viennent d'être décrits. L'emploi de petits marteaux à vapeur que l'ouvrier meut à volonté est venu offrir une solution préférable, en débarrassant l'ouvrier de toute fatigue matérielle. Le marteau-pilon a été amené ainsi à constituer un outil d'un maniement extrêmement commode, tout en utilisant l'expérience de l'ouvrier pour tendre l'or sans déchirure, qui répond à une multitude de conditions de détails d'une réalisation mécanique presque impossible.

L'atelier de M. Favrel est resté un modèle pour l'ensemble et l'organisation de son outillage. Citons entre autres systèmes préparatoires : les presses qui existent dans ses ateliers, et qui sont chauffées par la vapeur, et qui sont un véritable progrès pour la préparation des baudruches dans lesquels on bat l'or.

BAUDRUCHE (Voyez BOYAUDERIE).

BAUMES (*angl.* balsams, *all.* balsame). Combinaisons naturelles de résines et d'huiles volatiles et souvent d'acide benzoïque. Les baumes sont solides, visqueux ou plus ou moins fluides suivant que l'un ou l'autre des éléments ci-dessus y domine. Leur couleur ordinairement assez foncée, varie du jaune-brunâtre au brun-noirâtre. Leur odeur est due en partie à l'huile volatile qu'ils renferment et quelquefois à de l'acide benzoïque; exposés pendant longtemps à l'air libre, ils durcissent et prennent une apparence résinoïde en perdant leur odeur, par suite de la dispersion dans l'atmosphère de leur huile volatile. Ils se mêlent en général en toutes proportions avec l'alcool, l'éther, les huiles grasses et volatiles, et sont insolubles dans l'eau; par la simple distillation on ne peut séparer qu'une faible partie de l'huile volatile qu'ils renferment; pour en obtenir la totalité il faut les distiller avec de l'eau; opération que l'on pratique en grand sur la TÉRÉBENTHINE pour en extraire l'huile essentielle de térébenthine. Tous les baumes s'écoulent soit naturellement, soit par des incisions pratiquées à cet effet, de certains arbres. Nous les diviserons en deux classes suivant qu'ils renferment ou non de l'acide benzoïque.

BAUMES RENFERMANT DE L'ACIDE BENZOÏQUE.

a. BENJOIN (voyez ce mot).

b. *Baume du Pérou*. S'obtient, soit au moyen d'incisions pratiquées sur le *myroxylon peruiferum* qui croît au Pérou et au Mexique, soit en évaporant la décoction des feuilles et de l'écorce de cet arbre. Celui obtenu par le premier procédé est très rare et est livré au commerce dans des coques de noix de coco, ce qui lui a fait donner le nom de *baume en coque;* il est brunâtre, légèrement translucide, présente la consistance de la térébenthine épaissie, et a une odeur très agréable qui rappelle celle de la vanille; il renferme sur 100 parties, 12 d'acide benzoïque, 8 de résine et seulement des traces d'huile volatile. Le baume du Pérou obtenu par le second procédé est transparent, rouge-brunâtre foncé, a une consistance sirupeuse, un goût très amer et une odeur beaucoup plus forte que le précédent; d'après *Stolze* il renferme sur 100 parties : 69 d'huile volatile, 20,7 d'une résine peu soluble dans l'alcool, 6,4 d'acide benzoïque, 0,6 de matière extractive et 0,9 d'eau.

Par suite de son prix élevé le baume du Pérou est souvent falsifié avec du baume de copahu, de l'huile de térébenthine et de l'huile d'olive, et cette falsification est assez difficile à reconnaître excepté pour l'huile de térébenthine qui, lorsqu'elle est en quantité un peu considérable, se décèle par son odeur. Ordinairement on l'essaie en recherchant quelle est la quantité de carbonate de soude que l'acide benzoïque qu'il renferme peut saturer; on admet dans cet essai que l'acide renfermé dans 100 parties en poids de baume du Pérou pur, peut saturer 75 parties de carbonate de soude cristallisé. Le baume du Pérou, par suite de son odeur agréable et qui rappelle la vanille, la remplace souvent dans la fabrication du chocolat et de certaines liqueurs; il entre dans un grand nombre de parfums, dans la confection des cires à cacheter superfines, etc... Dissous dans quatre fois son poids d'alcool et étendu sur du taffetas déjà recouvert d'une couche de colle de poisson, il constitue le *taffetas d'Angleterre*.

c. *Storax*. On en distingue deux sortes : l'AMBRE LIQUIDE (voyez ce mot), qui découle du *liquid amber styraciflua*, et le storax ordinaire qui provient du *styrax officinalis*, arbre très voisin de celui qui donne le benjoin. Il est brun-noirâtre, opaque, mou et poisseux, lorsqu'il n'est pas desséché. Dans cet état il est susceptible de se casser, quoique difficilement; sa cassure est matte et grenue; on le falsifie très souvent avec de la sciure de bois; cette fraude se reconnaît en le traitant par l'alcool : la sciure reste sans se dissoudre. On le falsifie encore avec de la colophane qui le rend plus sec : cette fraude n'est pas facile à reconnaître. On le reçoit quelquefois enveloppé dans des feuilles de roseaux; il porte alors le nom de *storax calamite*.

d. *Styrax liquide*. Souvent confondu, quoiqu'à tort, avec l'ambre liquide; il provient de l'*altingia excelsa* qui croît aux Indes Orientales.

e. *Baume de tolu*. Découle d'entailles artificielles pratiquées sur le *myroxylon toluiferum*, qui croît dans l'Amérique du sud. Frais il est assez fluide et jaune clair; au contact de l'air il s'épaissit, se fonce en couleur, et finit par se transformer en une masse cassante qui a entièrement perdu son odeur primitive qui était due à de l'acide benzoïque. Il remplace le baume du Pérou dans beaucoup de cas et est d'un prix moins élevé. On le dit pectoral, et il est la base d'un sirop et de pastilles très usités qui portent son nom.

f. *Vernis chinois*. Les Chinois recouvrent un grand nombre d'objets d'art avec un vernis d'une beauté remarquable, qui surpasse, par son éclat et sa dureté, tous nos vernis artificiels. Ce vernis est un baume naturel qui s'écoule par incision de l'*augia sinensis* (en chinois *tsi—chu*) qui croît en Chine, en Cochinchine et dans le royaume de Siam. D'après Macaire-Prinsep, ce baume est jaune-brunâtre, possède une odeur aromatique particulière, une saveur forte et quelque peu astringente, a la consistance de la térébenthine épaisse, et présente quelque analogie avec les baumes de la Mecque et de copahu. Il constitue un vernis magnifique, qui s'étend très également avec une grande facilité et qui

sèche très-vite. Il se mélange aisément avec les couleurs; se dissout à peine à froid dans l'alcool, mais très-rapidement à la température de l'ébullition. L'éther et l'huile essentielle de térébenthine le dissolvent même à froid. Distillé avec de l'eau, on en sépare une huile volatile, l'eau dissout de l'acide benzoïque, et on obtient pour résidu une matière résineuse très-solide.

BAUMES SANS ACIDE BENZOÏQUE.

a. TÉRÉBENTHINE (voyez ce mot).

b. Baume de copahu. S'écoule par incision du copaifera officinalis, qui croît dans les Antilles et au Brésil. Au moment où on l'obtient, il est très-fluide, incolore, mais il s'épaissit un peu avec le temps et prend une couleur jaunâtre. Son odeur sans être agréable est aromatique, sa saveur chaude et persistante. Sa pesanteur spécifique est de 0,95. Il est très-soluble dans l'alcool absolu. L'huile essentielle qu'il renferme et dont la proportion varie suivant l'âge de l'arbre qui la produit, est composée d'hydrogène et de carbone seulement, et d'après Durand, dissout le caoutchouc. Comme il est très-employé en médecine, il est souvent falsifié, surtout par un mélange de térébenthine ou d'huiles grasses : la térébenthine se reconnaît à son odeur; les huiles grasses, en agitant le baume de copahu avec une certaine quantité d'ammoniaque liquide; lorsque le baume est pur, on obtient une dissolution limpide, tandis que lorsqu'il est mélangé d'une certaine quantité d'huile grasse, on obtient une émulsion laiteuse.

c. Baume de la Mecque (opobalsam, baume de Judée), provient de l'*amyris opobalsamum,* qui croît en Arabie et en Égypte. Il est ordinairement renfermé dans de petits flacons en plomb doré à l'extérieur; il est blanc-jaunâtre, fluide, plus léger que l'eau, soluble en totalité dans l'éther et les huiles essentielles, et partiellement dans l'alcool; son odeur assez agréable et pénétrante se rapproche de celle de la térébenthine mélangée d'essence de citron; sa saveur est amère, âcre et astringente. Il est très-difficile de s'en procurer; les Orientaux le regardent comme fortifiant et en ont singulièrement exagéré les vertus. Le Grand-Seigneur en comprend presque toujours dans les cadeaux qu'il adresse aux différents souverains.

d. Vernis japonais. Provient du *rhus vernix,* arbre particulier au Japon, et fournit une laque très-belle dite *laque du Japon,* mais qui est encore bien inférieure à celle de la Chine.

BÉLIER HYDRAULIQUE. Machine hydraulique inventée en 1797 par Mongolfier, auquel nous devons la découverte des aérostats. Cette machine n'est pas moins remarquable par la nouveauté du principe sur lequel elle repose, que par l'effet qu'elle produit, et qui est supérieur à celui que donnent, sans exception, toutes les autres machines hydrauliques; malheureusement elle doit avoir de faibles dimensions, car à mesure que celles-ci augmentent, les violentes vibrations qui résultent du jeu même de l'appareil font perdre à la puissance motrice une partie de son effet, et amènent une destruction de plus en plus rapide des assemblages des tuyaux et des diverses pièces, ainsi que de leurs supports. C'est par ce motif, à cause des réparations fréquentes qu'elle exige, que cette machine n'est pas devenue d'un usage plus général.

Dans le bélier hydraulique, c'est le choc de l'eau contre elle-même qui l'élève (fig. 210). Un tuyau amène l'eau motrice, avec une vitesse dépendante de la hauteur de chute; c'est le *corps du bélier.* L'eau s'écoulerait par l'extrémité de ce tuyau, s'il n'y avait pas d'obstacle; mais vers cette extrémité du tuyau, on ajoute diverses pièces qui forment la *tête du bélier;* B est une soupape dont la densité est double environ de celle de l'eau; l'eau peut la soulever par sa vitesse et l'appliquer contre l'ouverture qui se trouve alors exactement fermée; on l'appelle *soupape d'arrêt.* Quand la soupape est fermée, l'eau passe par le conduit et s'élève dans une cloche C, d'où elle passe, par le clapet E, dit *soupape d'ascension,* dans un grand vase en fonte F pour gagner le tuyau d'ascension. Là, elle s'arrêterait lorsqu'elle serait parvenue à la hauteur du niveau supérieur de la chute, s'il n'y avait pas une force motrice capable de la pousser plus haut. Mais l'eau qui arrive de la source, après avoir acquis une vitesse suffisante par son écoulement naturel, fermant avec choc la soupape d'arrêt, qu'elle colle contre les parois de l'ouverture, et soulevant la soupape d'ascension, s'élève dans le tuyau d'ascension à une hauteur qui dépend du rapport entre les diamètres respectifs des tuyaux, ainsi que de la vitesse que peut prendre l'eau

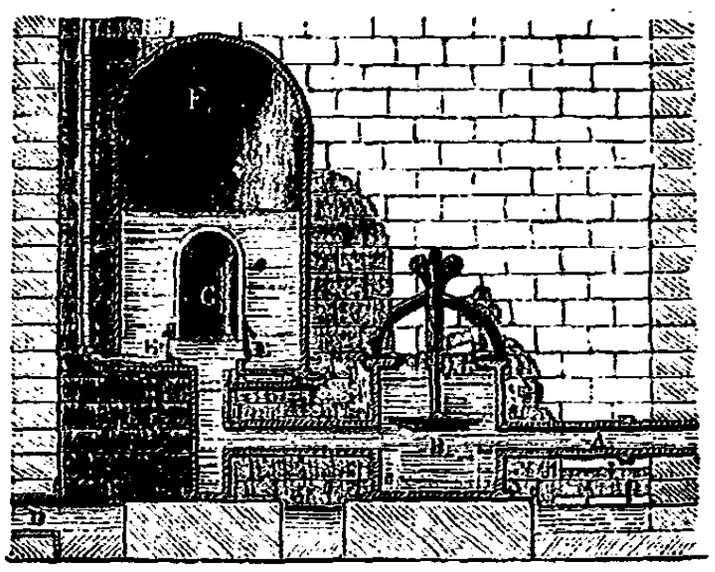


Fig. 210.

motrice en traversant le corps du bélier, de la force vive qu'elle possède. Lorsque cette vitesse se trouve suffisamment diminuée par suite de l'augmentation de résistance provenant de la diminution de l'orifice d'écoulement, de l'augmentation de frottement et de la pression due à la colonne d'eau ascendante, laquelle est supérieure à la hauteur motrice, la soupape E se ferme, puis la soupape B retombe et s'ouvre; l'écoulement naturel recommence, la vitesse s'accélère promptement, la soupape B est de nouveau soulevée, et les phénomènes ci-dessus se reproduisent; l'ensemble de tous les effets qui se succèdent dans l'intervalle de deux périodes consécutives, est ce que l'on nomme le *coup du bélier.* On détermine par des essais la proportion des pièces, surtout le jeu qu'il faut donner à la soupape B pour obtenir le plus grand effet possible. On remplace souvent, et avec avantage, les soupapes plates par des soupapes à boulets creux d'un poids convenable et retenues par des muselières.

On rend le jeu du bélier hydraulique continu, en adaptant à la base du tuyau élévatoire un réservoir d'air (qui est ici la cloche C) où il se comprime et réagit sur le liquide par son élasticité. Cet air étant en partie entraîné mécaniquement par l'eau élevée, on le remplace au fur et à mesure au moyen d'une petite soupape, d'un reniflard, qui s'ouvre du dehors en dedans et qui est placée au-dessous de la soupape E; lorsque cette dernière se ferme il s'opère une réaction dans la colonne liquide, par suite de l'arrêt qui en résulte, laquelle occasionne, pendant quelques instants, un mouvement rétrograde de l'eau et une véritable aspiration dans le corps du bélier, qui ouvre la soupape et fait entrer une certaine quantité d'air qui s'introduit dans le réservoir au coup de bélier suivant,

BÉLIER HYDRAULIQUE.

Le bélier, tel que nous venons de le décrire, était resté jusqu'ici un appareil plutôt curieux qu'utile, ou au moins le nombre des applications en était fort limité. Une heureuse invention vient de montrer que la cause principale de son mauvais service était surtout due aux irrégularités de la rentrée de l'air, souvent entraîné par l'eau, dans la cloche régulatrice. C'est surtout avec un mode d'empêcher cet effet, c'est grâce à ce perfectionnement, que le bélier devient au moins pour les petites forces, la première des machines élévatoires, le rendement en eau élevée dépassant dans quelques cas 75 p. 100. Nous allons dire comment on est parvenu à ce résultat.

Bélier hydraulique de M. Bollée. — C'est un ingénieur mécanicien du Mans, M. Bollée, qui ayant à construire assez souvent des béliers hydrauliques, a réalisé les perfectionnements dont il vient d'être parlé, a imaginé d'heureuses combinaisons qui réduisent à peu de chose les inconvénients inhérents à son mode de fonctionnement.

Les points principaux par lesquels le bélier de M. Bollée diffère de ceux qui ont été construits précédemment sont :

1° La pompe à air qui remplace l'ancien reniflard.

2° Le clapet dit à plongeur au lieu du clapet plat ordinairement employé.

3° Le balancier qui permet de compenser à volonté l'excès de poids du clapet, par rapport à la charge d'eau sous laquelle la machine doit fonctionner.

4° La forme du corps du bélier, qui est disposé de manière à conserver à l'écoulement une grande sortie au moment de la fermeture du clapet, et qui permet à l'eau d'arriver jusqu'au tuyau d'ascension dans les meilleures conditions d'effet utile.

Nous allons décrire successivement ces divers éléments en suivant M. Tresca qui a publié dans les *Annales du Conservatoire* (juillet 1864), une intéressante série d'expériences faites sur cette machine.

Pompe à air. — Dans les anciens béliers, le réservoir d'air dont l'élasticité est tout à fait nécessaire au bon fonctionnement de l'appareil, était alimenté à l'aide d'un reniflard, d'une petite soupape placée à la partie inférieure de la cloche, dont l'effet était rarement suffisant. Lorsque le bélier était plongé dans l'eau, on ne pouvait pas même en assurer le fonctionnement en mettant, par un tube spécial, le reniflard en communication avec l'air extérieur. Le tube était bientôt rempli d'eau, et dès lors le reniflard ne fonctionnait plus.

La pompe que M. Bollée a substituée à cet agencement insuffisant fonctionne aussi par le jeu même du bélier, mais son action est parfaitement assurée par le jeu d'un piston d'eau. A l'amont du clapet d'arrêt il installe une colonne verticale creuse, dont le sommet doit toujours être au-dessus des plus hautes eaux. L'eau entre librement dans cette colonne; mais au moment de la réaction elle s'abaisse d'une certaine quantité, et l'espace qu'elle abandonne est aussitôt rempli par une petite quantité d'air entrant, à quelque distance du sommet, par un orifice latéral à ce destiné. Lorsque le clapet de retenue se ferme, l'eau est refoulée dans cette colonne supplémentaire, elle refoule l'air emprisonné par une soupape et injecte cet air au moyen d'un tube oblique dans l'espace compris entre les deux clapets du bélier, une seconde petite soupape est disposée à l'endroit de l'introduction pour empêcher que l'effet contraire puisse se produire.

Il résulte de cette disposition que la colonne supplémentaire se charge d'air pendant le décollement et pendant toute la durée de l'ouverture du clapet d'arrêt, et que cet air est ensuite comprimé dans le tuyau de communication pendant toute la durée de la fermeture de ce clapet. Au moment où ce clapet s'ouvre à nouveau pour laisser écouler les eaux motrices, cet air, n'étant plus retenu par la pression se détend et vient se loger sous la soupape d'élévation au moment où il n'y a plus de charge en ce point.

La forme courbe donnée à la partie du corps de bélier dans laquelle l'air est ainsi introduit, ne permet pas à cet air de s'échapper autrement que par la soupape de refoulement.

La certitude de l'action de cet appareil a une importance considérable dans la question, en ce que rien n'empêche désormais de placer le corps du bélier au-dessous du niveau des plus basses eaux, ce qui permet d'utiliser constamment dans toute leur hauteur les chutes les plus minimes, ce qui est le plus souvent le cas de la pratique. Le coussin d'air formant ressort élastique par l'intermédiaire duquel la colonne liquide, brusquement arrêtée dans son écoulement, vient agir sur la soupape, est utile pour déterminer le mouvement de celle-ci et de la colonne d'air qui lui est superposée, sans consommation inutile de forces vives, et contribue à la bonté du rendement.

Soupape à plongeur. — La difficulté de maintenir en bon état la soupape d'évacuation des béliers a été, sans aucun doute, la raison dominante de l'abandon trop général de cette utile machine. M. Bollée s'est attaché à trouver le moyen d'amortir les chocs, et le clapet auquel il donne le nom de clapet à plongeur satisfait bien à cette condition, puisque d'une part le bruit causé par le choc est sensiblement diminué et que d'autre part l'expérience prouve que quelques-uns de ces clapets fonctiónnent continuellement depuis sept ans, sans avoir nécessité la moindre réparation.

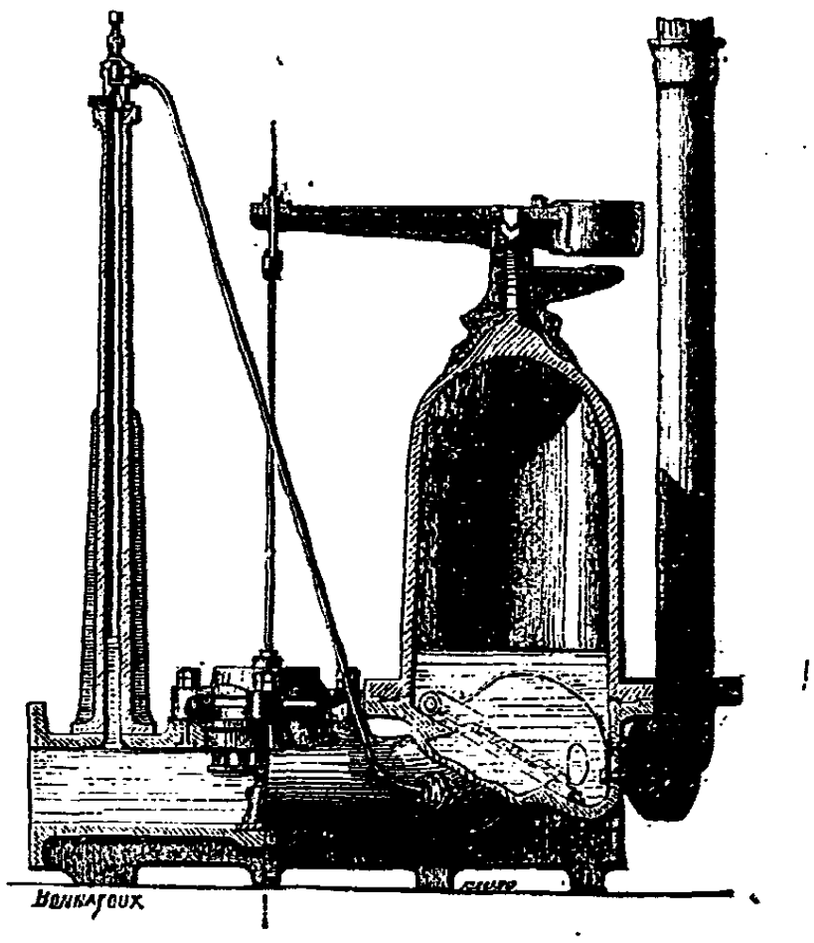


Fig. 240 *bis*.

Au lieu de frapper directement contre le siége métallique, la couronne circulaire qui doit fermer le clapet de M. Bollée entre dans une rainure ou sorte de gorge, d'où l'eau doit être expulsée pendant que

la fermeture s'accomplit. La résistance de cette eau s'oppose nécessairement à la brusque fermeture, et, comme pendant que cet effet a lieu, l'eau continue à affluer dans la cage du clapet par les fenêtres placées à la partie inférieure et qui ne sont fermées qu'à la fin de la course, l'eau affluente agit sur celle de la rainure au moment où la fermeture va se terminer. C'est ainsi, et par cette double cause, que le choc qui se produirait dans les conditions ordinaires est atténué dans une très-grande proportion.

Balancier compensateur. — Dans les béliers de petite dimension on peut toujours donner au clapet, sans en exagérer le poids, les dimensions convenables pour qu'il puisse résister au choc. Il n'en est pas de même pour les soupapes de grandes dimensions : elles seraient trop lourdes si elles étaient assez résistantes, et la disposition du balancier compensateur a pour objet de ne rien sacrifier de cette résistance, et d'équilibrer l'excès de poids auquel elle conduit par une masse plus ou moins pesante, placée sur un levier horizontal à l'extrémité opposée à celle à laquelle la soupape est suspendue par sa tige.

M. Bollée a profité de la présence de ce levier pour aider, au moyen de l'action d'un ressort, au décollement de la soupape. Ce ressort est une simple lame d'acier qui se tend légèrement au moment où la soupape se ferme, et qui est dès-lors tout préparé à la repousser au moment où le coup de bélier a cessé, de sorte que ce même balancier qui aide à la fermeture de la soupape, en assure aussi plus rapidement l'ouverture. La soupape ainsi déchargée de son levier, peut être modifiée par l'addition de poids de manière à satisfaire le mieux possible aux conditions spéciales de chaque chute motrice.

Soupape de refoulement. — La soupape de refoulement est articulée à charnière, de manière à plaquer facilement contre le siége incliné sur lequel elle doit reposer; on peut au besoin aider à sa fermeture par l'action d'un ressort que l'on serre plus ou moins au moyen d'une vis manœuvrée du dehors.

Lorsque la hauteur de refoulement est très-grande par rapport à la chute, il est important que la soupape se ferme très-rapidement, et l'expérience montre que la charge seule du tuyau de refoulement n'agit pas toujours assez rapidement pour obtenir ce résultat. Si la soupape n'est pas fermée au moment où la réaction s'opère, l'eau de la colonne peut être ramenée dans le corps même du bélier par suite de la résistance qu'opposent à la fermeture de la soupape les premières parcelles d'eau entraînée.

C'est pour cela que M. Bollée s'est donné le moyen de régler, au moyen d'une vis, l'action du ressort, destiné à ajouter son action à celle de la pesanteur pour déterminer plus rapidement la fermeture de la soupape de refoulement.

Nous allons montrer combien ces divers perfectionnements de détail ont assuré, en même temps que la durée du bélier, l'excellence de son rendement, faisant observer que c'est une machine à la fois motrice et opératrice, et que par suite son coefficient de rendement répond aux deux coefficients des systèmes employés le plus souvent. Qu'ainsi une excellente roue hydraulique rendant 80 pour 100 d'effet utile, conduisant de très-bonnes pompes rendant 75 pour 100 d'effet utile, on n'aura, somme toute, en eau élevée que $0{,}75 \times 0{,}80 = 0{,}600$ d'effet utile, c'est-à-dire moins que ne donne souvent le bélier, comme on va le voir dans plusieurs expériences faites au Conservatoire, par M. Tresca, sur un bélier de M. Bollée.

Le clapet plat a fourni des rendements variant de 0,825 à 0,433, mais l'intensité des chocs a prouvé que le constructeur avait eu grande raison d'y renoncer. En faisant tracer les circonstances du mouvement du clapet sur un papier en mouvement, comme l'avait déjà fait Etoylvein, on trouve un arrêt brusque et des ressauts, tandis que le clapet plongeur donne une courbe très-arrondie qui montre bien l'efficacité du bourrelet d'eau contenu dans la rainure destinée à amortir le choc.

Avec ce clapet on a trouvé un rendement de 0,653 pour la chute de $4^m,56$, qui a diminué rapidement pour des chutes plus faibles. Pour une chute de $0^m,70$ il était tombé à 0,438, mais il est remonté à 0,585 en allégeant beaucoup le clapet au moyen du balancier.

Ces résultats sont certes dignes d'une grande attention, et il ne faut pas oublier qu'ils sont obtenus avec un appareil entièrement automatique, n'exigeant pour ainsi dire ni surveillance, ni entretien d'aucun genre, et par suite tout particulièrement avantageux.

Il est probable que, grâce à ces perfectionnements, le bélier hydraulique qui était assez rarement adopté jusqu'ici dans les circonstances même où il paraissait le mieux indiqué, sera souvent adopté avec profit et que nous verrons cette ingénieuse machine, retrouver la faveur dont elle jouissait lors de son invention. On osa alors établir des béliers sur des proportions assez considérables pour que l'intensité des chocs de la soupape, d'un poids nécessairement alors assez grand, rendît la longue durée de cette soupape (qu'il fallut souvent remplacer par un boulet fermant moins bien) et celle de la maçonnerie qui le supporte, fort douteuse.

Un des plus grands béliers hydrauliques en activité est celui établi par M. *Delcassan*, à *Sentis*, dans la blanchisserie de M. *Turquet* : le corps du bélier a $0^m,203$ de diamètre intérieur et 8 mètres de long; l'eau fournie par la source a un volume de 1087 litres par minute, sous une chute de $0^m,976$, ce qui équivaut à 1945 litres élevés à un mètre ou 1/2 cheval-vapeur à très-peu près. Or, le bélier élève 268 litres d'eau par minute à $4^m,55$ de hauteur, ce qui revient à 1224 litres élevés à 1 mètre; l'effet utile est donc 1214 : 1945 ou 0,63 environ.

Théorie du bélier hydraulique — Un mot en terminant sur ce qu'elle présente de nouveau et de capital. Je veux parler du principe de l'indestructibilité du travail qui guidait Mongolfier dans sa découverte. Élever de l'eau, par sa propre chute, à une plus grande hauteur que celle d'où elle est tombée, semble à première vue, une chose impossible, et à la nouvelle de l'invention de Montgolfier, Bossut déclara qu'elle n'était pas possible. C'était de la part de cet académicien une de ces erreurs fréquemment commises, quand la notion de travail était encore obscure, que les travaux qui datent de ce siècle, n'avaient pas établi que c'était la seule unité complète, la seule dont il fallait tenir compte en mécanique pour être certain de ne pas commettre d'erreur, que la vitesse, la hauteur de chute, la masse, le poids d'un corps, etc., pris isolément, n'étaient qu'un des facteurs de la quantité qu'il fallait envisager dans son ensemble, et qu'en les considérant isolément, on pouvait rarement conclure à coup sûr.

Montgolfier en jugeant que le travail de la chute d'eau ne pouvait être anéanti par la fermeture de la soupape qui permettait à l'eau de s'écouler, a donc fait bien plus que d'inventer un ingénieux appareil; il a donné un exemple usuel de l'application d'une vérité qui, ainsi solidement établie, devait s'affirmer plus tard avec une grande netteté et une grande précision.

De nos jours, nous voyons reposer sur cette vérité une des plus importantes théories, une de celles qui devant transformer la théorie des sciences physiques fera le plus d'honneur à notre époque, à savoir la

théorie mécanique de la chaleur, dont la base la plus solide sans contredit est le principe de l'indestructibilité du travail. C'est parce qu'on voit dans nombre de cas le travail disparaître et simultanément apparaître une quantité de chaleur, qu'on a dû conclure qu'il y avait là une simple transformation, une métamorphose, que le travail et la chaleur étaient homogènes.

Nous aurons à revenir souvent sur ce sujet, mais il était intéressant de montrer la vérité, en apparence bien éloignée, qui était en germe dans l'idée de génie sur laquelle repose l'invention de Montgolfier.

BENJOIN (*angl.* benzoin, *all.* benzoe), résine qui s'écoule naturellement, ou, par des incisions pratiquées à cet effet, du *styrax benjoin*, arbre qui croît à Java, Sumatra et dans le royaume de Siam ; elle ne tarde pas à se solidifier au contact de l'air et devient dure et cassante. On trouve le benjoin, dans le commerce, en morceaux de forme irrégulière, formés de noyaux amygdaloïdes blanchâtres empâtés dans une masse brun jaunâtre ; sa cassure est conchoïde et présente un éclat gras ; son odeur est agréable et rappelle celle de la vanille ; sa densité varie de 1,063 à 1,092. Le benjoin se fond à une douce chaleur, et il se sublime alors de l'acide benzoïque que l'on peut aisément condenser sous la forme de longues aiguilles. On le sépare plus complétement par voie humide. Stolze recommande le procédé suivant : on dissout le benjoin dans le triple de son poids d'alcool à 75 centièmes, on neutralise l'acide benzoïque contenu dans la liqueur en y versant graduellement une dissolution alcoolique de carbonate de soude, qui se prépare avec 1 partie de carbonate de soude cristallisé, 3 p. d'alcool et 8 p. d'eau ; enfin, après avoir étendu la liqueur d'une quantité d'eau égale au double du poids du benjoin qu'elle renferme, on en sépare l'alcool par distillation. Les eaux mères qui restent dans la cornue renferment une matière résineuse surnageante que l'on écume, et du benzoate de soude que l'on décompose par l'acide sulfurique versé goutte à goutte, qui précipite l'acide benzoïque, lequel est peu soluble. On obtient par ce procédé 18 parties d'acide benzoïque pour 100 de benjoin employé.

Unverdorben a reconnu que le benjoin contient, outre l'acide benzoïque et une petite quantité d'huile volatile, trois espèces différentes de résines, qui n'ont jusqu'ici trouvé aucun emploi dans les arts.

Le benjoin est particulièrement employé dans la parfumerie ; sa dissolution alcoolique étendue d'eau constitue le *lait virginal*. On le fait entrer dans la composition de différents vernis dont on se sert pour recouvrir des tabatières, des cannes et d'autres objets, qui exhalent alors une faible odeur de vanille lorsqu'ils sont échauffés par le contact de la main. Enfin, en Angleterre, on en incorpore une certaine quantité dans l'encaustique que l'on applique sur les carreaux des appartements.

BÉTON (*angl.* concrete, *all.* grundpflaster), nom donné à une masse compacte formée d'un mélange de cailloux, de sable et de chaux, qui sert à asseoir les fondations des édifices. Les proportions les plus convenables à employer sont, suivant Lemble, de 80 parties de cailloux ayant chacun un volume de 60 à 80 centim. cubes, de 40 p. de sable fin de rivière et de 10 p. de bonne chaux, ordinairement hydraulique, que l'on gâche ensemble avec une quantité d'eau suffisante immédiatement avant de s'en servir. On l'applique par couches de 0m,20 à 0m,25 d'épaisseur, que l'on laisse sécher chacune sur place avant d'appliquer la suivante. (Voy. MORTIER.)

BEURRE (*angl.* et *all.* butter). Le LAIT est une émulsion composée du *petit-lait* ou *sérum*, de *fromage* ou *caséum*, et d'une matière grasse, la *butyrine*, qui constitue le principe du beurre. Lorsqu'on l'abandonne à lui-même à une température de 15 à 20° pendant un temps assez long, il se sépare en deux parties : l'inférieure, ou lait caillé, qui renferme la presque totalité du petit-lait et du fromage ; et la supérieure, ou *crème*, qui renferme la majeure partie du beurre contenu primitivement dans le lait. On conçoit que la séparation de la crème sera d'autant plus complète, que la coagulation du lait sera plus lente ; il faut donc que la température de la laiterie soit maintenue à un degré déterminé (10 à 12°) et aussi uniforme que possible. On satisfait à cette condition en la plaçant dans des caves. Chaque jour on enlève la crème qui s'est formée à la surface des pots et on la met de côté ; la séparation complète n'a lieu qu'après un temps qui varie suivant la saison. Quatre à cinq jours suffisent en été, tandis qu'il en faut souvent le double en hiver.

La crème renferme les mêmes éléments que le beurre, mais dans des proportions très différentes ; la matière grasse y prédomine beaucoup. Lorsqu'elle est vieille, le fromage qu'elle renferme encore est entièrement coagulé, les molécules butyreuses isolées, et elles se réunissent aisément en une seule masse par le battage (voyez BARATTE), tandis que lorsqu'on opère sur une crème fraîche, les parties constituantes sont encore trop intimement unies, et il faut que, par un battage plus prolongé, on y détermine la même altération qu'elle subirait plus tard en la laissant exposée à l'air. Aussi une crème de 24 heures exigera, pour donner son beurre, quatre fois plus de temps que celle qui aura huit jours ; c'est un fait bien constaté par l'expérience.

Le goût du beurre est différent avec les localités et les saisons ; sa couleur varie du jaune foncé au blanc mat. Quoique l'on ne puisse en rien préjuger de la qualité par la couleur, beaucoup de personnes regardent les beurres les plus colorés comme étant les meilleurs, aussi leur donne-t-on souvent artificiellement cette couleur en mêlant avec la crème, avant le battage, du suc de carottes, de la fleur de souci, de la graine d'asperge ou de l'orcanette.

Au sortir de la baratte, on *délaite* le beurre en le malaxant dans un vase rempli d'eau fraîche avec le dos d'une grande cuillère en bois ; plus on apporte de soin dans cette opération, plus le beurre se conserve longtemps. On y ajoute souvent en même temps un peu de sel, comme dans les beurres fins qui nous viennent de la Bretagne, et on obtient un beurre demi-sel qui se conserve plus longtemps frais que les beurres ordinaires. Le beurre frais ne peut se conserver longtemps, parce qu'il renferme encore un peu de matière caséeuse qui s'altère rapidement. Pour le conserver, il faut le saler ou le fondre.

Pour saler le beurre on le malaxe avec du sel aussi sec que possible et grossièrement pulvérisé ; on incorpore ainsi dans le beurre de 6 à 12 p. 100 de son poids de sel, suivant qu'il doit être consommé sur les lieux ou envoyé au loin ; on l'introduit ensuite dans des pots de grès où on le tasse fortement jusque près de l'ouverture, on recouvre le beurre avec un premier linge fin sur lequel on place une couche de sel de 2 à 3 centimètres d'épaisseur ; enfin on recouvre le tout avec une toile plus forte qu'on fixe avec une corde. En Écosse, il paraîtrait, d'après le docteur Anderson, que l'on salerait généralement le beurre en le malaxant avec 6 à 8 p. 100 de son poids, d'un mélange composé de 1 partie de sucre, 1 p. de nitre et 2 p. de sel ordinaire. Il assure que par ce procédé le beurre se conserve plus longtemps, et que sa couleur, sa consistance, son odeur et sa saveur, sont de beaucoup supérieures à celles du beurre salé ordinaire.

Le beurre fondu se prépare en fondant le beurre à feu nu à une douce chaleur, l'entretenant liquide pendant quelque temps, y ajoutant un peu de sel, l'écumant de temps à autre, et enfin le coulant dans des pots en grès

destinés à le conserver. On le dépouille ainsi de la majeure partie de son humidité, et une partie de la matière caséeuse qu'il renferme à l'état de mélange se sépare et se dépose au fond du vase dans lequel s'opère la fusion; on enlève donc ainsi au beurre une partie des éléments putrescibles qu'il renferme, mais cette séparation est loin d'être complète, parce qu'on ne maintient pas assez longtemps le beurre en liquéfaction. Ainsi chauffé à feu nu, il s'altérera, quelque précaution qu'on puisse prendre; il serait donc bien plus avantageux, comme du reste l'expérience l'a démontré, de le fondre au *bain-marie*. Une température de 36° centigrades suffit pour faire entrer le beurre en pleine liquéfaction; arrivé à ce point, on peut sans inconvénient le maintenir fondu autant de temps que l'on veut; le départ se fait complétement. On décante ensuite, on sale convenablement, et l'on coule au travers d'un linge fin. Le beurre, ainsi préparé et renfermé dans des vases bien bouchés, se conserve presque indéfiniment.

On pourrait fabriquer avec le beurre du savon d'excellente qualité; c'est un des corps gras qui offrent le plus d'avantages sous ce rapport; ce savon absorbe une quantité d'eau considérable sans cesser d'être solide. D'après Pelletier, 3 kil. de beurre rance dessalé ont donné 11 kil. de savon très-blanc, qui, après deux mois de séjour à l'air, ne pesait plus que 7 kil.

BEZOARD. Nom donné à certaines concrétions trouvées dans l'estomac des animaux, et auxquelles on attribuait autrefois une foule de propriétés et de vertus imaginaires. Elles n'intéressent actuellement que la chimie pathologique.

BIELLE. Le système composé d'une bielle et d'une manivelle, c'est-à-dire d'une barre assemblée par un boulon (appelé *bouton de la manivelle*) avec un rayon d'un cercle calé sur un axe de rotation et de l'autre extrémité assemblée semblablement avec une pièce mobile, constitue l'organe mécanique le plus convenable pour transformer un mouvement circulaire continu en un mouvement rectiligne ou circulaire alternatif, ou inversement.

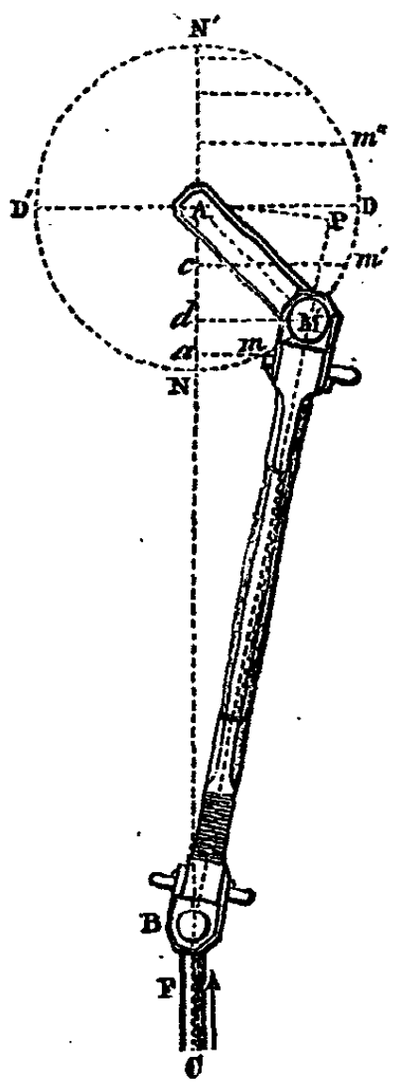


Fig. 1.

1° *Mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif ou inversement.* Soit la pièce BC (fig. 1), dont le mouvement est alternatif, la tige BM, la bielle, est articulée en B avec cette pièce et à son extrémité opposée M, l'est également à un bras ou manivelle MA calée sur un arbre de rotation. La pièce à mouvement alternatif est toujours maintenue par des guides, de manière que l'axe de l'articulation de cette pièce avec la bielle reste dans un plan passant par l'axe de rotation de la manivelle, ou, au moins, s'écartant assez peu de ce plan pour que le point B puisse être regardé comme se mouvant sur une ligne droite invariable BA, autrement la révolution complète deviendrait bientôt impossible, comme nous le verrons plus loin.

Cherchons à analyser le mouvement produit; à cet effet traçons le diamètre DD' perpendiculaire à la droite AB, et divisons les quarts de circonférence ND, DN' en un même nombre de parties égales, N*m*, *m*M, M*m'*... etc.; enfin, menons par les points de division *m*, M, *m'*... etc. des perpendiculaires *mo*, M*d*, *m'c*... etc. au diamètre NN'.

Dans l'une de ses courses, le point M partant de la position N, décrit NDN', l'une des deux demi-circonférences. Pour déterminer la position B' du point B, qui correspond à une position quelconque *m* du point M, il suffit de couper la droite NBC par un arc de cercle décrit de *m* comme centre avec un rayon égal à la longueur MB de la bielle, et l'on peut s'assurer ainsi qu'à des arcs égaux N*n*, *m*M, M*m'*... correspondent des déplacements inégaux de la pièce BC, déplacements qui diffèrent peu d'ailleurs des projections N*a*, *ad*, *dc*... de ces arcs et d'autant moins que le rapport $\frac{AM}{MB}$ est plus petit. Lorsque le mouvement de la manivelle est uniforme, celui de la pièce BC est uniformément périodique, conditions avantageuses qu'il faut réaliser autant que possible: ces observations s'appliquent évidemment à la course rétrograde de BC. La longueur de chacune de ces courses est nécessairement égale au diamètre NN' de la circonférence décrite par le point M.

A l'origine de la première et à celle de la seconde, la manivelle AM et la bielle MB se trouvent sur le prolongement de la direction BC de la force F appliquée au point B, de sorte que cette force ne peut produire que des pressions nuisibles, et que, quand elle constitue l'action motrice, le mouvement de la machine s'arrêterait si l'inertie des pièces rotatives ne faisait franchir au point M les positions N et N' que l'on nomme *points morts*. En outre, à partir de l'origine de chaque course, le bras du levier AP de la composante de la force F qui est transmise par la bielle, bras de levier dont la longueur est d'abord nulle, augmente jusqu'au moment où AM se trouve perpendiculaire à MB, puis il diminue.

Construisons maintenant, ainsi qu'il a été dit, la courbe représentative du mouvement. Divisons la circonférence en parties égales, vingt par exemple, par les points de division comme centres, avec une longueur égale à celle de la bielle, traçons des arcs de cercle venant rencontrer la direction de la tige, on aura toutes les positions de l'extrémité de celle-ci pour les positions successives du bouton; nous aurons ainsi la figure 2, obtenue dans le cas

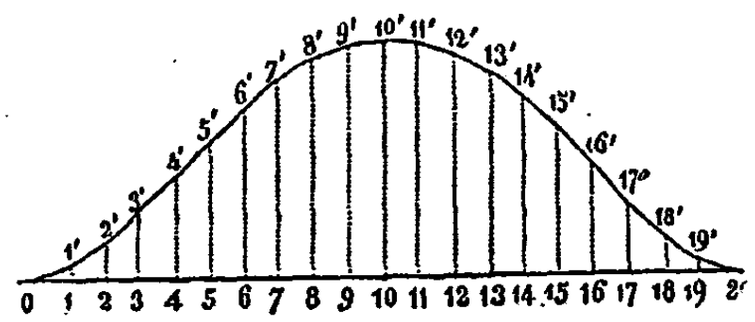


Fig. 2.

d'une bielle supposée très-longue par rapport à la manivelle, en prenant les chemins parcourus par le bouton comme abscisses et les chemins parcourus par la tige comme ordonnées. Cette courbe fait bien voir comment s'effectuent les mouvements.

Dans le cas le plus fréquent de la pratique, celui où par l'effet d'un volant sur l'arbre de rotation le mouvement circulaire est sensiblement uniforme, les arcs décrits par le bouton ou les abscisses de la courbe

sont proportionnels au temps; d'où il résulte que l'inclinaison des tangentes à cette courbe, le rapport de l'espace parcouru au temps employé à le parcourir, pour un intervalle infiniment petit, donnera la vitesse de la tige en un instant quelconque. Elle est nulle, on le voit, aux points morts (aux points 0 et 10) où la tangente est horizontale, condition très-favorable, vu le changement de sens du mouvement qui a lieu en ces points.

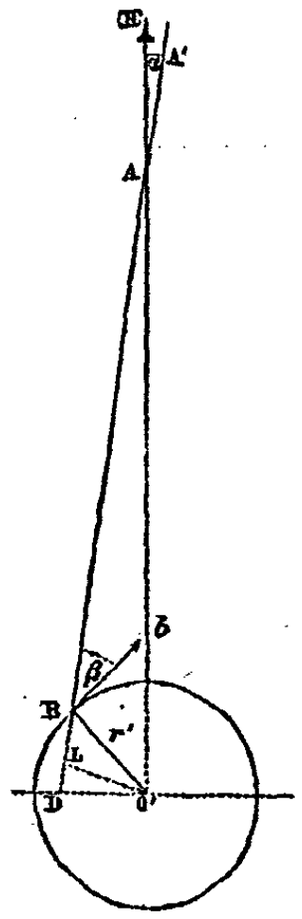


Fig. 3.

On peut facilement déterminer les vitesses en menant (fig. 3) la ligne O'D perpendiculaire à la tige à mouvement rectiligne; le rapport des deux vitesses est égal à celui de O'D à r', rayon de la manivelle, comme nous le démontrerons plus loin. On peut donc construire aisément la courbe des vitesses. On voit ainsi que, pour une bielle courte, la vitesse de l'extrémité de la bielle n'est pas symétrique par rapport au milieu de la courbe. Telle est la courbe OBA (fig. 4) qui se rapporte au cas d'une bielle dont la longueur serait égale à cinq fois celle du rayon de la manivelle. On a pris pour coordonnées : 1° dans le sens OA, les longueurs des chemins parcourus par le bouton de la tige mobile; 2° dans le sens perpendiculaire, les vi-

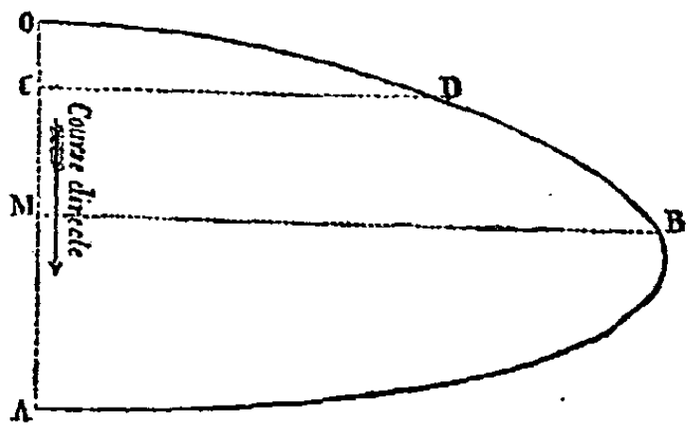


Fig. 4.

tesses telles que CD de ce mobile correspondantes au chemin OC, dans l'hypothèse, par exemple, où la manivelle ferait un demi-tour par seconde.

Si on suppose la bielle infinie, restant toujours parallèle à elle-même, les chemins parcourus par l'extrémité de la bielle sont toujours égaux au sinus verse (1 — cosinus) de l'arc θ que décrit le bouton de la manivelle, mesuré à partir d'un des points morts.

Représentation du travail de la bielle. Dans ce dernier cas, et avec une assez grande approximation quand la longueur de la bielle est égale à huit ou dix fois celle de la manivelle, on peut également tracer les courbes qui représentent, à une certaine échelle, le travail engendré par l'action d'une force F constante, agissant à l'aide de la bielle sur le bouton de la manivelle. En effet le point d'application de cette force parcourant le petit arc s de la circonférence, son travail est $F \times s$ projeté sur la direction de F, c'est-à-dire $F\ s \times$ sin. θ, θ étant évidemment égal au complément de l'angle fait par la bielle, supposée toujours

parallèle à elle-même, avec la tangente au point considéré. Le travail élémentaire correspondant à l'arc s sera donc représenté à une certaine échelle par le petit trapèze qui a cet arc de rayon 1 pour base, et pour côté les valeurs de sin. θ; et par suite le travail total transmis par la bielle à la manivelle sera représenté par l'aire entière comprise entre la circonférence développée et la courbe dont les ordonnées sont déterminées par les valeurs successives du sinus.

Le produit F sin. θ est nul quand la perpendiculaire abaissée de l'axe de rotation sur la bielle est égale à zéro; car alors $\theta = 0$, ce qui correspond aux points 1, 11, 21 (voir plus loin la fig. 7 réunie avec la fig. 8); en ces points la bielle ne produit aucun travail. Ce passage par zéro, lors du changement de sens du mouvement, est ce qui fait la grande valeur de cet organe de machine. Le maximum a lieu pour sin. $\theta = 1$ ou $\theta = 90°$, c'est-à-dire dans la figure aux diamètres verticaux correspondants aux points 6 et 16; enfin la symétrie des figures montre que les deux courbes et chacune de leurs moitiés sont égales de part et d'autre.

Calcul de ce travail. Le travail développé par la puissance F dans une demi-révolution, pendant laquelle le chemin parcouru, estimé suivant la direction de la force, est $2r$, est égal à celui que la résistance constante Q, agissant sur une circonférence de rayon R, consomme pendant une demi-révolution; on aura donc, pour un tour entier et une oscillation complète, $4Fr = 2\pi QR$. Si donc on construit un rectangle dont la base soit toujours 2π et la hauteur $QR = \frac{4Fr}{2\pi}$, la surface de ce rectangle représentera le travail total développé par la résistance et sera égal à celle que circonscrit la courbe. Les points de rencontre du côté supérieur de ce rectangle avec la courbe correspondront aux points pour lesquels le travail élémentaire de la puissance et celui de la résistance sont égaux (1).

La partie de la courbe que cette droite laisse au-dessous d'elle et les parties du rectangle non comprises dans la courbe représentent les excédants successifs du travail moteur et du travail résistant.

La figure montre combien la transmission du travail comme le mouvement se régularisent avec le système de manivelles multiples et à angles droits, décrit à l'article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE, puisque le travail de la seconde manivelle serait représenté par une courbe semblable à la première, partant de la division 6 et allant à la division 16.

2° *Mouvement circulaire continu en circulaire alternatif.* La combinaison d'une bielle et d'une manivelle est surtout employée pour cette transformation (fig. 5), qui peut être considérée comme comprenant le cas précédent, le mouvement rectiligne ayant lieu sur un arc de cercle de rayon infini, et celui répondant à un arc de cercle de très-grand rayon étant très-voisin d'un mouvement rectiligne. Il suffit, pour réaliser la combinaison dont nous parlons, d'assembler

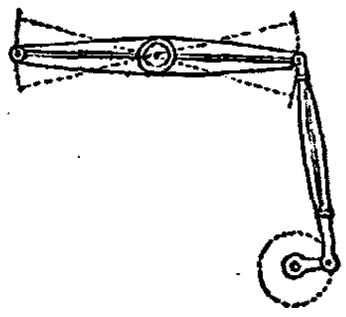


Fig. 5.

1. Nous supposons ici qu'il s'agit d'une manivelle à double effet, c'est-à-dire que l'effort constant de la bielle change de sens à chaque demi-révolution. Si l'effort était toujours de même sens, comme cela a lieu pour la pesanteur, le travail serait évidemment nul pour une révolution complète; enfin, si la manivelle n'agissait que pendant une demi-révolution, la résistance qui, agissant constamment sur une circonference du rayon R, produirait le même travail sera donnée par l'équation $2\ Fr = 2\pi QR$.

la bielle par un boulon, de l'articuler à l'extrémité d'un balancier assujetti à tourner autour d'un tourillon. Tous les avantages que nous avons reconnus appartenir au système composé d'une bielle et d'une manivelle, dans le cas précédent, se retrouvent dans celui-ci ; il offre de plus l'avantage que les frottements des tourillons du balancier sont minimes, tandis que ceux d'une tige glissant entre des guides sont considérables.

Vitesses. Les vitesses relatives du bouton de la manivelle et de l'articulation de l'extrémité du balancier (identique au point de vue cinématique à une grande manivelle), se déterminent à l'aide de la théorie des centres instantanés de rotation. Le mouvement du point A (fig. 6)

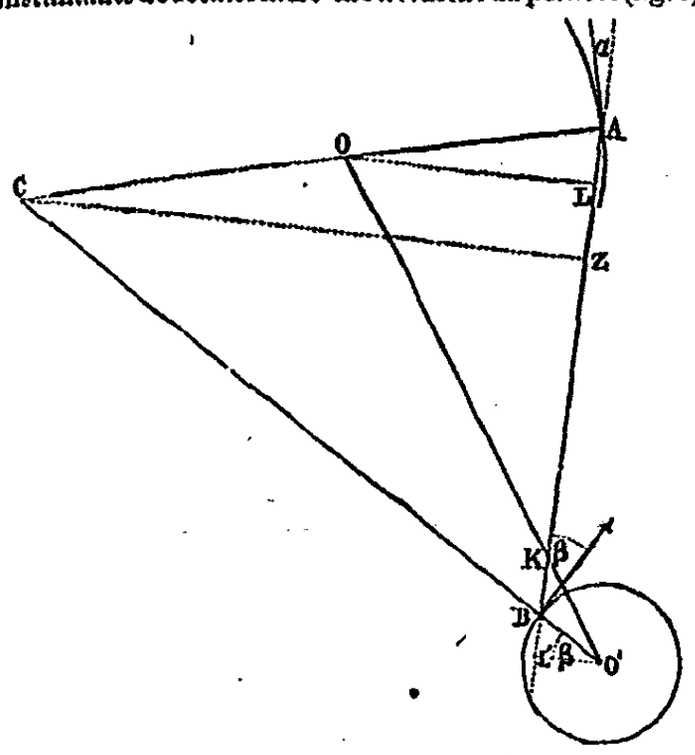


Fig. 6.

a lieu perpendiculairement à OA, celui de B perpendiculairement à O'B ; donc le centre instantané de rotation sera à la rencontre de ces deux lignes en C ; les vitesses des points A et B seront proportionnelles à CA et CB. Or, on a par les triangles semblables, formés par les perpendiculaires sur la bielle

$$CZ : CA :: OL : r$$
$$CZ : CB :: O'L' : r'$$

ou ω, ω', étant les vitesses angulaires, r, r' les rayons, les distances des points d'attache aux centres de rotation,

$$\frac{CA}{CB} = \frac{r\,\omega}{r'\omega'} = \frac{r\,O'L'}{r'\,OL} \qquad (1)$$

et, en faisant disparaître les facteurs communs r et r',

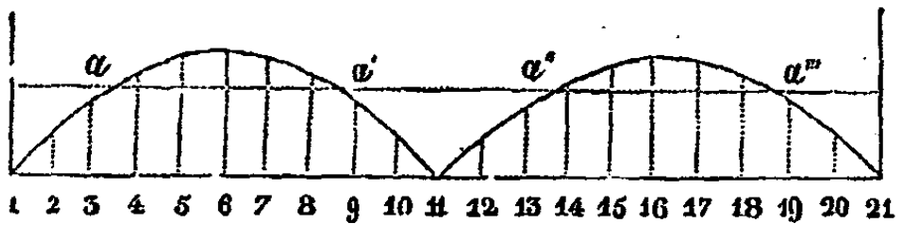


Fig. 7.

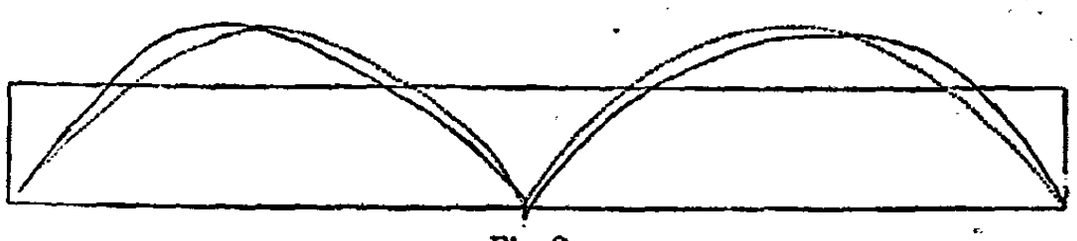


Fig. 8.

la relation :

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{O'L'}{OL} = \frac{O'K}{OK'}$$

d'après la similitude des triangles OLK, O'L'K'.

D'où ce très-remarquable théorème. ***Les vitesses angulaires sont en raison inverse des longueurs déterminées en chaque instant sur la ligne des centres par l'intersection de la bielle***, relation fondamentale d'une grande simplicité.

Si l'un des guides du mouvement des organes dont dépendent les points A et B appartient au système plan, si le point A doit suivre une ligne droite, le centre instantané de rotation est transporté à l'infini, r et OL deviennent en même temps infinis et par conséquent égaux ; si donc on élève (voir plus haut, fig. 3) la perpendiculaire O'D sur AO', parallèle au rayon du centre instantané de rotation passant en A, V et V_1 étant les deux vitesses, l'équation (1) devient :

$$\frac{V}{V_1} = \frac{O'D}{r'}.$$

Travail de la bielle. Si l'on suppose que la bielle est assez longue pour pouvoir être considérée comme d'une longueur infinie, comme restant toujours parallèle à elle-même, ce que nous avons dit précédemment, relativement au travail moteur, s'applique à ce cas. Toutefois (et c'est le cas le plus habituel de la pratique, si ce n'est quand on fait usage de l'excentrique circulaire) on ne peut admettre les résultats fournis par cette hypothèse quand la longueur de la bielle est au-dessous de cinq à six fois celle de la manivelle. On peut encore, dans ce cas, construire graphiquement les courbes dont l'aire donne le travail produit, la figure 6 donnant la facilité de calculer les deux forces qui agissent autour du centre instantané de rotation C, et qui sont dans les rapports de CA à CZ. Alors la direction de la bielle ne passe pas par l'axe de rotation quand le bouton de la manivelle passe par le point le plus bas de sa course, et le moment de l'effort (le produit qu'il faut multiplier par l'angle au centre pour avoir le travail élémentaire) n'est pas nul. Jusqu'à cette position, l'effort agit dans le sens du chemin décrit par le bouton ; mais au delà de cette position jusqu'à celle où le bras du levier est nul, cet effort tend à faire rétrograder le bouton de la manivelle qui ne persévère dans son mouvement qu'en vertu de l'inertie du volant. Le moment est par conséquent négatif et ne devient positif que quand le bras du levier, étant devenu nul, la force change de direction. Par conséquent, dans cette courte période, le travail doit être porté en-dessous de la ligne des abscisses, comme on le voit sur la figure. Un effet semblable se produit à la fin de l'autre période.

Il résulte de là contrariété dans le mouvement, refoulement du bouton sur la bielle, et réciproquement ; et c'est ce qui contribue, en partie, à produire la vibration toujours nuisible de la bielle. Ce défaut est d'autant plus sensible que la bielle est plus courte.

Il résulte aussi de l'obliquité de la bielle que, dans la première moitié de la demi-révolution descendante du bouton de la manivelle, les bras de levier de la puissance sont plus grands que ceux que donne la supposition d'une bielle infinie, tandis que c'est le contraire dans la seconde moitié ; l'inverse se produit dans la demi-révolution ascendante. Les excès du travail moteur sur le travail résistant, et *vice versâ*, cessent d'être égaux, aux diverses périodes, et les courbes ne sont plus symétriques. C'est ce qui se voit bien sur la figure 8 qui représente le travail d'une bielle ayant cinq fois la longueur de la manivelle et que

nous avons rapproché de la figure 7 qui se rapporte à une bielle restant toujours parallèle à elle-même.

Système Girard. Ce cas particulier de la transformation du mouvement circulaire alternatif en circulaire continu est une disposition particulière du système composé d'un balancier, d'une bielle et d'une manivelle.

On trace habituellement l'axe du balancier, dans sa position moyenne, à peu près perpendiculaire à la direction de la bielle. Dans cette disposition, une double oscillation du balancier fait faire à la manivelle assemblée à l'extrémité de la bielle un tour complet, et dans les deux positions moyennes de son mouvement, le bras de la manivelle est parallèle à la position moyenne du balancier.

Il est facile de voir que si, pour une même distance des deux axes, on diminue la bielle, les deux parties de la circonférence, décrite par la manivelle entre les points morts, cessent d'être à peu près égales.

Si enfin on donne à la bielle une longueur telle que dans sa position moyenne le balancier se trouve en ligne droite avec elle, l'inertie aidant, le volant monté sur l'axe de la manivelle fera un tour complet par chaque oscillation simple du balancier.

Ainsi, sur la figure 9, le balancier passant par la position OA et OH, la bielle passe de AC à AG. Elle passe ensuite de HG en BD, pendant la seconde partie de la demi-oscillation. L'inertie aidant, lorsque le balancier revient de OB en OA, le point D, qui peut se diriger également vers G et vers C, se dirige vers ce dernier point, pour arriver encore en G lorsque B est en H. En une oscillation complète, un aller et un retour, le chemin parcouru est donc CGD + DCGDC = 2 tours complets

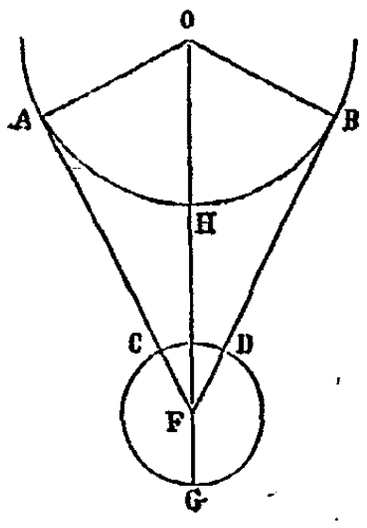


Fig. 9.

Cet appareil serait défectueux pour des forces considérables. La manivelle, en montant au-dessus du point D, en sens inverse de l'action des forces qui agissent suivant la bielle, imprime à celle-ci un mouvement de vibration produit par le refoulement, comme nous l'avons vu dans le cas de l'emploi des bielles courtes.

Ce dispositif est curieux, et peut trouver quelques applications dans les machines légères, mais ne peut fournir de bons résultats dans celles où des résistances importantes sont en jeu, dans les locomotives notamment, où l'auteur avait espéré le voir appliqué et où il importerait beaucoup de multiplier les tours des roues pour un même nombre de coups de piston, sans engrenages, à l'aide de simples articulations d'un effet certain.

Frottement de la bielle. Le travail du frottement de la bielle se compose de deux parties: celui qui se produit sur le bouton de la manivelle et celui qui se produit sur l'articulation de la bielle avec le balancier ou avec la tige guidée en ligne droite.

Le frottement sur le bouton de la manivelle est égale à $2\pi rfP$ pour chaque tour, $2\pi r$ étant la circonférence du bouton, P l'effort, f le coefficient du frottement. Celui qui se produit à l'extrémité du balancier se calculera de même, ce système ne différant pas du précédent pour une fraction de tour; ainsi le balancier décrivant un angle α, le frottement pour une double oscillation sera $2\pi rPf\frac{\alpha}{180^\circ} = \pi rPf\frac{\alpha}{90^\circ}$.

On voit que ces frottements sont très-peu considérables, les valeurs de r étant elles-mêmes petites, ce qui fait bien comprendre l'emploi si fréquent de ce système dans les machines.

Si la bielle produit un mouvement rectiligne, le frottement qui se produit à son articulation avec la barre guidée en ligne droite ne parcourt que l'arc du même nombre de degrés que celui dont le double rayon de la manivelle est la corde et la bielle le rayon, mesuré sur la circonférence qui a pour rayon celui de l'articulation. Il est donc encore très-petit, mais il est accompagné d'un autre vis-à-vis duquel il est négligeable, celui qui s'exerce le long de la tige maintenue dans des guides-plans; ce frottement, qui croît avec l'obliquité des poussées, peut devenir très-grand si la bielle est courte.

Excentrique circulaire. Dans tout ce que nous avons dit au sujet de la manivelle et de la bielle, nous n'avons rien supposé quant à la grandeur du bouton de la manivelle; il peut donc être quelconque, et la vitesse du mouvement transmis ne changera pas, pourvu que la distance des centres de la manivelle et du bouton reste la même.

Si le rayon du bouton grandit jusqu'à être plus grand que cette distance des centres, le mouvement ne changera encore aucunement; seulement la disposition de l'assemblage ne peut plus être celle exposée précédemment. La bielle, qui prend souvent la forme d'une double tringle, est terminée par un collier qui entoure la circonférence d'un cercle tournant autour d'un point autre que son centre (fig. 10). C'est le sys-

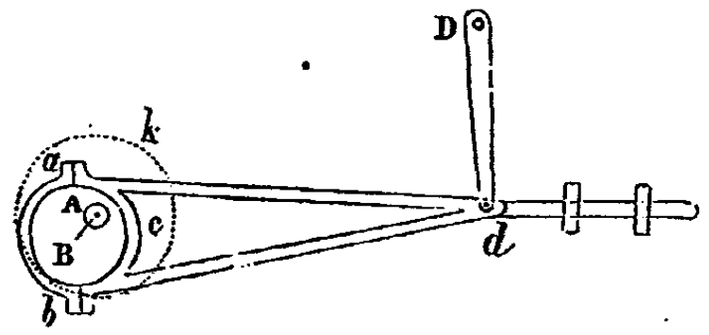


Fig. 10.

tème, appelé *excentrique circulaire*, qui, comme nous venons de le voir, n'est qu'un cas particulier de la bielle, et donne absolument les mêmes vitesses qu'une bielle de longueur infinie, restant toujours parallèle à elle-même.

Frottement des excentriques circulaires. L'expression du frottement est toujours la même que dans le cas de la manivelle; seulement le rayon de l'excentrique remplaçant le rayon du bouton, le frottement devient très-grand et peut devenir supérieur au travail entier de la force motrice.

En effet, pour un tour, le travail du frottement sera $2\pi RfF$; celui de la force résistante agissant dans la direction de la bielle sera $2rF$ (r distance des deux centres). Le rapport de ces deux quantités sera:

$$\frac{2\pi RfF}{2FR} = \frac{\pi Rf}{r}.$$

Or, comme $\pi = 3{,}14$, on voit qu'il ne faut pas que R, toujours supérieur à r, soit avec lui dans un rapport bien grand pour que cette expression approche de l'unité, bien que f soit fractionnaire et assez petit.

Mouvement intermittent. On emploie encore la bielle pour produire un mouvement intermittent en la terminant par une rainure qui produit un repos en raison du temps nécessaire pour qu'une de ses extré-

mités rencontre le bouton déplacé par l'autre extrémité (fig. 11).

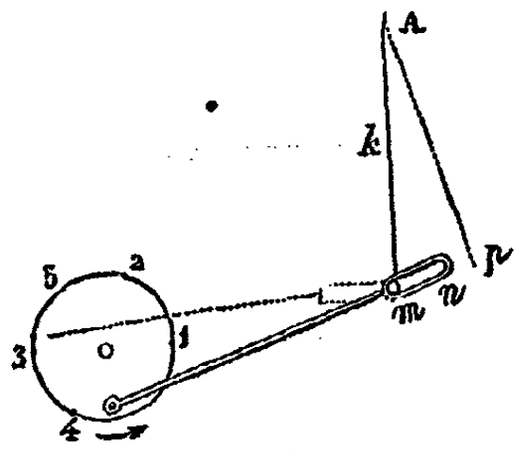


Fig. 11.

Autres mouvements. Les deux cas que nous venons d'examiner sont ceux du plus fréquent usage de l'organe que nous étudions dans les machines modernes, surtout depuis que Watt, l'empruntant au rouet de la fileuse, l'a appliqué à la machine à vapeur. La bielle se rencontre encore dans nombre de mécanismes, par exemple pour transmettre le mouvement circulaire alternatif à distance, comme on le voit dans les mouvements de sonnette. Quelquefois elle sert à transmettre des mouvements circulaires continus, dans des conditions toutes spéciales. Voyons à quelles conditions la bielle doit satisfaire pour être utilisée dans les divers cas.

C'est du rapport existant entre la distance des centres, les longueurs des manivelles ou les rayons des circonférences que décrivent les boutons des manivelles, et enfin la longueur de la bielle, que dépend la possibilité d'employer la bielle à transmettre un mouvement circulaire continu, un mouvement circulaire alternatif ou à transformer un mouvement circulaire continu en circulaire alternatif.

Soit d la distance des centres, r, r' les rayons des manivelles, l la longueur de la bielle.

Si les deux circonférences des rayons r, r' sont extérieures l'une à l'autre, il est évident que si

$$l = d + r + r',$$

aucun mouvement ne peut avoir lieu, la bielle est trop longue. Si $l = d + r - r'$, le mouvement commence, mais ne peut fournir deux rotations complètes. Si une circonférence est plus grande que l'autre, le mouvement sera alternatif sur la grande, à moins que l'on n'ait $r = r'$ et $l = d$, cas de transmission de mouvement circulaire que nous allons examiner. Enfin, si l était plus petit que $d - r - r'$, la bielle ne pourrait réunir les deux circonférences ; mais elle pourra transmettre un mouvement circulaire alternatif si elle est un peu plus longue, et l'amplitude de ce mouvement sera en raison de cet excédant.

Si les deux circonférences se coupent, des relations de longueur analogues donnent les genres de mouvements possibles. Nous renverrons à notre *Traité de Cinématique* pour la discussion de ces dispositions peu employées.

3° *Mouvement circulaire continu en circulaire continu.* La bielle peut servir avec avantage à transmettre un mouvement circulaire continu entre des roues extérieures l'une à l'autre, à la condition, si les deux mouvements sont de même sens, que les deux bras de manivelle, auxquels la bielle est assemblée, soient égaux et la longueur de celle-ci égale à la ligne des centres. Dans la communication dont il s'agit ici une seule difficulté se présente. Elle consiste en ce que, lorsque l'une des manivelles arrive au point mort, l'autre y arrive également, et, par suite, il y a instabilité, c'est-à-dire qu'à moins que

l'inertie des pièces en mouvement ne soit en jeu et qu'une résistance intervienne pour empêcher le changement, comme (fig. 12) dans le cas bien connu des

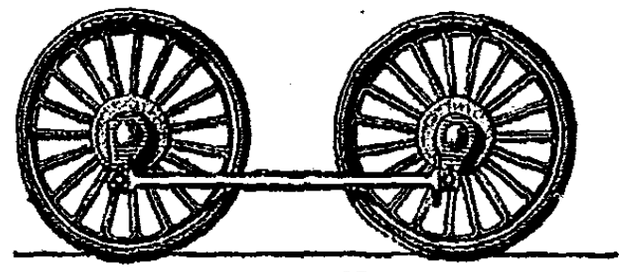


Fig. 12.

roues couplées des locomotives, il n'y a pas de raison pour que le mouvement ne devienne pas rétrograde, au lieu de continuer dans le même sens.

La disposition, ordinairement employée pour éviter cet inconvénient, est représentée dans la figure 13. Elle consiste à employer deux systèmes de bras à angle droit sur chaque axe et deux bielles d'égale longueur. De la sorte les quatre manivelles n'étant plus en même temps au point mort, l'inconvénient dont nous avons parlé ne peut plus exister.

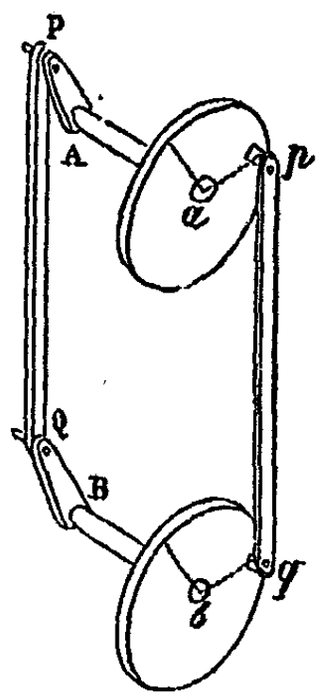


Fig. 13.

Si, au lieu d'être parallèle à la ligne des centres, la bielle coupe celle-ci, le mouvement circulaire continu peut encore être obtenu au moyen de deux manivelles égales réunies par une bielle de longueur égale à la distance des axes, les manivelles tournant en sens inverse l'une de l'autre ; les vitesses sont alors dans un rapport variable, la bielle venant rencontrer la ligne des centres en des points variables. Etablissons la loi de ce mouvement.

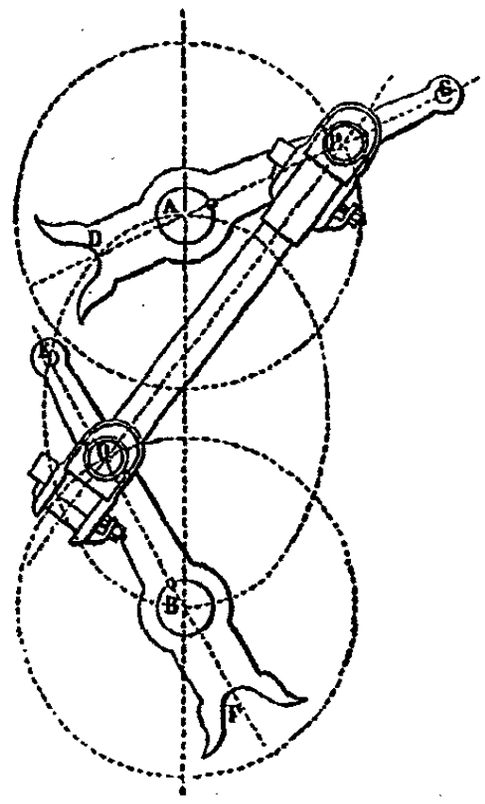


Fig. 14.

AP, BQ étant ces deux manivelles (figure 14), PQ

BIELLE.

la bielle; lorsqu'elle arrive sur la ligne des centres, on peut assurer la continuation du mouvement en sens contraire des deux manivelles, quand il n'y a pas d'action d'inertie assurant la rotation dans un sens convenable, en terminant une extrémité de chacune d'elles par un fuseau cylindrique, et le prolongement de l'autre extrémité par un creux, de telle sorte qu'il en résulte une dent d'engrenage en prise seulement lorsque la bielle est parallèle à la ligne des centres, condition qui fixe la longueur de la somme des deux appendices.

Le rapport des vitesses dans cette organe est exactement celui qui résulterait de l'emploi de deux roues elliptiques égales, l'ellipse primitive ayant pour grand axe la distance des centres, et pour excentricité la moitié de la longueur des manivelles.

En effet, en tracant la figure géométrique représentant deux ellipses tangentes (fig. 15), S et H étant les

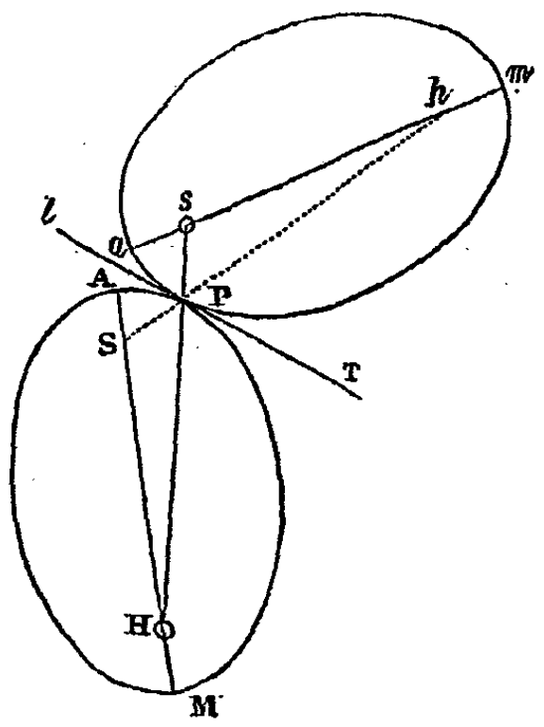


Fig. 15.

axes de rotation, on voit que, SH, *sh*, étant les distances des centres, foyers des deux ellipses, $Sh = sH$, à cause de la symétrie parfaite autour de la tangente qui résulte de la nature de l'ellipse, c'est-à-dire que la longueur de la ligne qui joint les foyers mobiles est toujours égale à la distance des centres, et par suite constante. Si donc cette ligne devient la bielle, et si l'on établit deux manivelles de longueur égale à l'écartement des foyers, on aura nécessairement le même mouvement qu'avec deux ellipses, dont le grand axe serait égal à la distance des centres, et l'excentricité, la demi-distance des foyers, $e = \sqrt{a^2 - b^2}$, a et b étant les deux demi-grands axes, égale à la moitié de la longueur des manivelles.

La variation des vitesses s'étendra donc de AH à aS ou de $a + e$ à $a - e$,

et, inversement, donnant un maximum et un minimum, et le rapport s'obtiendra en chaque instant avec facilité, en relevant le point d'intersection de la ligne des centres avec la bielle, dont les deux parties seront toujours les deux rayons vecteurs menés des deux foyers au point commun aux deux ellipses.

4° *Mouvements circulaires alternatifs en circulaires alternatifs.* Toutes les fois que la bielle est trop courte, relativement à la distance des centres, pour qu'une révolution complète soit possible, elle ne peut plus servir qu'à la transmission de mouvements circulaires alternatifs. Elle est ainsi employée fréquemment dans les mécanismes dits systèmes articulés, qui se rapprochent, à la seule exception de la fixité absolue des axes de rotation, des système articulés qui entrent dans la charpente osseuse des corps vivants.

La théorie de ce cas particulier ne diffère évidemment pas de celle qui a été donnée ci-dessus; le rapport des vitesses en chaque instant est le même, que le mouvement de rotation se continue ou ne se continue pas suivant un arc plus ou moins long, à partir du point considéré.

Combinaison des bielles. Bien que d'un usage fréquent dans la pratique, les combinaisons de bielles ont été l'objet de peu d'études théoriques. Elles seraient cependant utiles, car il s'agit de mouvements doués de propriétés particulières résultant des lois du mouvement de ces systèmes. Nous le montrerons par l'étude des trois problèmes suivants que nous reproduirons d'après Willis.

Obtenir avec des bielles un mouvement dont la vitesse décroisse rapidement. A, B, D sont les centres de révolution respectifs de trois balanciers A*a*, D*d* et *b*BC (fig. 16). Ces bras sont liés par les bielles *ab* et C*d*, qui complètent la transmission du mouvement de A*a* à D*d*.

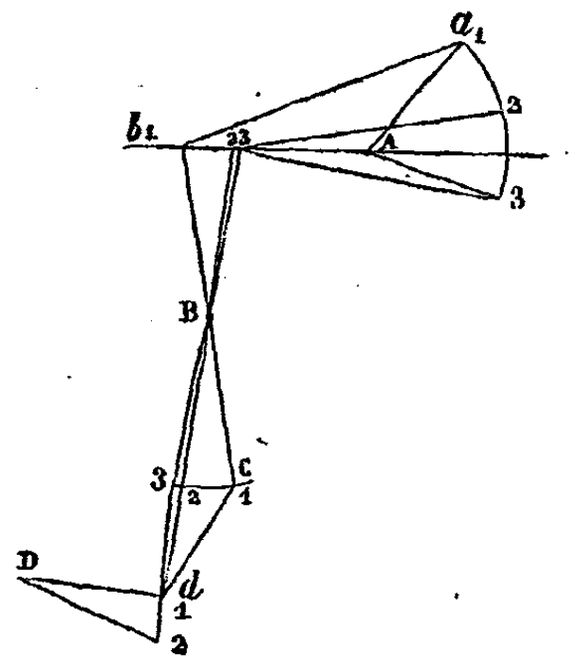


Fig. 16.

Soit l'amplitude du mouvement A*a* limitée à l'arc de cercle 1, 2, 3, partagez cet arc en deux parties égales et placez *b* A, ligne tangente au petit arc de cercle décrit par *b*, de telle sorte qu'elle coupe en deux parties égales l'angle 2 A 3, décrit par *a* en passant de 2 à 3. On sait que le mouvement du bras B*b* mû par la bielle *ab*, variera comme le sinus verse de l'angle compris entre les lignes A*a* et *b*A, A*a* remplissant le rôle d'une manivelle; donc le mouvement de *b* pendant que *a* passe de 1 à 2, sera beaucoup plus grand que celui qu'il reçoit pendant le passage du même point de 2 à 3. Les positions successives de ce mouvement sont, au reste, marquées sur la figure.

En pratique, le second mouvement est si faible que cette combinaison peut être employée même quand le bras B*b* doit rester en repos pendant la seconde partie 2, 3 du mouvement de A*a*.

Si on dispose le bras D*d* par rapport à BC, de telle sorte que la tangente à l'arc décrit par *d* coupe en parties égales le petit angle 2 B 3 décrit par C, pendant son passage de la seconde position 2 à la troisième 3, le mouvement que D*d* recevra de A*a* pendant la seconde période sera encore considérablement plus petit que le petit mouvement de B*b*. Ce mécanisme est employé dans la harpe d'Érard.

Multiplier les oscillations du mouvement alternatif en multipliant les bielles et les leviers. Si une manivelle ordinaire A*a* (fig. 17) est réunie par une bielle *ab*

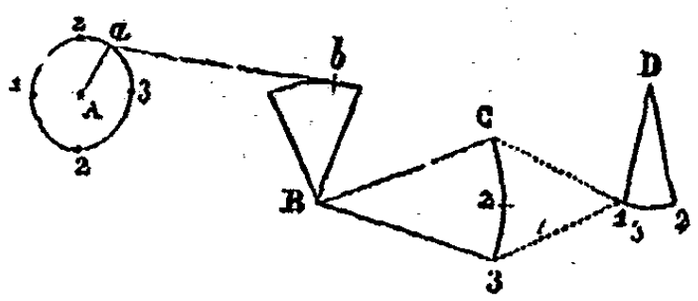


Fig. 17.

avec un levier tournant autour du centre B, chaque révolution de la manivelle produit une double oscillation du levier B*b*, et par suite aussi du levier coudé BC monté sur le même axe.

Soit un autre levier D2 joint par une bielle au levier BC, dans une position telle que la tangente à l'arc décrit par l'extrémité de D2 divise en deux parties égales l'angle décrit par BC. Les chiffres 1, 2, 3, marqués sur la circonférence décrite par la manivelle et sur les arcs décrits par BC et par D2, indiquent les positions correspondantes des pièces. Le mouvement de BC, de B_1 à B_3, dans une seule direction, produit une oscillation double complète de D2 entre les positions D 1,3 et D2, et réciproquement, comme on le voit dans la figure; une double oscillation de BC ou un tour de la manivelle produit donc deux doubles oscillations complètes de D2. Si un autre levier était assemblé à D2, de la même manière que celui-ci est réuni à BC, une révolution de la manivelle produirait quatre doubles oscillations du dernier levier, et pour un train de *n* axes, chaque révolution de la manivelle produirait 2^{n-2} doubles oscillations complètes d'un levier.

C'est cette disposition que M. Saladin a appliquée avec succès aux métiers à tisser mécaniques pour produire deux coups du battant par chaque tour de manivelle, ou au moins la disposition sensiblement équivalente que représente la figure 18 dans laquelle la bielle

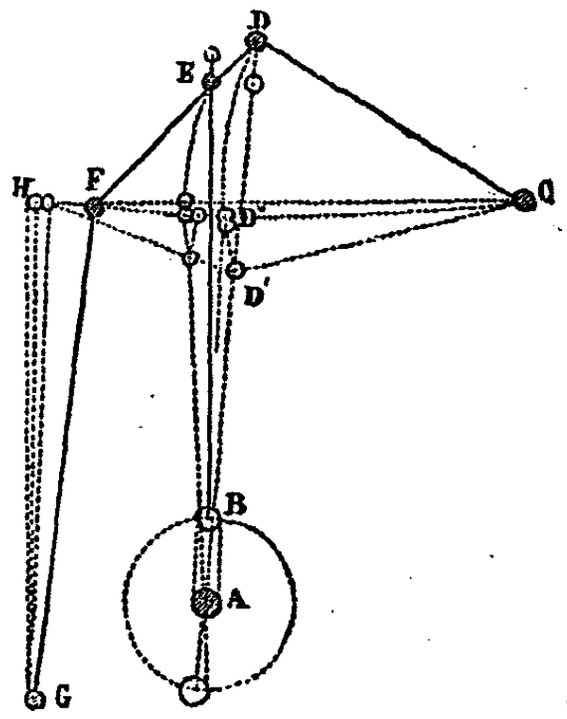


Fig. 18.

BE, mue par la manivelle AB, fait passer le levier CD au-dessus et au-dessous de l'horizontale, de telle sorte qu'à l'extrémité de chaque oscillation simple de CD et pour chaque demi-tour de la manivelle AB, GF a accompli une double oscillation et est revenu à sa position initiale.

Production d'un mouvement alternatif intermittent par des leviers et des bielles. A est le centre de rotation d'une manivelle qui par le moyen d'une bielle 2, 2 fait osciller le levier B*b* entre les positions B*b*1 et B*b*3 (fig. 49).

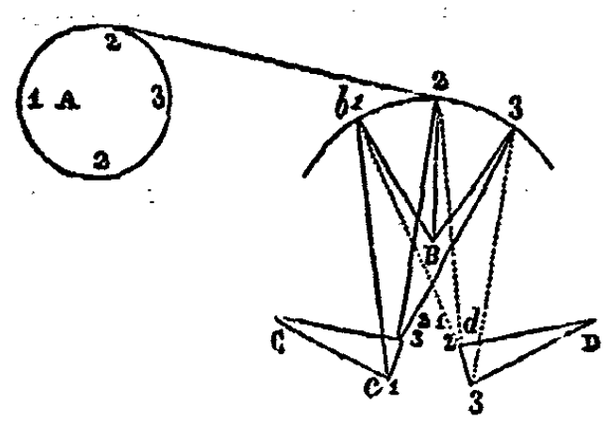


Fig. 49.

L'extrémité *b* de ce levier est assemblée non-seulement à la bielle 2, 2, mais encore aux deux autres bielles *bc* et *bd*. La bielle *bc* est réunie avec un levier C*c*, dont le centre de mouvement est en C, tel que la tangente au cercle qu'il décrit à son extrémité passe par B et coupe en deux parties égales l'angle 2 B 3. Par suite, comme précédemment, quand *b* se meut de 1 à 2, C*c* se meut de *c* 1 à *c* 2/3; mais quand *b* se meut de 2 à 3, C*c* reste sensiblement dans la position C*c* 2/3. D'un autre côté, la bielle *bd* est tracée comme la précédente; la tangente à l'arc que décrit le point *d* passe par B et coupe en deux parties l'angle 1B2; par suite, quand *b* passe de 1 à 2, D*d* reste dans la position D*d* 1/2, mais quand *b* passe de 2 à 3, D*d* passe de D*d* 1/2 à D3.

L'effet de cet arrangement est que, quand la manivelle tourne, les leviers C*c* et D*d* oscillent avec des intervalles de repos, l'un se mouvant quand l'autre est immobile, et *vice versâ*, ce qui peut être indiqué par le tableau suivant pour un tour complet de manivelle:

La manivelle se meut.	de 1 à 2, *Cc* s'élève, *Dd* reste en repos; de 2 à 3, *Cc* est en repos, *Dd* s'abaisse; de 3 à 2, *Cc* est en repos, *Dd* s'élève; de 2 à 1, *Cc* s'abaisse, *Dd* est en repos.

Une représentation graphique est excellente pour faire sentir les périodes de ces mouvements.

Soit B*b* l'axe vertical de la courbe qui représente le mouvement du levier B*b*; C*c* et D*d* les axes des courbes qui représentent les mouvements qui ont lieu en même temps des leviers C*c* et D*d*.

Portons sur l'axe B*b* une longueur égale à celle de la demi-circonférence du cercle décrit par la manivelle divisée en douze angles égaux (fig. 20); supposons que la manivelle se meut uniformément, et par les points de division menons des perpendiculaires proportionnelles aux espaces ou arcs décrits par les extrémités des leviers respectifs. Ainsi les abscisses de la courbe B*b* sont proportionnelles aux distances de l'extrémité *b* de B*b* à la position initiale B*b*1. Ces longueurs seront facilement obtenues en traçant la figure précédente à une grande échelle, pour diverses positions des leviers.

On voit que l'oscillation de B*b* est convertie en C*c* en deux doubles oscillations, l'une qui s'étend de 2 à 10 qui est grande, et l'autre de 10 à 2 qui est petite, et peut être considérée comme se confondant avec un état de repos. Les oscillations de D*d* sont semblables, mais la grande oscillation correspond à la petite de B*b*, et *vice versâ*.

On peut encore réduire, si l'on veut, les petites oscillations, en attachant (comme plus haut) un nouveau levier à chacun des leviers C*c*, D*d* du présent système. La courbe E*e* représente le mouvement de ce levier en

le supposant attaché à *Dd*; on voit que la petite oscillation disparaît alors, et que la courbe se réduit en par-

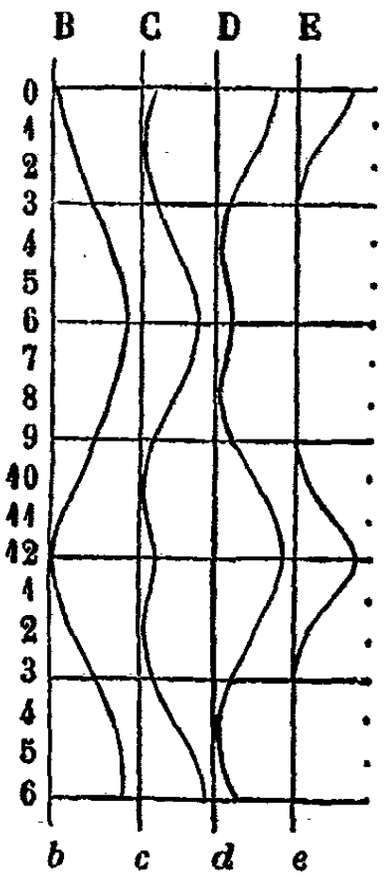


Fig. 20.

tie à une ligne droite qui se confond avec l'axe des ordonnées.

Les exemples ci-dessus indiquent les ressources que l'on peut retirer des combinaisons de leviers réunis par des bielles. Il faut observer que les pertes de temps provenant de l'élasticité de longues tiges les rendent applicables seulement lorsqu'il n'y a pas en jeu des forces trop grandes.

BIÈRE (*ang.* Beer, *all.* Bier). On donne le nom de bière à l'infusion fermentée d'orge germée, conservée et parfumée avec du houblon; mais on a étendu cette qualification à plusieurs autres boissons de qualité inférieure, telles que : la bière de sapin, la bière de genièvre, la bière de sarrasin, de mélasse, qui toutes consistent en une liqueur sucrée, ayant éprouvé une fermentation vineuse plus ou moins avancée, et parfumée avec des substances particulières.

Les anciens connaissaient la bière, et les Romains lui donnaient le nom approprié de *cervisia*, comme étant le produit des blés, don de Cérès. La plus célèbre liqueur de ce genre dans l'antiquité était la boisson pélusienne, ainsi appelée de la ville où elle était préparée, près d'une des bouches du Nil. Aristote parle de l'enivrement causé par la bière; et Théophraste la nomme très justement *le vin d'orge*. On peut aussi conclure du récit des historiens, que des boissons analogues à notre bière étaient en usage parmi les Gaulois, les Germains et presque chez tous les peuples de notre zone tempérée; et qu'elles ont toujours été le breuvage le plus répandu dans les pays où le vin n'était pas un produit abondant de l'agriculture.

De nos jours, l'usage de la bière est extrêmement répandu surtout en Angleterre, en Belgique, en Allemagne et en France; on a calculé que dans la seule ville de Londres on en produisait plus de 300 millions de litres chaque année!

Pour plus de clarté, nous divisons ce que nous avons à dire, sur l'art du brasseur, en cinq parties qui sont:

I. Des matières premières qui entrent dans la composition de la bière;

II. De la préparation du malt, ou changement que l'orge subit avant de servir dans le brassage;

III. Brassage proprement dit, ou formation du moût sucré, et infusion du houblon;

IV. Fermentation du moût;

V. Collage, maturité et conservation de la bière.

I. *Des matières premières.* Les matières premières se rangent dans deux classes bien distinctes; les unes sont destinées à fournir la substance sucrée, et par suite, la partie alcoolique de la liqueur; les autres lui donnent une saveur particulière, forte et amère, et servent à sa conservation.

Toutes les céréales pourraient être rangées dans la première classe, puisqu'elles contiennent toutes de l'amidon qui peut être transformé en sucre : c'est ainsi que l'on emploie, dans quelques circonstances, le froment, le maïs, le riz, etc.; mais l'orge, très-employée en Europe, produit la bière la plus parfaite et donne en outre des résultats économiques.

Il existe deux espèces d'orge : l'*hordeum vulgare*, ou orge commune à deux rangs, et l'*hordeum hexastichum*, ou orge à six rangs. La première est employée en Angleterre, où on en fait une énorme consommation; en France, on emploie indifféremment l'une ou l'autre qualité. La grosseur des grains d'orge et la constance de leurs dimensions sont des conditions importantes de la régularité si essentielle dans les opérations ultérieures qu'ils doivent subir, et d'ailleurs c'est en général la conséquence d'une bonne culture. Les bons grains sont durs, pleins, farineux et blancs à l'intérieur; mouillés pendant quelques minutes et remués, ils ne doivent pas développer d'odeur désagréable. Les plus pesants, à mesure égale, sont en général les meilleurs; enfin, agités et trempés dans l'eau, ils doivent presque tous tomber au fond du liquide. Avec toutes ces qualités, l'orge doit en outre, et par-dessus tout, posséder la qualité germinative, condition essentielle de la transformation de la fécule en matière sucrée.

Une des meilleures preuves de la bonne qualité de l'orge est encore l'augmentation du volume que le grain acquiert lorsqu'il est plongé dans l'eau, pendant un temps suffisant; ainsi, d'après le docteur Ure :

		Orge mouillée.
100	mesures d'orge ordinaire (hordeum vulgare) produisent.	124 mesures.
100	— d'orge à 6 rangs d'Écosse. .	121 —
100	— id —	118 —
100	— D'orge qualité supérieure de Suffolk.	183 —
100	— D'orge à 6 rangs d'Ecosse, qualité très-inférieure.	109 —

On voit quelles différences marquées existent entre le produit d'une mauvaise qualité d'orge et celui d'une excellente qualité; cette circonstance indique si bien le produit probable de l'orge germée, en bière, qu'elle est soigneusement prise en considération, en Angleterre, par les commis de l'impôt, qui établissent la base de ce dernier sur cette augmentation de volume.

En France, où l'administration permet aux brasseurs d'employer d'autres matières sucrées que celles qui proviennent de l'orge, il est évident que cette augmentation de volume serait une base tout à fait illusoire.

En Angleterre, on compte en moyenne que 100 kilogr. de bonne orge pèsent, après le mouillage, près de 146 kilogrammes; la meilleure prenant toujours le plus d'eau. Pour bien faire comprendre le rôle important que joue l'orge dans la préparation de la bière, il est nécessaire d'entrer dans quelques détails sur la composition de cette céréale et sur les modifications qu'elle peut subir, lorsqu'elle est exposée à certaines influences.

L'orge est composée d'amidon, de gluten, d'une pe-

tite quantité de glucose et de dextrine, d'albumine d'une matière grasse, de son, d'eau et de quelques sels terreux en très faible proportion. Ce qu'il nous importe surtout de considérer ici, c'est l'amidon ; toutes les autres matières, et en particulier le gluten et l'albumine, ont très probablement une certaine influence sur la qualité de la bière, influence qui n'est pas très connue, mais qui n'en est pas moins réelle, puisque, avec la fécule ou même l'amidon seuls, il est impossible de préparer de la bière de qualité même ordinaire ; quoiqu'il en soit, c'est l'amidon qui doit fournir la partie sucrée, et par suite l'alcool contenu dans la liqueur. Pour que l'amidon de l'orge puisse se changer en substance sucrée, il faut développer dans les grains de cette céréale une substance, la DIASTASE, qui possède à un très haut degré la propriété de rendre soluble l'amidon en le transformant en dextrine, puis en sucre. Ce principe naturel, découvert par MM. Payen et Persoz, se développe pendant la germination des céréales, des pommes de terre ; il rend soluble l'amidon qu'elles renferment, et lui permet ainsi d'alimenter les jeunes tiges de la plante. C'est donc en faisant germer l'orge, et en arrêtant la germination au moment convenable, et que nous indiquerons plus tard, que le brasseur parvient à se procurer la matière sucrée nécessaire à la préparation de la bière.

L'orge et les quelques céréales que l'on emploie quelquefois, ne sont pas les seules matières premières dont on fait usage pour obtenir la partie alcoolique de la bière. En France surtout, on emploie aussi, et trop fréquemment peut-être, des matières sucrées, telles que les mélasses, sucre de fécule et glucose, etc. L'emploi de ces substances produit évidemment des résultats économiques ; mais d'un autre côté si l'on en abuse, la qualité de la bière en souffre nécessairement.

La loi interdit formellement, en Angleterre, l'emploi des substances sucrées, autres que celles qui proviennent des céréales ; cela découle évidemment du mode de perception de l'impôt qui est employé dans ce pays, et qui a pour base, comme nous l'avons déjà dit, l'augmentation de volume, que l'orge éprouve par le mouillage.

Dans la seconde classe des matières premières, se rangent, nous le répétons, les substances destinées à conserver et à parfumer la bière. La plus estimée, et même la seule employée aujourd'hui, est le houblon.

Le HOUBLON (*humulus lupulus*) est une plante grimpante à racines vivaces, qui appartient à la famille des *urticées* ; ce sont les fleurs femelles de la plante, ou cônes de houblon, qui sont recueillies et employées dans la préparation de la bière.

La partie utile du houblon est une substance jaune, pulvérulente, très aromatique qui revêt les écailles des cônes, et qui forme au moins le huitième de leur poids. Cette sécrétion pulvérulente peut facilement se recueillir, il suffit pour cela de sécher à une douce température les folioles du houblon puis de les remuer au-dessus d'un tamis de crin ; la poudre séparée des matières étrangères traverse les mailles. MM. Payen et Chevalier qui l'ont analysée l'ont trouvée composée de :

Huile essentielle ;
Résine ;
Au moins une matière azotée ;
Une substance amère ;
Idem, gommeuse.

Ils y ont en outre trouvé des traces d'acétate d'ammoniaque, de soufre, de silice, de chlorure de calcium, de sulfate et de malate de potasse, de phosphate et de carbonate de chaux, enfin d'oxyde de fer.

En procédant à la séparation de cette sécrétion jaune, par le procédé que nous avons indiqué plus haut, MM. Payen et Chevalier ont trouvé les résultats suivants en traitant divers houblons :

Espèces de houblon.	*Sécrétion jaune.*
Houblon de Poperingue (Belgique). .	18,00 p. 100
— d'Amérique vieux. . . .	16,90 «
— de Bourges.	16,00 «
— de l'Etang de Crécy. . .	12,00 «
— de Busignies.	11,50 «
— des Vosges.	11,00 «
— d'Angleterre vieux. . . .	10,00 «
— de Lunéville.	10,00 «
— de Liège.	9,00 «
— d'Aloste (Belgique). . .	8,00 «
— de Spalte (Allemagne). . .	8,00 «
— de Toul (Meurthe). . . .	8,00 «

Ce tableau fait voir combien peut varier la qualité des houblons que l'on trouve dans le commerce, et de quel intérêt il est pour le fabricant de s'assurer de cette qualité avant de faire des achats de cette matière première qui est toujours à un prix élevé. On remarquera en outre que les houblons de France sont peu riches en matière utile, cela tient aux procédés d'emballage qui sont généralement moins perfectionnés qu'en Angleterre et qu'en Amérique ; et qui cependant ont une très grande influence sur la conservation des propriétés du houblon. Par des procédés qu'il n'entre pas dans notre cadre de décrire ici, MM. Payen et Chevalier sont parvenus à extraire de la sécrétion jaune une substance qu'ils ont appelée lupuline, et à laquelle ils attribuent la plupart des propriétés du houblon ; cette matière amère et aromatique, lorsqu'elle est chauffée, est très soluble dans l'alcool ; l'eau en dissout 5 p. 100 de son poids, ce qui explique comment on parvient à l'incorporer dans la bière, au reste l'huile essentielle qui accompagne la lupuline joue très probablement aussi un certain rôle dans la conservation de la bière.

Aussitôt après la récolte du houblon, tous les soins doivent se porter sur la dessiccation et l'emballage des folioles ; on se contente généralement d'étendre les cônes dans de vastes greniers où on les retourne chaque jour avec un rateau, jusqu'à ce qu'ils aient atteint le degré convenable de siccité ; en Alsace où l'on s'occupe activement de la culture de houblon, on rend cette dessiccation plus rapide en exposant le houblon sur des cadres garnis de treillages en cordes, et distants les uns des autres de 33 centimètres. Ces procédés de dessiccation à l'air libre ont l'inconvénient d'exiger beaucoup de temps et d'être soumis aux influences atmosphériques ; lorsque l'air est humide la dessiccation peut se prolonger, et pendant tout ce temps le houblon perd nécessairement de ses propriétés. — On obtiendrait des résultats meilleurs et beaucoup plus réguliers, en opérant la dessiccation à une douce température dans une étuve à courant d'air chaud ; on pourrait employer à cet effet des tourailles ordinaires (voyez plus loin, même article) ou bien les étuves perfectionnées que l'on emploie dans d'autres fabrications ; dans tous les cas, la température ne devra jamais s'élever au-dessus de 30° centigrades. Cette question a beaucoup occupé en Angleterre les producteurs de houblon, plusieurs appareils ont été imaginés qui paraissent devoir donner de très bons résultats. Il faut encore avoir la précaution, lorsque la dessiccation a été produite dans une étuve, de laisser le houblon séjourner quelques jours dans un grenier, afin qu'il reprenne à l'atmosphère une très petite quantité d'eau, qui est destinée à l'assouplir et à l'empêcher de se briser et de se réduire en poussière lorsqu'on l'emballe.

L'emballage des cônes de houblon desséchés est une des opérations qui influent le plus sur la conservation plus ou moins longue de cette matière première ; on doit même lui attribuer la cause des énormes différences qui existent entre la valeur des houblons anglais et ceux de France après quelques années de garde. Les premiers

conservent pendant très longtemps une grande partie de leurs propriétés; les seconds au contraire ont généralement perdu presque toute leur valeur au bout de 3 ou 4 années au plus.

En France on se contente le plus souvent d'emballer le houblon en le foulant avec les pieds dans des sacs; sous cette légère pression il reste de nombreux interstices, à travers lesquels l'air peut circuler librement; il entraîne peu à peu l'huile essentielle, l'oxygène et plusieurs autres principes dont il détruit les propriétés.

En Angleterre, au contraire, après avoir bien tassé le houblon dans de forts sacs tendus dans des formes, on le soumet à l'action énergique d'une presse hydraulique; dans cette opération, les cônes sont tellement pressés les uns contre les autres que l'air et l'humidité n'y pénètrent qu'avec la plus grande difficulté. Malgré toutes ces précautions le houblon perd toujours de sa valeur en vieillissant; mais il la perd d'autant moins rapidement que l'emballage a mieux été fait.

Les meilleurs houblons ont une couleur jaune d'or, de grands cônes et une odeur agréable; lorsqu'on les frotte entre les mains, ils y laissent des traces jaunes très odoriférantes sans aucune parcelle de la plante; on peut du reste s'assurer directement de la proportion de la sécrétion jaune, au moyen du procédé que nous avons indiqué plus haut.

En Angleterre, les houblons les plus beaux, les plus pâles et les plus parfumés, sont emballés dans des sacs de beau canevas, qu'on appelle poches et qui, remplis, pèsent environ 76 kilogr.; ils sont destinés aux brasseurs d'ale. Les houblons, de couleur foncée et à parfum très fort, sont emballés dans des sacs d'un tissu grossier et qui peuvent contenir environ 152 kilogr.; ils sont vendus aux brasseurs de bière forte et de porter. Dans ce pays, les plus beaux houblons croissent dans les environs de Canterbury; ceux de Worcester ont un agréable et doux parfum très estimé par beaucoup de buveurs d'ale.

Le houblon étant un produit d'une assez grande valeur, on a cherché à diverses reprises à remplacer sa substance amère au moyen de la décoction d'autres substances. Les huiles essentielles tirées des écorces d'arbres résineux, les décoctions du buis, de la gentiane, etc., ont été tour à tour essayées. Quelques-unes de ces matières sont vénéneuses, les autres tout en remplaçant l'amertume du houblon ne suppléent pas à son parfum; on peut donc dire que leur emploi est condamnable, surtout lorsque la question d'argent est la seule raison qui détermine le brasseur à les employer.

II. *Préparation du malt.*—Le maltage est l'opération qui doit, par le développement de la diastase, amener le grain à un état tel qu'il puisse se dissoudre dans l'eau et donner une liqueur sucrée et propre à la fermentation. En France, le brasseur prépare lui-même son malt; mais en Angleterre, où la bière se fabrique sur une échelle immense, le maltage est une industrie tout à fait séparée, qui s'exerce généralement loin des villes, et dans les pays riches en céréales.

La préparation du malt comprend 4 opérations successives :

1° Le mouillage destiné à ramollir le grain et à le rendre ainsi propre à la germination.

2° La germination qui doit développer la diastase.

3° La dessiccation de l'orge germée dans les tourailles, opération qui a pour but d'arrêter la germination et de conserver le grain.

4° Enfin le broyage ou concassage de l'orge desséchée.

1° Le *mouillage* se fait dans de grandes citernes en bois ou en pierre que l'on remplit d'eau jusqu'à une certaine hauteur, et dans lesquelles on verse l'orge en quantité telle qu'elle soit toujours recouverte d'une couche de 1 à 2 décimètres d'eau. Après avoir bien remué avec des rateaux en bois, on laisse reposer; le bon grain qui est plus lourd que l'eau, gagne le fond, le mauvais surnage; on doit l'enlever avec une écumoire, parce qu'il altérerait la qualité du malt et pourrait contribuer à donner un mauvais goût à la bière; sa proportion s'élève rarement à plus de 2 p. 100 de la totalité de l'orge.

Durant le mouillage le grain s'imbibe d'eau; lorsqu'il est de bonne qualité il en prend à peu près la moitié de son poids, et son volume augmente environ d'un cinquième.

A la longue l'eau acquiert une teinte jaunâtre et une odeur de paille par la dissolution de quelques matières; dans un temps chaud, et lorsqu'elle s'est chargée de ces substances solubles, elle ne tarderait pas à provoquer une fermentation très nuisible à la qualité de l'orge, si on n'avait le soin de la renouveler au moins une ou deux fois pendant la durée du mouillage. Dans tous les cas, ce changement d'eau doit se faire toutes les fois qu'on s'aperçoit que le liquide acquiert un goût acidulé. L'eau se retire de la cuve, au moyen d'un robinet placé près du fond; un torchon de paille placé à l'orifice empêche que le grain ne soit entraîné par l'eau.

La durée du mouillage dépend de la température extérieure, elle est plus courte dans les temps chauds que dans les temps froids; elle est plus grande pour l'orge nouvelle que pour la vieille orge qui s'imbibe rapidement. Selon ces circonstances la durée varie de 40 à 60 heures.

Le mouillage a pour but de préparer le grain à la germination, de la même manière que l'humidité de la terre prépare et active l'accroissement de la radicule et de la plumule du grain que l'on a semé.

Un mouillage trop prolongé serait préjudiciable, parce qu'il altérerait la radicule, enlèverait au grain une partie de sa puissance de végétation, et causerait en définitive une perte de matière.

On reconnaît que le ramollissement est suffisant, lorsque le grain bien enflé partout, peut être aisément transpercé avec une aiguille. L'épreuve suivante est aussi considérée comme bonne. Lorsque l'orge, pressée entre le pouce et les doigts, continue à rester entière dans son enveloppe, c'est qu'elle n'est pas suffisamment trempée; mais si au contraire sa farine s'épanche sur les doigts, elle est arrivée au point convenable. Quand la substance exsude sous la forme d'un jus laiteux, le mouillage a été trop longtemps prolongé et l'orge a perdu une partie de ses propriétés.

Lorsque l'orge est suffisamment gonflée, on la lave par une dernière aspersion d'eau froide, que l'on fait écouler de suite; cette eau entraîne une matière visqueuse qui se développe surtout lorsque la température extérieure est élevée. On laisse alors égoutter le grain pendant 8 ou 10 heures, puis on le retire par une large trappe adaptée sur le fond de la cuve.

2° *Germination.* L'orge extraite de la cuve *mouilloire* est immédiatement disposée en couches de 30 à 40 centimètres d'épaisseur, et on la laisse à cet état pendant 24 heures. C'est à ce moment que le grain a acquis son plus grand volume, et c'est aussi à cette période du travail que les commis de l'impôt, en Angleterre, le jaugent. Le *germoir* est une grande pièce, dont le sol doit être construit en matériaux imperméables; un dallage en larges pierres ou en briques, à joints parfaitement cimentés, convient très bien; une couche de mastic bitumineux peut encore être employée avec succès pour former ce sol. Le germoir doit être autant que possible à l'abri des changements de température, il convient donc, si faire se peut, de le disposer au-dessous du niveau du sol.

Peu de temps après que l'orge a été étendue en couche de 30 à 40 centimètres sur le sol du germoir, la température s'élève peu à peu dans l'intérieur du tas, tandis qu'il s'en exhale une odeur agréable de fruit; si

dans ce moment on plonge la main dans le tas, non seulement elle est impressionnée par la chaleur; mais encore elle est humectée, quoiqu'à l'extérieur de la couche l'orge paraisse sèche; à cet état de transpiration, la germination commence, et aussitôt que chaque grain laisse apparaître une protubérance blanchâtre, on s'empresse de défaire le tas et de disposer l'orge en couches plus minces; tout le talent de l'ouvrier malteur consiste alors à modérer la germination qui tend à marcher avec une grande rapidité, et surtout à la rendre aussi uniforme que possible; il faut qu'à la fin du travail tous les grains se trouvent à peu près dans le même état; si cela n'était pas on pourrait éprouver des déchets considérables. Le malteur obtient cette régularité en variant l'épaisseur de la couche, qu'il rend de plus en plus faible, jusqu'à ce qu'elle n'ait plus à la fin que 10 centimètres, et en retournant l'orge de temps en temps, afin que tous les grains occupent tantôt le centre, tantôt la surface de la couche, lorsque celle-ci n'a plus que 10 centim., on doit pelleter, en été surtout, 2 et même 3 fois par jour; les ouvriers qui procèdent à ce travail marchent pieds nus, ou chaussés de larges sandales en bois, afin d'éviter d'écraser ou de meurtrir les grains.

La protubérance blanchâtre qui apparaît quelque temps après que l'orge a été mise en tas de $0^m,40$, est produite par la radicule qui sort immédiatement du grain, et qui est le premier indice de la germination; cette radicule se sépare bientôt en trois ou plusieurs radicules qui croissent rapidement. Vingt-quatre heures environ après l'apparition de la radicule, la gemmule perce au même point; mais au lieu de se développer à cette extrémité, elle s'engage sous la cosse et se dirige vers l'extrémité opposée où elle ne tarderait pas à percer et à s'épanouir sous la forme d'une feuille verte, si on n'arrêtait pas à temps la germination.

L'expérience a prouvé que la plus forte proportion de diastase était formée au moment où la gemmule, après avoir parcouru toute la longueur du grain, est prête à en sortir et à se transformer en tigellule; si on dépassait cette limite extrême, comme la tigellule se nourrit aux dépens de la partie utile du grain, on risquerait d'avoir un déchet très considérable.

De peur de dépasser cette limite, il est même convenable d'arrêter la germination au moment où la gemmule est arrivée à peu près aux deux tiers de la longueur du grain; à cet instant, la quantité de diastase développée, quoique plus faible que dans le premier cas, est encore plus que suffisante pour transformer en sucre ce qui reste d'amidon dans l'orge germée. Nous verrons plus loin comment on parvient à arrêter brusquement la germination au moment voulu.

Pour que la germination réussisse bien, il ne suffit pas de prendre toutes les précautions que nous avons indiquées, il faut encore que la température extérieure ne soit ni trop élevée, parce qu'on ne serait pas maître de modérer la puissance de végétation; ni trop basse, parce qu'alors la germination serait au contraire extrêmement lente. Le printemps et l'automne sont donc les saisons les plus favorables à la préparation du malt; du reste, nous le répétons, on peut en partie suppléer aux différences que présentent les saisons, en ayant des germoirs qui soient à l'abri des influences atmosphériques, et surtout des changements de température.

La durée de la germination dépend donc nécessairement de la position du germoir et de la température extérieure; elle varie dans des limites assez éloignées; en France elle dure en moyenne 10 à 12 jours, en Angleterre 14 à 15 jours, et en Ecosse, où la température est plus basse, 18 à 21 jours sont quelquefois nécessaires

Durant la germination un changement remarquable a eu lieu dans la composition du grain; le gluten a presque entièrement disparu; il est probable qu'il a passé dans les radicules, qui sont en effet très azotées; d'un autre côté, la petite proportion de diastase qui s'est développée a transformé près de la moitié de l'amidon du grain en sucre ou en dextrine; le reste de l'amidon étant plus tard placé dans de bonnes conditions d'hydratation et de température, est saccharifié par la diastase; du reste l'intérieur du grain est d'une grande blancheur, et sa substance est devenue si friable qu'elle se réduit en farine lorsqu'on le presse entre les doigts.

Ajoutons que, comme dans toute végétation, pendant la germination de l'orge, il y a de l'oxygène absorbé et il se dégage de l'acide carbonique; c'est à ces réactions qu'est due évidemment la chaleur qui se développe à l'intérieur des couches.

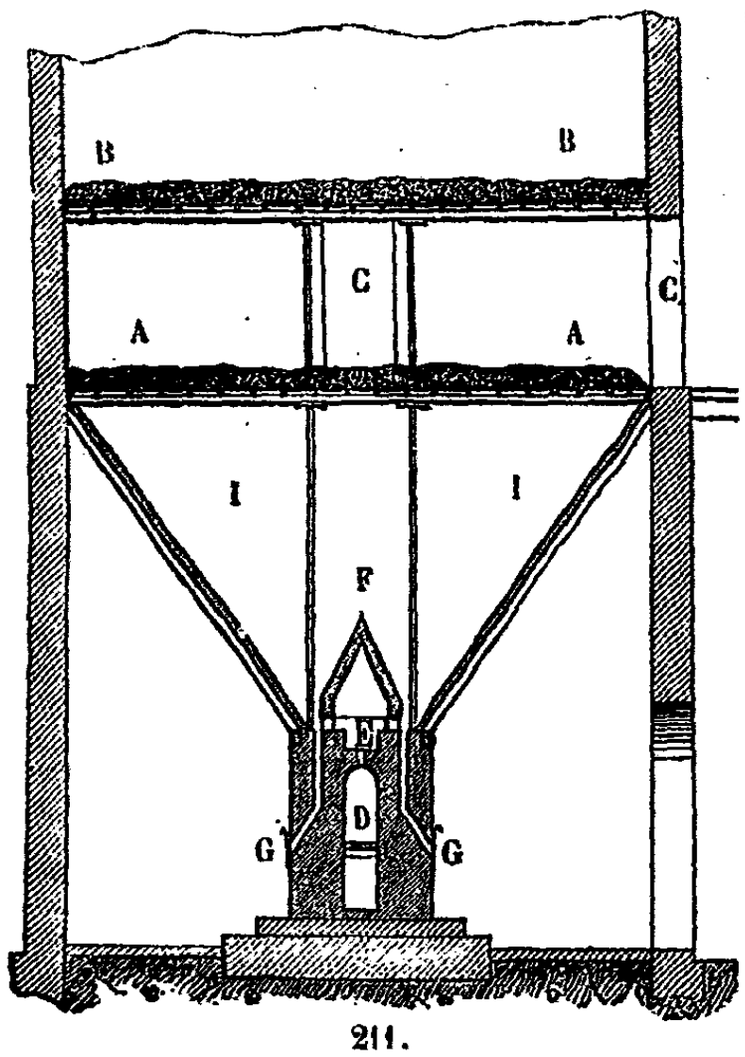
3° *De la dessiccation*. Aussitôt que l'on reconnaît que la germination est arrivée aux limites convenables, il faut l'arrêter sur-le-champ, en enlevant toute l'humidité du grain et en tuant le germe par une température assez élevée; cette température qui s'obtient dans des appareils que l'on nomme *tourailles*, a encore pour résultat, en desséchant complétement le grain, de permettre de conserver le malt pendant plusieurs mois sans altération sensible. Pour obtenir ce résultat, l'orge germée est élevée dans un grenier bien aéré, et placé immédiatement au-dessus du germoir; là, on l'étend en couche de 1 décimètre d'épaisseur et on l'abandonne à elle-même pendant quelques heures, jusqu'à ce qu'elle ne mouille plus les mains au toucher; elle peut alors être portée sur l'aire de la touraille. Les appareils que l'on a employés pour dessécher l'orge sont nombreux, et dans ces derniers temps surtout, on s'est appliqué à rendre cette dessiccation rapide et méthodique, sans toutefois altérer le grain en aucune manière. Avant de décrire ces appareils, donnons en quelques mots les principes généraux sur lesquels ils doivent s'appuyer.

Au moment où l'on commence la dessiccation, l'orge retient encore beaucoup d'eau; il ne faut donc pas élever de suite sa température au-dessus de 50°, car l'amidon que contient encore le grain formerait un empois qui, se durcissant par la chaleur, résisterait plus tard à l'action dissolvante de la diastase. Lorsque la plus grande partie de l'eau est évaporée, on peut alors pousser la température jusqu'à 80 et même 85° centigrades; mais dans aucun cas on ne devra atteindre 100°, car à cette température la diastase serait détruite, et par conséquent l'orge ne conviendrait plus à la préparation de la bière; elle ne pourrait plus servir qu'à la colorer. Ajoutons que pendant tout le temps de la dessiccation, l'orge doit être fréquemment retournée, afin que toutes ses parties se trouvent successivement dans les mêmes conditions de température.

La touraille la plus simple, la plus ancienne, et peut-être aussi la plus défectueuse, est celle qui est encore généralement en usage à Paris; elle se compose ordinairement d'une plate-forme carrée, qui peut avoir de 4 à 7 mètres de côté, selon l'importance de la fabrication, et qui est formée de plaques en tôle percées d'un grand nombre d'orifices, ou mieux de toiles métalliques qui laissent traverser plus uniformément la chaleur; les unes ou les autres sont supportées sur des barres de fer qui vont s'engager dans les parois qui environnent cette plate-forme. Ce plancher métallique est à la base d'une pyramide rectangulaire renversée, au sommet tronqué de laquelle se trouve le foyer; la distance du foyer à la plate-forme, ou si l'on aime mieux, la hauteur de la pyramide, est de 4 à 6 mètres à peu près. Le foyer est recouvert d'une voûte, qui s'échauffant à une température rouge produit l'effet utile de brûler la fumée que développe la combustion. Cette voûte est percée d'orifices par lesquels s'échappent les produits de la combustion, et elle est d'ailleurs recouverte d'une espèce de toit en briques qui est destiné à empêcher que les radicules qui passent à travers les orifices de la

plate-forme ne tombent sur la voûte et dans le feu, et n'y produisent de la fumée.

Voici au reste la description de cet appareil dessiné fig. 211 : A A, est la plate-forme en tôle percée, ou en



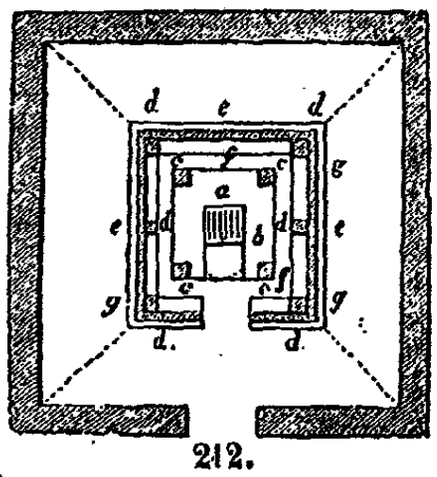
211.

toile métallique; B B, est une seconde plate-forme semblable à la première, dont nous indiquerons l'usage plus loin, et qui d'ailleurs n'existe pas ordinairement dans les tourailles. C, porte qui permet d'entrer sur la plate-forme et d'y disposer le grain en couche de 6 à 7 centimètres; D, foyer de la touraille; E, voûte en briques réfractaires et percée de trous qui recouvre le foyer; F, toit en briques qui surmonte la voûte et qui rejette de chaque côté les radicules; G, conduits latéraux qui reçoivent les radicules et les rejettent au dehors; ces conduits permettent en outre à l'air extérieur de s'introduire dans l'espace vide I I, et de s'y mêler avec les produits de la combustion du foyer, qui s'y rendent aussi au sortir de la voûte. On comprend qu'en augmentant ou en diminuant à volonté l'introduction de l'air, au moyen de petits registres, disposés à l'orifice extérieur du canal G, on peut ainsi faire varier la température de l'air qui doit traverser la plate-forme A. L'espace II, est donc ménagé à dessein, pour qu'il se forme un mélange des produits de la combustion et de l'air extérieur; ce mélange traverse ensuite la toile métallique et la couche d'orge, et entraîne l'eau à l'état de vapeur; une cheminée qui surmonte la touraille est destinée à évacuer l'air humide qui est sans cesse renouvelé.

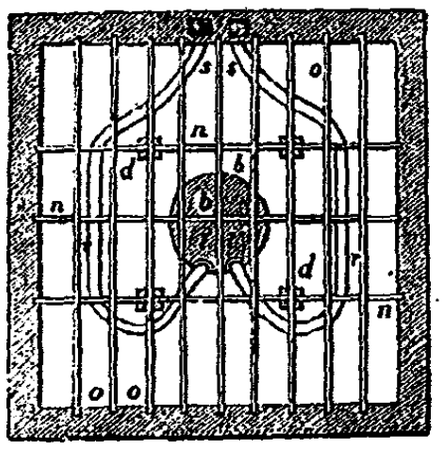
Cette touraille présente plusieurs inconvénients; le plus grave provient du contact direct des produits de la combustion avec l'orge; contact qui doit nécessairement contribuer à donner un mauvais goût au malt. Pour diminuer autant que possible cet inconvénient, on est obligé de brûler des combustibles donnant peu de fumée, comme la houille de Fresne, et les bois de hêtre, de charme ou d'orme, dans quelques localités. D'un autre côté, la dessiccation de l'orge n'étant pas méthodique dans cet appareil, on est obligé de surveiller avec soin la conduite du feu, afin que la température de l'air. très faible dans le commencement de la dessiccation, augmente graduellement jusqu'à la fin.

Dans quelques localités, on a voulu remédier à ce dernier inconvénient en ajoutant à la touraille une deuxième plate-forme B B (voyez la fig. 211), au-dessus de la première, et semblable à celle-ci. Les deux plates-formes sont couvertes de grains, et l'air chaud après avoir traversé la première couche passe encore au travers de la deuxième, et se saturant davantage d'eau en vapeur est mieux utilisé; outre cette cause d'économie, on obtient une dessiccation plus méthodique et plus graduée. En effet, le plancher supérieur reçoit toujours le grain plus humide, et sa dessiccation commence tandis que celle de la couche inférieure finit. On risque beaucoup moins de détériorer le grain par une élévation accidentellement trop forte de température, puisque le grain le plus chauffé est celui qui contient le moins d'eau. Pour faire passer le malt de l'étage supérieur à l'étage inférieur, il suffit d'ouvrir une trappe, par laquelle on laisse tomber le grain.

En Angleterre, on a évité de mettre en contact direct les produits de la combustion avec le malt, en employant l'appareil ci-dessous, dont nous allons donner la description.



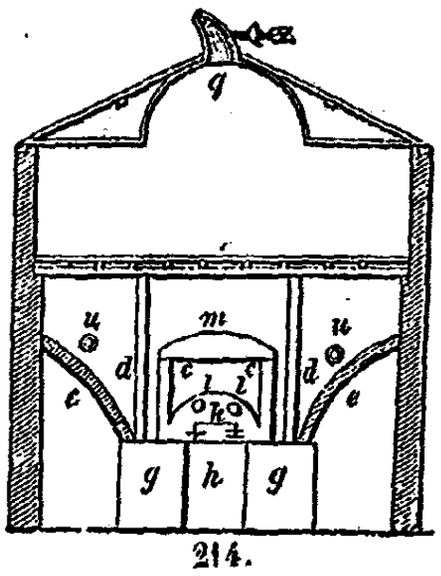
212.



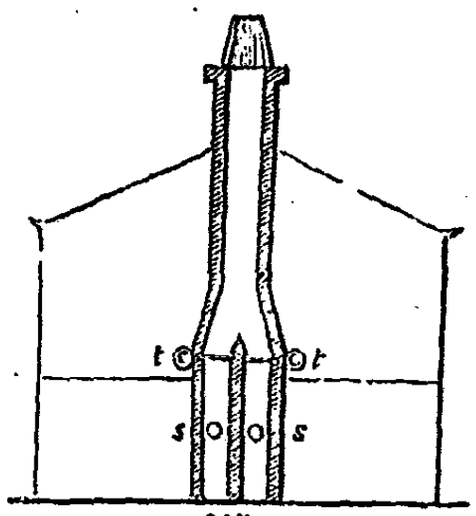
213.

Les fig. 212, 213, 214 et 215, représentent différentes coupes de la touraille. La fig. 212 est une coupe horizontale, prise à quelque distance du sol; la fig. 213 est une coupe horizontale prise au-dessus du plancher; la figure 214 est une section verticale; enfin la figure 215 est une section verticale passant par la cheminée où se rendent les produits de la combustion. Dans ces quatre figures, les mêmes lettres indiquent les mêmes objets. Au centre de la touraille se trouve une cloche en fonte *ll*, supportée sur un mur en briques; au-dessous de la cloche est placée la grille *a*, et au-dessous de celle-ci le cendrier *h*. La porte *k* permet d'introduire le combustible dans le foyer; la fumée et les produits de la combustion, au lieu de se rendre, comme dans les tourailles ordinaires, dans l'espace vide ménagé au-dessous des planchers, sont dirigés dans deux tubes semblables *r*, *r* (fig. 213), et *u*, *u* (fig. 214), qui circulent dans cet espace. Au-dessus de la cloche se trouve un petit toit *m*, supporté par les piliers *c*, *c*, *c*, *c*, qui empêche les radicules de tomber sur cette cloche et de produire de la fumée. *d*, *d*, *d*, *d* sont 4 piliers en briques qui servent de supports aux barres de fer sur lesquelles reposent les plaques de tôle ou la toile métallique. *e*, *e*, sont les quatre parois arc-boutées, qui isolent l'espace libre réservé entre le foyer et la plate-forme. On comprend maintenant que cet appareil anglais consiste simplement à chauffer l'air qui doit traverser la couche d'orge, au contact des tuyaux en fonte *r*, *u*, dans lesquels circule la fumée; celle-ci n'a aucune communication avec cet air, et elle se rend dans une

cheminée s s (voyez fig. 215), qui la lance dans l'atmosphère; il est évident que dans cet appareil on peut brûler tous les combustibles, même ceux qui donnent beaucoup de fumée, et que la qualité de l'orge ne peut pas en souffrir. Un reproche cependant doit être fait à cette disposition; il est évident en effet que dans le faible parcours, indiqué par la longueur des tuyaux, la fumée ne peut communiquer qu'une faible partie de sa chaleur; la dépense en combustible est donc plus considérable qu'avec les anciens appareils. En France, où cette dépense doit être prise en plus grande considération qu'en Angleterre, puisque le combustible y est beaucoup plus cher, on a modifié très heureusement l'appareil anglais en produisant l'air chaud, à part, dans un bon calorifère, puis en l'envoyant sous le plancher de la touraille. M. Chaussenot, qui s'est occupé avec succès de cette question, a établi de cette manière plusieurs tourailles qui donnent de bons résultats.



214.



215.

Une autre disposition, que l'on emploie surtout pour préparer le *malt pâle*, consiste à remplacer les tubes où circulent les produits de la combustion par des tubes à vapeur ou à courant d'air chaud que l'on dispose en zig-zag, au-dessous de la plate-forme; en adoptant ce chauffage on est toujours certain que la température de l'air ne s'élèvera pas trop haut.

Dans toutes les tourailles que nous avons décrites, il est nécessaire, pour activer la dessiccation et pour la rendre uniforme, de retourner plusieurs fois l'orge pendant le courant de l'opération. La durée de la dessiccation varie évidemment suivant les appareils; elle est beaucoup plus prompte lorsque la dessiccation se fait méthodiquement, puisqu'on ne risque jamais d'altérer le grain au commencement de l'opération. Dans les tourailles ordinaires elle dure ordinairement près de 48 heures. Quant à la température maximum elle varie suivant la nature du malt que l'on veut obtenir; en Angleterre on en prépare 3 sortes bien distinctes, auxquelles on a donné des noms particuliers : 1° Le malt pâle est produit lorsque la plus haute température à laquelle il ait été soumis ne dépasse pas 40° centigr.; 2° le malt jaune ambré est produit à une température maximum de 50° centigr.; 3° le malt brun est obtenu à une température beaucoup plus haute et qui dépasse certainement 100°, puisqu'il y a caramélisation. Enfin, dans quelques circonstances, on prépare un malt noir obtenu à une haute température, que l'on travaille à part, et qui est employé par le brasseur de porter pour colorer sa bière lorsqu'elle n'a pas la teinte convenable.

Pendant la dessiccation de l'orge, les radicules de l'orge deviennent fragiles et se séparent du grain avec la plus grande facilité; une partie passe à travers la toile métallique de la touraille, comme nous l'avons déjà indiqué; on débarrasse l'orge du reste, en la faisant passer dans un tarare ordinaire.

Cent parties d'orge de bonne qualité, convenablement maltée, puis séchée, doivent donner 80 parties à peu près de malt; le grain cru, séché avant la germination, ne perd que 12 p. 100 de son poids; c'est donc en définitive 8 parties seulement, ou 8 p. 100 de l'orge crue qui forment le déchet dans la préparation du malt. Voici comment on peut répartir cette perte sur les différentes opérations :

1 1/2 p. 100, dissous par le mouillage.
3 p. 100, perte de la germination et du tournillage.
3 p. 100, radicules enlevées, soit par la dessiccation, soit par le passage au tarare.
1/2 p. 100 de grain gâté.

Au contraire, le volume d'un bon malt doit excéder celui de l'orge dont il provient d'environ 8 à 9 p. 100.

La bonne préparation du malt a la plus grande influence sur la quantité et la qualité des produits; tous les soins du malteur doivent donc se réunir pour obtenir un mouillage suffisant, une germination ni trop incomplète, ce qui rendrait difficile l'opération de brassage, ni trop avancée, ce qui détruirait une partie du principe saccharin, et donnerait un mauvais goût à la bière; enfin une dessiccation fondée sur les principes que nous avons énoncés.

Voici au reste à quels caractères on reconnaîtra qu'un malt est bien préparé :

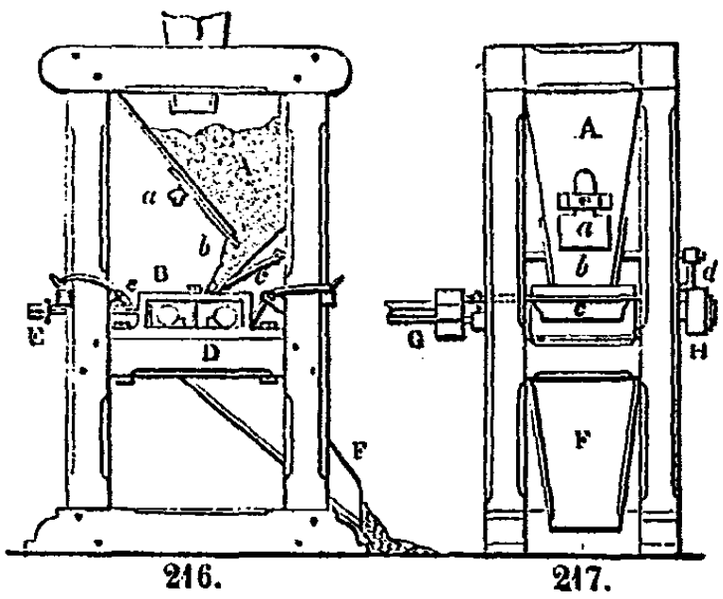
Le grain est arrondi et plein, il s'ouvre facilement sous la dent, il a une saveur sucrée, une odeur agréable, sa couleur est blanche intérieurement et jaunâtre à l'extérieur; lorsqu'on le frotte le long d'une table de chêne, perpendiculairement aux fibres, il laisse une raie blanche, semblable à la craie; il nage sur l'eau, tandis que l'orge non maltée se précipite au fond; enfin, comme preuve décisive, on peut essayer la faculté dissolvante du malt sur de la fécule.

5 parties seulement d'excellent malt dans 400 parties d'eau peuvent dissoudre jusqu'à 100 parties de fécule, en ayant le soin d'agiter sans cesse le mélange et d'entretenir au bain-marie une température de 65 à 80° centigrades.

4° Broyage et concassage du malt. Avant de broyer le malt, on enlève les radicules, et on nettoie le grain, en le faisant passer dans un tarare à crible; en sortant de ce tarare, le malt est prêt à être broyé.

En apparence, rien de plus simple que cette opération; cependant elle nécessite des précautions sans lesquelles les opérations suivantes deviendraient très difficiles, sinon impossibles. Ainsi le malt ne doit pas être réduit en poudre, sans cela, lors du brassage, il se prendrait en une masse qu'il serait très difficile de délayer et de dissoudre dans l'eau; au contraire, en le concassant simplement, l'eau pénètre dans les interstices que laissent entre elles toutes les parcelles du grain, et son action est beaucoup plus active. Pour obtenir ce résultat, sans produire de folle-farine, quel que soit d'ailleurs l'appareil employé, il est nécessaire de laisser absorber, au malt récemment préparé, un peu d'humidité à l'air, soit environ 4 centièmes de son poids; lorsque le grain n'a pas absorbé spontanément cette quantité d'eau, on y supplée ainsi : on l'étend en couche de 15 centimètres d'épaisseur, sur laquelle on verse, à l'aide d'un arrosoir à trous multipliés, une pluie fine; on le retourne de manière à mélanger le mieux possible les parties humectées et celles qui n'ont pas été atteintes par l'eau; on le relève en tas, et après 3 heures pendant lesquelles il se pénètre de cette humidité, il est prêt à passer au moulin.

Différents appareils sont employés pour concasser le malt; en France on fait usage presque exclusivement des moulins ordinaires, à meules horizontales; seulement, pour ne pas réduire le grain en farine, on a soin de soulever un peu l'anille, de manière à ce que les meules soient suffisamment écartées. Quelquefois on emploie des appareils analogues aux moulins à café, montés sur de grandes dimensions; enfin, à Londres, on fait habituellement usage de cylindres en fer entre lesquels le grain est concassé à la grosseur voulue, puisque leur disposition permet de rapprocher plus ou moins leurs axes. Ce dernier appareil étant le moins connu en France, nous allons en donner la description. Les fig. 216 et 217 présentent les vues de face et de côté de ces deux cylindres; dans ces deux figures, les mêmes lettres indiquent les mêmes objets.



216. 217.

I, canal en bois qui amène le grain de l'étage supérieur, où il se rend en sortant du tarare; il le déverse dans la trémie conique A, que l'on maintient toujours remplie de grain, et qui sert à alimenter les deux cylindres en fonte, parfaitement cylindriques, B et D, dont les axes en fer, parallèles, sont supportés à leurs extrémités sur des coussinets en cuivre; les coussinets du cylindre B sont mobiles dans une rainure, et des vis E permettent de les rapprocher ou de les éloigner plus ou moins et à volonté des coussinets du cylindre D, suivant que l'on veut que les cylindres soient eux-mêmes plus ou moins rapprochés, et que par conséquent le grain soit broyé plus ou moins grossièrement. G, arbre moteur recevant le mouvement soit d'une machine à vapeur, soit d'un manége, et qui est relié à l'axe de l'un des cylindres au moyen d'un manchon. H, roues d'engrenages (on n'en peut voir qu'une sur la figure) placées sur les axes des 2 cylindres, et qui permettent de transmettre le mouvement à l'autre cylindre. F, plan incliné sur lequel tombe le malt concassé qui va former un monceau sur le plan inférieur, ou, ce qui vaut mieux, que l'on reçoit dans des sacs ou dans des tonneaux d'une contenance déterminée. *a*, coulisse en bois maintenue par une vis, et qui sert à augmenter ou à diminuer à volonté l'ouverture inférieure de la trémie A. *b*, orifice par lequel sort le grain pour se rendre entre les deux cylindres. *c*, levier en fer qui imprime à la paroi qui forme le fond de la trémie des secousses incessantes ayant pour but d'obliger le malt à sortir de la trémie pour se rendre entre les deux cylindres. *e*, *e*, lames de fer s'appuyant au moyen de contre-poids contre les cylindres; elles sont destinées à nettoyer ces derniers en enlevant le malt que la pression y aurait pu faire adhérer.

Le volume du malt écrasé est environ un cinquième plus grand que celui des grains entiers.

Lorsque la chose est possible, il est bon de laisser reposer quelques jours le malt broyé avant de s'en servir pour la préparation de la bière; pendant ce temps, comme il est très hygrométrique, il attire avec force l'humidité de l'air, et il devient par cela même beaucoup plus facile à traiter dans l'opération subséquente du brassage.

III. *Du brassage.*—C'est de cette opération que paraissent être dérivés les mots brasseur, brasserie, brasser, brassin, etc.; on la nomma ainsi parce qu'elle se faisait autrefois à force de bras, comme cela se pratique encore en France, en Allemagne, et dans plusieurs localités de la Belgique et même de l'Angleterre; dans ce dernier pays, l'importance de la fabrication et surtout la cherté de la main-d'œuvre, comparées avec le prix du combustible, ont fait généralement adopter des appareils plus ou moins compliqués, mus par des machines à vapeur, pour démêler l'orge dans l'eau.

Le brassage a pour but non seulement de dissoudre le sucre et la dextrine contenus dans le malt, mais encore de convertir en glucose toute la matière amilacée qui reste encore dans le grain. Ce travail a lieu dans des appareils que nous décrivons plus loin; pour le moment nous allons indiquer la théorie de cette opération, fort obscure autrefois, et qui aujourd'hui est parfaitement compréhensible, grâces aux récentes découvertes de la diastase et de son action sur les matières amilacées.

La petite proportion de diastase qui s'est développée pendant la germination, et qui ne s'élève pas en moyenne à plus de 5 millièmes du poids du malt, est cependant suffisante pour transformer en sucre de raisin ou glucose, tout l'amidon qu'il renferme encore; en effet ce principe végétal, quoique dépourvu de toute réaction acide ou alcaline, exerce sur cette substance une action si énergique que M. Payen l'a trouvée capable de transformer 2000 fois son poids de fécule en sucre, lorsqu'elle est parfaitement pure. La proportion qui se trouve dans le malt est donc plus que suffisante, et cela est tellement vrai que la dissolution du malt, obtenue dans de bonnes conditions, peut encore transformer en dextrine ou en sucre une grande quantité de fécule de pommes de terre.

Mais, pour que l'on puisse obtenir ces résultats si remarquables, il est nécessaire de faire réagir la diastase dans des conditions de température données, et en présence d'une quantité d'eau suffisante.

M. Payen a reconnu que la température la plus convenable variait entre les limites de 70° à 75°; à une plus basse température, la transformation de l'amidon a bien encore lieu, mais elle devient d'autant plus lente qu'on s'éloigne plus de 70°; si l'on dépassait au contraire le maximum de 75°, on altérerait profondément la diastase et elle pourrait perdre en partie, et même complétement, son action sur l'amidon. Quant à la proportion d'eau à employer, plus on en met et plus aussi l'action de la diastase est prompte et facile; on doit donc toujours faire agir sur le malt toute la quantité d'eau qui doit se trouver dans la bière, quoique cette manière d'opérer augmente les frais que nécessite l'élévation des moûts que l'on obtient.

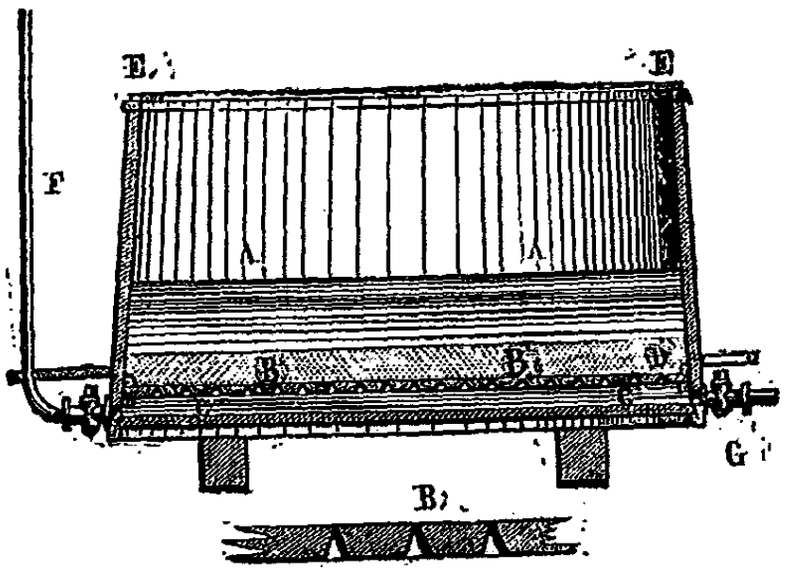
Les conditions très importantes que nous venons d'indiquer ne sont pas les seules dont on doive tenir compte; ainsi si l'on faisait arriver sur le malt de l'eau immédiatement à 70° ou 75°, le brassage serait fort difficile, si ce n'est impossible, l'amidon formerait un empois qu'on aurait la plus grande peine à dissoudre; il est donc nécessaire de commencer à hydrater le malt avec une certaine quantité d'eau portée à une température qui ne doit jamais dépasser 60°.

Enfin, puisque la diastase ne réagit sur le grain qu'en présence d'une grande quantité d'eau, il faut mettre le plus possible le malt en présence de cette dernière, en brassant le mélange à force de bras, ou au moyen d'agitateurs convenablement disposés.

Ces principes posés, il sera facile de comprendre les

diverses opérations du brassage, dans lesquelles ils doivent toujours être pris pour guides certains.

L'appareil (fig. 218) que l'on emploie *pour brasser*, se compose ordinairement d'une cuve AA, dite *cuve-matière*, légèrement conique, d'un diamètre plus ou moins grand, suivant l'importance de la fabrication, et munie d'un double fond B, percé de trous, maintenu à 5 ou 6 centimètres du fond véritable C. La hauteur de la cuve, quel que soit d'ailleurs son diamètre, est d'environ 1m,70.



218.

Le double fond B est supporté par une espèce de corniche circulaire D, en bois, qui permet de laisser quelques centimètres de jeu entre les douves de la cuve et les bords du faux fond, pour que les dilatations et les retraits de ce dernier se fassent librement. Trois ou quatre tasseaux D empêchent le faux fond de remonter et de se déplacer. Pour éviter que les trous de ce faux fond ne s'engorgent facilement, on les fait coniques, le grand diamètre tourné vers le bas, comme l'indique du reste la fig. 218. Un couvercle E, formé d'un châssis en bois recouvert d'une toile, peut, à volonté, être posé sur la cuve et doit la fermer le mieux possible, afin d'empêcher les déperditions de chaleur. En Angleterre, la cuve que nous venons de décrire est presque toujours munie d'un agitateur très solide, et dont on a varié la disposition d'une foule de manières; celui qui paraît devoir remplir le mieux le but que l'on s'est proposé, savoir d'agiter le mélange d'eau et de malt, pour opérer la dissolution de celui-ci, se compose : 1° d'un agitateur qui remue le mélange circulairement, en tournant autour d'un axe central, et qui d'ailleurs est armé de crochets en fer destinés à labourer le malt; 2° de tourniquets placés sur les bras du premier agitateur, et qui, au moyen d'engrenages, tournent sur eux-mêmes, tout en accomplissant leur mouvement circulaire autour de la cuve avec les bras qui les supportent. (Nous donnerons le dessin d'une cuve analogue, à la fin de cet article, en parlant de la disposition générale d'une brasserie anglaise). Quel que soit d'ailleurs l'appareil employé, l'opération du brassage est toujours la même; le malt broyé est placé en couche de 30 à 40 centimètres sur le faux fond; on l'égalise bien au moyen d'un râble en bois, puis on fait arriver l'eau nécessaire à sa dissolution entre les deux fonds, et au moyen d'un tube F (voyez la fig. 218). Ce tube F communique avec une chaudière en cuivre, placée à un étage supérieur, dans laquelle on chauffe l'eau nécessaire à la dissolution du malt, et qui sert ensuite à obtenir la décoction du houblon dans le moût. La dimension de cette chaudière est proportionnée à l'importance de la brasserie; en général elle doit être au moins assez grande pour faire la coction du moût obtenu dans un brassage; c'est-à-dire que pour 1 hectolitre de malt traité, elle doit à peu près contenir 220 litres : la cuve doit être au moins un tiers plus grande. La quantité d'eau que l'on emploie à diverses reprises, comme nous le verrons plus bas, pour obtenir le complet épuisement du malt, varie évidemment suivant le plus ou moins de force que l'on veut donner à la bière; cependant on peut calculer cette quantité sur les bases suivantes qui ont été déterminées par l'expérience.

La drèche ou le marc du malt épuisé, qui sert à former la petite bière, retient toujours environ 150 litres d'eau par 3 hectolitres de malt employé; pendant la coction et le refroidissement, il s'évapore à peu près 180 litres d'eau pour la même quantité de malt. En total on éprouve donc une perte d'eau de 330 litres pour 3 hectolitres, soit 110 par hectolitre de malt. On doit donc ajouter cette quantité d'eau à celle que l'on aura calculé être nécessaire pour obtenir une bière d'une densité donnée.

Voici maintenant comme on opère en supposant que l'on traite 38 hectolitres de malt, et que l'on emploie en tout 10,800 litres d'eau, pour obtenir à peu près 6800 litres de bière. Aussitôt que l'eau a atteint dans la chaudière la température de 65° en été, et de 75° en hiver, on en fait arriver 2700 litres entre les deux fonds de la cuve de brassage, sur le faux fond de laquelle on a disposé d'avance les 38 hectolitres de malt. La pression force l'eau de traverser le faux fond par les nombreux orifices dont il est criblé, puis peu à peu elle soulève le malt que l'on brasse fortement à bras d'homme ou au moyen de l'agitateur mécanique; après une demi-heure à trois quarts d'heure le malt est pénétré d'eau bien uniformément, et l'eau qui est restée dans la chaudière a eu le temps d'arriver à une température voisine de l'ébullition, 90° à 92° par exemple. On en fait arriver à peu près 2000 litres entre les deux fonds de la cuve, de telle sorte que le mélange de cette eau avec celle qui a servi à gonfler le malt possède une moyenne de 70°, température très favorable, comme nous l'avons vu, aux réactions de la diastase. On renouvelle l'agitation, jusqu'à ce que le tout ait acquis une consistance également fluide; on saupoudre alors la surface du liquide de malt fin de manière à concentrer la chaleur, et par la même raison, on couvre avec soin la cuve et on laisse reposer pendant 1 heure 1/2 à 2 heures. Au bout de ce temps, on ouvre le robinet de vidange G, placé entre les deux fonds, on sépare les premières portions troubles que l'on reverse sur le malt, puis le liquide clair est reçu dans un réservoir appelé *cuve réverdoire*, d'où il est monté au fur et à mesure dans un bac supérieur, au moyen d'une pompe ordinaire, d'une pompe à chapelets, ou mieux encore au moyen d'un *monte-jus à vapeur*. Dans cette circonstance les clapets des pompes ordinaires présentent l'inconvénient d'être souvent mis hors de service, par l'interposition de corps étrangers en suspension dans le moût. Le réservoir supérieur qui reçoit ce dernier est disposé de manière à pouvoir alimenter à volonté les chaudières de coction. On retire du premier brassin 3000 litres de moût; le surplus de l'eau est retenu par le malt.

On introduit alors et toujours de la même manière 3400 litres d'eau à une température de 90° dans la cuve, et de manière à ce que la température dans celle-ci se rapproche toujours des limites 70 à 75°; on brasse de nouveau, on recouvre la cuve, on laisse reposer pendant 1 heure ou 2; on soutire au clair par le tuyau G, le moût se rend dans la cuve réverdoire, on l'élève dans le réservoir supérieur, où il se mélange avec le moût du premier *brassin*; ce moût de deux brassins est versé dans la chaudière qui a servi à chauffer l'eau, aussitôt que le restant de celle-ci est amené dans la cuve-ma-

tière pour un troisième brassage. Cette troisième quantité d'eau s'élève à 2700 litres, elle doit être presque bouillante, parce qu'il ne s'agit plus que d'épuiser autant que possible le résidu des deux premiers brassages; après avoir bien agité, on laisse reposer une heure, on soutire au clair, on élève ce moût et on le reçoit dans une chaudière à part; il sert soit à préparer de la petite bière très faible, ou bien on le réserve pour s'en servir comme d'eau pure dans un nouveau brassage.

Il ne reste plus dans la cuve-matière que la pellicule ligneuse qui enveloppait le grain, les débris des gemmules, une partie de l'albumine coagulée, quelques sels insolubles; le tout retient une partie du liquide légèrement sucré, qui provient du dernier brassage.

Ce résidu est très recherché dans les villes pour la nourriture des vaches et autres bestiaux.

Les 38 hectolitres de malt que l'on a employé dans l'opération que nous venons de décrire, fournissent, d'après l'expérience, chacun, à peu près 13 kilogr. de matière sucrée ou mucilagineuse, soit en total 494 kil., répartis dans les 10,800 litres d'eau que l'on a employés pour les 3 brassages; ces quantités ne donnent en définitive que 68 hectolitres de bière ordinaire; le surplus de l'eau reste dans le résidu du malt, sert à préparer la petite bière, ou bien est perdu par l'évaporation, dans les proportions qui ont été indiquées plus haut. Il est bien entendu que les proportions que nous avons indiquées ci-dessus varient nécessairement suivant la nature des bières, suivant qu'elles doivent contenir plus ou moins d'alcool.

IV. *Cuisson de la bière.*—La cuisson de la bière a principalement pour but d'obtenir dans le moût obtenu par l'opération du brassage, une infusion de houblon qui, en lui cédant ses principes solubles, rend sa conservation facile et lui communique une saveur amère et fortement odoriférante; mais outre ce résultat principal il en est d'autres moins importants, et cependant dignes de remarque: ainsi l'ébullition concentre le moût, transforme en sucre la plus grande partie de la dextrine qu'il renferme: enfin elle coagule la matière albumineuse extraite du grain, ou la précipite au moyen du tannin des houblons; le reste de l'ébullition peut donc avoir une certaine influence, non seulement sur l'épuisement plus ou moins grand du houblon, mais encore sur la facile clarification de la bière, ainsi que sur la quantité d'alcool qu'elle peut renfermer; cette dernière circonstance s'explique facilement, puisque le moût devient d'autant plus riche en sucre qu'il contient moins d'eau, et que l'ébullition, par conséquent, a été plus longtemps prolongée. Il ne faudrait cependant pas conclure de ce qui vient d'être dit, que l'ébullition doive être prolongée pendant un temps considérable; cette méthode a été reconnue tout à fait défectueuse par l'expérience, et le raisonnement en explique facilement la cause. En effet, nous avons vu que les huiles essentielles du houblon étaient plus ou moins volatiles; il est donc nécessaire, si l'on ne veut pas perdre une partie de l'arôme, d'opérer la décoction du houblon dans un espace de temps aussi court que possible, d'autant plus qu'on économise ainsi une grande partie du combustible. Cette longue ébullition, qui est encore en usage dans quelques pays, en Belgique, par exemple, avait pour effet d'obtenir des moûts plus forts par leur concentration dans la chaudière; il est bien plus rationnel de toujours proportionner d'avance la quantité d'eau chaude que l'on emploie dans le brassage, à la force de la bière que l'on veut obtenir. En employant du malt bien fabriqué, en le brassant aux températures les plus favorables, et en prenant d'ailleurs toutes les précautions nécessaires, un fabricant habile peut toujours parvenir à faire de la bière aussi forte que possible, sans avoir besoin de recourir à une longue évaporation. Ce résultat est encore plus facile à réaliser par l'emploi de matières sucrées, telles que mélasse, sirop de fécule, etc., qui peuvent être ajoutées dans la chaudière de cuite jusqu'à complément de la richesse saccharine; nous reviendrons, au reste, sur l'emploi de ces substances à la fin de l'article. En Angleterre et en Belgique, où les matières sucrées sont prohibées dans la fabrication de la bière, le brassage énergique au moyen des machines que nous décrirons plus loin, permet d'obtenir des moûts assez concentrés.

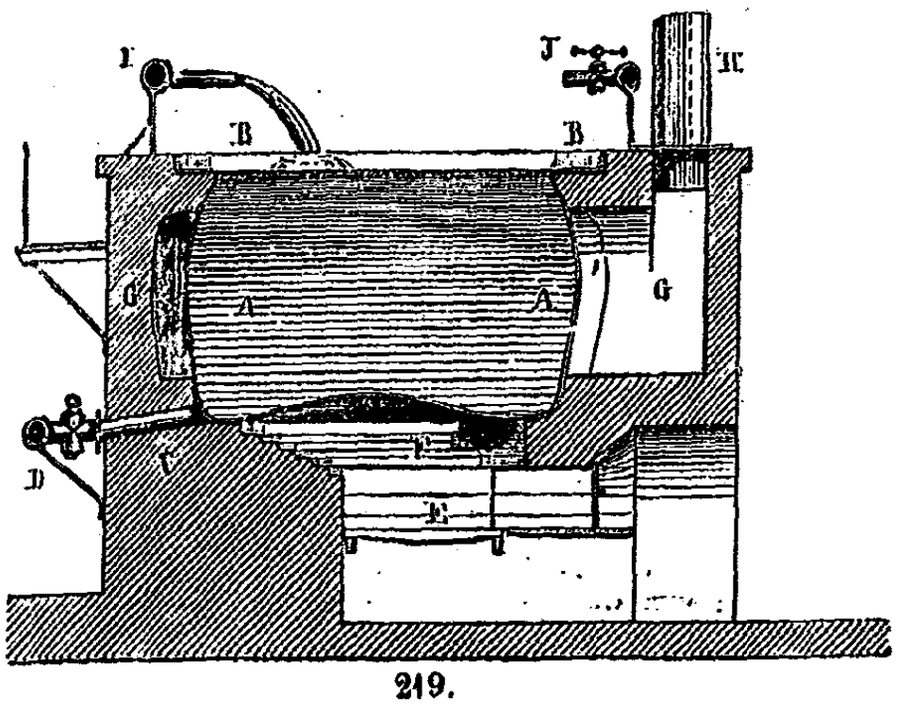
Dans quelques brasseries bien conduites, deux à quatre heures d'ébullition sont jugées suffisantes pour épuiser le houblon; quelle que soit d'ailleurs cette durée, l'ébullition doit évidemment être plus longue pour la forte bière, qui exige plus de houblon que la bière faible. D'ailleurs, on reconnaît que l'opération a bien réussi, lorsque les flocons albumineux se précipitent facilement et laissent surnager une liqueur claire et liquide. Quelquefois cette clarification spontanée ne réussit pas très bien, par la raison que l'albumine a été coagulée d'avance par une trop haute température, lors du brassage. On remédie, dans quelques localités, à cet inconvénient en ajoutant dans la chaudière de cuisson, soit des pieds de veau qui produisent de la gélatine, soit un peu de colle de poisson; il paraît même que cette addition présente encore l'avantage de donner de *la bouche* à la bière.

Le houblon est ajouté dans le moût au moment où celui-ci est prêt à bouillir; il est convenable de le projeter dans la chaudière en masses considérables, parce qu'en l'ajoutant par petites portions on serait obligé de le séparer avec effort et en perdant de la sécrétion jaune. On doit aussi le laisser surnager quelque temps sur la surface du moût bouillant, afin que la vapeur puisse le pénétrer, ouvrir ses pores, et faciliter ainsi son infusion; on doit alors le faire plonger au moyen de fourches en bois. Dans la plupart des brasseries d'Angleterre, il est d'usage de faire bouillir les houblons avec une partie seulement du moût, puis ensuite de mélanger la décoction avec le restant.

La quantité de houblon qui doit être ajoutée au moût varie selon la force de la bière, la durée de sa conservation, la richesse du produit employé, et la chaleur du climat dans lequel on a le projet d'expédier la bière.

En France, où l'on ne fabrique pas de bière très forte, on emploie à peu près 450 à 500 grammes de houblon par hectolitre de malt brassé, pour la *bière double* ordinaire, et en obtenant un deuxième produit en *petite bière;* on ajoute encore 80 grammes de houblon inférieur en qualité, dans le moût destiné à la fabrication de cette bière. En Angleterre, les quantités de houblon employées sont plus considérables. Pour la bière forte, très aromatique et parfaitement claire, on prend à peu près 700 grammes de houblon par hectolitre de malt; pour les très fortes espèces d'ale et de porter, on emploie de 1 kilogr. à 1k,30 de bon houblon.

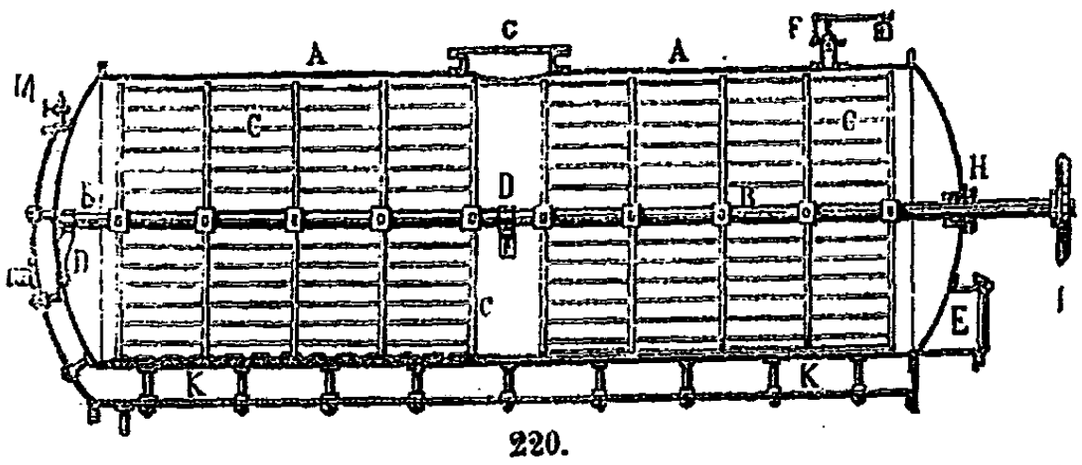
Les chaudières que l'on emploie pour la cuisson de la bière, ou plutôt la coction du houblon, varient de forme suivant les localités; à Paris, ce sont généralement de grands réservoirs en cuivre à section rectangulaire, ayant à peu près 2m à 2m,50 de profondeur; elles ne sont pas recouvertes, de manière que la surface du liquide est librement exposée à l'action de l'air. La fig. 219 donne le détail d'une de ces chaudières. A, chaudière proprement dite; son fond est bombé intérieurement, de manière à mieux recevoir l'action du feu, ses parois se rapprochent à leur partie supérieure, de manière à former une section beaucoup plus petite qu'au milieu de la hauteur; cette disposition est adoptée afin que le houblon reste submergé le plus possible. La chaudière est surmontée d'une large cuvette BB, sur laquelle viennent s'épanouir les bouillonnements. C'est le robinet de vidange de la chaudière; D, tuyau



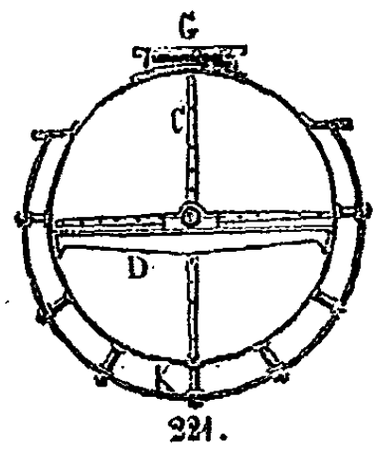
219.

général qui reçoit le contenu de toutes les chaudières, et qui le conduit, soit dans les cuves de brassage, lorsque c'est de l'eau chaude, soit dans le bac à repos, lorsque c'est la décoction de houblon ; E, foyer ; F, orifice qui conduit la fumée dans les carneaux ; G, G, carneaux dans lesquels circulent, autour de la chaudière, les produits de la combustion ; H, cheminée ; J, registre destiné à augmenter ou à diminuer à volonté le tirage.

Ces chaudières à air libre ont un grave inconvénient, elles permettent à une partie de l'arôme du houblon de se dissiper dans l'atmosphère ; et d'ailleurs, elles répandent dans les ateliers une vapeur abondante qui nuit à la conservation des charpentes. En Angleterre, par ces raisons, on a depuis longtemps substitué aux chaudières à air libre des chaudières hermétiquement fermées, et disposées de manière à recueillir l'huile essentielle que la vapeur entraîne toujours ; en indiquant la disposition générale des brasseries anglaises, nous donnerons la description d'un appareil semblable qui paraît donner de bons résultats. Dans une brasserie de Louvain, parfaitement disposée, on fait usage d'une chaudière cylindrique, chauffée à la vapeur, munie d'un agitateur, et dans laquelle on maintient le liquide à une température voisine de l'ébullition, sans permettre que les vapeurs s'échappent de la chaudière. Voici (fig. 220) le détail de cet appareil : A A, chaudière



220.



221.

dans laquelle on obtient la décoction du houblon ; B B, arbre en fer, portant de distance en distance des bras C, C, reliés par des traverses, et destinés à renouveler les surfaces du houblon et du liquide ; D, D, coussinets qui supportent l'arbre horizontal B B ; E, soupape de vidange de la chaudière ; F, soupape de sûreté qui laisse échapper la vapeur, lorsque la température trop élevée augmente la pression dans l'intérieur de la chaudière : G, trou d'homme, servant à charger la chaudière et à la nettoyer en cas de besoin, etc. ; H, boîte à étoupes que traverse l'arbre de l'agitateur ; I, roue d'engrenage montée sur l'axe de l'agitateur, et qui sert à lui imprimer le mouvement de rotation ; K K, double fond de la chaudière, dans lequel on fait arriver la vapeur destinée à chauffer la bière ; il est fortement consolidé au moyen de nombreux supports boulonnés, qui le relient avec la paroi de la chaudière et qui maintiennent son écartement ; L, tube qui amène la vapeur dans le double fond ; M, robinet qui sert à chasser l'air du double fond, lorsqu'on commence à y faire arriver la vapeur.

La fig. 221 est une coupe perpendiculaire à l'axe de la chaudière ; dans cette figure, les mêmes lettres indiquent les mêmes objets que dans la figure précédente ; on y remarquera surtout, le support D qui sert à supporter le coussinet B du milieu.

Les chaudières de coction, chauffées à la vapeur, présentent d'assez grands avantages sur les chaudières chauffées à feu nu. 1° On n'a besoin que d'un seul foyer pour toute la brasserie ; 2° on peut arrêter à volonté et instantanément le chauffage, en fermant simplement un robinet ; 3° on risque moins de dépasser la température voulue, dans des chaudières fermées, et on évite, par conséquent, la coloration de la bière ; ce dernier avantage est surtout important dans la préparation de la bière blanche.

On a essayé de former des extraits de houblon, que l'on voulait ajouter à la bière, au lieu du houblon lui-même ; sur une grande échelle, cette méthode n'a pas d'avantages pratiques, et cela se conçoit ; l'extraction de l'huile essentielle est parfaitement accomplie pendant la coction, et sans aucuns frais de combustible, puisqu'on serait toujours obligé de chauffer le moût pour coaguler l'albumine ; et d'ailleurs, le houblon agit très avantageusement en clarifiant la bière.

Il est probable, en outre, que l'extrait de houblon serait très difficile à conserver.

3° Aussitôt que la coction du houblon est terminée, on soutire tout le contenu de la chaudière (liquide et houblon) dans un grand bac appelé, à Londres, baquet à houblon, et à Paris, bac à repos ; dans lequel on sépare la bière des folioles épuisées. En France, le bac à repos est une grande caisse rectangulaire ayant seulement 0m,50 à 0m,60 de profondeur ; il est divisé en deux parties par un clayonnage serré qui occupe la hauteur du bac, et à travers lequel la bière est obligée de passer, en laissant dans le premier compartiment la plus grande partie du houblon. Après une ou deux heures de repos, le liquide clair qui a passé à travers le clayonnage peut être décanté, et passer aux bacs rafraîchissoirs, ou au réfrigérant. On emploie pour cette décantation des robinets de construction particulière, et qui ont pour

but d'évacuer toujours les couches supérieures du liquide; c'est-à-dire les plus limpides, quelle que soit d'ailleurs la hauteur du niveau. Tantôt c'est un robinet dont la clef est percée de plusieurs ouvertures disposées en hélice, de manière à ce qu'il ne puisse jamais s'en rencontrer deux sur la même ligne perpendiculaire; on comprend donc qu'en amenant successivement toutes ces ouvertures, vis-à-vis d'une rainure générale pratiquée sur toute la hauteur de la botte enveloppante, on puisse soutirer toujours les couches les plus élevées, en supposant toutefois qu'on commence par mettre d'abord en communication avec la rainure, l'ouverture la plus supérieure, et ainsi de suite. Tantôt on emploie un bourrelet circulaire, ou flotteur en fer-blanc, sous lequel un cercle en canevas métallique adhérent est attaché à un entonnoir de toile formant soufflet, et terminé par un large tube qui sort sous le bac à repos, où le robinet est adapté. Dès qu'on ouvre celui-ci, le liquide près de la superficie s'introduit par la bande de canevas métallique dans l'entonnoir, qui s'abaisse progressivement avec le flotteur en suivant le niveau du moût.

Ces bacs sont construits en planches de sapin du Nord, très épaisses et solidement boulonnées; avant de se servir des bacs neufs, on doit y passer de l'eau bouillante à plusieurs reprises, afin d'enlever à la surface les principes solubles du bois, qui donneraient un goût particulier à la bière, et de faire produire au bois tout l'effet de gonflement qui peut résulter des actions réunies de l'humidité et de la chaleur.

Dans l'usage habituel des bacs, il faut avoir le plus grand soin de les laver et de les échauder, de peur que le moût de bière, adhérant à leurs parois, ne s'y aigrisse, ou ne prenne un goût putride qui pourrait occasionner la détérioration d'un brassin versé ultérieurement.

En Angleterre, et dans quelques brasseries belges, on remplace ces bacs à repos par de grands réservoirs en fonte, peu profonds et munis d'un faux fond formé de plaques percées de très petits trous, à travers lesquels filtre la bière.

4° En sortant des bacs à repos, la bière se trouve encore à une très haute température qui varie entre 70 et 80°; il est donc indispensable d'abaisser cette température jusqu'à près de 15° avant de la faire passer dans les cuves de fermentation. Ce refroidissement s'obtient de deux manières, soit en exposant simplement la bière à l'air libre, soit en profitant, pour obtenir rapidement cet abaissement de température, de la grande capacité calorifique de l'eau froide.

Le premier procédé est aussi le plus ancien et le seul même qui soit encore employé en Angleterre et dans beaucoup de localités; dans ce cas on emploie des bacs d'une très grande superficie remplaçant les différents planchers d'un bâtiment exposé à tous les vents; ces bacs n'ont guère que 15 à 20 centim. au plus de profondeur (voyez plus loin la description d'une brasserie anglaise). Le rapide refroidissement de la bière dépend évidemment de plusieurs circonstances, savoir : de l'étendue de la surface, de la basse température et de la sécheresse de l'atmosphère, des vents plus ou moins violents qui règnent, enfin de l'exposition et de la construction des bâtiments. Le renouvellement de l'air au-dessus des bacs, par l'emploi d'un ventilateur, peut être employé avec un grand avantage; les bacs eux-mêmes doivent être disposés de manière à ce que leur surface soit librement exposée au vent dominant de l'endroit. Dans quelques localités le toit qui recouvre les bacs est mobile, et on peut l'enlever de manière à ce que le moût soit promptement exposé, dans une nuit sereine, à l'aspect du ciel; dans cette circonstance, comme on le sait, le refroidissement est extrêmement rapide. L'abaissement de température est surtout très prompt lorsque l'état de l'atmosphère permet une grande évaporation du liquide; aussi le moût se refroidit-il très vite au printemps et dans l'automne, lorsque l'air est généralement sec, et même plus vite que dans l'hiver, quand l'air froid est chargé d'humidité. En été, la nuit est le seul moment favorable au refroidissement. En raison de l'évaporation produite par l'abaissement de température, le volume des moûts est sensiblement réduit. Ainsi, si la température était supposée être de 98° au commencement, et si elle est à la fin de 18°, on trouve que la quantité d'eau qui doit être évaporée, pour produire cet abaissement de température, est égale au huitième du volume total

La durée du refroidissement, bien conduit, s'élève à 6 ou 7 heures dans un temps favorable, et est de 12 à 15 heures dans des circonstances moins bonnes. Plus cette durée est courte, et mieux cela vaut, parce que, par suite de la grande surface que le moût présente à l'air, il absorbe promptement l'oxygène, passe à la fermentation acéteuse, et se recouvre de taches de moisissures, inconvénient auquel une mauvaise bière est particulièrement exposée.

Pendant que la bière se refroidit dans les bacs, elle laisse déposer un léger sédiment qui consiste principalement en flocons fins et coagulés d'albumine combinée avec du tannin, et surtout en empois qui n'a pas été transformé en sucre; on voit donc que ce repos forcé est une heureuse circonstance qui facilite singulièrement la clarification de la bière; c'est un avantage que ne présente pas la nouvelle méthode que nous allons indiquer, et qui de son côté a aussi ses avantages.

Les réfrigérants à eau froide que l'on a imaginés, pour remplacer l'action longue, incertaine et variable de l'air, sont nombreux; nous les passerons en revue dans un article spécial (voyez RÉFRIGÉRANT). Disons seulement ici, qu'en principe, la bière en couches minces y est refroidie par le contact de l'eau dont elle n'est séparée que par une mince paroi métallique. La bière va dans un sens, l'eau se meut dans le sens contraire, en sorte que l'eau rencontre un liquide de plus en plus chaud à mesure que sa température à elle-même s'élève, et *vice versâ*. C'est ordinairement de l'eau de puits que l'on emploie et qui marque à peu près toujours la même température en hiver ou en été.

Le refroidissement est beaucoup plus rapide dans ces réfrigérants que dans les bacs, mais ils présentent l'inconvénient déjà cité, savoir que la bière n'a pas le temps de déposer; d'un autre côté les bacs ont aussi de graves inconvénients, surtout dans les pays chauds, à cause de l'altération du moût que l'on ne peut pas toujours prévenir, de la dépense qu'exige leur immense étendue, etc., etc.

Quelques brasseurs des plus distingués de Londres regardent comme le meilleur mode de refroidissement celui qui participe des deux précédents; ainsi ils exposent, quelques heures seulement, le moût chaud dans les bacs, puis, quand le dépôt est opéré et que la température ne s'élève plus qu'à 40°, ils font passer la bière dans un réfrigérant à eau froide. Ce système est établi dans la brasserie, dont nous donnerons la description complète à la fin de cet article.

La température du moût, au moment où il doit être envoyé dans les cuves *guilloires*, doit différer non seulement suivant les saisons, mais encore suivant les différentes qualités de bière. Pour les bières fortes et de garde, on veut que la fermentation s'opère lentement; la température pendant la fermentation doit donc être plus basse; si l'on se propose de préparer une boisson qui soit bonne à boire au bout de quelques jours, comme la bière de Paris, il faut activer la fermentation, et, à cet effet, que la température des moûts de diverses bières varie pendant les diverses saisons. Le tableau suivant indique à peu près ces différentes températures :

MOIS	LONDRES.			PARIS.	
	Ale.	Porter.	Bière de table.	Bière double.	Petite bière.
Janvier et février. . .	15	14	19	21	20
Mars et avril.	12	13	17	20	19
Mai et juin.	11	12	16	18	17
Juillet et août.	LE PLUS BAS POSSIBLE		15	15	14
Septembre et octobre.	13	15	17	19	18
Novembre et décembre.	14	16	18	20	19

Quand le moût a acquis les degrés de température que le tableau indique, on le fait immédiatement passer dans les cuves *guilloires* ou de fermentation.

4° De la fermentation du moût. Cette fermentation a pour but de transformer en alcool une partie du sucre que contient le moût; les principes qui doivent guider dans cette opération importante sont les mêmes que dans tout autre fermentation alcoolique (voyez le mot FERMENTATION). Ainsi l'atelier doit être à l'abri des changements brusques de température; on doit opérer d'abord sur de grandes masses, parce que la fermentation est plus constante et plus régulière, et que d'ailleurs la température extérieure a moins d'influence. Il est de la plus haute importance, et c'est là le point capital, de pouvoir au besoin régler la température du moût, pendant la fermentation; c'est pour mieux atteindre ce but que, dans quelques brasseries de Londres, on fait serpenter dans la cuve guilloire un tuyau dans lequel on peut faire passer de l'eau chaude ou de l'eau froide, suivant que l'on veut activer ou ralentir la fermentation; dans d'autres fabriques où cette disposition n'est pas adoptée, on refroidit l'atelier en été, en suspendant des toiles grossières mouillées aux fenêtres, et en hiver on le réchauffe, au moyen d'un petit calorifère. Du reste il est nécessaire que la conversion du sucre en alcool ne soit pas complète, parce que la bière qui ne contient pas de sucre non décomposé, ne tarde pas à s'aigrir; l'alcool formé aide d'ailleurs beaucoup à prévenir cette transformation complète, en s'opposant, lorsqu'il est en grande proportion, à l'action ultérieure du ferment.

La fermentation se fait ordinairement en deux opérations, la première a lieu dans la cuve *guilloire*, et la seconde dans des tonneaux beaucoup plus petits où il est plus facile de modérer la température qui s'élève considérablement pendant la fermentation.

Dans les brasseries de Londres, les cuves guilloires ont des dimensions considérables, elles contiennent habituellement de 200 à 250 mille litres; à Paris, où la production est bien moins grande, ces dimensions sont très restreintes, et une cuve de 50,000 litres est très rare. Le moût qu'on y introduit ne doit jamais la remplir qu'aux deux tiers, l'espace vide qui reste au-dessus du liquide est destiné à la mousse volumineuse, dite *chapeau*, qui se forme pendant la fermentation tumultueuse.

Aussitôt que la quantité de moût suffisante est arrivée dans la cuve, on y mélange la dose de levure qui doit provoquer et activer la fermentation.

La levure que l'on emploie doit provenir d'une bière de même sorte, préparée dans une opération précédente; on la mélange d'avance avec une certaine quantité de moût, on laisse dans un lieu chaud jusqu'à ce qu'il y ait commencement de fermentation, on la verse dans la cuve et on remue vigoureusement de manière à la répartir dans la masse entière du liquide.

La quantité de levure employée dépend évidemment de la température extérieure, de la force et de la qualité du moût; le tableau suivant indique les proportions de levure que l'on emploie ordinairement.

BIÈRE.

SAISONS.	LONDRES.			PARIS.	
	Petite bière.	Bière forte.	Ale.	Petite bière.	Bière double.
Hiver. . . .	0,0020	0,0018	0,0015	0,0025	0,0035
Printemps et Automne.	0,0015	0,0012	0,0010	0,0022	0,0030
Été.	0,0010	0,0010	0,0005	0,0018	0,0020

On doit surtout éviter un excès de levure qui provoquerait une fermentation trop violente et qui serait terminée avant le terme convenable.

Aussitôt après l'addition de la levure on ferme la cuve avec un couvercle en bois, garni de nattes de paille; cette précaution est indispensable, afin de maintenir à l'intérieur une température uniforme, et pour éviter l'accès de l'air qui aurait pour résultat l'altération spontanée, acide ou putride, de la superficie de l'écume produite.

Six ou huit heures après que la levure a été ajoutée, la fermentation doit déjà être très active, une écume blanche et laiteuse apparaît d'abord au centre, puis s'étend graduellement sur toute la surface du liquide; mais elle continue toujours à être plus haute au milieu, et son élévation augmente sans cesse avec les progrès de la fermentation. La couleur de cette écume, d'abord d'un jaune pâle, change graduellement jusqu'à un brun brillant, résultat qui est probablement dû à son oxydation par l'air. Pendant tout ce temps, il y a un dégagement continuel d'acide carbonique dont l'abondance est proportionnelle à la quantité de sucre converti en alcool et à la rapidité de l'opération. D'un autre côté la température du liquide augmente jusqu'à ce que la fermentation soit à son plus haut point d'activité; le maximum de température varie suivant la qualité des bières; avec l'ale qui est la boisson qui contient le plus de matière sucrée, elle s'élève quelquefois jusqu'à 37°; pour le porter elle ne va pas au-delà de 21 à 22° centigr., et elle est encore plus faible pour les bières moins fortes, comme celles qui se préparent à Paris.

Lorsque durant l'opération on s'aperçoit que la fermentation se ralentit trop, on peut l'exciter en ajoutant une nouvelle proportion de levure fraîche que l'on disémine bien dans la masse du liquide; mais ce moyen doit être employé le moins souvent possible, parce qu'il excite plus tard une fermentation trop active, et peut communiquer à la bière une saveur rance de levure. Quelques brasseurs recommandent, lorsque la fermentation est parvenue à sa dernière période, d'ajouter environ 3 kilogr. de blé ou de farine de fèves par 4000 litres de bière (lorsque cette dernière est déjà transvasée dans les petites cuves). On délaie cette farine dans de la bière, et on la répand uniformément dans le moût fermenté; cette addition donne bientôt lieu à un dégagement abondant d'acide carbonique qui entraîne la levure à la surface du liquide.

Quelquefois on laisse terminer la fermentation dans les cuves guilloires; mais bien plus fréquemment elle s'achève dans des vases beaucoup plus petits, où il est bien plus facile de régler ses progrès rapides.

En Angleterre, le transvasement se fait dans des tonnes placées debout sur des chantiers en bois, et contenant environ de 4 à 5000 litres; ces vases sont tous placés sur la même horizontale, et leur niveau supérieur se trouve un peu au-dessous de la cuve guilloire; on peut donc tous les remplir d'un seul coup au moyen de tubes convenablement disposés; le fond supérieur de ces tonnes est percé d'une large ouverture par laquelle peut s'échapper la levure, qu'une auge déverse dans

une conduite générale. On comprend donc qu'en maintenant toujours les tonnes complétement remplies, la levure puisse être séparée au fur et à mesure de sa production; on obtient ce résultat par une disposition ingénieuse que nous indiquerons plus loin (voyez la disposition générale d'un atelier de fermentation à Londres et les détails qui s'y rapportent). La bière est laissée dans ces *bottes d'épuration* ou *stillions*, comme on les appelle en Angleterre, jusqu'à ce qu'il ne se forme plus d'écume; c'est alors qu'on la transporte dans les *cuves de maturation*.

Lorsque le mode d'épurage, par *les stillions*, n'est pas employé en Angleterre, on enlève avec le plus grand soin, au moyen d'une écumoire, et après que la fermentation apparente est terminée, toute la levure qui se trouve à la surface du liquide, puis on transvase également dans les cuves de maturation; mais, nous le répétons, ce procédé a des inconvénients et il est peu en usage.

A Paris, les tonneaux dans lesquels se termine la fermentation ont une contenance de 100 à 200 litres, on les remplit complétement, on les range côte à côte sur les traverses d'un bâti en bois sous lequel règne une rigole générale qui est destinée à recevoir la levure de tous les *quarts;* ces derniers sont un peu inclinés de manière que l'écume volumineuse qui se forme, se dégage facilement par la bonde. Lorsqu'il ne se produit plus de levure, on redresse les quarts, on finit de les remplir et on les laisse reposer pendant dix ou douze heures; pendant ce temps se forme *le bougner*, c'est-à-dire une mousse très légère et volumineuse, qui est le résultat d'un mouvement léger de fermentation.

La plus ou moins grande rapidité avec laquelle les moûts sont mis en fermentation, a une influence remarquable sur la qualité de la bière, particulièrement en ce qui concerne sa conservation ultérieure. Lorsque l'action est trop violente, une partie de la levure se disperse à travers la liqueur, et il est très difficile de l'en séparer complétement; dans ce cas, la bière ne perd pas seulement une partie de sa saveur agréable et de sa limpidité; mais encore elle est susceptible de se gâter et de passer à l'aigre par les causes les plus légères. En résumé, on peut dire, que plus la fermentation est lente, régulièrement progressive et moins interrompue, et plus aussi le produit obtenu est meilleur.

La quantité de levure de bière obtenue, pendant la fermentation, est cinq ou six fois plus considérable que celle qui a été employée pour la déterminer; elle se compose de deux parties, l'une qui se maintient au sommet du liquide, et qui forme la levure écumeuse, l'autre plus lourde se précipite au fond de la cuve guilloire. La levure en excès, lavée, puis fortement comprimée dans des sacs en toile, est vendue en gros à des *levuriers*, qui la livrent en détail aux boulangers, fabricants de liqueurs alcooliques, etc. A Paris, cette levure est très recherchée, et on en fait une grande consommation.

V. *Collage, maturité et conservation de la bière.* — Les bières faibles que l'on prépare à Paris, s'expédient chez le consommateur, immédiatement après que la fermentation est terminée; on bouche les quarts au moyen de bondes qu'on lute avec de la terre glaise; mais cette bière que l'on a obtenue par une fermentation très rapide, contient en suspension des matières étrangères qui la rendent trouble, et que l'on doit enlever par une clarification instantanée; cela est nécessaire parce que ces bières légères ne peuvent guère se conserver plus de six semaines. Cette clarification se fait généralement chez le consommateur; elle est basée sur l'emploi de la colle de poisson, que l'on prépare à cet effet, de la manière suivante. Après l'avoir humectée, on l'écrase sous le marteau afin d'en rompre les fibres et de favoriser la divisibilité de cette substance organisée; puis on la met tremper dans de l'eau fraîche pendant douze à vingt-quatre heures, en renouvelant l'eau deux ou trois fois en hiver, et quatre ou cinq fois en été. On la malaxe ensuite fortement avec dix fois son poids de vieille bière tournée à l'acide, qui facilite sa division en la gonflant; on étend ensuite la gelée transparente avec une bière légère que l'on prépare quelquefois exprès, dans les grands établissements; on passe le tout à travers un tamis très fin, en crin, qui retient les grumeaux et les parties qui ne sont pas assez divisées; on facilite le tamisage au moyen du frottement produit avec une brosse ronde en crin. Pour conserver cette préparation quinze jours en été et un mois en hiver, on ajoute quelquefois 5 p. 100 du volume de la gelée, en eau-de-vie commune.

Pour opérer la clarification, on mêle cette colle, avec son volume de bière ordinaire, on la verse dans les barils, et on agite vivement pendant une minute, de manière à faire un mélange parfait, on laisse déposer pendant deux ou trois jours, au bout desquels on tire ordinairement en bouteilles. La proportion de colle employée est à peu près de 4 à 8 décilitres par hectolitre de bière, suivant la difficulté de l'épuration.

La colle de poisson agit ici mécaniquement, étant très divisée et gonflée, elle forme dans la bière un vaste réseau membraneux, organisé, qui, contracté par l'action de la levure se resserre et entraîne dans sa précipitation ce dernier corps et toutes les autres matières non dissoutes; le liquide surnageant reste d'une limpidité parfaite, lorsque l'opération a bien réussi. Cette action mécanique de la colle de poisson est tellement vraie, qu'on ne peut pas obtenir le même effet de la gélatine ordinaire, qui a tout à fait la même composition; mais qui n'est pas organisée comme elle.

Après l'épuration de la bière, le sucre non décomposé qu'elle renferme encore suffit ordinairement pour donner lieu dans le liquide à la production de cinq à six fois son volume d'acide carbonique, qui, retenu en dissolution par la fermeture hermétique des bouteilles, produit quatre ou cinq atmosphères de pression, et donne lieu à une sorte d'explosion lorsqu'on débouche ces vases, ainsi qu'à une écume très volumineuse. Enfin, un peu de substance gommeuse qui reste indécomposée dans cette bière, lui donne une légère viscosité et rend ainsi la mousse quelques instants persistante; elle suffit encore pour humecter la langue et le palais d'une manière spéciale, ce que les consommateurs expriment en disant que la bière a de la bouche; propriétés qu'on ne retrouve plus dans la bière faite exclusivement avec du sucre ou du sirop de fécule.

Dans la préparation des bières fortes qui doivent se garder longtemps, comme le porter qui se prépare à Londres, on ne suit pas la même marche que nous venons d'indiquer. Au sortir des *stillions*, ou cuves d'épuration, la bière est pompée dans *les cuves de réserve;* là, il s'établit une fermentation très lente que l'on continue pendant une période considérable, et qui allait autrefois jusqu'à 18 mois. Pendant tout ce temps, la plus grande partie du sucre qui restait se change en alcool, et la bière augmente de force spiritueuse. Un autre résultat important de ce long repos, c'est la clarification spontanée qui se produit et qui rend inutile l'emploi de la colle de poisson.

Le cellier qui renferme les tonnes de garde doit être au-dessous du sol, à l'abri des changements de température, des vibrations des voitures, et en général de tout ce qui pourrait entraver la tranquille fermentation de la bière.

Il y a près de trente à quarante ans, la coutume des brasseurs de porter de Londres était d'en garder d'immenses provisions pendant 18 mois à 2 ans, dans le but d'améliorer sa qualité. Les cuves de garde avaient communément une capacité de 800,000 à 1,000,000 de

litres; on cite particulièrement un de ces immenses réservoirs qui contenait près de 3,000,000 de litres; pendant cette longue période, une lente fermentation transformait la plus grande partie de la substance sucrée en alcool et en acide carbonique, le porter devenait fin et prenait un bouquet apprécié des connaisseurs.

Depuis quelques années, le goût des consommateurs a amené une révolution sous ce rapport, par suite de la diminution dans la consommation du porter. L'ale, au contraire, est devenue la boisson en vogue, et la plupart des autres bières analogues que l'on prépare sont enivrantes au bout de 15 jours de fabrication; 6 semaines de garde sont pour ces boissons une longue période.

Ale de Preston. L'ale de Preston-Pans passe à juste titre pour l'une des meilleures qui se fasse en Europe; cela tient aux soins minutieux et tout particuliers que l'on apporte dans les différentes opérations du brassage, et au choix que le fabricant fait des meilleures matières premières.

Cette boisson est très peu colorée; elle est chargée à fortes doses de matières sucrées; elle est caractérisée d'ailleurs par une saveur douce et balsamique; l'amertume du houblon y est si bien combinée avec la saveur du liquide sucré et alcoolique, qu'elle ne prédomine pas, comme cela a lieu dans la plupart des autres bières.

La basse température à laquelle le brasseur écossais opère la fermentation du moût, afin d'obtenir une boisson ayant tous les caractères que nous venons d'indiquer, restreint son travail aux mois froids de l'année; il ne produit pas pendant les mois de chaleur; il est d'ailleurs très délicat sur le choix de son malt et de son houblon : le premier est obtenu avec la meilleure orge anglaise, le dernier provient de Farnham ou de l'est du comté de Kent. La quantité de houblon employé excède rarement 2 kilog. pour 3 hectol. de malt. La levure ajoutée pour déterminer la fermentation, est soigneusement examinée, et mesurée dans la proportion de 4 litres 1/2 pour 1,000 litres de moût.

La conduite de la fermentation est surtout particulière; le moût ne doit avoir que 10° centigrades, lorsqu'il arrive dans la cuve guilloire, et cette température augmente peu à peu, jusqu'à 19° seulement; elle retombe ensuite jusqu'à la fin de la fermentation.

Voici un tableau qui indique en chiffres la marche de la fermentation pendant tout le temps qu'elle dure habituellement en Écosse.

		Températures.	Kilogrammes.
Mars 24.	*Mise du moût en tonne à*	10° *centig.*	18
» 25	—	11°,0	— 18,5
» 28	—	13°,0	— 17,5
» 30	—	15°,5	— 15,3
Avril 1	—	16°,5	— 14,5
» 4	—	18°,0	— 13
» 5	—	19°,0	— 11,25
» 6	—	19°,5	— 10,35
» 7	—	19°,5	— 9
» 8	—	19°,0	— 8
» 9	—	19°,0	— 6,7
» 10	—	17°,5	— 6

Les nombres en kilogrammes contenus dans la seconde colonne représentent le poids de la matière sucrée gommeuse et albumineuse, enfin de l'extrait solide contenu dans à peu près 164 litres de liquide.

A Paris, on prépare depuis quelques années de la bière blanche analogue à l'ale, et on facilite beaucoup cette préparation, en ajoutant au malt du sirop de fécule, qui donne une liqueur sucrée à peu près aussi économique que le malt seul, et qui, dans l'usage, ne présente aucune des nombreuses chances d'altération auxquelles est soumis ce dernier.

BIÈRE.

Le sirop de fécule, que l'on doit employer de préférence, est celui qui a été préparé au moyen de la diastase (voyez SUCRE DE FÉCULE), il a un goût bien supérieur au sucre préparé par l'acide sulfurique; ce dernier présente toujours une saveur urineuse qui est due à la présence d'un peu de chaux; dans quelques brasseries, lorsque le moût destiné à la préparation de la bière blanche n'est pas suffisamment incolore, on le passe sur un filtre à noir animal qui le décolore. L'emploi de ce filtre est obligatoire, lorsque le brasseur prépare lui-même son sirop de fécule. Il en est de même lorsqu'on fait usage de mélasses.

Dans quelques pays, on emploie aussi, pour remplacer une partie de l'orge, les racines qui fournissent assez abondamment un jus sucré, telles sont les carottes, les betteraves, etc., ou même directement celles qui peuvent ne donner ce sucre que par une transformation de leur fécule; c'est ainsi que l'on fait quelquefois usage des pommes de terre. Ce dernier procédé est pratiqué sur une échelle considérable, dans plusieurs brasseries de Strasbourg, pour la préparation d'une bière assez renommée; voici comment on opère : les pommes de terre sont écrasées, puis mêlées avec au moins un dixième de leur poids de malt d'orge, non pas concassé, comme cela a lieu ordinairement, mais très finement broyé; on ajoute une quantité d'eau chaude suffisante, et on maintient le mélange à une température de 70° centig. pendant 4 heures; au bout de ce temps, la transformation en dextrine et en sucre a eu lieu; on soutire le liquide, on lave le résidu; le moût est ensuite chauffé avec le houblon, et les épurations se suivent comme dans la fabrication habituelle.

Nous avons dit au commencement de cet article, que le maïs ou blé de Turquie était aussi employé à la préparation de la bière; son emploi présente cependant un inconvénient qu'il importe de signaler : sa germination est plus difficile à diriger que celle du blé, à cause de la rapidité et de la vigueur avec lesquelles poussent les radicules et la plumule.

Le mode le plus convenable de déterminer la germination consiste à couvrir les grains de fumier, dans un jardin ou dans un champ, et de les laisser là jusqu'à ce que la surface de la couche soit couverte des pousses vertes de la plante; on enlève immédiatement le grain germé, on le lave et on l'expose au four.

Pour compléter l'article bière, nous allons donner quelques chiffres sur la composition de quelques bières, et sur la quantité des matières qui entrent dans leur confection.

M. Richardson a donné le tableau suivant de densité des différentes espèces de bières, et de la quantité d'extrait sec qu'elles renferment.

BIÈRES.	NOMBRE des kilogram. de matière sèche, contenue dans 163 litres.	PESANTEUR spécifique.
Ale de Burton, 1re qual	18,00 à 19,35	1,111 à 1,120
— 2e qual.	15,75 à 18,00	1,097 à 1,111
— 3e qual.	12,60 à 14,25	1,077 à 1,092
Ale commune, 1re qual.	11,25 à 12,15	1,070 à 1,073
— 2e qual.	9,45	1,058
Porter, espèce commune	8,10	1,030
Porter double.	9,00	1,055
— brun fort. . . .	10,35	1,064
— meill. brun fort.	11,70	1,072
Petite bière commune.	2,70	1,014
Bonne bière de table. .	5,4 à 6,3	1,033 à 1,039

Voici d'après l'ouvrage de M. Dumas, les recettes des différentes bières :

Porter (bière de table).

Malt	Pâle.	20	hectol.
	Ambré.	17	
	Brun.	9	
Houblon.		60	kilogr.
Levure fraîche.		37	
Sel marin.		2	

Produit : 68 hectolitres de bière, plus une certaine proportion de bière faible.

Porter de garde (pour l'exportation).

Malt	12 hectol.	malt pâle d'Hereford.
	8 —	ambré jaune de Kingstown.
	8 —	brun foncé —
	45 kilogr.	houblon du comté de Kent.
	15 —	levure fraîche.
	25 —	sel marin.

Produit : 30 hectolitres de bière forte et de longue conservation, plus de la bière faible provenant des lavages.

Ale de garde.

Malt pâle du Herefordshire.	40 hectol
Houblon du comté de Kent (de très bonne qualité et très aromatique). . . .	50 kilogr.
Sel.	2

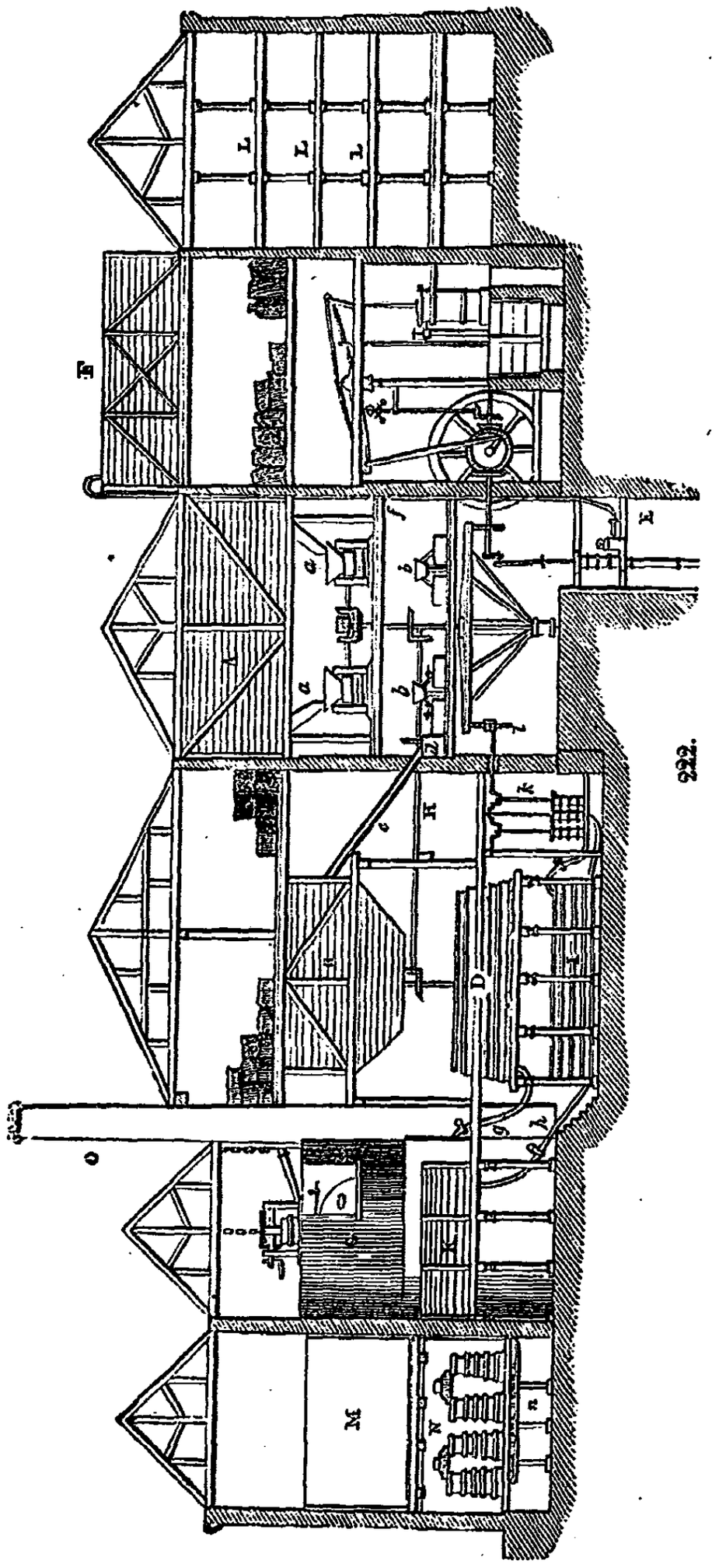
Produit : 50 hectol. d'ale, plus, comme toujours, de la petite bière.

Disposition générale d'une grande brasserie anglaise de porter, avec le détail des machines et ustensiles qui y sont employées. Les fig. 222 et 223 représentent la disposition générale des appareils d'une brasserie montée sur une grande échelle. On doit observer que pour réunir dans un très petit cadre toutes les opérations de la brasserie, on a, en conservant toutefois leur arrangement réciproque, été obligé de réduire beaucoup les dimensions, en longueur et en largeur, des bâtiments, surtout dans la fig. 222.

Le malt nécessaire à la fabrication est acheté tout préparé aux malteurs. On le conserve, jusqu'à l'emploi, dans de vastes greniers bien aérés, et qui occupent habituellement la partie supérieure des bâtiments; on n'en a représenté qu'un en A, fig. 222. Immédiatement au-dessous de ces greniers en *a*, *a*, se trouvent les cylindres écraseurs, que nous avons déjà représentés fig. 216 et 217. Sur le plancher situé au-dessous de ces rouleaux se trouvent des moulins à meules horizontales *b*, *b*, que l'on emploie quelquefois pour broyer le grain, au lieu de le concasser, en le passant entre les rouleaux *a*, *a*.

Lorsque le malt est broyé, il est placé dans une caisse *d*, placée à peu de distance des moulins. De cette caisse, il est élevé par l'action d'une vis en spirale (dont on voit le détail plus loin, fig. 224), renfermée dans le cylindre en bois indiqué par la lettre *e*, dans un grand réservoir de réserve B, dans lequel on le garde jusqu'au moment où on doit en disposer. Comme on le remarquera dans la figure, cette caisse B est située immédiatement au-dessus de la cuve à brasser D, dans laquelle on fait à volonté descendre le malt, lorsqu'on veut en extraire les parties solubles.

L'eau pour le service de la brasserie est tirée d'un puits E, que l'on voit dans le moulin à droite, par une pompe fonctionnant par une transmission de mouvement de la machine à vapeur; le tuyau *f* de cette pompe élève cette eau dans un très grand réservoir ou bac à eau F, placé au sommet du bâtiment, de manière à pouvoir alimenter toutes les parties de l'usine. Des tuyaux de fonte partent de cette citerne, se rendent à la chaudière G, où a lieu la cuction de la bière avec le houblon, ainsi que dans tous les endroits où l'on peut



222.

avoir besoin d'eau froide pour nettoyer et laver les vaisseaux, etc.

La chaudière G, dont on verra plus loin les détails dans les fig. 226 et 227, peut être remplie à volonté d'eau froide, en tournant simplement la clef d'un robinet.

Le tuyau *g*, adapté au fond de cette chaudière, sert à conduire l'eau chaude entre les deux fonds de la cuve à brasser D, où elle dissout le malt, comme nous l'avons dit précédemment. A l'instant où l'on vient de tirer l'eau de la chaudière, on doit en remettre de nouvelle, de manière à ce qu'elle ne soit jamais laissée vide un instant; si on ne prenait pas cette précaution, la chaleur du foyer détruirait promptement le fond de la chaudière.

Pendant le brassage, qui a lieu dans la cuve D, le malt est agité par un appareil particulier, fixé sur un arbre vertical placé au centre de la cuve, et qui reçoit le mouvement de l'arbre de couche H par l'intermédiaire d'engrenages coniques. On verra les détails de la cuve et de l'appareil agitateur dans la fig. 225.

Lorsque le brassage est achevé et que le repos a été suffisant, on soutire le moût provenant de l'opération, et on le reçoit dans la cuve réverdoire I, placée immédiatement au-dessous de la cuve D; là il n'y reste que le moins longtemps possible, et on s'empresse de l'élever au moyen de la pompe à trois corps *k*, dans une bassine placée sur le sommet de la chaudière C, et qui remplace avantageusement le réservoir dont nous avons parlé dans la description générale des opérations du brassage (voyez plus loin les planches 226 et 227). Le moût reste dans cette bassine jusqu'à ce que l'eau chaude destinée au brassage suivant soit enlevée de la chaudière C; pendant ce temps sa température s'élève toujours un peu. Aussitôt que la chaudière C est vide, on y fait passer le contenu de la bassine, qui elle-même reçoit le nouveau brassin qui est également monté au moyen des pompes *k*.

C'est ainsi que les divers moûts se succèdent les uns aux autres dans les différents vases, avec la plus grande régularité, de sorte qu'il n'y a aucune perte de temps, et que chaque partie de l'appareil se trouve constamment employée. Lorsque la cuisson du moût et la décoction du houblon ont été suffisamment prolongées, on vide tout le contenu de la chaudière par un large robinet, dans un bac K, placé immédiatement au-dessous, et dont les dimensions sont suffisantes pour recevoir tout le liquide d'une opération; ce vase remplit le même but que le bac à repos dont nous avons parlé, seulement la séparation du moût et du houblon se fait d'une manière différente que dans ce dernier; en effet, le bac K est muni d'un faux fond formé de plaques de fonte, perforées d'une infinité de petits orifices, à travers lesquels le moût s'égoutte, sans que le houblon puisse les traverser. Le moût filtré est tiré du double fond du bac à repos, au moyen du tube *h*, par la pompe *k*, qui l'élève dans les nombreux réfrigérants L,L,L, disposés dans un bâtiment spécial. Comme on le voit, la pompe *k* est disposée, au moyen de tuyaux de communication et de robinets, de manière à ce qu'elle puisse servir à tous les besoins de la fabrique, si ce n'est à celui d'élever l'eau froide du puits. Les réfrigérants L,L,L, sont des bacs présentant une très grande surface et disposés les uns au-dessus des autres de manière à former les différents étages, assez rapprochés d'un bâtiment; ces bacs ont très peu de profondeur, 2 à 3 décimètres au plus, afin qu'ils présentent à l'action réfrigérante de l'air le plus de surface possible. Pour que le refroidissement de la bière soit encore plus rapide, on a soin de garnir les parois du bâtiment au moyen de nombreuses persiennes, de manière à ce que les courants d'air soient admis le plus librement possible.

Lorsque le moût est suffisamment refroidi pour être soumis à la première fermentation, il est conduit par des tuyaux qui partent du fond des divers réfrigérants, dans deux grandes cuves guilloires M, dont on ne voit qu'une seule dans la figure, et dont la capacité est suffisante pour contenir toute la bière brassée dans un jour.

Lorsque la fermentation tumultueuse a eu lieu, la bière est soutirée de la cuve guilloire M, et elle est conduite dans les petits vases de fermentation ou vaisseaux à purifier N, dont il y a un très grand nombre dans la brasserie. Ces tonneaux placés verticalement sont disposés quatre par quatre; et à chacun des quatre, un bec commun reçoit la levure qui se renouvelle à la surface de la bière, et la conduit dans des auges générales *n* placées au-dessous. La bière reste dans ces vaisseaux à clarifier jusqu'à ce que la fermentation apparente par la mousse soit complète, et elle est mise ensuite dans les cuves de réserve, qui sont des réservoirs d'une immense grandeur, où on la conserve jusqu'à ce qu'on en ait besoin, puis finalement elle est mise dans des barils que l'on expédie au dehors. Ces cuves de réserve ne sont pas représentées dans la figure; elles sont de forme conique, de diamètre variable, suivant la contenance qu'on veut leur donner, et elles ont en général de 4 mètres 50 à 6 mètres de profondeur.

La machine à vapeur qui met en mouvement différents appareils de la brasserie se voit sur la droite de la figure; sur l'axe du volant est une roue conique qui donne le mouvement à une roue semblable placée sur un arbre qui transmet ce mouvement à l'engrenage d'un manége, ainsi qu'à la pompe à eau. La roue du manége commande à tous les pignons des moulins *b*, *b*, et aussi à l'axe horizontal qui fait marcher les pompes *k*. Les cylindres *a*, *a*, sont mus par une roue d'angle fixée sur l'extrémité supérieure de l'axe du manége, que l'on a prolongé à cet effet. L'arbre de couche H reçoit le mouvement de cet axe, et le transmet à l'agitateur mécanique disposé dans la cuve à brasser.

Outre tous ces appareils, la machine à vapeur peut également, à volonté, faire mouvoir un tire-sac, qui n'est pas représenté dans la figure, et qui est destiné à hisser les sacs de malt, de la cour de la brasserie, dans le grenier A où on en décharge le contenu.

Le manége qui sert d'intermédiaire entre la machine à vapeur et les différents appareils de l'usine, a été disposé de cette manière afin qu'on ne soit pas arrêté, dans le cas, très rare du reste, où la machine à vapeur se dérangerait; il suffit alors de remplacer cette dernière par des chevaux que l'on attelle au manége.

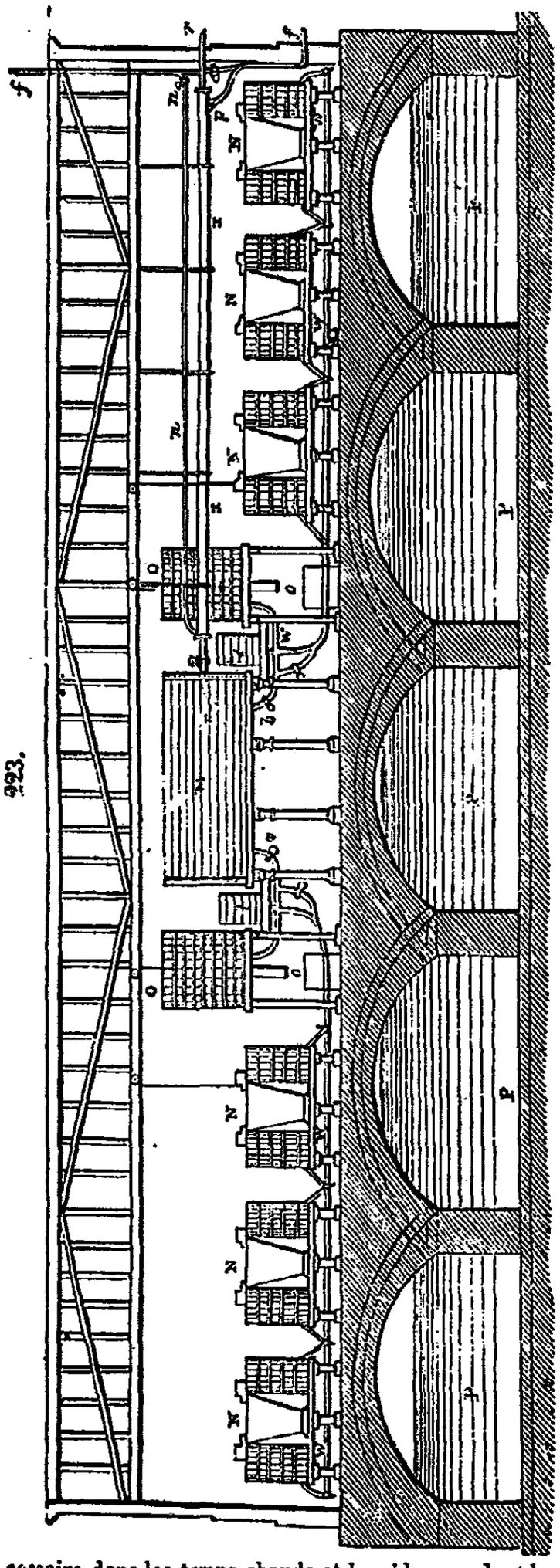
La fig. 223 représente l'atelier de fermentation de la brasserie de MM. Whisbread et C^ie^ dans Chiswell Street, à Londres, qui est peut-être l'une des plus vastes et des mieux disposées de celles qui existent dans le monde, elle a été construite sur les plans et les indications de M. Richardson, qui aujourd'hui dirige les travaux de la brasserie.

L'ensemble de cet atelier de fermentation représente avec plus de détails, la partie de la fabrication de la bière, qui est indiquée par le grand vaisseau M et les tonneaux N dans la fig. 222.

Dans la fig. 223, *r*, *r*, sont les tuyaux qui partent des différents réfrigérants, et qui amènent le moût dans les grands vaisseaux à fermenter M, qui sont au nombre de deux, l'un derrière celui qui est représenté dans la fig. 223, ce tuyau *r*, en cuivre, est enveloppé d'un second tuyau *xx*, dont le diamètre est beaucoup plus grand; dans l'espace libre qui existe entre les deux tubes on fait arriver un courant d'eau froide, qui abaisse encore la température de la bière et la rend plus propre à la fermentation; le tube *ff*, est la conduite d'eau qui part du réservoir supérieur alimenté par les pompes; *nn*, est le tube qui amène l'eau froide dans l'intérieur et à l'extrémité du tube réfrigérant *x*; enfin le tuyau *p*, conduit au dehors du tube l'eau qui a servi à refroidir la bière.

BIÈRE.

cette eau peut-être amenée dans un second réservoir qui est destiné à alimenter les chaudières de coction ; et comme elle a déjà une certaine température, c'est autant de gagné sur la consommation en combustible. Ce refroidissement supplémentaire de la bière est surtout né-



223.

cessaire dans les temps chauds et humides, pendant lesquels le refroidissement dans les bacs est très lent; il est du reste très favorable, car on comprend fort bien qu'on peut amener, par ce moyen, la bière au degré de température justement favorable à la fermentation; il suffit pour cela d'ouvrir plus ou moins le robinet placé sur le tuyau par lequel sort l'eau qui a servi à refroidir, ou bien de ralentir le courant de bière dans le tube *r*.

Lorsque la première fermentation dans les cuves guilloires M est terminée, on retire la bière par les tuyaux *v*, et on la conduit au moyen d'embranchements *w*,*w*, aux différentes rangées de tonnes N,N, qui occupent la plus grande partie des bâtiments. Dans l'espace qui sépare deux rangées parallèles de tonnes, sont disposées de grandes auges qui reçoivent la levure qui est sans cesse rejetée.

Comme on peut le voir dans la figure 223, toutes les tonnes N,N, sont placées sur un niveau plus bas que le fond des grands vaisseaux M, de telle sorte que la bière peut toutes les remplir à la même hauteur, par l'équilibre hydrostatique.

Lorsque les tonnes N,N, sont remplies, on ferme le robinet qui les fait communiquer avec les vases M, mais comme le travail de la fermentation diminue à chaque instant la quantité de bière, il est nécessaire de remédier de temps en temps à cette perte; voici comment on y parvient très facilement : à côté ou entre les deux vases M, se trouvent deux grandes cuves O, que l'on a soin de remplir avec la bière des vases M, avant qu'elle soit mise dans les tonneaux N ; c'est cette bière que l'on réserve pour maintenir le niveau dans ces derniers ; près de chacune de ces cuves O, se trouve un petit vase *t*, placé à un niveau un peu inférieur, et qui communique avec elles au moyen d'un robinet à flotteur; ce vase *t* reste pendant tout le temps de la fermentation en communication avec les tuyaux qui conduisent aux tonnes N; on comprend donc que, si le robinet à flotteur est disposé de manière à maintenir constamment, dans les vases *t*, le niveau à la même hauteur que celui que doit avoir la bière dans les tonnes N ; on comprend, disons nous, que la perte éprouvée dans ces dernières se trouve constamment réparée, sans que l'on ait jamais besoin de toucher à l'appareil; par cette méthode simple et ingénieuse on évite la main-d'œuvre qu'exige ordinairement le remplissage, et en outre le travail est mieux exécuté.

Afin d'évacuer la levure qui se produit par la fermentation de la bière dans les cuves O, avant qu'on la fasse passer dans les tonnes N, un entonnoir conique est maintenu constamment au niveau du liquide au moyen d'un flotteur; l'orifice supérieur de cet entonnoir se trouve à une très petite distance du niveau, l'écume peut donc s'y introduire, puis s'écouler par un tuyau fixé à l'orifice inférieur de l'entonnoir, et qui traverse le fond de la cuve. L'écume qui s'échappe de l'extrémité de ce tuyau *o* est reçue dans une auge placée au-dessous. Ce tuyau *o* traverse le fond de la cuve dans une espèce de botte à étoupes, ce qui lui permet de glisser librement de haut en bas, au fur et à mesure que le niveau de la bière baisse, sans toutefois que cette dernière puisse s'échapper entre le tuyau et le fond de la cuve.

Sous l'atelier de fermentation que nous venons de décrire sont de grandes caves voûtées P,P, bâties avec de bonnes pierres de construction, et dont les parois sont cimentées de manière à résister à l'humidité. On dispose dans ces caves les tonneaux de la bière qui a suffisamment fermenté, et on les y garde jusqu'au moment de l'expédition. Dans la brasserie de M. Whitbread on a préféré cette méthode de conservation aux grands vases de maturation, dont nous avons parlé précédemment; dans ces caves la bière se conserve très longtemps, parce que les changements de température y sont très peu sensibles.

A la suite de la description générale d'une brasserie anglaise, nous croyons utile de décrire quelques-uns des appareils perfectionnés que l'on y emploie, et qui présenteront quelque intérêt parce qu'ils sont très peu connus en France. Dans ce dernier pays l'importance

bien moins grande des brasseries oblige de n'employer que des appareils simples et peu coûteux.

Moulin anglais de MM. Pontifex et Cie. Cet appareil (fig. 224) consiste en une paire de cylindres concasseurs.

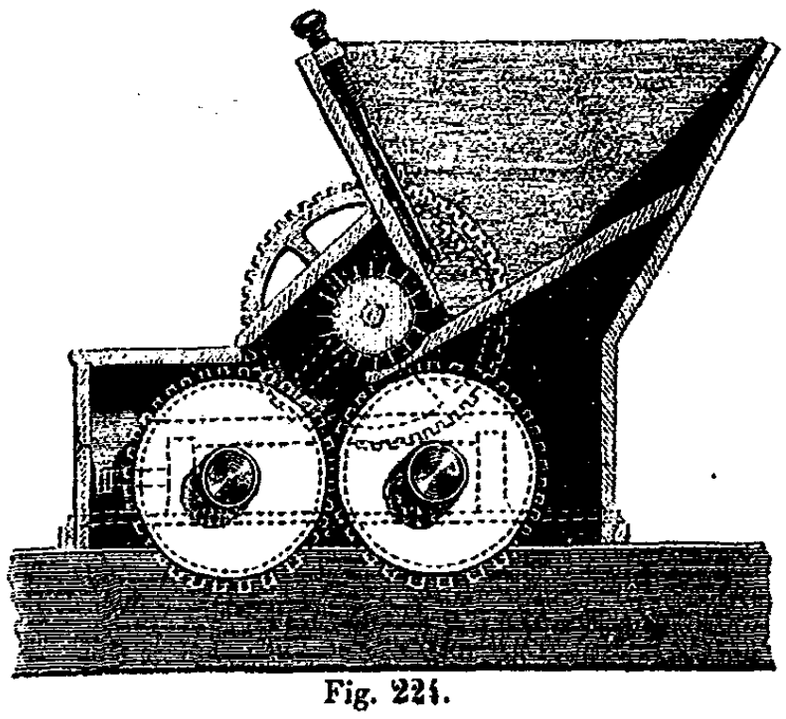


Fig. 224.

Une trémie en bois, munie d'une glissière pour régler la sortie du malt, un cylindre d'alimentation et deux rolls concasseurs en fonte, en composent les parties les plus essentielles. Les cylindres concasseurs peuvent être plus ou moins rapprochés. Une excellente invention est celle de la construction du cylindre alimentaire, dont l'arbre porte en saillie des lames de tôle qui prennent le malt à sa sortie de la trémie, et l'amènent jusqu'entre les rolls. Il en résulte une distribution égale et uniforme du grain entre les cylindres écraseurs, et ce n'est pas là un avantage à dédaigner, puisque cette distribution égale assure à la fois la régularité du travail et le bon service de l'appareil.

Moulin à malt de la brasserie Alsopp. Nous donnons encore (fig. 225) le dessin du concasseur à malt

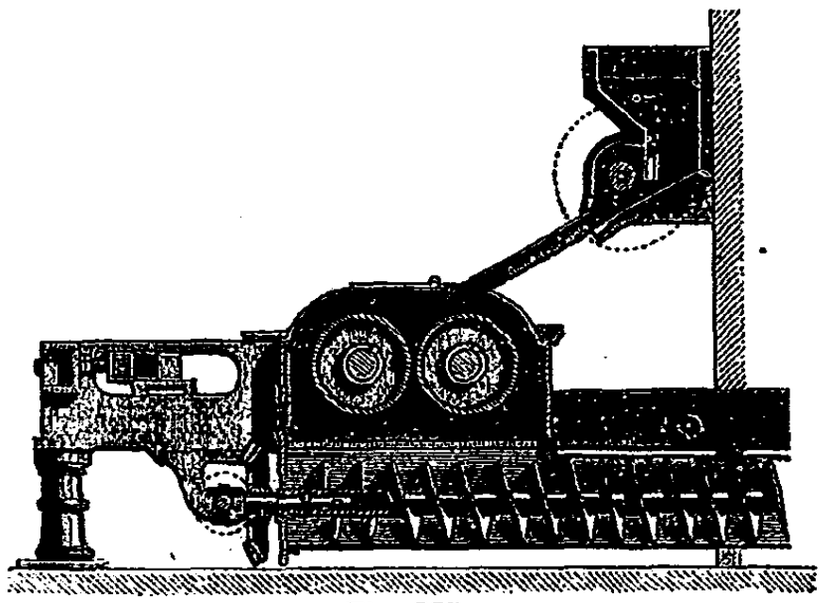


Fig. 225.

employé dans l'établissement Alsopp, un des plus renommés de la Grande-Bretagne, dans lequel on doit remarquer, dans le but d'économiser la main-d'œuvre, l'emploi de la vis d'Archimède pour déplacer le malt à mesure de son écrasement.

On établit très-convenablement aujourd'hui des cylindres qui peuvent écraser 8 à 12 hectolitres à l'heure, et qui ne consomment pas plus de 2 à 3 chevaux de force de vapeur. Des cylindres *bien établis* et *bien construits* sont toujours préférables aux meules horizontales pour la division du grain destiné à faire la bière.

BIÈRE.

S'il s'agissait d'alcoolisation proprement dite, on devrait préférer les meules et la division en farine, puisque, dans ce cas, le but principal serait le rendement alcoolique et non pas la préparation d'une

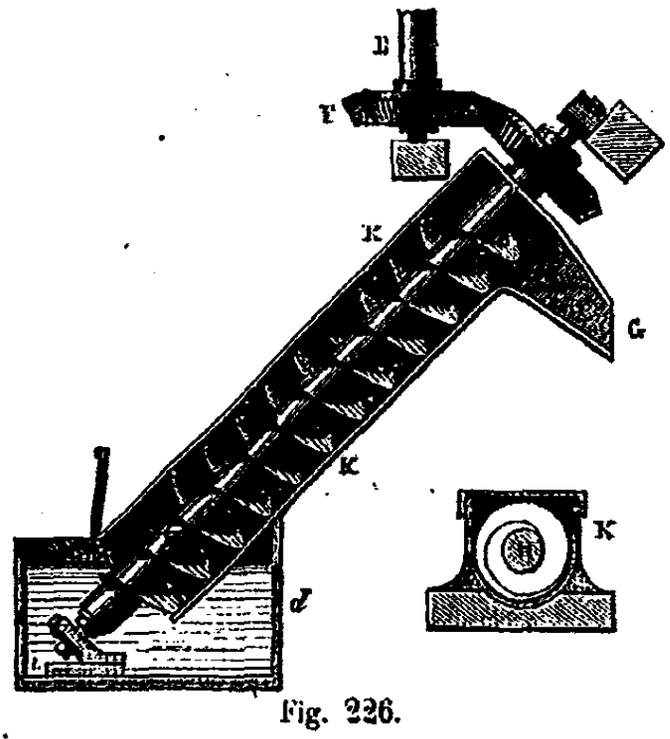


Fig. 226.

boisson fermentée, devant présenter des propriétés particulières.

Vis élévatoire. La figure 226 est une vis d'Archimède au moyen de laquelle le malt broyé peut être élevé ou conduit d'une partie de la brasserie à l'autre. K est la boîte inclinée dans laquelle tourne la vis H; *d*, auge dans laquelle on place le malt que la vis d'Archimède doit élever; E, arbre moteur sur lequel est fixé le pignon F, qui commande la roue d'angle placée sur l'axe de la vis d'Archimède; G, bec par où sort le malt élevé. Des machines, semblables à celles que nous venons de décrire, sont employées dans les diverses parties de la brasserie, partout en un mot où il y a du malt à déplacer.

Cuve à brasser. La figure 227 représente une cuve à brasser, ou, comme le disent les Anglais, à démêler: *aa* est la cuve proprement dite; elle est construite avec des douves de bois, épaisses et reliées ensemble par de nombreux cercles en fer; elle est du reste munie d'un double fond percé de trous, tout à fait comme celle que nous avons déjà décrite et qui est employée en France. Ce qu'il y a de remarquable dans cette cuve, c'est le moyen que l'on a employé pour agiter le malt dans l'eau de dissolution: *b* est un arbre placé au centre de la cuve, et qui est supporté sur une crapaudine; cet arbre *b* reçoit le mouvement d'une roue d'angle *u*, adaptée à son extrémité supérieure, et qui elle-même est commandée par le pignon d'angle *t*. Sur le même arbre *b* sont adaptés deux bras en fonte *c*, *c*, qui supportent, entre des collets, un second arbre plus petit *d*. Ce dernier est muni sur les quatre côtés de bras ou palettes *e*, *e*, qui sont destinées à remuer le mélange liquide en le forçant continuellement non-seulement à tournoyer, mais encore à s'élever du bas en haut; ce dernier effet, très important, est obtenu naturellement par la direction inclinée que l'on a donnée aux palettes *e*, *e*. L'arbre *d* reçoit le mouvement de la roue d'engrenage *x* placée à son extrémité, et celle-ci est elle-même commandée par l'engrenage *w*. L'engrenage *w* n'est pas fixe sur l'arbre central *b*; il est monté sur un canon *o* qui peut tourner librement sur lui: en effet, on remarquera que l'arbre *b* paraît avoir un plus grand diamètre au-dessous de la roue *w* qu'au-dessous du pignon *u*.

On voit donc de suite qu'on peut ainsi communiquer deux mouvements de rotation à l'arbre *d* : l'un dépendant de l'arbre *b*, et qui le forcera de faire le tour de la cuve en un temps égal à celui que met l'arbre *b* à faire une révolution ; l'autre, au contraire, indépendant, comme nous venons de le dire, et qui force l'arbre *d*

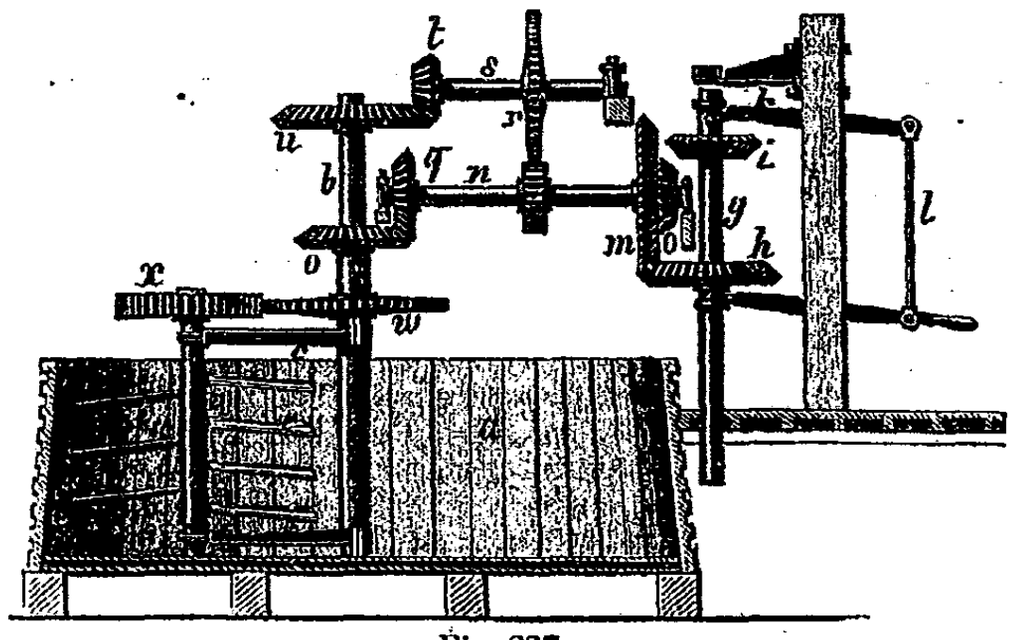


Fig. 227.

et les palettes *e* à tourner rapidement sur eux-mêmes, tout en se mouvant par un mouvement planétaire autour de l'axe *o*. Indiquons la transmission de ces deux mouvements.

g est l'arbre moteur mis en mouvement par la machine à vapeur; *h* et *i* sont deux roues coniques placées sur cet arbre, et qui transmettent le mouvement à l'arbre horizontal *nn*, par l'intermédiaire des engrenages *m* et *o*. Lorsqu'on veut que l'agitateur marche lentement, on engrène *h* avec *m*; lorsque, au contraire, on veut que le brassage soit rapide et énergique, sur la fin de l'opération, par exemple, on engrène *i* avec la petite roue d'angle *o*. On obtient à volonté ce changement de vitesse au moyen du bras de levier *l*, qui, d'un seul coup, élève ou abaisse le manchon mobile *g* sur lequel sont fixées les roues *i* et *h*. L'arbre *n* transmet le mouvement à l'agitateur *d* par l'intermédiaire des roues d'engrenage *q*, *o*, *w* et *x*; et à l'arbre *b* par l'intermédiaire des roues *p*, *r*, *t* et *u*. On voit dans la figure que les diamètres de toutes ces roues sont calculés de manière à ce que le mouvement général autour de la cuve soit lent, tandis que le mouvement giratoire de l'agitateur *d* est au contraire très rapide relativement. L'axe *d* fait dix-sept à dix-huit révolutions dans le même espace de temps qu'il fait le tour de la cuve.

Chaudières. Nous avons vu, en parlant de la cuisson de la bière, qu'il était très important d'employer des chaudières hermétiquement fermées, soit parce que la décoction du houblon se fait mieux, soit parce qu'on perd moins d'huile essentielle. Voici une chaudière employée dans les brasseries anglaises et qui paraît donner d'excellents résultats.

La figure 228 est une section verticale par un plan passant par l'axe de la chaudière. C'est une chaudière chauffée à feu nu, il est vrai; mais elle est close, munie d'un agitateur mécanique que l'on fait mouvoir par une poulie et une manivelle. Cet agitateur porte à son extrémité inférieure des bras en fer, auxquels sont adaptées des chaines, dont la fonction est de racler le fond de la chaudière et empêcher les matières de dépôt et le houblon de s'y attacher et de brûler; on peut, d'ailleurs, le relever par le moyen d'un petit treuil et le faire fonctionner à différentes hauteurs. Cette chaudière offre une particularité intéressante : la partie supérieure de l'appareil sert de fond à une bassine ouverte destinée à faire l'effet d'une espèce de *chauffe-moût*.

Cette bassine étant remplie de liquide, la chaleur de celui qui est en ébullition dans la chaudière se communique à la masse à travers les parois, en sorte qu'il résulte de ce fait deux avantages marqués, dont l'importance est considérable. Outre l'économie qui ressort de cet échauffement pour la calorification du moût, la liqueur se trouve portée à un degré de température tel, qu'elle échappe plus aisément aux causes d'altération, qui sont d'autant plus actives que la température des liqueurs s'abaisse au-dessous de + 50 degrés; d'autre part des tubes obliques, partant du sommet de la chaudière et formant la seule issue possible aux vapeurs, se dirigent vers le fond de cette bassine et y portent la vapeur du moût en ébullition ainsi que l'huile essentielle du houblon qui s'y trouve ainsi retenue.

La seule observation grave que l'on puisse faire contre cette chaudière se rapporte à son mode de chauffage, lequel a lieu par l'action directe du feu nu. Personne ne conteste aujourd'hui les inconvénients de l'application immédiate de la chaleur lorsqu'il s'agit de matières facilement altérables. Que l'ébullition soit utile et même nécessaire aux moûts de la bière, la

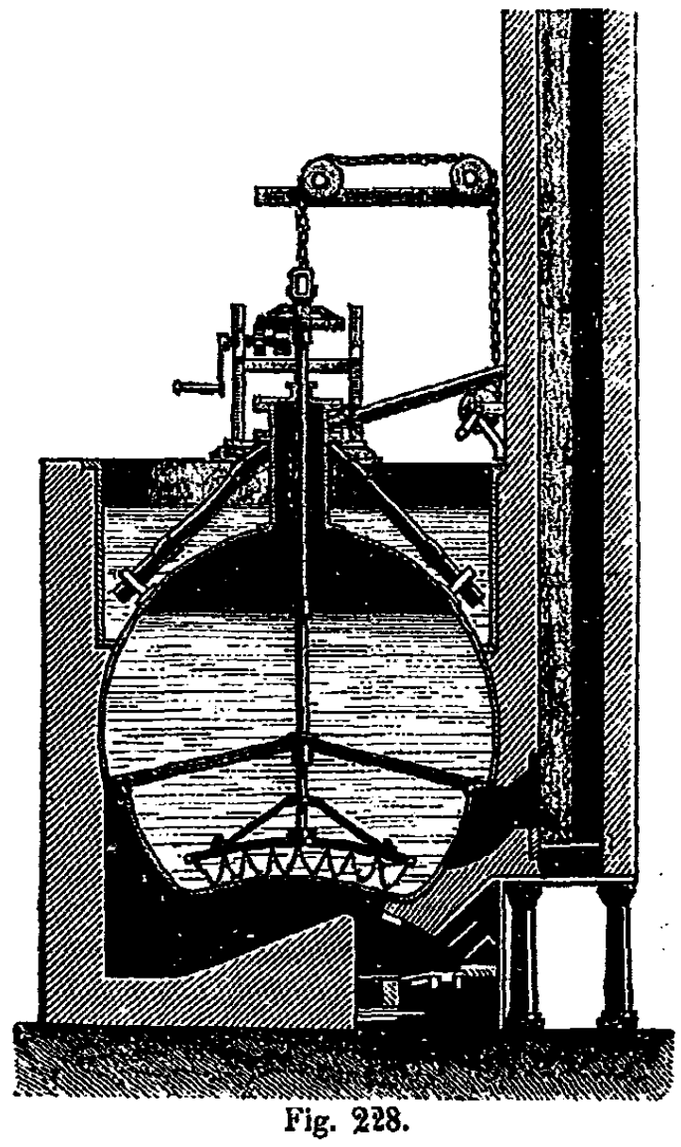


Fig. 228.

chose n'est pas douteuse; mais que l'on s'expose à *brûler* les matières qui se déposent sur le fond et les parois des chaudières; que l'on *caramélise* une partie du glucose de ces moûts, c'est une faute. C'est au chauffage à la vapeur qu'il convient d'avoir recours, dans des cas semblables, lorsque des difficultés insurmontables ou des circonstances particulières ne viennent pas en interdire l'emploi.

Cuve de fermentation. En Angleterre, la fermentation active s'opère dans des cuves d'une capacité plus ou moins grande, où le liquide subit entièrement cette première phase de l'action du ferment. Mais comme, dans la marche ordinaire, la bière entonnée dans des fûts laisse échapper la levûre par la bonde, et que ce fait constitue un commencement utile de purification, les brasseurs anglais ont grand soin d'enlever le chapeau qui se forme à la superficie du liquide, afin d'éliminer ainsi l'excès de ferment et celui, surtout, qui peut avoir éprouvé un certain contact avec l'air atmosphérique. On a même imaginé des appareils destinés à produire automatiquement cette séparation de la levûre. La figure 229 représente une disposition de ce

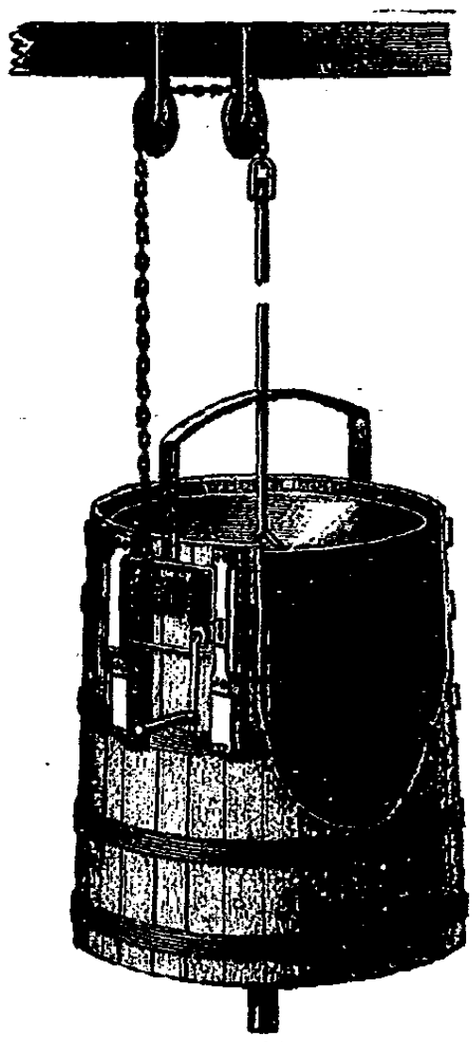


Fig. 229.

genre, exécutée par la maison Pontifex, de Londres, fort convenable pour produire une séparation à peu près automatique de la levûre dans les stillions. Son parachute est une espèce d'entonnoir renversé ou de cône à sommet inférieur, dans lequel la levûre descend à mesure de sa production, pour être dirigée ensuite vers un récipient par un tube conducteur.

Robinets. La figure 230 est un robinet que l'on adapte sur les parois des grandes cuves où l'on conserve la bière préparée; il sert à soutirer de temps en temps une petite quantité de cette dernière pour s'assurer de sa qualité.

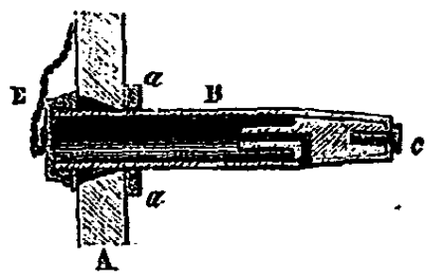


Fig. 230.

A représente une partie de la paroi de la grande cuve de réserve; B est un tube en cuivre que l'on fait pénétrer dans l'intérieur de la cuve, par un orifice pratiqué à l'avance; un collet qui s'appuie sur la paroi extérieure empêche ce cylindre d'entrer complétement dans la cuve, et un écrou *a*, que l'on

serre contre la paroi intérieure, le fixe très solidement. Du reste, on a soin d'interposer entre le bois et les surfaces métalliques des rondelles de drap ou de cuir qui préviennent les fuites. L'extrémité du cylindre B est légèrement conique, et c'est dans cette partie que se trouve le noyau du robinet qui peut tourner dedans, à surfaces rodées; la petite vis *c* maintient ce noyau, qui se trouve percé, comme l'indique la figure, d'un petit canal à angle droit, dont la branche verticale correspond avec un orifice percé sur l'arête inférieure du cylindre B. Dans cette position, il est évident que la bière contenue dans la cuve pourra s'échapper par l'orifice; mais si l'on vient à tourner d'une demi-révolution le noyau, les orifices ne se trouveront plus en regard, et l'écoulement cessera immédiatement. Voici maintenant comment on fait tourner ce noyau. D (figure 231) représente la coupe longitudinale de la clef qui sert à accomplir ce mouvement, c'est-à-dire à fermer et à ouvrir ce robinet; après avoir enlevé l'obturateur E, on introduit l'extrémité de la clef dans le tube B, l'orifice *e* enveloppe l'extrémité du noyau, de manière qu'en tournant la clef on fait aussi tourner le noyau. La clef est percée dans toute sa longueur d'un petit canal qui, après avoir tourné à angle droit, vient aboutir en *f* à l'une des extrémités de la poignée; on s'arrange de manière à ce que le robinet soit ouvert lorsque le manche occupe une position verticale, et que, par conséquent, l'orifice *f* est tourné contre terre; on reçoit alors la bière qui s'écoule de cet orifice dans un verre ou dans un vase quelconque.

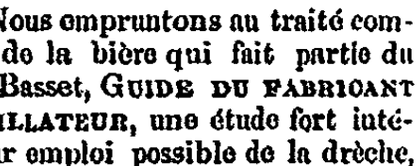


Fig. 231.

Cette disposition assez ingénieuse est adoptée, parce qu'il arrive quelquefois qu'un grand cercle en fer, se cassant, tombe le long des parois de la cuve et pourrait briser tous les robinets faisant saillie; si cet accident arrivait pendant la nuit, une grande quantité de bière pourrait être perdue avant que l'on en ait rien découvert. Le robinet que nous venons de décrire fait à peine saillie sur la paroi extérieure des foudres, il est donc à l'abri de cet inconvénient.

Emploi de la drèche. Nous empruntons au traité complet de la fabrication de la bière qui fait partie du grand ouvrage de M. Basset, GUIDE DU FABRICANT D'ALCOOLS ET DU DISTILLATEUR, une étude fort intéressante sur le meilleur emploi possible de la drèche, du résidu capital du travail de la brasserie.

La drèche à l'état ordinaire constitue une des nourritures les plus avantageuses pour le bétail, sous la condition rigoureuse, bien entendu, qu'on ne la leur donne que saine et en bon état de conservation.

En effet, cette matière comparée au foin de prairie, sous le rapport de l'azote seulement, renferme 0,71 d'azote pour 100, avec 79,875 d'eau, tandis que le foin, à 14 pour 100 d'eau seulement, n'en contient que 1,45. Si nous ramenons la drèche à ce degré d'hydratation, nous trouvons qu'elle renferme 5,166 d'azote pour 100 parties, en sorte que, au même degré de dessiccation que celui du foin ordinaire, 100 kilogrammes de drèche vaudront 450 kilogrammes de foin sous le rapport alimentaire et pour l'azote seulement, en faisant abstraction de la proportion considérable de fécule, dont le rôle est cependant d'une très-haute importance.

A l'état ordinaire, avec 79,875 d'eau, 100 kilogrammes de drèche ne représentent que 6^{k},87 de foin à 1,45 d'azote et pour 100 d'eau. Ainsi la ration de drèche humide, répondant à 12^{k},500 de foin, sera de 20 kilogrammes environ, tandis que, si elle était amenée à

11 pour 100 d'eau seulement, il n'en faudrait que 2k,78 pour représenter 12k,5 de foin ordinaire.

Et encore, il convient de répéter que nous laissons de côté la richesse de la drèche en amidon, richesse bien supérieure à celle du foin et dont il faut tenir compte, puisque l'amidon et les féculents doivent être placés au premier rang des aliments calorifiques ou respiratoires. Si l'azote, si la matière azotée est la substance réparatrice du muscle, la source de la viande, la matière hydrocarbonée, est le principal aliment de la combustion animale et la source de la chaleur intime; elle fournit les éléments de la matière grasse et, lorsqu'elle est introduite en proportion suffisante dans l'économie, lorsque, d'ailleurs, l'animal ne supporte pas l'influence de causes de déperdition trop actives et qu'il est en chair, elle détermine l'approvisionnement, l'accumulation de la graisse dans les tissus. La drèche est donc un aliment excellent sous les deux rapports de la production de la viande et celle de la graisse.

Nous réservons cependant quelques observations auxquelles il convient de prêter une attention sérieuse, lorsqu'on veut tirer tout le parti possible d'un régime alimentaire donné. Nous les exposons succinctement.

Sans nous occuper ici de ce que doit savoir tout bon éleveur au sujet des rations d'entretien, de réparation ou d'engraissement et d'augmentation, nous pensons qu'il doit être fait une grande différence dans l'alimentation des animaux, selon qu'ils sont arrivés au terme de leur croissance ou non, selon qu'ils sont maigres ou en chair, qu'ils sont arrivés au gras ou qu'ils sont dans une période moins avancée de l'augmentation progressive. Il nous semble résulter des principes de la physiologie, confirmés par l'expérience, que l'animal *fabrique moins de graisse*, lorsqu'il n'est pas arrivé à tout son développement osseux ou musculaire; lorsque ce développement est atteint, la production de la graisse prend, au contraire, l'avance sur tout le reste et elle doit être regardée comme le complément de l'accroissement.

Pendant qu'un animal s'accroît, pendant qu'il franchit la distance qui le sépare de son entier développement musculaire, jusqu'à ce qu'il soit arrivé à ce qu'on appelle la *mise en chair*, il n'a donc besoin d'aliments calorifiques et engraissants qu'à titre d'aliments respiratoires. C'est dire que, dans cette période, ces aliments doivent lui être donnés avec une certaine parcimonie, tandis que les aliments plastiques, réparateurs, producteurs de la chair, du muscle, ainsi que les aliments propres à augmenter le développement de l'ossature, doivent lui être administrés largement, non-seulement pour remplacer la dépense due à l'exercice des fonctions ou causée par le travail, mais encore pour produire l'accumulation, l'augmentation de la matière musculaire.

Dans cette période, les aliments azotés sont les plus essentiels. Nous admettons, sans doute, que toutes les conditions d'une bonne hygiène sont accomplies, que toutes les questions de masse alimentaire, d'aération, de travail, d'exercice, de propreté, de repos, etc., ont été soigneusement prévues et calculées, et nous ne parlons que du but spécial de l'alimentation.

Il n'est pas moins évident que, lorsque l'animal est en chair, lorsqu'il est arrivé à son développement osseux et musculaire, il convient de l'empêcher de *perdre* et de commencer à lui faire produire de la graisse. Dans cette période mixte, il faut que les aliments soient assez riches en matières plastiques pour que la chair augmente encore et qu'il n'y ait pas de déperdition musculaire; il faut qu'ils contiennent assez de matières hydrocarbonées pour pourvoir aux besoins de la calorification et, de plus, pour présenter l'excédant nécessaire à la production du tissu adipeux.

Dans cette seconde période, il faudra donc que la base de l'alimentation repose sur une proportion bien comprise d'aliments azotés et d'aliments hydrocarbonés pour parvenir au double but que l'on se propose d'atteindre. Dans aucun cas de l'élevage et de l'engraissement la drèche de brasserie n'est mieux indiquée, et c'est l'aliment le plus parfait que l'on puisse donner aux animaux en chair, que l'on veut faire passer au gras. Elle contient en effet la matière azotée et la fécule dans les proportions les plus heureuses pour les deux objets dont nous venons de parler, et c'est alors le véritable temps de son maximum d'emploi.

La troisième période doit conduire l'animal du *gras* au *fin gras*. Il ne doit rien perdre de sa chair, au contraire; mais il faut que la graisse pénètre partout, dans les interstices des muscles. Après ce qui précède, il est à peine nécessaire de dire que l'alimentation de cette période doit être surtout hydrocarbonée, et que les matières féculentes doivent en faire la base capitale.

La drèche pourra donc être employée dans ce troisième temps, pourvu que son action soit complétée par une addition suffisante de farineux et de féculents. Les légumineuses, les pommes de terre, les grains entiers, le tout après cuisson préalable, les matières grasses et les tourteaux fourniront facilement un complément utile et, dans un espace de temps très-court, le résultat cherché sera atteint, si l'on a suivi les principes que nous venons d'exposer.

Ainsi, l'alimentation de la première période sera essentiellement composée de fourrages et de matières azotées. La drèche pourra en faire utilement partie pour un quart de la ration journalière. Dans la seconde période; la drèche sera employée presque exclusivement, et l'on n'y ajoutera des fourrages ou même des matières moins nutritives que dans la proportion nécessaire pour faire masse. Les féculents proprement dits seront joints à la drèche pour l'accomplissement de la troisième période.

Bière de Munich. Nous terminerons cet article en décrivant ce qu'offre de particulièrement remarquable la fabrication de la bière fort estimée qui se prépare en Bavière, d'après Liebig qui donne dans l'introduction à son Traité de Chimie organique des détails curieux sur ce sujet.

Disons auparavant que les bières passent facilement *à l'aigre*, à une température peu élevée, pour peu qu'elles soient soumises au contact de l'air. C'est dans les bières *jeunes* que la production d'acide acétique s'effectue le plus rapidement, et c'est dans les bières riches en alcool qu'elle a lieu le plus abondamment. Les bières de garde, qui contiennent une quantité considérable d'acide lactique, sont moins exposées à devenir aigres, mais ce qui importe surtout pour éviter cet effet, c'est la disparition des ferments, qui se produit par la méthode bavaroise.

« Les bières d'Angleterre, de France, et la plupart de celles d'Allemagne, s'aigrissent peu à peu au contact de l'air. Cet inconvénient ne se rencontre pas dans les bières de Bavière, que l'on peut conserver à volonté dans des futailles pleines ou à demi vides, sans qu'elles s'altèrent. Il faut attribuer une qualité si précieuse au procédé particulier dont on fait usage pour faire fermenter le moût, procédé qu'on appelle *fermentation avec dépôt* (en allemand, *untergachrung*), et qui a résolu un des plus beaux problèmes de la théorie.

« Le moût de bière est, en proportion, bien plus riche en gluten soluble qu'en sucre. Lorsqu'on le met en fermentation d'après le procédé ordinaire, il s'en sépare une grande quantité de levûre à l'état d'une écume épaisse, à laquelle s'attachent des bulles d'acide carbonique qui se dégagent, et qui, la rendant spécifiquement plus légère, la soulèvent vers la surface liquide. Ce phénomène s'explique facilement. En effet, puisque, dans

l'intérieur du liquide, à côté des particules de sucre qui se décomposent, il se trouve des particules de gluten qui s'oxydent en même temps, et enveloppent pour ainsi dire les premières, il est naturel que l'acide carbonique du sucre et le ferment insoluble provenant du gluten se produisent simultanément et adhèrent l'un à l'autre. Or, lorsque la métamorphose du sucre est achevée, il reste encore une grande quantité de gluten en dissolution dans la liqueur fermentée, et ce gluten, en vertu de la tendance qu'il présente à s'approprier l'oxygène et à se décomposer, provoque aussi la transformation de l'alcool en acide acétique; si on l'éloignait entièrement, ainsi que toutes les matières capables de s'oxyder, la bière perdrait par là la propriété de s'aigrir. Ce sont précisément ces conditions que l'on remplit dans le procédé suivi en Bavière.

« Dans ce pays, on met le moût houblonné en fermentation dans des bacs découverts, ayant une grande superficie et disposés dans des endroits frais, dont la température ne dépasse guère 8 à 10° C. L'opération dure de trois à quatre semaines; l'acide carbonique se dégage, non pas en bulles volumineuses, éclatant à la surface du liquide, mais en vésicules très petites, comme celles d'une eau minérale, ou d'une liqueur qui est saturée d'acide carbonique, et sur lequel on diminue la pression. De cette manière, la surface du liquide est continuellement en contact avec l'oxygène de l'air, elle se couvre à peine d'écume, et tout le ferment se dépose au fond des vaisseaux, sous la forme d'un limon très visqueux, qui porte le nom de *lie* (en allemand, *unterhefe*).

« Dans la tendance du gluten soluble à absorber l'oxygène, et dans l'accès libre de l'air, on a toutes les conditions nécessaires à son érémacausie, c'est-à-dire à sa combustion lente (1).

« Or, on sait que la présence de l'oxygène et du gluten soluble sont également les conditions de l'acétification de l'alcool; mais ce ne sont pas les seules, il faut en outre l'influence d'une température tant soit peu élevée, pour que l'alcool éprouve cette combustion lente. Ainsi, en excluant l'intervention de la chaleur, on entrave la combustion de l'alcool, et le gluten seul se combine avec l'oxygène de l'air. Pendant l'oxydation du gluten, l'alcool se trouve à côté de lui, dans le même état que le gluten à côté de l'acide sulfureux dans les vins soufrés. L'oxygène, qui, dans les vins non soufrés, se serait combiné avec le gluten et l'alcool en même temps, ne s'empare ni de l'un ni de l'autre dans les vins qui ont été soumis au soufrage; mais il se combine avec l'acide sulfureux, pour le convertir en acide sulfurique.

« L'action à laquelle on a donné le nom de *fermentation avec dépôt*, n'est donc autre chose qu'une métamorphose simultanée de putréfaction et de combustion lente; le sucre et la lie s'y putréfient, et le gluten soluble s'y oxyde, non pas aux dépens de l'oxygène de l'eau ou du sucre, mais aux dépens de l'oxygène de l'air, et se sépare à l'état insoluble.

« Ni la richesse en alcool, ni le houblon, ni l'un et l'autre réunis, n'empêchent la bière de s'aigrir. En Angleterre on parvient, en sacrifiant les intérêts d'un capital immense, à préserver de l'acidification les bonnes sortes d'ale et de porter, en les laissant séjourner pendant plusieurs années dans des fûts énormes bien clos, dont le dessus est couvert de sable, et qui sont entièrement remplis. Ce procédé est identique avec le traitement que l'on fait subir aux vins pour qu'ils *déposent*. Il s'établit alors un léger courant d'air à travers les pores du bois; mais la quantité de matières azotées contenues dans le liquide est tellement grande par rapport à celle de l'oxygène qui se trouve en présence, que ce dernier ne peut pas agir sur l'alcool. Cependant la bière qui a été ainsi préparée ne se conserve pas plus de deux mois dans des futailles plus petites, où l'air a de l'accès.

« Faire en sorte que la fermentation du moût de bière s'accomplisse à une température basse, qui empêche l'acétification de l'alcool, et que toutes les matières azotées s'en séparent parfaitement, par l'intermédiaire de l'oxygène de l'air et non pas aux dépens des éléments du sucre, voilà le secret des brasseurs de Bavière. C'est au mois de mars et d'octobre seulement que se fabrique la bière dans ce pays. » KNAB.

(1) (Liebig donne le nom d'érécamausie (all. *verwesung*) aux phénomènes de combinaison lente que les matières éprouvent sous l'influence de l'air. A cette classe de décomposition qui sont des combustions lentes appartiennent: la transformation du bois en terreau, la nitrification, etc.)

BIJOUTERIE D'ACIER. Ce genre de bijouterie qui comprend diverses pièces servant à l'habillement et à la parure, emprunte à la fois ses procédés de fabrication, partie à la bijouterie des métaux précieux, partie à la coutellerie fine. C'est le poli que l'acier peut acquérir après la trempe qui le fait employer pour des parures, qui sont aujourd'hui passées de mode; il faut bien avouer que l'éclat en est difficilement comparable à celui des bijoux dorés, en même temps que la dureté de la matière employée en rend le travail plus coûteux; la durée est en réalité plus grande, mais cet avantage est sans importance pour des objets exposés aux variations perpétuelles de la mode. On doit cependant bien regretter ce changement relativement à nos habiles fabricants qui étaient parvenus, à grands frais, à obtenir des résultats de fabrication vraiment merveilleux.

La matière première que l'on emploie est, soit du fer malléable dont on acière la surface par une trempe en paquet, soit de l'acier qu'on adoucit avant le travail en le maintenant au rouge au milieu de limaille de fer, afin de désaciérer la surface, et qu'on durcit ensuite par cémentation quand on a obtenu la forme désirée.

La matière se travaille soit à l'aide de matrices soit avec des laminoirs portant en creux l'empreinte des reliefs qu'on veut obtenir. Les petits objets découpés en tôle de fer ou d'acier sont toujours amenés à leur forme par un estampage opéré au moyen de matrices d'acier trempé. (Voyez ESTAMPAGE).

Les ouvrages préparés au découpoir sont ébarbés, puis terminés à la lime et souvent à la meule qui peut agir sur l'acier, même après la trempe. La meule est surtout employée pour les pointes de diamant, et les diverses pièces qui doivent être taillées comme les pierres précieuses pour acquérir le plus de brillant possible.

Il va sans dire que les diverses soudures entre les pièces déjà façonnées, sont obtenues par la brasure. L'opération est la même que dans les divers travaux où on emploie le fer. C'est le laiton qui sert d'intermédiaire.

Les assemblages à rivets qui sont aussi fréquemment employés pour réunir les diverses pièces n'offrent rien de particulier.

Quand l'objet est terminé on le trempe le plus souvent en paquet (voyez TREMPE), puisqu'on a désaciéré l'acier ou employé du fer malléable.

On procède enfin au poli afin d'obtenir le brillant qui est la condition essentielle de cette fabrication. Il faut employer pour cela des matières assez dures pour attaquer l'acier et assez fines pour ne le pas rayer. On emploie en général l'émeri et on termine avec le rouge d'Angleterre. Pour toutes les pièces saillantes c'est au moyen de meules de bois et d'étain qu'on fait agir ces substances, par un travail semblable à celui du lapidaire; on agit dans les parties creuses en les frottant avec des brosses rudes enduites d'émeri.

On a remplacé avec assez de succès dans quelques cas le polissage à la main, toujours fort coûteux, par un polissage mécanique semblable à celui employé pour

les aiguilles. On introduit les petits objets à polir dans un cylindre creux mis en mouvement par un moteur quelconque et rempli de poudre d'émeri et de grès, broyés à l'eau et réduits en pâte molle. Par une rotation prolongée et peu rapide de trois ou quatre fois vingt-quatre heures, les objets ont pris un assez beau poli, qu'on termine en les passant après les avoir lavés, dans un autre cylindre renfermant du rouge d'Angleterre.

BIJOUTERIE EN FONTE DE FER. On connaît sous le nom de bijoux en fonte de Berlin les bijoux obtenus simplement par le moulage de la fonte de fer. Les procédés employés n'ont rien de particulier, mais il n'est que peu d'habiles fondeurs capables d'obtenir des pièces d'une netteté parfaite et offrant des arêtes de même vivacité que celles du modèle. Le succès dépend d'une infinité de soins et de précautions qu'il est impossible de décrire. Les moules sont faits en sable de Fontenay-aux-Roses, comme tous ceux employés pour le moulage de la fonte à Paris. On y mélange $\frac{1}{8}$ de charbon. Quelques fondeurs établissent leurs moules en terre.

L'épaisseur du métal devant être peu considérable, il faut pour obtenir une grande pureté, chauffer d'avance le moule et surtout couler le métal à une température fort élevée.

La France n'a rien à envier aujourd'hui à l'Angleterre ni même à la Prusse, où cette fabrication a pris naissance et a été portée à un haut degré de perfection. L'art de la fonderie en France a au moins égalé celui d'aucun autre pays, et nos habiles fabricants en connaissent aujourd'hui toutes les ressources. (Voyez FONDERIE DE FER.)

BIJOUTIER-JOAILLIER (art du). Se divise en deux parties bien distinctes, l'art du *bijoutier en fin* et celui du *bijoutier en faux*. Le premier travaille l'or et l'argent, les pierres précieuses en tout genre; le second emploie le chrysocale, sorte de laiton, qu'il dore ou argente, les pierres factices, qui se rapprochent par leur éclat, sinon par leur dureté, de celui des pierres précieuses. Cet art, surtout le second, pour lequel la matière première employée est de peu de valeur, mais prend sous les doigts d'habiles artistes les formes les plus gracieuses, est devenu en France la base d'une immense industrie, dans laquelle nous ne reconnaissons pas de rivaux. (Voyez ORFÉVRERIE.)

Traitant dans des articles spéciaux de la *taille des pierres fines* (voyez LAPIDAIRE) et de la composition des pierres fausses et émaux (voyez VERRE), il nous reste à passer successivement en revue : 1° le métal et les divers alliages employés; 2° les moyens d'obtenir la forme voulue par moulage, laminage, étirage, estampage et gravure; 3° la soudure des parties entre elles; 4° le montage des pierres par sertissement; 5° la coloration au moyen des émaux, des vernis: mise en couleur.

I. *Métaux employés.*—L'éclat métallique le plus inaltérable est la condition première de tout bijou; l'or et l'argent sont donc par excellence les deux métaux employés de toute antiquité pour la fabrication des bijoux, et ils ne peuvent être remplacés qu'autant qu'on parvient, comme dans la fausse bijouterie, à donner à du laiton l'apparence de l'or ou de l'argent, en le recouvrant d'une couche mince de ces derniers métaux. Les dernières lois prescrivent trois titres légaux pour les ouvrages d'or, et deux pour les ouvrages d'argent. Savoir, pour l'or :

1er titre. — 920 millièmes ou 22 karats 1/32 et 1/2 (l'unité divisée en 24 karats).
2e titre. — 840 millièmes ou 20 karats 5/32 et 1/2.
3e titre. — 750 millièmes ou 18 karats.
Pour l'argent :
1er titre. — 950 millièmes
2e titre. — 800 millièmes

La tolérance est de 3 millièmes pour l'or et 5 millièmes pour l'argent.

Le titre des alliages employés, vérifié à la Monnaie par les procédés que nous décrirons au mot ESSAIS, est indiqué sur les objets fabriqués au moyen d'un poinçon particulier à chaque titre.

II. *Moyens d'obtenir les formes volumes.* — 1° *Moulage.* Le moulage des objets un peu volumineux est un MOULAGE en sable dont nous n'avons pas à nous occuper ici. Nous donnerons seulement, d'après M. Boué, à l'ouvrage duquel nous renverrons les personnes qui veulent étudier l'art de la bijouterie dans ses détails, le moulage dans des os de sèche, lequel convient surtout pour les petits objets.

La première partie de l'opération consiste à dresser, par le frottement, sur une pierre bien plane, la partie tendre de l'os; la partie extérieure est formée d'une espèce d'écaille brune plus dure. Si les objets qu'on se propose de mouler sont des bas-reliefs, il suffira de les enfoncer dans l'os au moyen d'une pression suffisante. En tournant ensuite l'os sens dessus dessous, le modèle s'en détache par son propre poids. On forme le jet avec un couteau, en ayant soin d'en faire l'ouverture très évasée, afin de faciliter l'introduction de la matière, puis on dessèche l'os au-dessus d'une lampe; on le recouvre ainsi, en outre, d'une légère couche de noir de fumée, qui offre l'avantage de boucher tous les interstices de l'os sans rien enlever à la finesse des empreintes. L'os ainsi préparé est renversé sur une espèce de brique bien plane, faite avec de la terre à creusets, et qui, en raison de son emploi, porte le nom de *contre-os*. Après avoir légèrement chauffé l'os et le contre os, on les réunit à l'aide d'une paire de pincettes, dont on appuie le haut, au moment de la coulée, sur le bord d'une terrine placée dans le foyer où la fonte a lieu, et qui doit être à moitié pleine d'eau, afin que l'on puisse facilement recueillir, sans déchet et sans perte de temps, les jets de matière. Les os de sèche servent encore à couler de petits objets en ronde-bosse quand l'épaisseur de ceux-ci ne dépasse pas le double de celle de la partie molle de l'os, qui est la seule propre à recevoir des empreintes. Pour parvenir à mouler de pareils sujets, il suffit de dresser, comme il a été dit plus haut, deux os de même grandeur, de placer entre eux les modèles que l'on veut reproduire, et de les presser jusqu'à ce qu'ils se touchent. Par l'effet de cette pression le modèle s'incruste dans les deux os, et lorsque ceux-ci sont joints, on perce, à l'aide d'une pointe d'acier, en dehors de l'objet moulé et avant de le retirer, trois ou quatre trous qui traversent les os de part en part, et qui, après l'enlèvement du modèle, servent de points de repère pour réunir, au moyen de chevilles, dans leur première position les deux parties du moule. Cela fait, on sépare les os pour en retirer les modèles; on forme le jet dans les deux parties; on les échauffe modérément, et on les réunit au moyen de chevilles; après quoi, on procède à la coulée comme il a déjà été dit. »

Le moulage est, surtout de nos jours, bien moins employé dans la bijouterie que l'estampage; comme il donne des pièces pleines, il ne peut produire que des bijoux lourds et coûteux.

2° *Laminage. — Étirage.* Les parties des bijoux formées de parties linéaires, de plaques, fils, etc., s'obtiennent au moyen du LAMINOIR ou du BANC A TIRER (voyez ces mots). On appelle *grainti* les plaqués passés à un laminoir à rouleau gravé qui y imprime des grains ou des losanges de formes variées.

3° *Estampage.* — Les métaux employés en bijouterie jouissant d'un grande malléabilité, prennent avec la plus grande facilité des formes variées, au moyen de l'estampage. Nous renvoyons à l'article ORFÉVRERIE la description des procédés employés, ainsi que celle des

résultats merveilleux auxquels on est parvenu pour diminuer les frais considérables qu'entraîne la fabrication des coins et matrices d'acier.

Quant à ce travail analogue à celui de l'estampage, qui se fait à la main, à cette espèce de sculpture au marteau souvent pratiquée par de véritables artistes et qui constitue en grande partie la base de l'orfévrerie, il ne saurait être décrit à cause de sa simplicité, tout dépendant ici de l'adresse de l'ouvrier qu'il faut voir à l'œuvre pour bien comprendre la manière dont il s'y prend.

3° *Gravure.* La GRAVURE vient souvent orner les faces des bijoux. On a employé de nouveau, dans ces dernières années, avec grand succès sur l'argent, les NIELLES, espèce de gravure chimique.

III. *Soudures des parties entre elles pour les réunir.* — Quand les diverses parties d'un bijou sont amenées à la forme voulue, on les réunit par soudure; en laissant de côté le petit nombre d'assemblages par charnières, agrafes, etc., pour les parties qui doivent pouvoir s'ouvrir et se fermer au besoin, et qui n'offrent rien de particulier.

Les alliages employés pour les soudures, et qui doivent satisfaire aux conditions générales que nous avons établies à l'article ALLIAGES, doivent être faits à des titres déterminés. C'est la cause d'altération la plus grave, des bijoux fins dits bijoux fourrés, que l'on fait par la réunion de pièces au titre et poinçonnées, au moyen de soudures de titre inférieur, qui en augmentent beaucoup le poids.

Les proportions des alliages qui constituent les soudures d'or et d'argent, dit M. Boué, sont indiquées par le nom même que l'on donne à chacune d'elles, puisque ce nom indique la proportion du métal ou des métaux étrangers qui entrent dans la composition du tout. Dans la bijouterie fine on ne fait guère usage que de trois sortes de soudures, soit en or soit en argent. Les soudures d'or sont connues sous le nom de soudures au *quart*, au *tiers*, au *deux*; les soudures d'argent au *six*, au *quart*, au *tiers*.

Soudure de l'or.

Soudure au quart = 3 parties d'or; 1 partie d'alliage.
— au tiers = 2 — 1 —
— au deux = 1 — 1 —

L'alliage est formé de 2/3 d'argent fin, et 1/3 de cuivre, excepté la soudure au deux, dont l'alliage doit être composé moitié argent, moitié cuivre.

Soudure de l'argent.

Soudure au six, — argent 5; cuivre jaune 1.
— au quart, — argent 3; cuivre jaune 1.
— au tiers, — argent 2; cuivre jaune 1.

La soudure doit avoir été fondue plusieurs fois avant d'être employée, afin qu'elle soit bien homogène; on la réduit en lames minces au laminoir, et on la gratte avant d'en faire usage afin d'éviter que des corps étrangers en se fixant à sa surface ne nuisent à sa fusibilité.

Pour souder une pièce, on réunit les parties à souder, au moyen d'un fil de fer, après avoir déposé des paillettes de soudure dans les assemblages. On garnit de borax en poudre toutes les parties à souder; puis, dirigeant sur celle-ci le dard d'un chalumeau, on opère la fusion de la soudure, et par suite l'assemblage des pièces. (Le borax en fondant, prévient toute oxydation, et opère un décapage qui facilite la réunion). Quand la soudure a coulé, on enlève l'excédant à la lime et on en efface les traces par le polissage.

Quand il doit y avoir plusieurs soudures successives dans une même pièce, il faut avoir soin d'employer pour les premières celles du titre le plus élevé, en employant successivement celles de titres inférieurs, qui, étant plus fusibles que les premières, n'exigeront pas pour leur emploi une température suffisante pour fondre celles-ci.

IV. *Montage des pierres par sertissement.*—Pour monter une pierre on forme ce qu'on appelle un *chaton*, au moyen d'un fil d'argent pour les diamants et pierres blanches, d'or pour toutes les pierres de couleur, auquel on donne le contour de la pierre et qu'on soude à une petite plaque d'argent ou d'or rendue sphérique au moyen d'un poinçon et d'une étampe de cette forme. Cette dernière porte le nom de dé à emboutir.

La pierre entrée dans le chaton y est maintenue par un serrage exercé sur le fil, dont les angles sont rapprochés par pression.

Pour un objet composé, après avoir disposé les pierres dans de la cire, de manière à obtenir la forme désirée, on prend une plaque de métal de largeur convenable sur laquelle on pratique des trous un peu plus petits que les pierres; puis, repliant un peu la matière à l'intérieur des trous on fait entrer la pierre et on finit le serti, soit en formant un chaton pour le soutenir, soit par la simple application d'un fil qui se soude à la plaque.

V. *Mise en couleur.*—Avant d'aviver la couleur propre des bijoux ou d'y appliquer des couleurs étrangères, il faut polir les pièces de manière à faire disparaître tous les traits et empreintes des premières opérations.

On adoucit les surfaces en les frottant avec des pierres ponces d'abord d'un grain assez gros, puis avec un mélange de pierre ponce pulvérisée et d'huile d'olive; enfin avec du tripoli d'une finesse extrême. On emploie aussi souvent le rouge d'Angleterre en poudre très fine, et amené à l'état de pâte avec de l'eau-de-vie ou de l'alcool.

La couleur des bijoux, surtout ceux qui ne sont qu'au titre de 750 millièmes n'est pas celle de l'or pur, et est loin d'en avoir l'éclat. On l'obtient au moyen d'une opération dite *mise en couleur*, qui consiste à les faire passer dans des liquides qui exercent une action corrosive sur les alliages de la surface et laissent à nu une couche d'or fin. On prépare beaucoup de couleurs à bijoux différentes; nous ne citerons que la composition de la suivante :

Sel marin et alun parties égales, nitre 2 parties. On fait bouillir dans une dissolution de ces substances la pièce. Voy. ORFÈVRERIE. BIJOUTERIE.

BISMUTH (*angl.* bismuth, *all.* wismuth). Les Grecs et les Romains ne connaissaient pas ce métal, il ne paraît avoir été découvert qu'au moyen âge, dans l'Erzgebirge, chaîne de montagnes qui sépare la Saxe de la Bohême; Agricola est le premier qui en ait fait mention, dans son traité publié en 1546.

Le bismuth a une couleur blanc-gris un peu rougeâtre et une texture extrêmement lamelleuse; il n'a ni saveur ni odeur. Lorsqu'il est parfaitement pur, il jouit d'une certaine ductilité; mais dans l'état où on le trouve dans le commerce, il est cassant, ce qu'il doit à une petite quantité de soufre et d'arsenic qu'il renferme; en le fondant, puis le laissant refroidir et le coulant dès qu'il commence à se solidifier, on en sépare le soufre à l'état de sulfure de bismuth qui s'est solidifié le premier; on achève de le purifier en le fondant avec $\frac{1}{10}$ de son poids de nitre, qui oxyde tout l'arsenic et les métaux étrangers, ainsi qu'une petite quantité de bismuth. Il est très difficile d'en séparer l'argent; à cet effet, il faut le soumettre à la coupellation, pulvériser la coupelle, puis la fondre avec 2 p. de flux noir et 1 p. de borax vitreux, et traiter encore une fois de la même manière le bismuth obtenu. La pesanteur spécifique du bismuth fondu est de 9,83, et peut s'élever à 9,8827 lorsqu'on l'écrouit avec précaution sous le marteau. Le bismuth est de tous les métaux connus celui qui cristallise avec la plus grande facilité; lorsqu'on en fond une certaine quantité dans un vase, qu'ensuite on le laisse refroidir aussi longtemps que

possible, puis qu'aussitôt qu'il s'est formé une croûte solide à la surface du bain, on la perce sur le bord avec une tige de fer portée au rouge, et qu'on décante alors le métal non solidifié, on obtient, à l'intérieur du vase, de magnifiques cristaux cubiques de bismuth, groupés en trémies, qui offrent souvent les irisations les plus brillantes, résultat d'une oxydation superficielle pendant le refroidissement. Le bismuth fond à 249° C. Il est très volatil, pas assez cependant pour qu'on puisse le distiller. Il se dilate, entre 0 et 100°, de $\frac{1}{210}$ de sa longueur primitive.

Nous avons déjà parlé des propriétés des alliages de bismuth à l'article ALLIAGES, et il est à regretter que le prix élevé de ce métal en rende l'emploi si restreint L'alliage fusible de Newton, composé de 8 p. de bismuth, 5 p. de plomb et 3 p. d'étain fond à 94° 1/2 L'alliage fusible de Rose, composé de 2 p. de bismuth, 1 p. de plomb et 1 p. d'étain, fond à 93° 3/4. L'alliage composé de 5 p. de bismuth, 3 p. de plomb et 2 p. d'étain, est encore plus fusible; il fond à 91° 2/3. Ces alliages sont employés pour former des rondelles fusibles à des températures déterminées, en élevant, s'il est nécessaire, le degré de fusibilité en y ajoutant du plomb en quantité convenable.

Les fabrications que nous étudions aux articles FONDERIE EN CARACTÈRES, POLYTYPIE, GRAVURE, sont possibles avec les alliages ci-dessus comme avec ceux habituellement employés, et ont de plus cet avantage que pour une même tenacité de l'alliage le point de fusibilité est beaucoup abaissé. Malheureusement le prix du bismuth est trop élevé pour un fréquent emploi.

On connaît deux oxydes de bismuth. Le bismuth ne s'altère pas à l'air sec; il se recouvre à l'air humide d'une pellicule d'un brun rougeâtre, que l'on regarde comme un sous-oxyde. Il brûle au rouge avec une flamme bleuâtre, en répandant des vapeurs jaunes d'oxyde. Il se dissout dans l'acide nitrique et l'eau régale, ainsi que dans l'acide sulfurique concentré et bouillant.

L'*oxyde de bismuth* est jaune et fond au rouge en un verre opaque d'un brun foncé. Il renferme sur 100 parties, 89,87 de bismuth et 10,13 d'oxygène. On le prépare en oxydant à l'air le bismuth fondu, ainsi qu'en calcinant l'hydrate ou le nitrate de bismuth. On obtient l'hydrate en précipitant par l'ammoniaque en excès un sel soluble de bismuth.

Le *peroxyde de bismuth* est de couleur puce foncée; il est peu stable, et a la plus grande analogie avec l'oxyde puce de plomb. Il se compose de 85,5 de bismuth et de 14,5 d'oxygène, pour 100. On le prépare aisément en faisant bouillir de l'oxyde hydraté avec un chlorite alcalin en dissolution.

L'oxyde de bismuth seul donne des sels; ces sels sont incolores lorsque l'acide l'est également; ils sont très peu solubles; ceux qui sont solubles sont décomposés par l'eau, qui les transforme en sous-sels insolubles et en sels très acides solubles.

En dissolvant le bismuth dans l'acide nitrique et étendant d'une grande quantité d'eau, on obtient un précipité blanc et pulvérulent d'un sous-nitrate tout à fait insoluble, qui porte le nom de *magistère de bismuth*, et qui est employé dans la médecine.

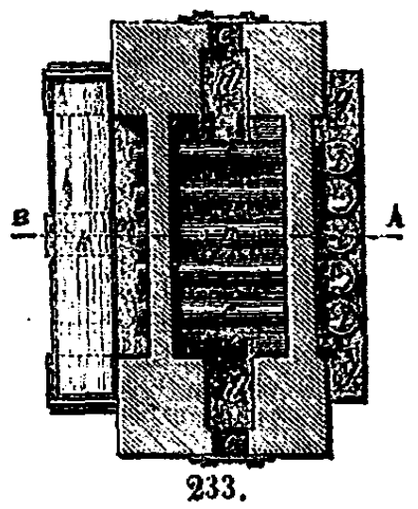
En versant du nitrate de bismuth dans une dissolution très étendue de sel marin, il se précipite un oxychlorure blanc de neige, qui porte le nom de *blanc de fard*, d'après l'usage auquel on l'emploie. Les femmes qui en font un usage habituel pour se farder les joues, courent le risque, lorsque par hasard elles se trouvent dans un endroit où il se dégage de l'hydrogène sulfuré, comme, par exemple, dans les établissements d'eaux minérales sulfureuses, d'en revenir les joues teintes en brun et même en noir, et ces taches ne s'en vont qu'avec la peau au bout d'un temps assez long.

Les deux seuls minerais de bismuth que l'on rencontre en quantité un peu notable sont le bismuth sulfuré et le bismuth natif.

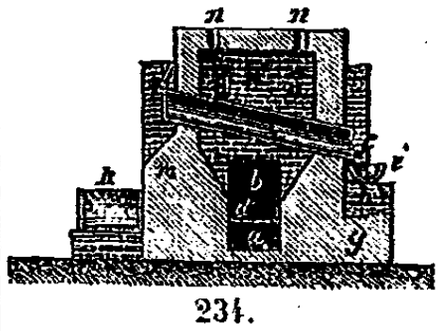
Le *bismuth sulfuré* est d'un gris de plomb éclatant, lamelleux ou rayonné, aigre, tendre et tachant le papier. Il est fusible à la simple flamme d'une bougie.

Le *bismuth natif*, plus abondant que le précédent, est en masses lamellaires ou cristallisé en petits cubes. Il fond à la flamme d'une bougie. C'est le seul minerai dont on retire le métal. On ne le rencontre en quantité assez considérable, pour donner lieu à une exploitation, que dans l'Erzgebirge saxon, aux environs de *Schneeberg*. Il est ordinairement associé à des minerais de cobalt qui en renferment moyennement 6 1/2 p. 100.

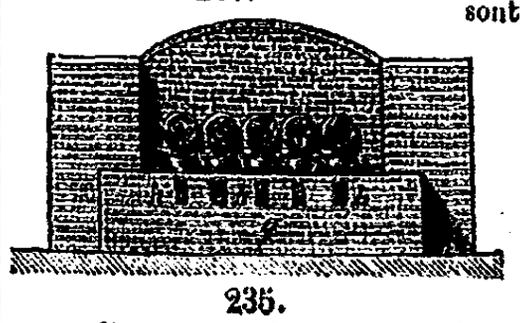
Le traitement métallurgique est très simple, et consiste à soumettre à la liquation le minerai trié et concassé en morceaux de la grosseur d'une noisette. Le fourneau de liquation employé à *Schneeberg* est représenté fig. 233, 234 et 235.



233.



234.


235.

La fig. 233 est le plan du fourneau; la fig. 234 est une coupe verticale suivant AB, fig. 233; et enfin la fig. 235 est une élévation antérieure du fourneau. *a*, est le cendrier; *b*, la chauffe; *c*, *c*,... les cinq tubes de liquation; *d*, la grille en briques, sur laquelle on charge le bois qui sert de combustible par les portes *e*, *e*. Les tubes de liquation sont en fonte; ils ont 1m,40 de long sur 0m,28 de diamètre, et sont inclinés de 1/5e environ pour favoriser la séparation du métal; ils sont fermés, à leur partie antérieure, par une plaque en argile *f*, percée d'un trou par lequel s'écoule le bismuth; *g*, mur antérieur du fourneau perce d'ouvertures *h*,.. correspondantes à chaque cendrier; *i*,.. creusets en fonte dans lesquels tombe le métal fondu, et qu'on entretient à une température convenable au moyen de charbons placés dans un petit foyer inférieur; lorsqu'on a recueilli dans les creusets une quantité de bismuth suffisante, on le coule, dans un moule en fonte, en lingots de 19 à 20 kilogr. On charge à la fois dans chaque tube 25 kilog. de minerai, de manière à le remplir sur la moitié de sa hauteur et les trois quarts de sa longueur; on ferme ensuite les tubes au moyen des plaques de tôle *l*,.. et on pousse le feu que l'on règle au moyen des ouvreaux *n*, *n*..; au bout de 10 minutes, le bismuth commence à couler goutte à goutte dans les creusets *i*,.. qui renferment un peu de poussière de charbon, qui sert à réduire l'oxyde qui tend à se former par le contact du métal fondu et de l'air. Lorsque la liquation se ralentit, on remue les matières dans les tubes à l'aide d'une tige en fer, et enfin lorsqu'il ne se sépare plus de

bismuth, ce qui a ordinairement lieu au bout d'une demi-heure, l'opération est terminée; on retire les résidus (en *all.* graupen) avec un râble en fer, on les fait tomber sur le mur incliné *m*, et de là dans une caisse en bois *k* remplie d'eau, où ils se refroidissent, et on procède à une nouvelle charge. On passe par 24 heures, dans un fourneau comme celui que nous venons de décrire, 3,000 kilog. environ de minerai, et on en retire de 200 à 215 kilog. de bismuth.

Les résidus de ce traitement sont cobaltifères, et servent concurremment avec les autres minerais de cobalt, trop peu riches en bismuth pour être soumis directement à la liquation, à la préparation du verre de cobalt (voyez COBALT). Dans cette fabrication, le bismuth ne se combine ni avec le smalt ni avec les speiss; il se sépare de ces produits, et par suite de sa plus grande densité, il se trouve mélangé mécaniquement à la partie inférieure des derniers speiss que l'on obtient, d'où on peut le séparer en les concassant et les traitant par liquation dans le fourneau ci-dessus.

Tout le bismuth livré au commerce nous vient de l'Erzgebirge saxon; *Schneeberg* en produit annuellement environ 4,000 kilog.; *Johann-Georgenstadt* et les usines à cobalt de la Saxe, 5 à 600 kilog.; en tout 4,500 à 4,600 kilogr. Son prix varie de 10 fr. à 4 fr. le kilogr.

P. DEBETTE.

BISTRE. Couleur brune qui s'emploie de la même manière que la sépia et l'encre de Chine. On la prépare avec de la suie de bois; celle qui provient du hêtre est la meilleure. Après avoir pulvérisé la suie, on la passe au tamis de soie, ensuite on la lave d'abord à l'eau froide, puis à l'eau chaude, pour dissoudre les sels solubles qu'elle renferme. On retire ensuite de la suie lavée, par lévigation et décantation, une pâte très fine, que l'on mêle avec un peu d'eau gommée et qu'on verse dans des moules où on la laisse sécher. On obtient ainsi du bistre en pains qui sont livrés au commerce. Le bistre ne sert que comme couleur à l'eau, et n'est jamais employé comme couleur à l'huile.

BITUME OU ASPHALTE (*angl.* asphaltum, *all.* asphalt). Substance minérale, noire ou brune, composée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, comme les corps organiques. Par sa couleur et sa cassure, il a de l'analogie avec de la poix, ce qui lui a quelquefois fait donner le nom de poix minérale. Sa densité est d'environ 1,16. Il fond à la température de l'eau bouillante, s'allume aisément, et brûle avec vivacité en répandant une épaisse fumée. Soumis à la distillation sèche, il donne une huile bitumineuse particulière, très peu d'eau, une petite quantité de gaz combustibles, des traces d'ammoniaque, et laisse environ un tiers de son poids de charbon, qui incinéré donne des cendres contenant de la silice, de l'alumine, de l'oxyde de fer, de l'oxyde de manganèse, et quelquefois un peu de chaux. Selon John, en traitant successivement l'asphalte par divers dissolvants, on peut le séparer en trois éléments distincts. L'eau ne dissout rien; l'alcool anhydre dissout une résine jaune formant les 0,05 du poids de l'asphalte, également soluble dans l'éther. En traitant le résidu insoluble dans l'alcool par l'éther, on dissout une résine brun-noirâtre que forme les 0,70 du poids de l'asphalte, et que l'on peut obtenir en évaporant sa dissolution éthérée; cette résine se dissout aisément dans les huiles volatiles et dans l'huile de pétrole. Le résidu insoluble dans l'éther se dissout aisément dans l'huile de térébenthine et dans celle de pétrole. La potasse caustique dissout une quantité notable d'asphalte; mais le carbonate de potasse n'a pas sur lui d'action sensible.

L'asphalte entre dans la composition des ciments hydrauliques et dans celle des vernis noirs, appelés vernis du Japon, qui servent à couvrir les boîtes à thé, etc... On prépare un vernis pareil, très beau, en dissolvant 12 p. de succin fondu, 2 p. de résine et 2 p. d'asphalte dans 6 p. d'huile siccative de graine de lin, à laquelle on a ajouté 12 p. d'huile de térébenthine.

Il y a une espèce de bitume qu'on trouve à *Aniches* (département du Nord), qui est noir, très fusible et mou. Il brûle avec flamme. L'alcool, l'éther et l'huile de térébenthine en extraient une substance grasse qui peut être saponifiée avec les alcalis.

Le bitume de *Murindò*, près Choco (Colombie), est noir-brunâtre, mou, à cassure terreuse. Il a une saveur acide, brûle avec une odeur de vanille, et l'on dit qu'il contient une grande quantité d'acide benzoïque. Il paraît être le résultat de la décomposition d'arbres qui contenaient du benjoin.

L'asphalte se rencontre en immense quantité à la surface du *Lac asphaltique*, ou *mer Morte* (Judée), dont les flots le rejettent sur le rivage; c'est de cette localité que vient la plus grande partie du bitume que l'on trouve dans le commerce.

Le gisement d'asphalte le plus remarquable qui existe au monde, est sans contredit la plaine ou le bassin, dit *Lac de poix*, qui en est rempli dans l'île de la *Trinité* (Antilles). Ce bassin, situé sur le point culminant de l'île, exhale une odeur extrêmement forte qui se fait encore sentir à une distance de plus de 16 kilomètres. Au premier aspect on dirait un lac rempli d'eau; mais de plus près, on croit voir une surface de verre. Lorsque, pendant l'été, le soleil vient à darder en plein dessus, cette surface se liquéfie sur quelques centimètres d'épaisseur. Le lac est à peu près circulaire, et a environ 5 kilomètres de tour; sa profondeur n'a pu être déterminée. On rencontre généralement le bitume dans les couches calcaires argileuses et sablonneuses, ainsi que dans les terrains volcaniques.

Le pétrole est une sorte de bitume liquide que l'on rencontre fréquemment sur les eaux qui surgissent au pied des volcans; la mer en est même couverte en tout temps, près des îles volcaniques du cap Vert. M. Breislack a observé une source de pétrole qui s'élève du fond de la mer, au sud du pied du Vésuve. (Voy. PÉTROLE.)

Depuis plusieurs années on emploie en France avec le plus grand succès, pour couvrir les toits et les terrasses, faire des trottoirs, enduire les bassins et réservoirs d'eau, un mastic bitumineux que l'on prépare principalement avec les bitumes de *Lobsann* (Bas-Rhin), de *Seyssel* (Ain) et de *Puy-de-la-Poix* (Puy-de-Dôme). On trouve dans les localités sus-nommées, près du gisement de bitume proprement dit, un calcaire poreux imprégné de bitume que l'on exploite à part, et que l'on laisse sécher; ou le pulvérise ensuite, et on le met dans une grande chaudière en fer, placée sur le feu, dans laquelle on ajoute, lorsque le calcaire est chaud, $\frac{1}{5}$ de son poids de bitume préalablement fondu, puis on brasse le tout ensemble jusqu'à ce que le mélange soit bien intime; on puise alors le mastic bitumineux ainsi préparé, avec une cuillère en tôle, et on le coule dans des moules rectangulaires, formés de pièces mobiles en tôle, s'assemblant à clavettes et intérieurement recouvertes d'un enduit d'argile destiné à prévenir l'adhérence du mastic. On démonte les moules après le refroidissement, et on retire le mastic en pains rectangulaires qui sont livrés en cet état au commerce, et qui ont ordinairement $0^m,50$ de long sur $0^m,33$ de large et $0^m,11$ d'épaisseur.

Pour employer ce mastic à la confection des trottoirs, on le fond de nouveau et on y ajoute autant de sable que possible, de manière à former une bouillie épaisse que l'on coule par petites portions d'un mètre carré, au plus, de superficie, sur un lit de sable de 1 ou 2 cent. d'épaisseur, encadré provisoirement par des règles en bois dont la hauteur sert à régler l'épaisseur de la couche de bitume; on tamise ensuite par dessus du sable

de moyenne grosseur, obtenu en séparant à la claie le plus fin, et on pilonne le tout pendant que le bitume est encore chaud, avec des planchettes carrées armées d'un long manche, qui sert à les manœuvrer.

Ainsi que l'a indiqué le premier un ingénieur des ponts et chaussées, M. de Coulaine, l'asphalte naturel et en roche peut immédiatement servir à l'exécution des chaussées empierrées et trouve là une application du plus haut intérêt pour la propreté des grandes villes. Voici quel est le procédé suivi par la Société du Val-de-Travers. On commence par recouvrir les chaussées d'une couche de béton ayant plus de 15 centimètres d'épaisseur; puis on pose deux règles de 6 centimètres d'épaisseur, qui ont la courbure prescrite pour la chaussée, et qui sont espacées entre elles d'environ 1 mètre. On chauffe alors l'asphalte naturel du Val-de-Travers pulvérisé, qui est un carbonate de chaux imprégné de 6 p. 100 de bitume qui se trouve en bancs puissants dans le terrain jurassique, et quand il commence à se ramollir par l'action de la chaleur, on le répand entre les deux règles. On le comprime ensuite d'une manière graduée à l'aide de rouleaux de poids différents. Après cette opération, il entre 128 kilogrammes d'asphalte dans chaque couche ayant un mètre carré de surface et 0m,06 d'épaisseur. Des chaussées empierrées en asphalte ont été faites à Paris dans plusieurs endroits, notamment dans les rues Bergère, de la Banque, des Petits-Champs, etc., à Paris. Elles présentent un sol compacte, uniforme, solide, qui résiste bien à l'usure, excellent pendant les temps froids surtout, car les grandes chaleurs augmentent la traction des véhicules; elles donnent moins de boue et beaucoup moins de poussière que les chaussées empierrées ordinaires; leurs frais d'entretien paraissent devoir être modérés, vu la facilité des réparations.

L. P....

BLANC DE BALEINE. Substance grasse qu'on retire d'une matière grasse et fluide renfermée principalement dans la tête de certaines espèces de baleines appartenant au genre *cachalot*, telles que les *physeter macrocephalus, tursio, microps* et *orthodon*, ainsi que du *delphinus edentulus*. On filtre cette graisse fluide dans de grands sacs; il passe au travers de l'huile de baleine qui est d'excellente qualité pour l'éclairage et qui, bien purifiée, est d'un emploi très avantageux pour le graissage des machines délicates, telles que les mouvements d'horlogerie, etc., à cause de son extrême fluidité et de son peu d'action sur les métaux. Le résidu qui reste dans les sacs est fortement comprimé à chaud (voyez BOUGIE STÉARIQUE et PRESSE HYDRAULIQUE), à l'aide d'une presse hydraulique horizontale. On fait digérer ensuite à chaud les gâteaux obtenus, avec une dissolution peu concentrée de potasse, qui décompose les matières animales étrangères et colorantes qui se trouvaient mélangées avec le blanc de baleine, et qui donne lieu à la formation d'écumes savonneuses et noirâtres, qui viennent à la surface du bain et que l'on enlève à l'aide d'une écumoire. On continue cette opération jusqu'à ce que le liquide soit parfaitement limpide, puis on lave à l'eau bouillante et on transvase dans des cristallisoirs, où on obtient, par le refroidissement, ces pains d'une blancheur parfaite que l'on trouve dans le commerce.

Le blanc de baleine ainsi purifié se présente en masses inodores, cristallines et translucides, dont la pesanteur spécifique est de 0,943; il fond à 49° et brûle avec une flamme très éclatante; 100 parties d'alcool ayant une densité de 0,821, en dissolvent 3 parties 1/2; il est encore plus soluble dans l'éther sulfurique. Ainsi obtenu, il renferme encore une faible quantité d'huile de baleine dont on le sépare en le traitant par de l'alcool absolu bouillant; il se dépose par le refroidissement en aiguilles cristallines que l'on exprime entre des feuilles de papier non collé et que l'on traite de même à plusieurs reprises. On obtient de cette manière du blanc de baleine parfaitement pur, auquel M. Chevreul a donné le nom de *cétine*, que l'on peut distiller sans altération dans un courant d'acide carbonique, et qui renferme 5,478 d'oxygène, 81,660 de carbone et 12,882 d'hydrogène.

Le blanc de baleine ne se saponifie que difficilement avec les alcalis, en se transformant en *éthal* et en acides margarique et oléique. C'est cette propriété qu'il possède de n'être point facilement attaquable par les alcalis, qui sert, comme nous l'avons vu, de base à son épuration.

Le blanc de baleine est, pour certains pays, l'objet d'un commerce important. L'Amérique envoie annuellement, à la pêche du cachalot, 150 navires environ, qui rapportent 135,000 barils d'huile, dont on retire à peu près 750,000 kilogr. de blanc de baleine; cette industrie occupe 4 à 5,000 personnes, et donne lieu à un mouvement de fonds de près de 30 à 35,000,000 de francs; en Angleterre, cette pêche occupe 80 à 90 navires, qui rapportent annuellement 3,500,000 à 4,000,000 kilogr. d'huile, dont on retire 350 à 400,000 kilogr. de blanc de baleine; cette industrie occupe environ 3,000 personnes, et donne lieu à un mouvement de fonds de 16 à 18,000,000 de francs. En France, cette industrie est peu développée; nos baleiniers se bornent à la chasse des baleines proprement dites, et nous sommes obligés de tirer de l'étranger de l'huile de cachalot et même du blanc de baleine tout pressé, pour alimenter nos fabriques de bougies diaphanes. L'importation annuelle de ce produit est d'environ 150,000 kilogr.

BLANC D'ESPAGNE. Argile blanche, très fine, purifiée par lavage, moulée en pains après dépôt et séchée à l'air.

BLANC DE MEUDON. On appelle ainsi de la craie, du carbonate de chaux très pur. On le prépare, pour Paris, à Bougival, en lavant la craie avec soin après un broyage et laissant déposer. On le retire par décantation et on le moule en pains que l'on fait sécher à l'air.

BLANC DE PLOMB ou CÉRUSE. Nous décrivons en détail cette fabrication à l'article CÉRUSE.

BLANC DE ZINC ET COULEURS A BASE DE ZINC. Jusqu'à ces derniers temps la plupart des couleurs employées dans la peinture artistique, la peinture en bâtiments, la fabrication des papiers peints, etc., offraient tant sous le rapport de leur durée que sous celui de leur fabrication et de leur emploi les plus graves inconvénients. Les unes à base de plomb, telles que le blanc d'argent, la céruse, les jaunes de chrôme, le minium et la mine-orange, les verts obtenus par un mélange de jaune et de bleu, occasionnent chez les ouvriers des fabriques et parmi les peintres ces terribles maladies connues sous le nom de *maladies saturnines* (vulgairement coliques de plomb, coliques de peintre) qui les déciment d'une manière lente, mais assurée; les autres à base de cuivre et d'arsenic, telles que les verts de gris, de Schéele et de Schweinfurth, sont non moins vénéneuses; enfin, les unes et les autres s'altèrent avec une effrayante rapidité sous l'action des émanations sulfureuses, ammoniacales et autres qui abondent surtout dans l'intérieur des villes et des habitations, ainsi que sous l'influence de la lumière et des agents atmosphériques. En outre, on ne peut habiter immédiatement un appartement peint avec des couleurs à base de plomb, cuivre ou arsenic, ou même tapissé avec des papiers peints, dans la fabrication desquels entrent ces couleurs, sans s'exposer à des maladies ou des empoisonnements, dont on ne sait où chercher l'origine et qui ont malheureusement eu plus d'une fois une déplorable fin.

Déjà à la fin du siècle dernier le célèbre Guyton de Morveau, vivement préoccupé du sort des nombreuses victimes dues à la fabrication et à l'emploi de peintures aussi insalubres qu'altérables, avait préconisé et

BLANC DE ZINC.

patronné le remplacement du blanc de plomb dans la peinture par l'oxyde blanc de zinc, qui lui avait été indiqué par Courtois, manufacturier à Dijon; il fut arrêté, d'un côté, par l'imperfection de ses procédés de fabrication qui, jointe aux prix relativement élevés du zinc à cette époque, ne lui permirent pas de livrer le blanc de zinc au commerce à des prix assez bas pour faire renoncer à l'emploi de la céruse; d'un autre côté, parce qu'il n'était pas initié à l'art de la peinture, et que, ne connaissant pas la routine du métier, il était à chaque instant exposé à faire fausse route dans la pratique, ce qui arrive presque toujours quand la science ne s'associe pas aux praticiens pour appliquer et développer ses découvertes; et enfin par l'absence d'un siccatif non plombeux inaltérable qui vint donner à l'oxyde de zinc le degré de siccité qu'il ne possède pas par lui-même.

En effet, la plupart des couleurs à l'huile exigent, pour sécher, que la substance oléagineuse ait été préparée avec un siccatif; le siccatif généralement employé est de l'oxyde ou de l'acétate de plomb que l'on fait dissoudre à chaud dans de l'huile de lin; or, à quoi servirait d'avoir exclu le plomb des couleurs qui en renferment, s'il devait y rentrer par l'addition du siccatif? La solution ne pouvait être complète qu'autant que l'on aurait découvert un siccatif inaltérable et inoffensif comme les couleurs elles-mêmes destinées à remplacer celles à base de plomb, cuivre et arsenic, bien que le blanc et les couleurs à base de zinc sèchent parfaitement par l'addition d'huile lithargirée.

Dans ces derniers temps et dans le but de supprimer l'emploi des huiles siccatives, on a proposé comme un perfectionnement de rendre les couleurs elles-mêmes siccatives, en les mélangeant avant de les livrer au commerce avec un *siccatif sec*, fabriqué à peu près comme les huiles siccatives ordinaires, avec cette différence qu'au lieu d'huile on se servait de térébenthine ou de résine. Parmi ces siccatifs, les uns à base de plomb présentent l'inconvénient de rendre altérables des couleurs inaltérables par elles-mêmes, et autant vaudrait avoir recours à l'huile lithargirée qui donne absolument les mêmes résultats et plus simplement; les autres à base de peroxydes métalliques, comme les peroxydes de manganèse, de fer, etc., rentrent évidemment dans les brevets dont nous parlerons plus loin.

Depuis Guyton de Morveau la solution des questions importantes que nous venons d'aborder n'avait fait aucun pas, lorsqu'après plusieurs années de laborieuses recherches un peintre en bâtiments, M. Leclaire, parvint à trouver une solution complète de la question :

1° Par l'invention de procédés de fabrication qui lui permirent de livrer du blanc de zinc aux mêmes prix que la céruse;

2° Par la préparation d'une série de couleurs jaunes et vertes, inoffensives et inaltérables, pouvant remplacer avec avantage toutes les couleurs à base de plomb, cuivre et arsenic;

3° Par la découverte d'un siccatif dans lequel il n'entre pas de plomb.

Ces diverses découvertes garanties par des brevets sont actuellement exploitées par une société.

En ayant suivi le développement depuis leur origine jusqu'au moment de la formation de la société, je crois devoir prévenir que les nombreux brevets pris depuis lors sur le même objet rentrent tous dans les brevets primitifs et sont susceptibles d'être poursuivis en contrefaçon. Une seule série de procédés de fabrication se trouvait en dehors de ces brevets. Après avoir hésité longtemps, je me suis décidé à m'en assurer la propriété par un brevet. J'indiquerai en quelques mots, dans le courant de cet article, les principes de ces procédés qui me paraissent destinés à compléter la révolution commencée par M. Leclaire, en réduisant notablement, comme me l'ont démontré des essais faits sur une grande échelle, les frais de la fabrication montée par ce dernier et actuellement entre les mains de la Société anonyme du Blanc de Zinc.

De la fabrication et de l'emploi du blanc de zinc. Jusqu'ici le blanc de zinc ne se prépare guère qu'avec le métal. Les appareils de fabrication employés par M. Leclaire sont analogues soit aux fours servant à la fabrication du zinc métallique (voir ZINC), soit aux fours montés pour la fabrication du gaz d'éclairage (voir ÉCLAIRAGE). Lorsque les moufles ou cornues placées dans ces fours sont arrivées à une température très élevée, on y charge une certaine quantité de zinc en lingots; le métal fond rapidement, distille, et les vapeurs métalliques qui se dégagent par l'orifice des cornues y sont brûlées par le moyen d'un courant d'air, déterminé par l'appel d'une cheminée ou d'un ventilateur placé à l'extrémité des appareils de récolte.

En général, on adopte une disposition spéciale qui permet d'isoler à volonté les cornues les unes des autres, afin que le service de chacune d'elles soit complétement indépendant, et qu'on puisse charger le métal, enlever les résidus et crasses, et même remplacer les cornues cassées, sans arrêter le travail dans les autres cornues. A cet effet on place devant l'orifice de chaque cornue ou de chaque groupe de cornues une *guérite* dont le croquis ci-joint (fig. 1) fera comprendre la disposition la plus usitée : *a*, four analogue au four silésien (voyez ZINC); *a'*, l'une des embrasures de cornues; *d*, cheminée de cette embrasure; — lorsqu'il s'échappe des fumées blanches et épaisses par cette cheminée, on est averti que la cornue ou l'une des cornues placées dans cette embrasure vient de se casser et qu'il faut immédiatement la remplacer; *bc*, cornue dans laquelle on charge le métal; *g*, guérite placée devant l'orifice *c* de la cornue : cette guérite est fermée antérieurement par une porte *l* et son fond est formé également par un tablier *h' f* que l'on peut relever dans la position *h f*, au moyen de la chaînette *m m'*, sans ouvrir la porte *l l*. Lorsque l'on veut charger la cornue, en enlever le résidu ou la remplacer, on ferme le tablier, en l'amenant dans la position *h' f*, puis on ouvre la porte *l l* et on peut entrer dans la guérite, si ses dimensions le permettent, ou au moins pénétrer jusqu'à la cornue; l'opération terminée on ferme la porte *l l* et on relève le tablier dans la position *h f*.

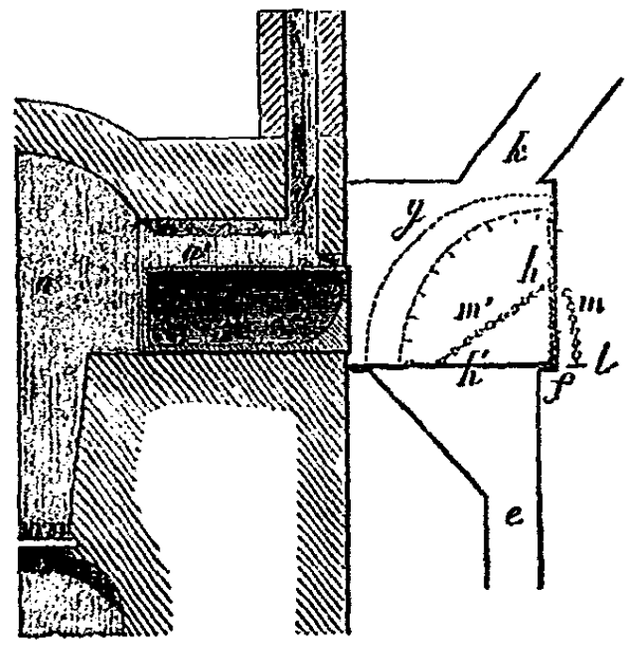


Fig. 1.

Les vapeurs métalliques sont brûlées à leur arrivée dans la guérite par de l'air qui y est amené par l'appel des chambres de récolte.

Il se manifeste ici un phénomène analogue à celui que l'on observe dans la fabrication du zinc métallique. Dans les usines à zinc, en effet, le métal se condense déjà à l'état liquide avant d'être sorti du massif du fourneau, et se rassemble à la jonction de la cornue et de l'allonge *(fours belges)*; ici une partie du métal qui distille se condense également à l'orifice des cornues qu'il finirait par obstruer, si on ne prenait le soin de nettoyer très fréquemment cet orifice, soit à la main, soit à l'aide de grattoirs mécaniques. Les crasses et résidus tombent et se rendent dans la trémie *e* d'où on les enlève de temps à autre.

Le courant d'air chargé de blanc de zinc est conduit par le tuyau *k* dans d'immenses chambres en maçonnerie où le blanc se dépose. Pour diminuer le nombre des chambres nécessaires pour opérer la précipitation du blanc, on y place ordinairement des châssis garnis de toile qu'il faut secouer de temps à autre pour prévenir leur obstruction. Chacune de ces toiles arrête non-seulement une partie des flocons de blanc entraînés par le courant d'air, mais encore elle tend à faciliter le dépôt des particules qui la traversent, en détruisant les effets fâcheux produits par les étranglements qui servent de communication d'une chambre à l'autre. Ce dernier effet, auquel on n'a jusqu'ici attribué aucune importance, peut être obtenu sans toiles et devrait même conduire à disposer celles-ci d'une manière toute différente de ce qui se fait actuellement.

On enlève le blanc déposé dans les chambres de récolte, sans arrêter la fabrication, au moyen de trémies placées à leur partie inférieure.

Nous venons de parler de la fabrication du blanc de zinc au moyen du zinc métallique. Dans certains cas il peut y avoir avantage à le tirer directement des minerais et matières zincifères; il suffit pour cela d'opérer comme s'il s'agissait d'en retirer du zinc métallique (voyez ZINC), à cela près qu'au lieu de condenser les vapeurs métalliques, on les brûlerait par un courant d'air, comme nous l'avons dit plus haut.

Lorsque l'on essaye de fabriquer le blanc de zinc, en laissant le bain métallique directement exposé à la flamme d'un foyer, d'une part, les fumées et les cendres entraînées altèrent la blancheur du produit, en diminuent le prix, et peuvent même le rendre invendable; et, d'autre part, le blanc formé s'accumule en majeure partie dans l'appareil de fabrication, s'oppose en l'obstruant à l'oxydation complète des vapeurs métalliques, et arrête bientôt l'opération. Nous avons rendu ce procédé industriellement applicable en employant des gaz combustibles qui brûlent complétement sans résidus, cendres ou fumées, et qui chassés, ainsi que l'air qui sert à les brûler, par une machine soufflante, font sortir de l'appareil de fabrication la totalité du blanc de zinc qui s'est formé dans son intérieur. Un seul appareil de ce genre, de faibles dimensions, peut suffire à une production considérable et très économique de blanc de zinc.

Dans quelques cas nous avons employé la vapeur d'eau à une haute température pour agir sur le zinc en vapeur ou ses sels; enfin, nous avons également utilisé l'action combinée du chlorure de sodium ou sel marin et de l'air ou de la vapeur d'eau, sur les sulfates et sulfures de zinc, pour obtenir, d'une part, du sulfate de soude, et, de l'autre, de l'oxyde de zinc; dans ce dernier procédé, on peut disposer les appareils de manière à recueillir le chlore ou l'acide hydrochlorique qui se dégage des appareils. Lorsque l'opération est conduite de manière à obtenir un dégagement de chlore, il convient d'utiliser ce gaz pour la fabrication du chlorure de chaux.

Le blanc de zinc à l'état floconneux présente souvent une teinte un peu jaunâtre ou un peu verdâtre suivant la qualité des zincs qui ont servi à le fabriquer.

Ainsi les vieux zincs renferment toujours de la soudure, et beaucoup de zincs du commerce proviennent de minerais cadmifères, et par suite le blanc obtenu peut renfermer quelques traces d'oxydes métalliques colorés tels que l'oxyde de fer et surtout l'oxyde de cadmium; du reste cette proportion est tellement faible que le mélange avec un corps liquide la fait disparaître; ainsi tel échantillon très sensiblement coloré, mouillé avec de l'eau pure, puis moulé en pain et séché, n'offre plus la moindre teinte.

En résumé, on trouve actuellement dans le commerce deux qualités de blanc de zinc; l'une dite *blanc de neige*, préparée avec les zincs les plus purs, remplace le *blanc d'argent*; l'autre dite *blanc de zinc* remplace les céruses de première qualité.

Nous avons déjà dit que le blanc de zinc et les couleurs qui en dérivent s'emploient à l'huile pure et mélangée d'essence, à la colle, au vernis à l'esprit de vin, au vernis à l'essence et au vernis gras, etc., soit pour la peinture artistique, soit dans la peinture en bâtiments. On s'en sert également :

Dans la fabrication des papiers peints;

En parfumerie, pour préparer un blanc de fard coloré par du carmin, tout à fait inoffensif et qui au moins n'expose pas au ridicule les personnes qui, en faisant usage, vont visiter des établissements d'eaux minérales sulfureuses;

Pour préparer soit seul, soit mélangé avec un peu de gris de zinc, le mastic dont on se sert pour faire les joints des chaudières et machines à vapeur;

Pour la fabrication des papiers lissés et des cartes dites *de porcelaine*, préparées autrefois au blanc de plomb; il est vrai que l'on a déjà remplacé le blanc de plomb par le carbonate de baryte qui n'offre pas les mêmes inconvénients; mais ce dernier foisonnant beaucoup moins que le blanc de zinc, celui-ci est encore d'un emploi plus économique.

Enfin tout le monde a pu admirer à la dernière exposition les magnifiques cristaux à base de zinc fabriqués à la cristallerie de Clichy. Si ces essais ne sont pas encore passés à l'état de fabrication courante, cela ne tient qu'au prix encore relativement trop élevé du blanc de zinc, et si, comme me l'a affirmé M. Maës, l'habile directeur de cette cristallerie, les qualités inférieures de blanc de zinc, que l'on peut avoir au prix de 55 francs les 100 kilogrammes, lui donnent encore de plus beaux cristaux que le minium, ce que la pureté relative des deux oxydes vient confirmer, nul doute que, dans un avenir très prochain, la fabrication des cristaux n'offre un immense débouché aux fabriques de blanc de zinc.

Il est à remarquer ici que l'oxyde de zinc étant infusible se combine avec beaucoup de difficulté avec la silice et qu'il fournit un silicate très peu fusible; pour obtenir un cristal assez fusible pour être travaillé, on est obligé d'ajouter une certaine proportion d'acide borique, qui facilite en même temps la combinaison; le cristal obtenu est alors non plus un silicate, mais un boro-silicate, et est beaucoup plus dur et plus brillant que les cristaux à base de plomb.

Avant de quitter le blanc de zinc, nous croyons utile de donner quelques indications sur la manière de l'employer dans la peinture à l'huile en bâtiments. La peinture prête à être employée se prépare ordinairement avec parties égales en poids de blanc de zinc d'une part, et d'un mélange d'huile de lin ou d'huile blanche, d'essence et de siccatif d'autre part; toutefois, lorsque la surface à recouvrir est très absorbante, comme le plâtre neuf, on augmente la proportion du mélange oléagineux jusqu'à arriver dans le cas précité à obtenir quatre kilogrammes de peinture avec un kilogramme de blanc de zinc.

La proportion d'essence qui, dans les premières cou-

ches, est portée jusqu'à la moitié du mélange, n'est plus admise que pour un quart dans les dernières, sauf dans les peintures sur bois où elle va au contraire en augmentant jusqu'à en former à la fin les deux tiers.

La proportion de siccatif à employer est toujours plus forte pour les premières couches, moindre en été qu'en hiver, plus faible avec les huiles anciennes qu'avec celles nouvellement fabriquées et dépasse rarement 5 à 6 p. 100 du poids de l'huile employée.

En général le blanc de zinc se délaye très facilement dans le mélange d'huile et d'essence; cependant quelquefois au lieu de le délayer à l'état sec, on le réduit préalablement en pâte ferme en y incorporant 25 p. 100 environ d'huile soit au rouleau, soit au moyen de machines analogues à celles employées pour broyer les couleurs (voyez BROYAGE).

On a prétendu et beaucoup de personnes croient encore que le blanc de zinc couvre moins que la céruse: c'est un fait inexact; toutefois il est à remarquer que le blanc de zinc couvre d'une manière très différente suivant la manière dont il a été préparé. Ainsi le blanc de zinc floconneux dit *blanc de trémie*, qu'il ait ou non été pressé à sec, se délaye facilement dans l'huile sans broyage préalable, et en revanche couvre moins que toutes les autres variétés de blanc de zinc. Le blanc de zinc lavé, ou le blanc obtenu en mouillant le blanc de trémie, le moulant en pains et le faisant sécher à l'étuve, est plus long à broyer, mais aussi couvre beaucoup mieux. En outre le mouillage fait disparaître la teinte jaunâtre ou verdâtre du blanc ordinaire, et lui donne l'aspect mat des pains de céruse. Ce mode de livraison au commerce avait donc, outre l'avantage de fournir un produit couvrant mieux, celui de ne pas changer les habitudes reçues; c'était là un point capital, et nous regrettons que la Société du Blanc de Zinc ait suivi une voie toute contraire.

Enfin, le blanc de zinc fortement calciné couvre encore plus que le blanc lavé; mais cette calcination ne peut se faire économiquement que dans les appareils que nous avons brevetés, où elle est facultative selon les exigences de la fabrication. Par contre, son broyage est aussi plus long.

En résumé, on peut, soit par l'action de l'eau, soit par celle de la chaleur, condenser le blanc de zinc, de manière à augmenter très notablement la faculté qu'il a de couvrir et à obtenir par exemple à deux couches, avec le blanc ainsi préparé, les mêmes résultats qui exigent trois couches avec le blanc de trémie.

Gris de zinc. La couleur connue sous le nom de gris de zinc ne fait point l'objet d'une fabrication spéciale; ce n'est autre chose que le zinc imparfaitement oxydé qui se dépose à l'état pulvérulent dans les allonges des cornues des usines à zinc. On pourrait la fabriquer directement; mais l'emploi de cette couleur est une erreur dont on reviendra en peinture, vu que l'on peut obtenir un produit similaire couvrant beaucoup plus, bien plus économique à l'emploi, quoique paraissant un peu plus coûteux, et de qualité bien supérieure, par des mélanges de blanc de zinc et de noir de fumée ou d'autres couleurs. Tout au plus convient-il de l'employer comme peinture galvanique pour préserver le fer et la fonte de la rouille, et encore cette supériorité ne nous paraît pas démontrée.

Jaunes de zinc. En prenant une solution de bi-chromate de potasse et la faisant bouillir avec 50 p. 100 environ de son poids d'oxyde de zinc, le sel acide se décompose; on obtient un précipité d'un chromate de zinc d'une couleur bouton d'or et il reste dans la dissolution du chromate de potasse, lequel, à son tour, mélangé, après décantation, avec du sulfate de zinc, donne un précipité un nouveau chromate de zinc, nuance citron.

Avec les jaunes ci-dessus, le blanc de zinc et le sulfure rouge-orangé d'antimoine préparé par voie humide, on prépare par des mélanges convenables toutes les nuances désirables de jaune.

Verts de zinc. Les verts de zinc sont de deux espèces: les uns s'obtiennent par un mélange mécanique des jaunes à base de zinc précités et de bleu de Prusse: les autres sont obtenus par la combinaison par voie sèche des oxydes de zinc et de cobalt. La teinte varie suivant la proportion de l'oxyde de cobalt. Pour que la teinte du composé soit bien uniforme, il faut que le mélange préalable à la calcination soit bien complet, et à cet effet que l'un au moins des deux oxydes métalliques soit à l'état de sel soluble. Ordinairement on le fait en délayant l'oxyde de zinc dans une solution de sulfate de cobalt.

Siccatif non plombeux. Le siccatif se prépare en faisant cuire pendant quatre à huit heures ensemble de l'huile de lin, déjà épurée et cuite, avec 5 p. 100 de son poids de peroxyde de manganèse du commerce concassé, en ayant soin d'agiter le mélange; on suspend ensuite le feu, on laisse refroidir et on tire au clair. Cette huile, mêlée dans la proportion de 3 à 5 p. 100 dans les couleurs à base de zinc ou autres non siccatives par elles-mêmes, les fait parfaitement sécher. Il est à remarquer que le manganèse, qui est resté à l'air après avoir servi, a une propriété siccative beaucoup plus prononcée que le manganèse neuf, de sorte que la consommation en est très peu considérable.

On peut solidifier ce siccatif manganésé en le saponifiant incomplétement avec de la chaux, procédé du reste également breveté par M. Leclaire.

P. DEBETTE.

BLANCHIMENT (*ang.* Bleaching; *all.* Bleichen).— On donne le nom de blanchiment à l'opération qui a pour but d'enlever aux différentes matières textiles, coton, lin, chanvre, laine et soie, qu'elles soient à l'état de fibres, d'écheveaux ou de tissus, les matières étrangères qui les colorent naturellement ou accidentellement, et qui les feraient exclure de leurs emplois dans les usages domestiques, ou s'opposeraient aux succès des manipulations variées auxquelles elles doivent être soumises pour recevoir la teinture ou l'impression.

Il ne suffit pas, en effet, pour que les fibres, les écheveaux ou les tissus soient acceptés par les diverses industries qui les emploient comme matières premières, ou par le commerce qui les livre au consommateur, que ces substances soient dépourvues de leurs couleurs propres, quand ces couleurs sont regardées comme nuisibles; il faut encore qu'elles soient dépouillées des substances grasses qu'elles contiennent naturellement et des matières étrangères que le filateur ou le tisserand ont ajoutées pour faciliter leur travail.

On n'obtient ces résultats d'une manière complète qu'autant qu'on connaît les circonstances particulières dans lesquelles les fibres textiles conservent leurs qualités premières, finesse, éclat, souplesse, élasticité, résistance; il faut rejeter l'emploi de tous les agents qui feraient disparaître ces qualités et ne faire usage que de ceux qui pourront enlever les matières étrangères, soit indirectement en les détruisant ou les modifiant, soit directement en les dissolvant.

En comparant les propriétés des matières gommeuses, grasses, résineuses, en rapprochant les caractères chimiques des fibres textiles d'origine végétale et d'origine animale, on ne tarde pas à s'apercevoir que la laine et la soie, solubles dans les alcalis, ne peuvent être soumises aux mêmes traitements que le coton, le lin et le chanvre. Nous trouvons encore, à l'endroit de l'action du chlore sur ces matières, que l'emploi des agents décolorants convenables pour les fibres d'origine végétale ne convient pas au blanchiment des étoffes de laine et de soie. Nous devrons donc distin-

guer deux méthodes générales de blanchiment en ayant égard à la nature, à l'origine de la matière textile.

Toute la théorie de l'opération du blanchiment est comprise dans l'exposé qui précède. On procède par des moyens variables dans la pratique, mais dont le but est le même : éloigner par des réactifs convenables en nature et en énergie les matières gommeuses, grasses, résineuses et colorantes qui souillent la fibre. Suivant la nature de la fibre, ces matières sont variables; les procédés varient aussi. Le choix des moyens ne saurait être étudié dans cet article d'une manière trop spéciale; mais croyant devoir de suite passer au détail des différentes opérations, nous distinguerons les fibres de matière végétale et les fibres d'origine animale. La théorie reçoit la plus nette explication au sujet des premières. Nous nous étendrons davantage à leur propos.

Lorsque Berthollet découvrit les propriétés décolorantes du chlore et qu'il en fit l'application au blanchiment des étoffes, on crut que le dernier mot était dit sur cette importante question; mais de nouvelles expériences ont profondément modifié la première théorie, en ajoutant aux procédés anciens, économie et sécurité. Toutes les opérations du blanchiment reposent aujourd'hui sur des principes certains, qui forment un corps de doctrine.

Ces principes peuvent être résumés en quelques mots, si l'on comprend bien les opérations dont se compose le blanchiment lui-même. Et, pour les bien saisir, il est indispensable de définir nettement au point de vue chimique le fil ou le tissu formé par les fibres d'origine végétale ou animale.

La matière ligneuse des tissus de coton, de lin, de chanvre, la matière filamenteuse de la laine et de la soie sont loin d'être pures; elles renferment :

1° Une matière colorante, colorable ou colorée, plus ou moins préservée de l'action des agents décolorants par les matières étrangères auxquelles elle est associée;

2° Une matière résineuse naturelle à la fibre, insoluble dans l'eau, difficilement soluble dans les alcalis et qui protége la matière colorante contre l'action des agents chimiques qui doivent la dissoudre ou la détruire;

3° Des matières grasses inhérentes à la fibre ou provenant de l'action du filage et du tissage; elles sont surtout déposées à la surface des fils; ces corps gras peuvent provenir ou des métiers à filer, ou des métiers à tisser; ce sont encore des savons dont on fait usage pour diminuer le frottement pendant le tissage;

4° Une substance neutre, fécule, farine ou colle forte suivant que, pendant l'encollage de la chaîne on s'est servi de l'une ou l'autre de ces substances; on rejette aujourd'hui presque partout l'emploi de la farine, qui donne, par la fermentation putride du gluten qu'elle contient, du carbonate d'ammoniaque dont la présence transforme la graisse en substances nouvelles, capables de faire adhérer les matières colorantes, et très-difficiles à faire disparaître dans les opérations subséquentes du blanchiment. On y trouve encore quelquefois, surtout à présent, de la glycérine qui permet aux ouvriers de fabriquer des tissus légers, mousselines et autres, même dans les lieux secs;

5° Des matières salines inorganiques, les unes inhérentes à la fibre, les autres provenant de l'eau dont on a fait usage, d'autres enfin empruntées aux principes dont on s'est servi pour la préparation du parement de la chaîne.

S'il était permis de faire abstraction de toutes les matières étrangères que nous venons d'indiquer, comme grasses, résineuses, neutres et salines, on pourrait définir une étoffe quelconque comme formée par la fibre textile et la matière colorante. Le problème du blanchiment serait excessivement simple et parfaitement défini; il suffirait, en effet, d'enlever directement, ou de modifier d'abord, pour l'enlever ensuite, le principe colorant qui donne à la fibre sa couleur propre; on mettrait de la sorte en liberté la matière textile pure avec les propriétés que le consommateur réclame. Nous n'aurions qu'à rechercher les moyens les plus propres à produire la *décoloration de la fibre*.

Mais les matières étrangères grasses et résineuses ajoutent aux difficultés, car elles s'opposent à la décoloration en préservant la fibre; il est donc indispensable de commencer le blanchiment par le *dégraissage* de l'étoffe.

Nous distinguerons ainsi dans le blanchiment deux sortes d'opérations bien distinctes, le dégraissage et la décoloration, et comme les fibres sont colorées sous une certaine épaisseur, comme la matière grasse et résineuse est associée de la manière la plus intime à la matière colorante, un premier dégraissage, n'agissant que sur l'épiderme de la fibre, ne permet aux premières méthodes de décoloration d'enlever que la couche correspondante de matière colorée. On est forcé de répéter un certain nombre de fois les opérations successives de dégraissage et de décoloration pour obtenir un blanc parfait. On devrait sans doute y parvenir en augmentant l'énergie des agents chimiques employés; mais ce serait assurément au détriment de l'étoffe qui pourrait perdre de ses qualités physiques. Il est beaucoup plus prudent d'opérer par élimination successive de matières grasses, résineuses, féculentes et colorées.

DÉGRAISSAGE DES TISSUS. Nous aurons à considérer dans le dégraissage deux séries d'opérations distinctes, les unes chimiques, les autres mécaniques, complétant nécessairement les premières.

Quelles sont les opérations chimiques? Quel est leur but?

Quelles sont les opérations mécaniques? Que doivent-elles produire?

A. Dans les opérations chimiques, les tissus ou les fils écrus sont soumis à l'action :

1° D'une ou deux lessives alcalines dans le but de transformer en savons solubles les corps gras ou résineux adhérents à la fibre;

2° D'un bain acidulé soit par l'acide sulfurique, soit par l'acide chlorhydrique, dans le but de décomposer les savons alcalins formés pendant la première opération et de mettre les corps gras en liberté;

3° D'un ou de plusieurs lavages au carbonate de soude pour opérer la dissolution des acides gras mis en liberté dans l'opération précédente;

4° D'un ou plusieurs lavages à l'eau pure pour enlever par voie de dissolution tous les principes solubles formés pendant les trempages dans les bains acides ou alcalins, dont les emplois se sont succédé.

Les savons peuvent être alcalins ou terreux. Autrefois les savons à base de potasse ou de soude étaient à la mode; on les obtenait avec des lessives à base de soude ou de potasse : on les a remplacés avantageusement par des lessives faites au moyen du lait de chaux, lorsqu'on traite les lins ou les chanvres.

Le rôle des savons calcaires dans le blanchiment paraît avoir été signalé pour la première fois par M. Prince et Dana; la chaux est plus avantageuse que les alcalis caustiques; elle oxyde très-bien la matière colorante et la rend ainsi plus propre à la décoloration proprement dite; elle saponifie les résines mieux et plus facilement que la potasse et que la soude; enfin elle exerce sur la résistance des tissus une action beaucoup moins désorganisatrice, si l'on a le soin de n'opérer qu'à l'abri du contact de l'air; enfin, les alcalis ne contractent les fibres d'une manière suffisante pour s'opposer à la formation du duvet que si leur état de concentration est capable d'attaquer la fibre elle-

même : on n'a pas à craindre cet effet désastreux avec la chaux, lorsqu'on a déterminé le degré de concentration le plus convenable et la température la plus propice pour une action prompte et sans dangers. Telles sont les opérations chimiques auxquelles on soumet les différentes fibres en fils ou en tissus pour les dégraisser.

On comprend que ces diverses opérations exigent l'emploi d'appareils spéciaux variables dans leurs dimensions, dans leur énergie avec la qualité de la fibre, avec la finesse des fils ou des étoffes.

Si l'on examine la nature des liquides dont l'action se succède dans leur contact avec les matières à dégraisser, on peut se convaincre qu'il faut séparer pour opérer avec économie, après chaque passage, les résidus provenant du traitement et l'excès du réactif. C'est par des rinçages répétés et successifs qu'on régularise l'action.

Le dégorgeage des pièces lessivées et les passages en bains acides dont nous venons d'indiquer les effets utiles exigent pour produire tout leur effet l'emploi de moyens mécaniques que nous pouvons définir et décrire.

Le dégommage et les passages à l'acide s'obtiennent par l'immersion des pièces réunies en paquets, ou les unes à la suite des autres dans de grandes cuves enfoncées en terre; le maniement des pièces est facilité par un tourniquet, mû par une manivelle ou par un engrenage mis en rapport avec la force motrice de l'établissement. On remplace l'eau qui s'échappe et celle qu'entraînent les pièces; on remonte le liquide en ajoutant de l'acide pour remplacer celui que la chaux et le savon calcaire ont nécessairement saturé.

De là donc plusieurs sortes d'appareils dont les fonctions sont distinctes. On les classe ainsi :

1° Appareils à lessiver; 3° Appareils à dégorger;
2° Appareils à tremper; 4° Appareils à essorer.

Pour conserver à cet article un ordre méthodique, nous devons en séparer l'étude.

§ 1er. *Appareils à lessiver.* — Le lessivage est une des opérations les plus importantes du blanchiment; il s'exécute par un grand nombre de procédés qui se groupent autour des deux types que nous allons décrire. Il comporte différentes matières de nature et de concentration variables agissant comme lessives spéciales.

Pour exemples, nous les considérerons comme agents de blanchiment pour les fibres d'origine végétale.

1° *Ancien procédé.* On fait tremper les tissus dans une lessive alcaline, on les lave, puis on les empile régulièrement dans un grand cuvier en bois. On porte la lessive alcaline caustique à la température de 40° environ, dans une chaudière d'une capacité suffisante, puis on la laisse couler, par un robinet, dans le cuvier, jusqu'à ce que les tissus en soient entièrement recouverts; on laisse reposer pendant quelque temps, puis on soutire par une bonde inférieure la lessive dans un chaudron en fonte placé au-dessous, d'où on l'élève au moyen d'une pompe dans la chaudière supérieure. On élève la température dans celle-ci, on fait couler la lessive sur le linge, etc., et on continue ainsi à répéter cette série d'opérations, en augmentant à chaque fois la température de la lessive, jusqu'à ce que celle-ci soit entièrement saturée des matières grasses ou colorantes qu'elle enlève aux tissus, ce que l'on reconnaît, à ce qu'elle a perdu en grande partie sa causticité, pris une odeur extrêmement nauséabonde et acquis une coloration de plus en plus foncée.

Il convient d'élever ainsi graduellement la température des lessives pour obtenir de bons résultats; en versant tout d'abord sur les tissus une lessive bouillante, on augmenterait l'adhérence des matières colorantes ou résineuses au lieu de les enlever.

BLANCHIMENT.

Lorsque la lessive s'est saturée des matières qui salissaient les tissus, on la fait écouler au dehors comme impropre à un nouveau lessivage, ou bien, chez quelques blanchisseurs, on l'ajoute en partie dans la fermentation du parou. Si l'on portait le linge encore chaud, au sortir du cuvier, à la roue à laver, une partie de la matière colorante dissoute dans la lessive dont il est imprégné, se précipiterait de nouveau sur les fibres du coton et s'y fixerait; aussi faut-il après l'écoulement de la lessive faire arriver à plusieurs reprises de l'eau chaude sur le linge, laisser reposer à chaque fois pendant quelque temps avant de soutirer, jusqu'à ce que l'eau sorte claire et presque incolore; c'est alors seulement qu'on retire le linge du cuvier et qu'on le lave soit au battoir à main, soit dans la roue à laver.

2° *Nouveau procédé.* Ce procédé, dû à John Laurie de Glascow, et que l'on peut modifier de beaucoup de manières, consiste en principe, en ce que la lessive tombe continuellement du cuvier dans une chaudière placée au-dessous, d'où elle s'élève de nouveau et vient se déverser à la surface du linge soit au moyen d'une pompe, soit par la pression même de la vapeur qui se développe dans la chaudière; cette disposition donne lieu à une circulation continue.

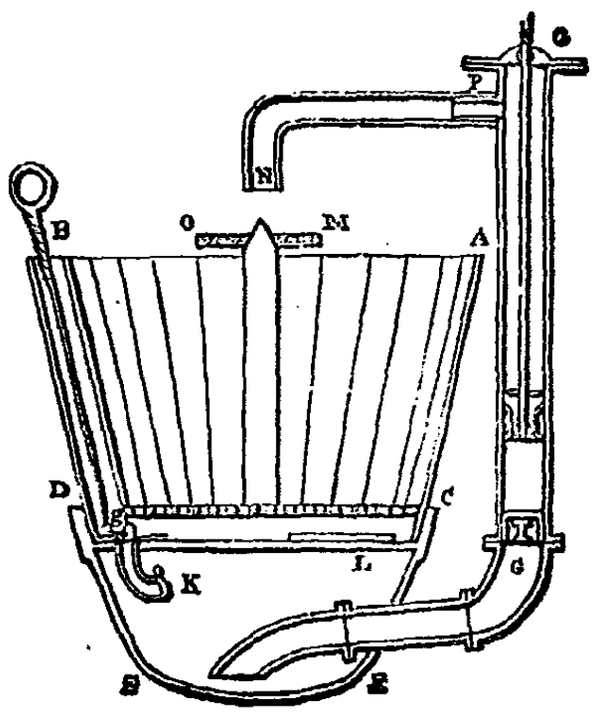


Fig. 237.

La *fig.* 240 représente la coupe de l'un de ces appareils : ABCD est le cuvier de bois dans lequel on empile le linge et dont le fond est à jour. Il s'emboîte dans la chaudière en fonte CDEF, qui reçoit directement l'action du feu. La lessive tombe du cuvier sur le fond plein L, et de là dans la chaudière par le tuyau gK, portant en g un registre que l'on manœuvre à l'aide du levier gB, et qui sert à régler la vitesse d'écoulement de la lessive du cuvier dans la chaudière; ce tuyau est en outre muni en K d'une soupape s'ouvrant du cuvier dans la chaudière; il permet la descente de la lessive, mais il s'oppose au passage de la vapeur en sens contraire; on élève la lessive de la chaudière, à l'aide d'une pompe GG, qui la verse par le tuyau NP sur la plaque métallique MO, qui sert à la répartir uniformément sur la surface du linge. Lorsque la température de la lessive est suffisamment élevée dans la chaudière, on cesse de faire aller la pompe, et la pression de la vapeur qui occupe la partie supérieure de la chaudière suffit à la fois à faire monter la lessive dans le tuyau G, à soulever les clapets de la pompe immobile, et enfin à déterminer une circulation continue.

Cet appareil fonctionne avec une efficacité et une

régularité remarquables; il n'exige presque aucune main-d'œuvre, et l'expérience a prouvé qu'il réalise une économie qui peut s'élever jusqu'à 25 p. 100 de l'alcali employé.

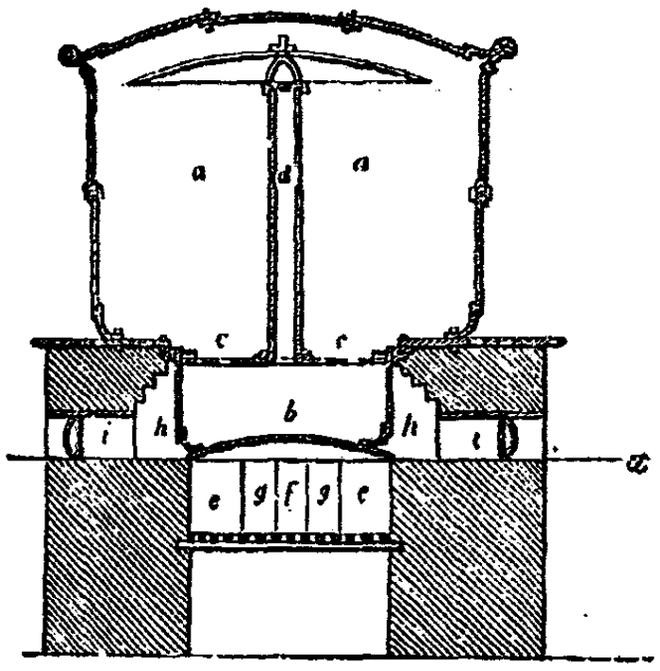


Fig. 238.

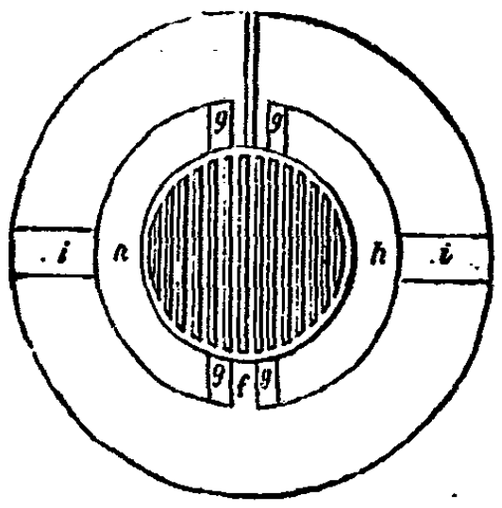


Fig. 239.

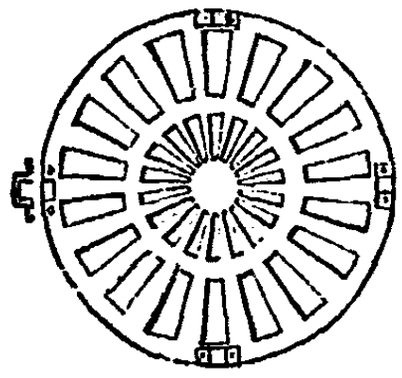


Fig. 240.

Les *fig.* 238, 239 et 240 représentent une modification plus récente de l'appareil de Laurie. La *fig.* 238 en est une coupe verticale et la *fig.* 239 une coupe horizontale suivant la ligne *x* de la *fig.* 238 : *a*, *a*, cuvier en tôle rivée ou en bois dont le fond en fonte *c*, *c*, représenté en plan *fig.* 240, porte le tube d'ascension *d* (qui devrait, dans la *fig.* 238, descendre presque jusqu'au fond de la chaudière *b*), par lequel la lessive s'élève de la chaudière *b*, par la pression de la vapeur et s'épanouit sur une cuvette en tôle renversée, d'où elle tombe en plein sur la surface du linge. *e*, grille circulaire en fonte; *f*, murs en briques dans l'un desquels est encastré le tuyau de fonte qui sert à faire écouler la lessive; *g*, *g*, rampants conduisant la flamme dans les carneaux *h*, *h*, qui circulent autour de la chaudière *b*, et de là dans la cheminée par deux conduits qui ne sont pas figurés. Les ouvreaux *i*, *i*, ordinairement formés par des plaques de fonte, servent à nettoyer au besoin les carneaux *h*, *h*. On enveloppe souvent le cuvier *a*, *a*, d'une chemise en bois, et dans l'entre-deux on tasse de la sciure de bois, afin d'éviter autant que possible toute déperdition de chaleur.

Le lessivage sur une grande échelle se fait au moyen d'appareils fixes; il y a tout avantage à les employer lorsqu'on opère sur 300 kilos à la fois; on donne alors au cuvier environ 1m,40 de diamètre; on le fait en bois; son couvercle a 1m,50; le fond est en fonte pour les cuviers d'une contenance de 500 kilos; leur diamètre est plus grand, la construction la même, le couvercle a 2m,00; enfin les grands cuviers de 900 kilog. ont 2m,10, ils sont entièrement en fonte; généralement on les accouple deux à deux sur la même chaudière à circulation comme l'indique la *fig.* 244.

Une chaudière concentrique A, à circulation, est placée dans un fourneau en briques, bâti dans une fosse ou sous-sol d'au moins 1m,50 de profondeur. Les carneaux conduisent la fumée dans un tuyau central B, qui donne sa chaleur à des réservoirs à eau chaude C; la circulation s'établit par les conduits D et E, qui correspondent aux leviers F et G.

En récapitulant les divers systèmes d'appareils à lessive, on trouve qu'on peut les classer en deux grands groupes : les uns à chauffage direct soit à feu nu, soit à la vapeur; les autres à circulation, soit intermittente, soit continue.

Pour les appareils chauffés à la vapeur, on adopte des dispositions qui permettent de les ramener à deux types distincts : dans les uns le générateur est séparé du cuvier, dans l'autre il se confond avec lui.

Nous avons donné deux types des exemples les plus anciens; ils ont été modifiés les uns et les autres par quelques constructeurs.

Ainsi on peut disposer le cuvier en communication avec un bouilleur isolé dans lequel la lessive se chauffe en dehors du cuvier; mais cette disposition basée sur le même principe que l'appareil Widmer dans lequel la lessive se déversait sur le linge au moyen d'un tuyau central surchargé d'une pomme d'arrosoir, présente quelques inconvénients résultant du mélange d'air que contient le réservoir et qui presse sur la colonne de manière à faire arriver le liquide avant qu'il ait atteint la température à laquelle il agit le plus convenablement.

Cependant ces inconvénients disparaissent en faisant usage d'un robinet placé sur le tuyau d'ascension si l'on a placé la soupape sur le tuyau de retour. Lorsque le robinet est fermé, elle se lève et laisse échapper l'air atmosphérique contenu dans le bouilleur; on ouvre le robinet lorsque l'air est dégagé. Le liquide bouillant alors sous une pression de plusieurs atmosphères, monte par le tube pour circuler sur les tissus.

Cet inconvénient n'existe pas non plus avec l'appareil Duvoir : deux soupapes placées, l'une dans le bouilleur, l'autre dans le tube de retour, sont en rapport avec des flotteurs et amènent périodiquement la quantité de liquide voulue pour agir d'une manière continue.

Si l'on suppose un cuvier placé près d'un bouilleur de telle sorte que les deux appareils communiquent ensemble par deux tubes mettant en communication l'un les parties supérieures, l'autre les parties inférieures, on pourra se faire l'idée d'une circulation continue, lorsque la chaudière est pleine : le liquide le plus chaud s'élève à la partie supérieure, se déverse par un tuyau sur le linge placé dans le cuvier, et s'y refroidit; la lessive fait alors retour dans la chaudière par la partie inférieure et se réchauffe de nouveau.

Chez M. Dollfus Mieg de Mulhouse, on peut lessiver à la fois 500 pièces de jaconas en 24 à 36 heures. Les

inconvénients qui résultent de ce système peuvent être évités avec beaucoup de soin ; il faut veiller à ce que les tissus soient régulièrement placés dans le cuvier ; sans cette précaution, il s'établit des courants et le lessivage est irrégulier.

En sortant des appareils à lessiver, les pièces sont dégorgées, puis on leur donne une deuxième lessive dans les mêmes cuves. Le résidu de cette deuxième lessive est employé dans les établissements bien installés pour préparer la première lessive. On utilise ainsi tous les alcalis que le liquide contient.

§ 2°. *Appareils à tremper.* — Les appareils dont on se sert pour faire tremper les fibres à l'état de flocons, de fils en écheveaux ou de tissus, varient suivant l'instant de l'opération et suivant la nature du liquide dans lequel elles doivent être immergées.

Quand on commence l'opération, surtout pour les tissus de laine, on humecte en arrosant avec de l'eau pour laisser le tissu s'imbiber uniformément : il est ensuite déposé dans une cave ou tout autre lieu très-humide. Lorsque l'air, qui baignait la fibre, a été dégagé par l'eau conduite par capillarité jusqu'au centre de l'étoffe, et qu'il est complétement chassé, la fibre est plongée dans le liquide à l'action duquel on doit avoir recours.

La forme des cuves où se fait le trempage est variable : tantôt ce sont des bassins circulaires, d'autres fois des cuviers cylindriques élevés sur des tréteaux ou enterrés à fleur du sol. Les pièces, écheveaux ou flocons sont placées dans des filets mus à la main ou mouvés au moyen d'une grue, quelquefois agités par écheveaux isolés. Les étoffes sont réunies en paquets ou assemblées en boyaux, agitées à la main ou manœuvrées par un tourniquet et des cylindres de tension.

Les cuves sont en bois, en pierres ou en briques, si l'on agit à froid ; quelquefois il faut les faire en plomb,

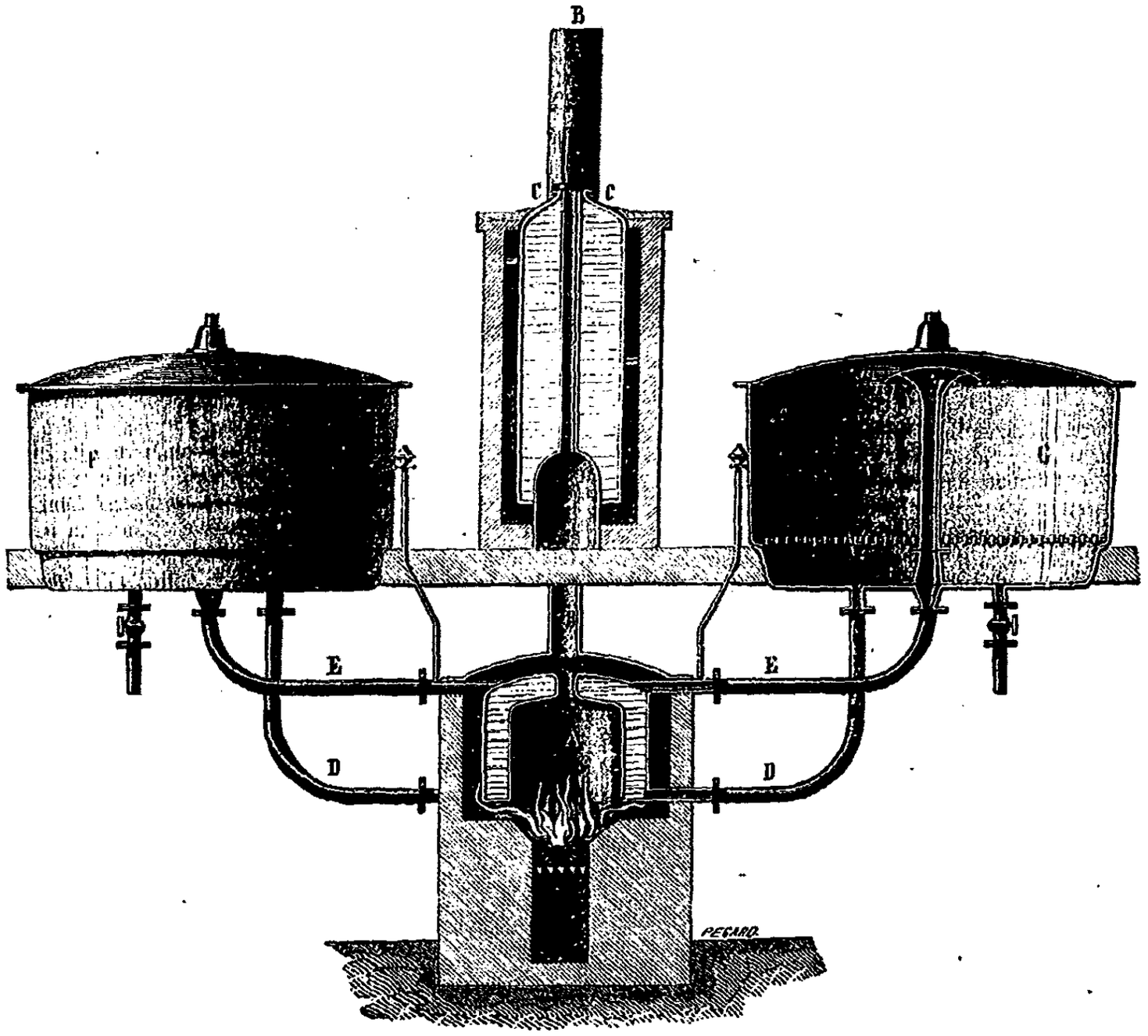


Fig. 241.

quand le liquide employé corrode ces matières. Pour faire agir l'acide sulfurique, on se sert de bassins en plomb.

On opère à froid dans l'industrie. M. Persoz propose d'opérer à des températures comprises entre 70 et 80 degrés. Il y aurait économie, quoique avec une dépense de combustible. En effet, à cette température, les savons calcaires sont mieux attaqués par l'acide qui dissout en même temps une partie des acides gras et de la matière colorante déjà modifiée. On opérerait cette chauffe, soit à feu nu dans une cuve en plomb, soit dans une cuve en bois chauffée par la vapeur et contenant une double cuve en plomb.

§ 3°. *Appareils à dégorger.* — Les opérations mécaniques complètent les opérations chimiques ; elles tendent à faire disparaître les matières solubles dont l'étoffe est imbibée, tout aussi bien que les matières insolubles répandues soit à la surface, soit dans les pores des tissus.

Ces opérations mécaniques ont pour but le *dégorgeage* des tissus et l'*essorage*. Dégorger un tissu, c'est lui faire quitter tous les éléments étrangers dont il est souillé, que ces éléments soient solubles ou non ; esso-

rer un tissu, c'est lui faire perdre la plus grande quantité du liquide qui le mouille. Ces deux phases du travail exigent l'emploi d'efforts mécaniques assez considérables, variables, au reste, avec la finesse du tissu et la nature de la matière textile dont il est formé.

La fibre textile retient, en effet, avec une grande force les matières qui s'y trouvent adhérentes. A moins d'opérer une sorte de filtration, en se servant de l'étoffe comme filtre, on ne parviendrait que très-imparfaitement à dépouiller le tissu des matières solubles qu'il renferme : encore faudrait-il un temps considérable et des masses de liquide. Il est indispensable de comprimer plus ou moins et à plusieurs reprises les pores du tissu, pour en exprimer tout le liquide retenu par capillarité ; à force d'immersions et de déplacements successifs, toutes les matières solubles sont expulsées. Quant aux matières insolubles, elles ne se détachent que par des frottements répétés, et ce n'est que par l'action postérieure de l'eau qu'elles peuvent disparaître, ou projetées à distance sous l'influence de chocs, ou suspendues dans l'eau qui s'écoule par son propre poids. Dans tous les cas, l'eau devient un agent de première nécessité pour dégorger et nettoyer les étoffes.

Les divers appareils employés pour dégorger et nettoyer les tissus agissent par compression : tantôt les linges sont battus, tantôt ils sont comprimés par leur chute contre des parois résistantes, tantôt ils reçoivent un choc violent par l'eau qui tombe avec force ; ces diverses méthodes de comprimer sont quelquefois réunies dans un même appareil. Quoi qu'il en soit, les divers systèmes employés par l'industrie se ramènent à des types définis. Nous allons les passer en revue : les plus simples sont ceux dont l'action se rapproche du battage à la main. En général, ils fonctionnent comme le font les batteuses de linge dans les pratiques du savonnage. Pendant longtemps les paquets à dégorger étaient étendus sur un pont en bois et des manœuvres les battaient avec des battes ou des fléaux pendant que d'autres les retournaient en les aspergeant d'eau. Le battage se fait en eau vive autant que possible. Cette méthode dispendieuse en main-d'œuvre n'est pas possible dans une grande industrie. On l'a remplacée par d'autres plus économiques. Au premier rang, nous citerons les batteuses figurées ci-contre employées en Ecosse ; elles agissent ou comme *pilons*, ou comme *foulon*.

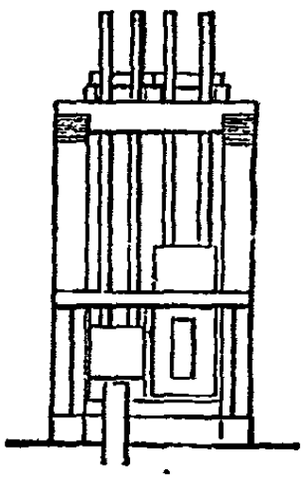


Fig. 242.

Les pilons (fig. 242) sont mus par des arbres à cames ; on en connaît la disposition générale ; ils expriment convenablement.

Les foulons agissent de la même manière ; la figure 243 en donne une disposition particulière.

A, A, sont les marteaux portés sur des tourillons en fer B et soulevés par l'arbre à cames C, 24 à 30 fois par minute ; ils viennent battre le linge placé dans l'angle D, où l'on fait arriver un courant d'eau continu.

Les opinions sont encore partagées sur le mérite des *foulons*. Quelques praticiens prétendent que les tissus sont incomplétement dégorgés ; d'autres trouvent qu'ils sont endommagés par une action trop brutale, mais il est certain que, lorsqu'on sait donner aux têtes de foulons et aux auges une configuration convenable, on évite tous ces inconvénients et le foulon reste une machine très-avantageuse. La seule précaution à prendre consiste à diriger l'étoffe de telle sorte qu'elle ne se trouve pas engagée dans l'auge entre les cames et le foulon.

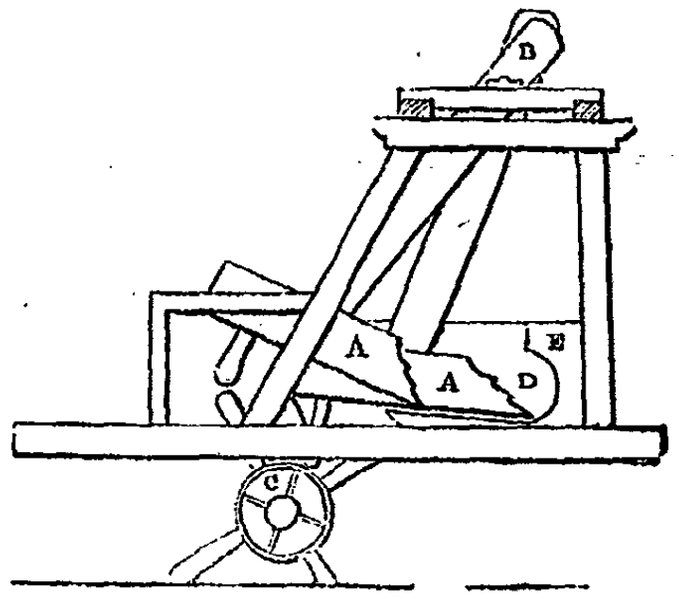


Fig. 243.

Le *plateau-batteur* n'est qu'une modification du foulon ordinaire. Dans cette machine le linge, placé sur un plateau tournant, est constamment arrosé par un jet d'eau lancé sur un point donné avec une grande force. Le plateau tourne, et présente successivement chaque point de sa circonférence à l'action d'un batteur mû par un arbre à cames.

Pour le dégorgeage des pièces de calicot, il est convenable d'engager les pièces à la suite les unes des autres sur des cylindres, comme on l'a fait à Wesserling d'abord, puis dans toutes les blanchisseries. Les pièces circulent sur un cylindre en plongeant dans le liquide dont l'action doit éloigner les réactifs qui ont agi. Une série de battes mobiles faisant fonction de marteaux, mues par un arbre à cames battent les tissus par une surface courbe épousant la forme du cylindre A, comme le fait voir la fig. 244. Avant le choc, le tissu est soumis à l'action d'un autre cylindre com-

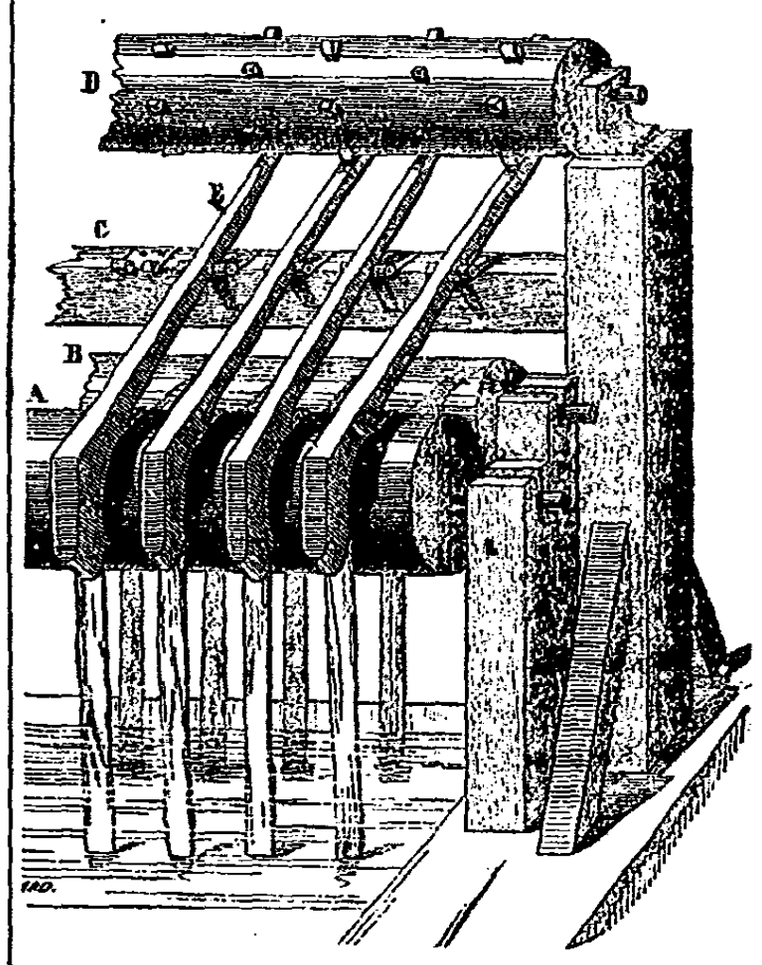


Fig. 244.

presseur B que des contre-poids convenablement disposés rendent plus ou moins lourd et font serrer avec plus ou moins de force. Un arbre à cames D met en mouvement les battes E mobiles autour de tourillons fixés à demeure sur un même bâti C.

Le *clapeau* fonctionne en partie comme les machines précédentes, en partie comme les cylindres compresseurs; c'est un outil précieux, mais à la condition de ne pas l'employer au nettoyage des tissus fins et délicats.

Deux rouleaux agissent l'un sur l'autre; le rouleau supérieur est cylindrique; le rouleau inférieur présente des cannelures arrondies; il est fixe et reçoit un mouvement de rotation autour de son axe qui est horizontal : entre les deux rouleaux est placée l'étoffe engagée par une ficelle et dirigée non pas dans un plan normal à la direction du cylindre, mais formant spirale; toutes les étoffes sont cousues les unes à la suite des autres; elles reçoivent la pression du cylindre supérieur dont les tourillons sont chargés d'un poids convenable, et qui fait sortir l'eau d'imbibition.

A, A, jumelles entre lesquelles se meuvent les deux rouleaux, l'un B uni, l'autre C cannelé. (Fig. 245.)

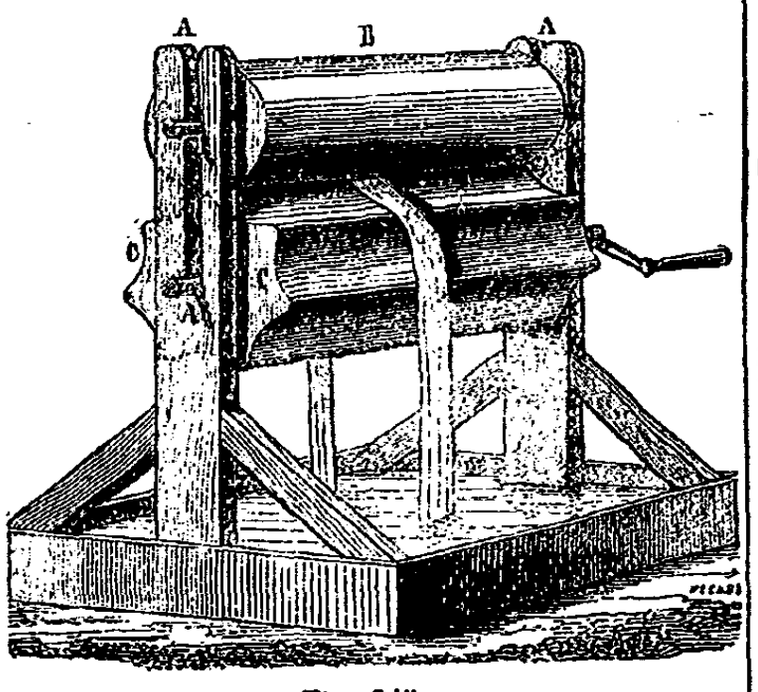


Fig. 245.

Lorsqu'on veut éviter les déchirures, au lieu de diriger le tissu en spirale sur un seul cylindre, on a trois ou quatre clapeaux placés parallèlement, et l'étoffe s'engage du premier dans le second, du second dans le troisième, et du troisième dans le dernier. Le tissu sortant d'un clapeau plonge dans le bain et se relève de là pour subir l'action du second clapeau. On place ces appareils dans une situation respective telle que le tissu suit une direction inverse de celle de l'eau qui dégorge. Ordinairement, on donne aux cylindres $0^m,20$ à $0^m,25$ de diamètre et $1^m,50$ à 1 mètre de longueur.

Veut-on traiter des étoffes très-délicates, telles que mousselines brochées ou non, jaconas, etc., etc.; le cylindre inférieur cannelé se trouve remplacé par un cylindre uni.

On obtient un lavage continu, économique, lorsque les cylindres compresseurs se succèdent parallèlement et on n'a pas à redouter de déchirures; les tissus circulent dans un même plan et plongent dans une série de bâches ou dans la même bâche, conduits par des rouleaux de tension placés au fond de chaque compartiment; on peut comprendre sans figure cette disposition; elle est très-répandue dans le Lancastershire; elle procure un travail rapide, correct, et n'exige que peu d'eau.

On se sert en Normandie d'un *clapeau* dit à *lanières;*

c'est un clapeau à cylindres unis portant une série de lanières en gutta-percha ou en cuir, qui, montées sur un arbre faisant 800 à 1000 tours par minute, frappent sur les pièces au moment de leur passage sur le rouleau inférieur.

On fait depuis environ trente à quarante ans un très-grand usage d'un appareil particulier auquel on donne le nom de *roue à laver*. Cette machine agit en comprimant le tissu, alternativement mouillée, par la projection qu'on lui fait subir contre des parois inclinées et résistantes. Le linge est comprimé par le choc du tapon qu'il forme contre les parois du tambour qui le contient.

La roue à laver (angl. *wash* ou *dash-wheel*), maintenant employée dans tous les bons ateliers de blanchissage, est représentée en élévation antérieure et postérieure fig. 246 et en plan fig. 247 : a, a, roue à

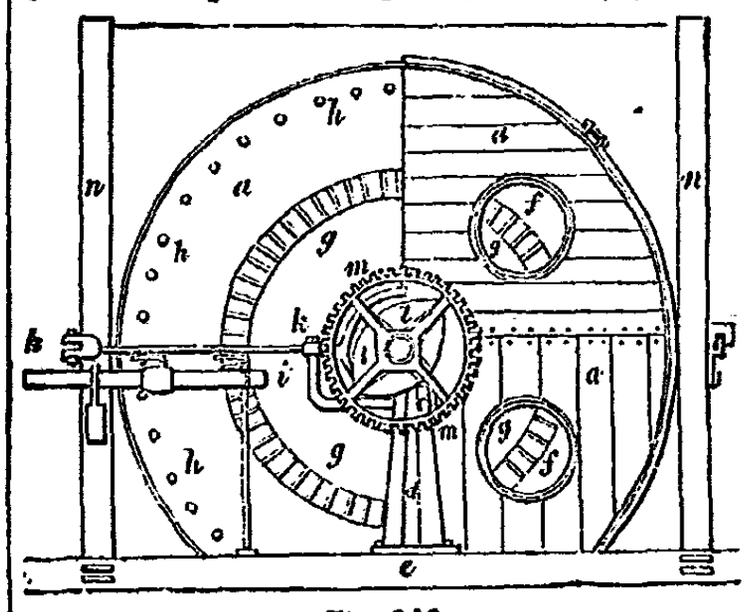


Fig. 246.

laver, divisée par des cloisons en quatre compartiments isolés, et montée sur l'axe b, b, tournant dans les coussinets c, c, qui reposent sur les poteaux en fonte d, d, fixés sur de fortes semelles e, e, reliées entre elles par des poutres transversales assemblées à tenon et mortaise; f, f, ouvertures circulaires correspondant à chaque compartiment, pratiquées sur la joue postérieure de la roue; g, g, grille annulaire en laiton placée sur la joue antérieure à travers laquelle l'eau est introduite en jets dans l'intérieur de la roue; h, h, orifices circulaires par lesquels l'eau qui a servi au lavage s'écoule hors de la roue lorsque le compartiment correspondant passe au point le plus bas de sa

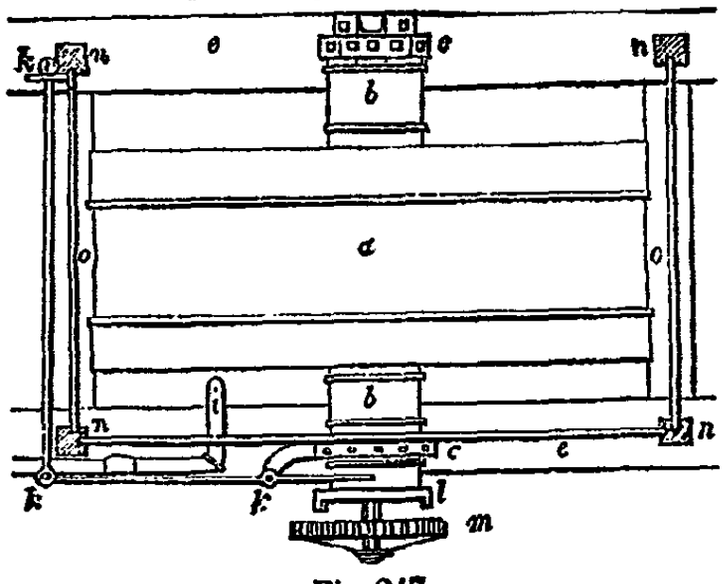


Fig. 247.

course; i, tuyau par lequel l'eau est projetée dans la roue, et qui est muni d'un robinet que l'on manœuvre à l'aide d'un système de leviers k qui font en

même temps embrayer ou débrayer la roue à laver au moyen d'une fourchette qui fait avancer ou reculer la griffe ou manchon d'embrayage *l*; *m*, roue d'engrenage établissant la communication avec le moteur hydraulique ou à vapeur; *n*, *n*, montants en bois qui supportent les cloisons o, o, qui servent à empêcher l'eau de rejaillir au-dessus de la roue, par l'effet de la force centrifuge.

Les roues à laver ont ordinairement 1m,75 à 2m,00 de diamètre intérieur, sur 0m,75 de largeur, et il faut une force de deux chevaux pour les mettre en mouvement.

Une ouverture de 40 à 35 centimètres sert à introduire et à relever les pièces. Les quatre compartiments ont chacun leur ouverture; 12 à 15 minutes suffisent pour nettoyer convenablement une pièce de mousseline. Mais le résultat de la machine dépend du mouvement qu'elle reçoit du moteur; si le mouvement est trop lent les pièces glissent le long des parois, il n'y a ni choc ni pression; si le mouvement est trop accéléré, la force centrifuge absorbe l'effet du poids des pièces. L'expérience a démontré qu'il fallait 20 à 25 tours par minute : le meilleur moteur qui lui convient est une machine à vapeur.

On peut laver deux pièces de calicot de 11 mètres de long chacune à la fois, dans chaque compartiment, en 6 ou 10 minutes, ce qui fait 600 pièces environ, par roue et par journée de 13 heures de travail.

Au sortir de la roue à laver, l'eau est exprimée entre les cylindres comprimeurs (*angl.* squeezers) qui seront décrits plus loin.

Si nous cherchons à résumer ce qui précède, nous voyons que le lavage est lent; il exige beaucoup d'eau; pour ceux-là, une grande dépense est nécessaire pour réaliser un lavage parfait sur une échelle un peu considérable relativement au travail produit; ces appareils deviennent donc coûteux.

Quelques systèmes, enfin, exigent une place considérable, sont bruyants, demandent à être solidement installés : de là, dépense d'établissement. D'autres, au contraire, n'exigeant que peu de dépenses premières, ne peuvent être employés qu'au dégorgeage des étoffes légères; ils seraient complétement impropres au nettoyage des tissus grossiers.

L'expérience journalière a prouvé que le *clapeau* se prête au dégorgeage des pièces grossières avec le moins de temps et le moins de force; si l'on ne dispose que de peu d'eau, les *batteries de Wesserling* sont préférables; mais elles ne permettent pas de laver à la fois un grand nombre de tissus. Le *plateau-battoir* n'exige que peu de force, il nettoie bien, mais il demande beaucoup de temps. Le *pilon* ou le *foulon* ne doit être employé qu'au lavage des pièces qui ne craignent pas des contractions considérables. Le *dash-wheel* est très-utile pour dégorger les étoffes fines et légères.

Lorsque les machines dont on fait usage pour le dégorgeage n'éloignent pas en même temps qu'elles la renouvellent l'eau d'imbibition des tissus, il faut après chaque immersion essorer l'étoffe. La méthode la plus simple consiste à la tordre à la cheville. On peut essorer par d'autres moyens sur lesquels nous reviendrons en parlant des étoffes teintes auxquelles il faut, pour les livrer aux marchands, enlever toute l'eau qu'elles contiennent (voyez ESSORER). On préfère donc généralement les appareils qui mouillent, immergent et compriment successivement, pour le dégorgeage des tissus à blanchir; l'essorage proprement dit ne s'exécute plus que sur des pièces terminées.

On peut aussi faire usage du *tringuet*, mais comme moyen de rinçage. Cet appareil très-utile est figuré ci-contre.

Deux montants A, A, portent un axe B (fig. 248) auquel sont fixées, sur une même surface cylindrique, des tringlettes D au nombre de six. Le mouvement de rotation qu'on imprime au système à l'aide d'une manivelle C fait circuler les fils ou les tissus dans un cuvier plein d'eau dans lequel ils se dégorgent. Quelquefois on étend l'étoffe qui se trouve en large sur le trinquet.

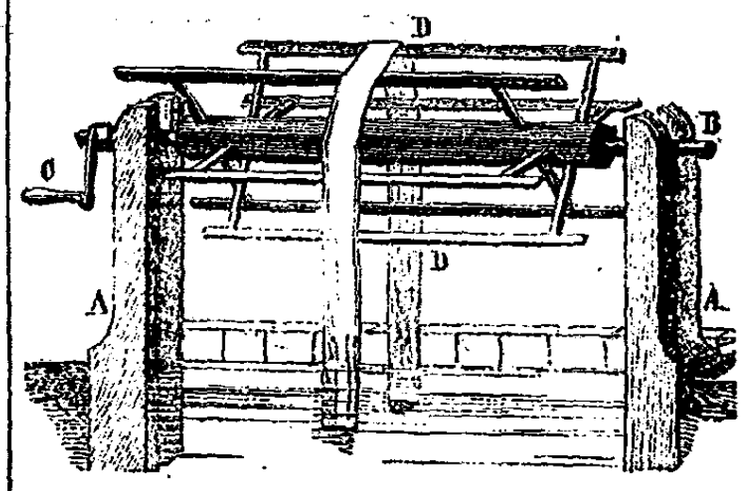


Fig. 248.

§ 4°. *Appareils à essorer et apprêter.* — Avant de livrer en vente les pièces de coton ainsi blanchies, il est encore nécessaire de leur faire subir quelques préparations que nous allons décrire : si ce sont des fils, on les tord par *pantes* ou paquets d'écheveaux au moyen de l'*espart* ou de la *machine à tordre*; on fait encore usage dans beaucoup d'établissements de l'*hydroextracteur* ou *diable*. Si ce sont des étoffes, on commence par enlever les plis contractés par le mouvement dans la roue à laver, ainsi que la plus grande quantité de l'eau dont elles sont imprégnées entre des rouleaux de compression (*angl.* squeezers), représentés figures 249 et 250, entre lesquels on les passe par deux à la fois, dans le sens de leur longueur. Ces rouleaux sont ordinairement en bois de bouleau; le rouleau inférieur reçoit seul le mouvement d'une machine à vapeur ou d'une roue hydraulique, et un embrayage visible dans la figure 250, permet de le mettre en activité et de l'arrêter à volonté; un système de leviers pressant d'une part les coussinets du rouleau supérieur, porte à son autre extrémité un contrepoids (fig. 249), dont la pesanteur règle la pres-

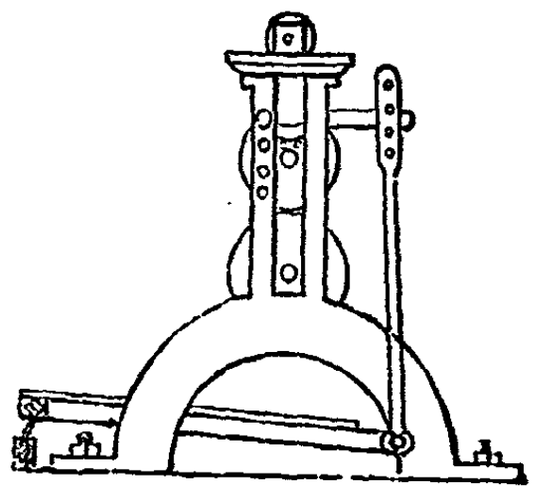


Fig. 249.

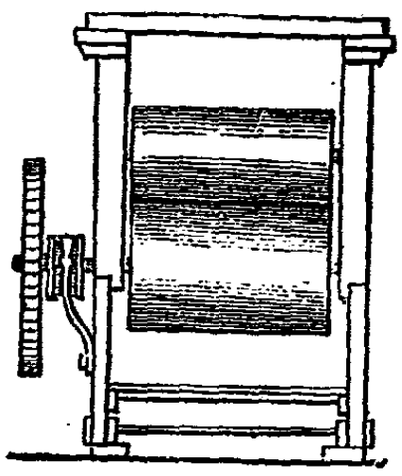


Fig. 250.

BLANCHIMENT.

sion qui s'exerce au contact des deux rouleaux. Le rouleau inférieur fait environ 25 tours par minute, et pendant ce temps, on peut passer sous les rouleaux trois pièces de toile cousues bout à bout, et formant en tout une longueur de 75 à 80 mètres.

Au sortir des rouleaux de compression, on porte les pièces de coton, cousues bout à bout, sur une brouette dont le fond est percé à jour, à la *machine à calandrer* ou CALANDRE (voyez ce mot), qui est destinée à les lisser et à les étendre.

L'emploi d'amidon serait trop coûteux pour l'apprêt des calicots communs pour chemises, on le remplace par un empois que l'on prépare ainsi qu'il suit : on délaie 1 kilog. de farine dans 10 litres d'eau, et on laisse exposé pendant 24 heures dans un endroit chaud; il se développe alors une fermentation acide qui détermine la dissolution du gluten; au bout de ce temps, on lave par décantation avec un peu d'eau l'amidon qui a gagné le fond du vase, et on le passe au travers d'un tamis très-fin; on en obtient une bouillie claire et laiteuse qui, soumise à l'ébullition, donne un empois très-convenable pour l'apprêt, et qui, sans être tout à fait aussi blanc que l'empois fait avec l'amidon du commerce, ne communique aucune teinte grisâtre aux tissus. Avant de s'en servir, on le délaie avec une quantité d'eau suffisante, et on y ajoute une petite quantité de dissolution d'indigo pour lui donner une légère teinte bleuâtre.

On empèse le calicot au moyen de la *machine à empeser*, représentée en élévation fig. 251, elle se com-

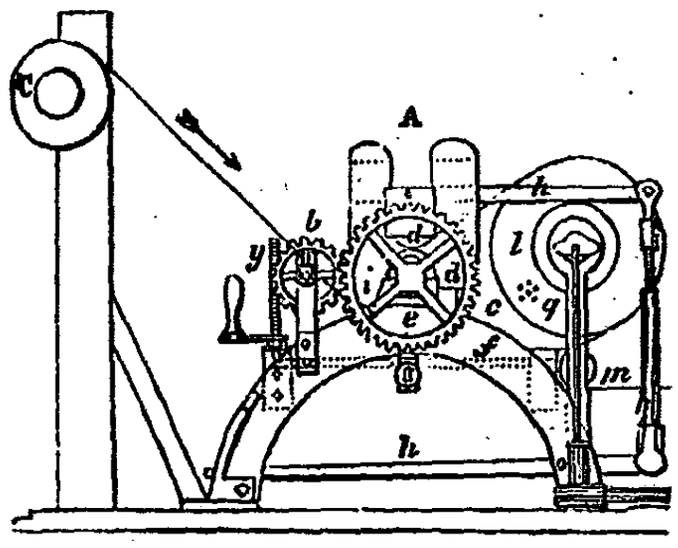


Fig. 251.

pose ordinairement de deux parties : la *machine à empeser* (fig. 251), et la *machine à sécher* (fig. 252).

avec la roue dentée *c*, montée sur l'arbre du rouleau inférieur *d*, *h*, *h*, *h*, leviers articulés entre eux, portant à leur extrémité inférieure un contre-poids servant à régler la pression qui s'exerce au contact des deux rouleaux en laiton *d*, *d*; *e* cuve à apprêt, portée sur des boulons *g*, fixés au châssis *f*, qui permettent de la soulever ou de l'abaisser, suivant que l'on veut que le rouleau inférieur *d* plonge plus ou moins dans l'apprêt; enfin un rouleau de laiton *i* force le calicot, venant du rouleau C, à plonger dans la cuve *e*.

Au sortir de la machine à empeser, le calicot passe successivement sur les 5 tambours sécheurs creux en cuivre *l*, *l*,... chauffés à la vapeur, montés sur le bâti en fonte *k*, *k*, et sur les 10 rouleaux en cuivre plein *m*, *m*...; puis vient passer entre deux rouleaux de pression D, en tout semblables aux rouleaux *d*, *d*, et dont l'inférieur reçoit le mouvement de la manivelle *a*, par le moyen d'un système de poulies et de courroies; ces deux cylindres déterminent la circulation du calicot sur les cylindres sécheurs, et le déposent ensuite sur une table ou sur le plancher. La vapeur arrivant par le tuyau *n*, *n*, s'introduit dans les cylindres sécheurs *l* suivant leurs axes, qui sont creux et tournent dans des boîtes à étoupes (*angl.* stuffen-box), par les tubes latéraux *o*, *o*..., et s'échappe de l'autre côté par un système de tuyaux tout à fait analogues; *q*, *q*, sont des soupapes s'ouvrant du dehors en dedans, qui servent à admettre l'air dans l'intérieur des cylindres sécheurs lorsque l'on cesse d'y faire arriver un courant de vapeur, ou même seulement lorsque la quantité de celle-ci diminue, afin de prévenir la déformation qui résulterait de la pression atmosphérique extérieure qui ne se trouverait plus équilibrée.

Quelquefois, au lieu d'employer l'appareil sécheur que nous venons de décrire, on sèche les calicots, à leur sortie de la machine à empeser, dans une étuve sèche, dont on élève graduellement la température jusqu'à 43° centigr. Enfin on termine par un nouveau calandrage, qui leur donne le lustre et le lissage nécessaires; dans cette opération, on place en avant des cylindres une brosse cylindrique, animée d'un mouvement rapide de rotation, qui plonge en partie dans une cuve pleine d'eau, qu'elle entraîne en tournant et projette en pluie fine sur le calicot, de manière à l'humecter légèrement avant son passage entre les cylindres. Il ne reste plus, avant de les renvoyer aux fabricants dans un état propre à la vente, qu'à plier avec soin les pièces, y appliquer la marque du fabricant, et les comprimer à la presse hydraulique, en interposant entre chaque pièce une feuille de carton satiné et de distance en distance une plaque de fer pour assurer l'uniformité de la pression.

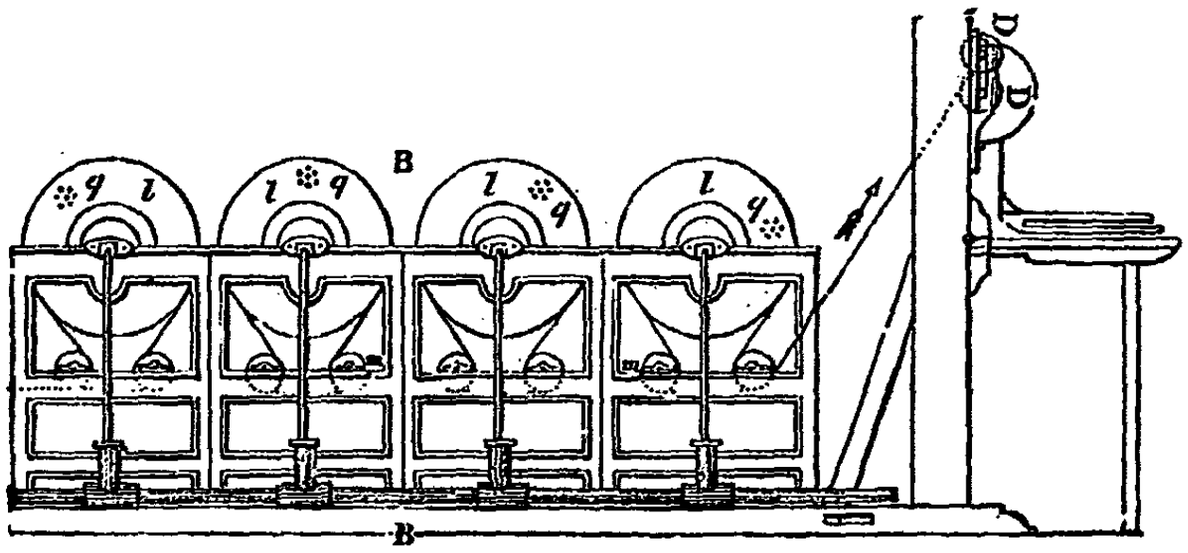


Fig. 252.

Le mouvement a lieu, soit à bras d'hommes, soit au moyen de toute autre force motrice, agissant sur la manivelle *a*, dont l'axe porte un pignon *b* qui engrène

Quoique l'ensemble du blanchiment et de l'apprêt des tissus de coton ne réclame pas moins de 25 opérations successives, dont plusieurs exigent l'emploi de

BLANCHIMENT.

machines coûteuses, le blanchisseur ne reçoit que 1 fr. environ par pièce de 22 mètres.

L'apprêt des lainages et des soies diffère beaucoup de l'apprêt que nous venons d'étudier en le considérant comme applicable aux tissus de lin ou de coton. C'est à l'aide de la presse qu'on fait disparaître les plis que les mousselines-laines ont pris pendant le blanchiment. Les tissus pure laine ont d'abord été séchés sur des tambours, après qu'on les a humectés légèrement comme dans l'opération du repassage.

Les soieries, généralement blanchies en fils, sont tissées avec la plus grande propreté. Les tissus, foulards et autres sont *satinés* et *pliés* par des machines spéciales; les étoffes plus fortes peuvent être *moirées* au moyen de cylindres qui écrasent par places irrégulières les fils cylindriques et font naître les jeux de lumière qu'on désigne sous le nom de *moirage*.

DÉCOLORATION DES TISSUS — Les opérations que nous venons d'exposer ont pour but d'éloigner toutes les matières gommeuses, grasses, résineuses, sucrées, mais elles ne détruisent pas la coloration de la fibre, elles préparent la décoloration proprement dite; cette dernière s'effectue par le concours d'agents qui modifient la couleur, la transformant quant à ses propriétés, sans altérer la fibre ligneuse.

Beaucoup de teintures sont exposées au pré, lorsqu'elles ont été savonnées. Cette exposition, qui a pour but d'aviver la nuance en détruisant les couleurs accidentelles, tout en respectant la couleur plus solide qu'on veut obtenir, trouve sa théorie dans celle même du blanchiment que nous étudions. Nous entrerons donc dans quelques détails sur la décoloration proprement dite.

A. De tous les agents que l'expérience a démontrés capables de décolorer les tissus ou de détruire les couleurs végétales ou animales, accidentelles ou posées avec intention sur une étoffe donnée (nous prenons le cas le plus général), l'air est le plus anciennement connu. On sait, en effet, qu'une toile exposée successivement à l'action de l'air et des lessives alcalines finit par se blanchir; on sait, du reste, encore que beaucoup d'étoffes teintes exposées à l'air se décolorent, en perdant complétement quelquefois toute leur matière colorante.

La matière colorée qu'on veut faire disparaître dans le blanchiment n'existe qu'en très-petite quantité; l'air peut la détruire, mais il faut, pour transformer cette matière insoluble dans l'eau, dans les alcalis, dans les acides, en substance soluble dans ces agents, le concours de plusieurs circonstances sans lesquelles la modification ne saurait avoir lieu. Il est indispensable de réunir l'insolation, c'est-à-dire l'influence des rayons solaires et l'influence de l'humidité. On démontre, en effet, qu'une toile écrue placée dans un flacon bouché, sous l'influence de l'humidité, ne se décolore pas sans radiation solaire; elle ne se décolore pas davantage dans les conditions inverses, c'est-à-dire sous l'influence des rayons solaires sans humidité. Dans l'obscurité, la coloration persiste; il faut donc savoir réunir tout à la fois de l'air, c'est-à-dire de l'oxygène, du soleil et de la vapeur d'eau.

Quel est le rôle de ces divers agents? Quelle influence exerce l'oxygène?

L'oxygène agit évidemment comme matière oxydante, brûlant la matière colorée: il enlève ensuite une certaine quantité d'hydrogène qu'il transforme en eau. L'eau formée dans ce cas ne rendrait-elle pas inutile l'influence de l'humidité? L'eau dès lors ne jouerait-elle qu'un rôle secondaire purement physique, celui d'aider à l'action chimique? L'eau dissolvant l'oxygène ne permettrait-elle pas ainsi l'introduction de cet élément dans la fibre elle-même d'une manière plus intime, plus immédiate que ne le ferait l'air complétement sec?

Les rayons lumineux déterminent d'une manière évidente l'action chimique qui s'accomplit, qu'on admette l'oxydation pure et simple de la matière colorante, qu'on admette, au contraire, l'élimination d'une certaine quantité d'hydrogène sous forme d'eau. A° plus forte raison cette influence est-elle hors de doute, lorsqu'on suppose réunies ces deux réactions successives ou simultanées. L'expérience prouve, en effet, que l'étoffe étendue sur le pré, à l'époque à laquelle la végétation est luxuriante, par un temps clair, une température élevée, un soleil ardent, par de fortes rosées, la décoloration marche promptement. Si le temps est obscur, l'air sec, si la rosée manque, la décoloration ne progresse pas.

Pratiquement, l'opération peut être régularisée; si l'humidité fait défaut, on arrose; à cet effet, toutes les prairies réservées pour l'étendage dans les blanchisseries ou les teintureries sont irriguées, c'est-à-dire traversées de petits canaux dans lesquels on puise l'eau par le moyen d'écopes, pour la rejeter en forme de pluie sur les pièces étendues. Mais si le soleil est caché, il faut attendre, car alors l'oxygène actif manque également. On sait, d'après les belles expériences de T. de Saussure, confirmées par les recherches beaucoup plus récentes de M. Boussingault, que la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes (décomposition de laquelle résulte l'assimilation du carbone avec dégagement d'oxygène) n'a lieu qu'en présence de la radiation solaire. L'oxygène mis en liberté dans cet acte important de la végétation, encore doué des propriétés énergiques qu'il contracte à l'état naissant, en quelque sorte *ozonisé*, se dissout dans l'eau ou dans la vapeur d'eau contenue dans l'air, et vient agir énergiquement sur la matière qui colore les toiles.

On altère donc ainsi par l'étendage au pré la première couche de l'épiderme des fibres; on lessive de nouveau pour mettre à nu la partie subjacente, et, par une nouvelle exposition à l'air, on altère plus profondément la partie colorée. Ces diverses opérations se répètent jusqu'à décoloration complète.

La décoloration est maintenue par une dernière opération qu'on désigne sous le nom de *vitriolage*. Pour conserver le blanc parfait que les pièces ont acquis sur le pré, les blanchisseurs les lavent et les dégorgent dans un bain d'acide sulfurique étendu, marquant au plus 1 degré. Ce passage aux acides était tellement reconnu comme nécessaire pour éliminer toute trace de matière décolorée, susceptible de se recolorer à la longue, que même anciennement on passait les toiles blanchies dans un bain de lait aigri. On sait que par la fermentation du lait il se développe un acide particulier qu'on nomme *acide lactique*.

On a beaucoup amélioré le procédé de décoloration par l'air, par le seul fait de la séparation des deux opérations du blanchiment. Le dégraissage, au moyen des lessives à la chaux, des lavages acides et du lessivage aux alcalis, a mis à nu la matière colorante qui cède avec plus de promptitude à l'action de l'oxygène, sous l'influence de la radiation solaire; il convient surtout de l'employer au printemps, époque à laquelle la végétation est beaucoup plus active; d'ailleurs à cette époque les travaux des fabriques d'indiennes sont naturellement ralentis.

On connaît actuellement les conditions principales dans lesquelles se produit l'*ozone*, l'un des agents oxydants les plus énergiques. La production économique de cet air en dissolution peut devenir le fait le plus important dans les opérations du blanchiment ou de l'avivage; provoquer des recherches sur les moyens d'arriver à des préparations propres à l'emploi de

l'ozone sur une grande échelle dans la fabrication des toiles peintes, c'est donc poser un problème dont la solution peut être prochaine; c'est ouvrir une voie nouvelle, féconde en grands résultats.

B. Depuis 1785, époque à laquelle Berthollet découvrit les propriétés décolorantes du chlore, l'emploi de cet agent a fait une concurrence sérieuse au premier procédé, surtout en raison de la possibilité de l'appliquer en toute saison. Mais le rôle du chlore n'est devenu parfaitement efficace que lorsqu'on l'a fait réagir sur des tissus préalablement dégraissés et lorsqu'on a remplacé le chlore à l'état de liberté par le chlore à l'état de chlorure décolorant.

Berthollet, trompé par la fausse composition qu'il assignait au chlore avec ses contemporains, assimilait à l'action de l'air l'action de l'*acide muriatique oxygéné*; il ajoutait, toutefois, que l'oxygène s'y trouvait condensé sous un poids considérable, et qu'il avait alors une plus grande énergie que lorsqu'on le prenait dans l'air. Cette interprétation fut immédiatement en défaut lorsqu'on établit la véritable nature du chlore et qu'on démontra qu'il devait être classé parmi les corps simples. Sa puissante énergie pour l'hydrogène fit admettre que son action était directe et qu'il décolorait en enlevant à l'état d'acide chlorhydrique une portion de l'hydrogène, transformant ainsi la matière colorante en un principe nouveau soluble dans les lessives alcalines.

Des expériences nombreuses, dirigées en vue de l'étude du chlore sur les matières colorantes, ont mis hors de doute que le principe d'une action directe est trop absolu. Certaines matières colorantes, en effet, immédiatement attaquées par le chlore humide, et sous l'influence de la lumière diffuse, résistent, au contraire, quand elles sont en contact avec le chlore sec et sous l'influence de la radiation solaire. Avec le concours des rayons du soleil, l'altération est profonde, elle se manifeste par la formation de l'acide chlorhydrique et la substitution dans la molécule colorée primitivement du chlore à l'hydrogène éliminé. L'eau semble donc intervenir dans la réaction, et l'affinité du chlore pour l'hydrogène a pour résultat de mettre en liberté de l'oxygène qui devient l'élément réellement actif. Le chlore agit ainsi d'une manière indirecte; cette réaction est conforme à ce que nous savons du rôle de l'eau pendant le contact du chlore et des acides sulfureux, arsénieux et phosphoreux qui se transforment en acides sulfurique, arsénique et phosphorique. Le chlore, en dégageant de l'oxygène à l'état naissant, se comporterait exactement comme l'air, et mieux encore, comme les parties vertes des plantes dans le blanchiment au pré. Dans les deux méthodes, il est difficile d'ailleurs de réduire l'action de l'oxygène à l'oxydation simple; il peut y avoir élimination simultanée d'une portion d'hydrogène sous forme d'eau.

Quoi qu'il en soit de l'explication qu'on adopte pour fixer le rôle du chlore, son action est acquise à la science et à l'industrie. Nous n'insisterons pas sur les méthodes à l'aide desquelles on le prépare; on les a données à l'article CHLORE. Nous ferons remarquer seulement qu'il y a beaucoup plus d'avantage à l'employer à l'état liquide qu'à l'état gazeux, et que, de tous les corps chlorés, le chlorure de chaux est celui qui maintenant est le plus répandu, celui qui présente l'emploi le plus avantageux. Nous renverrons le lecteur à l'article CHLORURE DÉCOLORANT, mais nous ajouterons ici que le chlorure de chaux n'est pas décolorant par lui-même; tant qu'il reste à l'abri du contact de l'air, il ne fait subir aux matières colorantes que des modifications insensibles; sous l'influence de l'air ou d'un acide la décoloration s'effectue. L'air contient de l'acide carbonique sous l'influence duquel le chlorure de chaux se décompose en acide hypochloreux $2(ClCaO) = ClO\,CaO + ClCa$, ou en chlore $ClCaO = Cl + CaO$, suivant qu'on interprète la réaction dans un sens ou dans l'autre. Dans tous les cas, l'action ne se développe avec énergie qu'en présence d'un acide.

Pour hâter l'action décolorante, il faut donc ajouter au chlorure de chaux un auxiliaire indispensable, tantôt l'air qui n'agit qu'avec lenteur, tantôt ou l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique qui agissent plus rapidement, tantôt enfin l'acide carbonique, quelle que soit la source à laquelle on préfère l'emprunter.

En supposant un dégagement de chlore, ce sel agit comme nous l'avons dit plus haut. En supposant un dégagement d'acide hypochloreux, l'action décolorante se produirait en vertu de la propriété caractéristique de cet acide d'être par lui-même un oxydant énergique, abandonnant son oxygène à la façon de l'eau oxygénée.

L'action du chlore lui-même pourrait être rapprochée de celle de l'acide hypochloreux; mais il faudrait, par des expériences directes, démontrer que la fibre ligneuse jouit, comme la potasse et la soude en dissolution étendue, de la propriété de transformer le chlore en acide hypochloreux; rien jusqu'à ce jour ne vient le prouver.

Quoi qu'il en soit, il ne faut pas perdre de vue, pour comprendre toutes les précautions dont on doit s'entourer, qu'une dissolution froide de chlorure de chaux concentrée agit avec assez d'énergie pour détruire la fibre elle-même, et qu'une dissolution bouillante la désorganise encore beaucoup plus rapidement. A la longue, une étoffe mal lavée se désorganise et tombe en poussière.

Nous trouvons dans la pratique, pour la période de la décoloration comme dans celle du dégraissage, la réunion des procédés mécaniques. Les procédés chimiques qui ont pour but de soumettre les objets à décolorer (fils ou tissus) à l'action des principes actifs, sont nécessairement suivis d'opérations mécaniques dont le but est d'éliminer les produits qui résultent de l'action des premiers, et du dégorgeage ou nettoyage des écheveaux et pièces après leur décoloration incomplète ou parfaite. Ces dernières opérations s'exécutent dans les appareils que nous avons déjà mentionnés en parlant du dégraissage.

Lorsqu'on s'est procuré la dissolution de chlorure de chaux bien claire et dépouillée par le repos de toute substance étrangère, on procède au titrage de cette dissolution, on l'étend assez pour qu'elle décolore une ou deux fois son volume de dissolution d'indigo.

On obtient la décoloration par deux méthodes essentiellement opposées : tantôt en opérant au moyen de dissolutions étendues qui n'agissent que lentement, tantôt en dissolutions concentrées qui agissent beaucoup plus rapidement. Ces deux procédés ont des avantages différents. Le premier ne présente aucun danger pour l'étoffe, mais il opère avec lenteur; il est sans inconvénients pour les ouvriers; dans la seconde méthode, il y a danger pour l'étoffe, inconvénients pour les ouvriers si les soins viennent à manquer; mais il y a possibilité de traiter rapidement des masses considérables. On pourrait opérer avec les mêmes avantages en faisant usage de solutions étendues portées à des températures voisines de 60 à 70 degrés. Les pièces seraient facilement imbibées et dépouillées de l'air contenu dans les pores.

a. Lorsqu'on fait usage des dissolutions étendues, on opère la décoloration dans des appareils variables.

Tantôt on fait usage de cuves pouvant contenir de 400 à 500 pièces de calicot, les pièces sont pliées en paquets; on imbibe les pièces avec la dissolution de chlorure de chaux contenue dans une première cuve, on les expose à l'air pour que la réaction se fasse, non-

soulement sur la surface du tissu, mais même à l'intérieur des fibres, puis on les plonge dans une seconde cuve qui contient de l'acide affaibli. Le chlorure de chaux liquide qui mouille le tissu se décompose, et la matière colorante, en contact avec le chlore à l'état naissant ou l'acide hypochloreux mis en liberté, se trouve en partie détruite. On retire ces pièces pour les dégorger.

Tantôt les pièces sont placées dans un cuvier à lessive dans lequel on fait circuler la dissolution de chlorure de chaux; cette méthode a l'inconvénient de ne conduire qu'à des résultats incomplets; car il se forme des courants auxquels correspond une décoloration trop avancée, c'est-à-dire l'altération des tissus. Les points qui font obstacle à la circulation régulière ne sont que peu décolorés.

Tantôt les étoffes engagées sur des rouleaux presseurs passent en y plongeant quelque temps dans des bains de chlorure de chaux; l'action de l'air et l'action de la batte produisent un dégagement uniforme et très-lent, trop faible pour compromettre la résistance des tissus.

Tantôt on fait tremper les pièces quinze à la fois dans une fosse carrée surmontée d'un tourniquet sur lequel on les place après une immersion de 30 à 40 minutes. On les enroule pour les transporter sur le tourniquet lui-même au-dessus d'un bain dans lequel on les déroule après qu'elles ont été égouttées, de façon que les eaux d'égouttage retournent au bain de chlorure de chaux.

Tantôt enfin les pièces, au lieu de séjourner dans le bain, s'y plongent en passant successivement autour d'un tourniquet qui les fait mouvoir et renouvelle ainsi les points de contact; à la sortie des trois cuves juxtaposées dans lesquelles passent les mêmes pièces, elles sont comprimées entre deux rouleaux presseurs qui rejettent l'eau d'imbibition; deux caniveaux les ramènent dans les cuves.

Là, comme toujours, les tissus passés au chlorure de chaux sont immergés dans un bain acide qui met en liberté l'agent utile dans la décoloration.

b. Lorsque la dissolution de chlorure de chaux est concentrée, le séjour des pièces dans le bain deviendrait dangereux pour la sécurité de l'étoffe; on ne fait donc que les y faire passer d'une manière égale, en les immergeant et les exprimant à chaque passage. On les passe enfin dans un bain acide pour décomposer le chlorure de chaux. Il est convenable alors, pour ne pas incommoder les ouvriers, de mettre au-dessus de la bâche qui contient l'acide, une hotte dont le but est de conduire au dehors les vapeurs dégagées au contact de l'acide et du chlorure de chaux.

Quel que soit l'état de concentration du chlorure employé, les pièces doivent être dégorgées avec le plus grand soin, et, dans tous les cas, le blanchiment terminé par un passage dans une lessive qui a pour but d'entraîner la matière colorante modifiée sous l'influence du chlore. Après cette deuxième lessive, on lave les pièces, et s'il faut pour les besoins de la teinture un blanchiment parfait, on recommence la série d'opérations dans l'ordre que nous venons d'indiquer.

Ce n'est que lorsque les pièces sont arrivées au degré de blanchiment voulu qu'on les soumet à l'opération du vitriolage. L'acide enlève la résine qui résiste aux alcalis et qui se colorerait plus tard par le contact de l'air; cette résine accompagne la fibre et ne la quitte que sous l'influence des acides; ce dernier traitement a de plus pour effet de dissoudre les oxydes de fer ou d'alumine accidentellement déposés sur les tissus, et dont la présence se manifesterait après la teinture par des maculatures et des taches irrégulières.

Ce bain, généralement composé d'acide sulfurique étendu, se donne de deux manières :

α. Lorsqu'on n'a pas à sa disposition de générateur de vapeur.

β. Lorsqu'on a sous la main une chaudière pouvant au besoin chauffer les bains. Dans tous les cas, il convient de laisser déposer le sulfate de plomb que l'acide concentré du commerce contient toujours et qui se dépose quand on étend d'eau l'acide concentré. Il est indispensable, lorsque les étoffes ont passé deux ou trois tours dans le bain acide, de laver les étoffes à grande eau, puis de les dégorger complétement afin d'éloigner jusqu'aux dernières traces d'acides qui, se concentrant par la dessiccation, pourraient avoir pour effet de détruire la résistance de l'étoffe.

c. Aux matières que nous venons d'étudier, il convient d'ajouter, dans des cas spéciaux, un dernier élément; c'est l'acide sulfureux dont les avantages sont incontestables pour blanchir les tissus de laine ou les fils de soie.

L'action du chlore sur les fibres d'origine animale étant toujours accompagnée d'une désorganisation profonde et d'une coloration jaune plus ou moins intense, on ne peut songer en faire usage pour le blanchiment des tissus autres que ceux qui proviennent du tissage des fibres du coton, du lin et du chanvre. On est forcé d'avoir recours à de nouveaux agents, et l'usage a conservé l'emploi de l'acide sulfureux.

La réaction est ici d'une tout autre nature que celle qui prend naissance dans le contact du chlore avec la matière colorante; dans le dernier cas, la matière ayant changé de propriétés est éliminée sous forme soluble; dans le cas de l'action de l'acide sulfureux, il semble qu'il n'y ait rien qu'une combinaison de l'acide avec la matière colorée qui se fixe au tissu sans élimination et sous forme incolore. Ce phénomène rentre dans la classe de ceux observés par M. Chevreul dans l'action de l'hydrogène sulfuré sur l'hématine, et par M. Kulmann dans l'action de l'acide sulfureux sur les matières colorées d'origine végétale.

L'acide sulfureux, employé depuis une époque dont on ne peut préciser la date, est en usage presque partout pour blanchir les étoffes et les fils de laine; on l'obtient par la combustion du soufre dans les chambres qu'on nomme *soufroirs* (voyez ACIDE SULFUREUX, 2e volume). On opère tantôt avec l'acide sulfureux gazeux, tantôt avec l'acide sulfureux liquide. Nous ne décrirons ici ni la préparation de l'acide sulfureux gazeux, ni les appareils dans lesquels les laines sont mises à blanchir; mais nous indiquerons la possibilité de se servir d'acide liquide ou d'acide combiné. O'Reilly depuis fort longtemps a fait voir qu'en soumettant des étoffes à l'action d'un liquide contenant de l'acide sulfureux liquide, on obtient un blanchiment beaucoup plus complet que par l'acide gazeux. Il suffit de 4 heures d'immersion dans un liquide disposé dans des appareils analogues à ceux dont on fait usage dans le blanchiment par le chlore liquide ou combiné pour obtenir une décoloration satisfaisante.

M. Persoz indique comme procédé très-économique pour la préparation de l'acide sulfureux le moyen suivant : on calcine dans des cylindres de fonte un mélange de sulfate de fer et de fleur de soufre. La formule $3\,(SO^3)\,Fe^2O^3 + 5\,S = 6\,(SO^2) + 2\,(FeS)$ rend compte de la réaction. On chauffe à peine au rouge.

On dispose l'appareil comme pour la fabrication de l'acide nitrique, mais on charge d'abord une portion du sulfate de fer dans la partie antérieure de l'appareil, puis le mélange de soufre et de sulfate, en sorte que le soufre en vapeur rencontre d'abord du sulfate de fer chaud qu'il décompose avec facilité. On conduit

le gaz qui se dégage dans un tonneau laveur rempli de paille ou de mousse humectée; il se rend de là dans une caisse munie d'un agitateur ou d'une cascade chimique comme pour la dissolution du chlore. En opérant sur 1500 grammes de sulfate de fer supposé pur et sur 1000 grammes de soufre, on obtiendrait 340 litres de gaz acide sulfureux sous la pression de 0m,76 et à la température de 0°. Or, comme l'eau dissout à la température ordinaire 43 fois son volume d'acide sulfureux, on obtiendrait avec ces doses 79 litres d'eau saturée.

Je suis surpris qu'on n'ait pas encore introduit dans l'industrie l'emploi de l'acide sulfureux combiné comme on le fait pour le chlore; les appareils appliqués dans les deux cas seraient les mêmes, et par l'exposition à l'air des tissus imbibés de sulfite alcalin on pourrait obtenir une décoloration convenable. Sans doute cette innovation conduirait à quelques tâtonnements pour fixer la densité du liquide et connaître la force de l'acide à mettre en contact avec le tissu chargé de sulfite, dans le cas où l'acide carbonique de l'air serait insuffisant ou d'une énergie trop faible pour agir promptement à la température ordinaire; il faudrait encore se prémunir contre la transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique par condensation dans les pores du tissu, transformation qui compromettrait la solidité de l'étoffe; la présence d'une base dans le sel primitivement employé mettrait facilement de côté cette cause de destruction.

Nous pensons devoir faire connaître ici un appareil très-simple, employé par M. Kopp pour faire absorber l'acide sulfureux par une dissolution de polysulfure de calcium dans la fabrication du vermillon d'antimoine. Le gaz sulfureux est produit ou par la combustion du soufre brut, ou par la calcination des pyrites, ou par le grillage de sulfure d'antimoine (*fig.* 253.).

tuyau I du liquide légèrement acide qu'elle renferme : quand on juge à propos de remplir directement d'eau pure la cuve A, on débouche l'orifice K : le tampon L permet de remplacer le liquide combiné dans la cuve A'. Un cône métallique M, dans lequel on place quelques charbons ardents, active le tirage du tuyau d'appel N qui doit aspirer l'acide sulfureux, les roues à palettes F tournent dans le même sens; elles sont commandées par le même moteur; des roues d'engrenage de différent diamètre règlent une fois pour toutes la vitesse de rotation convenable pour une absorption régulière.

Les laines et les soies ne subissent pas le vitriolage, mais on ne les livre pas encore au consommateur.

Lorsque les laines, par des immersions répétées dans des bains convenables, sont suffisamment dégraissées et décolorées, on les passe dans un bain spécial dit d'*azurage* pour rehausser le ton, et surtout pour faire disparaître dans les tissus de *chaîne-coton* la nuance jaune que conserve le lainage.

On a fait emploi pendant longtemps, pour remplir ce but, de sulfate de cuivre, ou de toute autre préparation bleue ayant pour base l'oxyde de cuivre. Mais on y a bientôt renoncé devant les accidents graves auxquels cet azurage donnait lieu toutes les fois que les laines étaient teintes et fixées par la vapeur. On doit à M. Chevreul cette observation importante, que sous l'influence de la vapeur d'eau et d'une température élevée, le soufre dont nous avons constaté la présence dans la fibre même qui constitue la laine se porte sur les oxydes en présence desquels il se trouve, et lorsque les sulfures qui résultent de cette combinaison sont colorés, la laine prend une teinte colorée, uniforme si l'oxyde est régulièrement réparti, sous forme de tache si l'oxyde est irrégulièrement déposé. Telle est la cause assignée par M. Chevreul, en 1837,

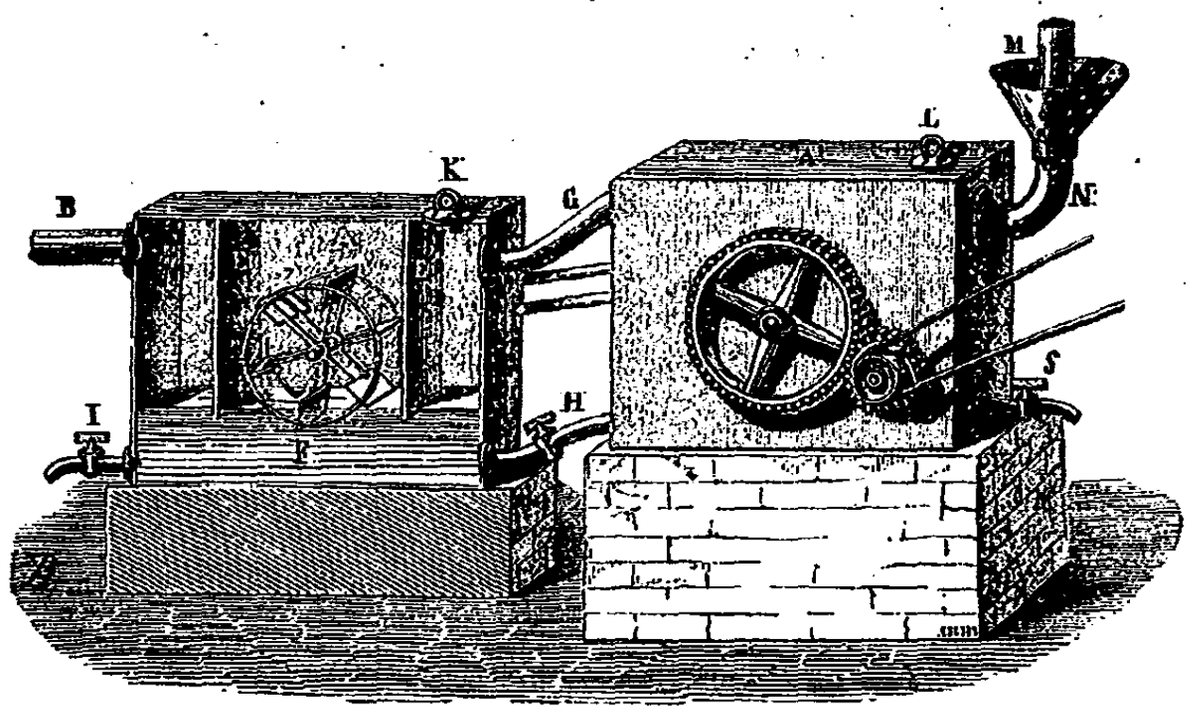


Fig. 253.

Une série de cuves disposées en étages A, A' sont en communication par un tuyau B avec l'appareil producteur du gaz sulfureux; une cloison E existe dans chaque cuve; elle force le gaz acide sulfureux à descendre pour se trouver au contact de la dissolution et de la pluie liquide produite par le mouvement de rotation d'une roue à palette F; la cloison E' force le gaz à redescendre encore avant de se rendre dans la cuve A' qui absorbe les portions qui ne se sont pas dissoutes; elles y pénètrent par un tuyau *b*; un robinet H permet d'écouler le liquide contenu dans la cuve A' dans la cuve A, lorsqu'elle a été vidée par le

à des taches qui s'étaient manifestées sur des laines soumises blanches à la vaporisation, et devenues colorées par l'opération. Cet illustre savant avait reconnu que ces étoffes s'étaient trouvées accidentellement, pendant le travail, en contact avec des sels de cuivre, d'antimoine, d'étain, de plomb, avant leur passage à la vapeur, et que, sous l'influence de l'agent, il y avait eu production d'un sulfure coloré. La couleur brune que la laine prend, quand on la plonge dans un mélange d'acétate d'alumine et d'acétate de plomb, a la même origine; on évite ces inconvénients en se servant, pour azurer, de carmin ou d'acétate

d'indigo qu'on ajoute en proportion variable avec le goût du commerçant.

Nous terminerons ce chapitre en faisant remarquer que l'industrie manque encore d'une bonne méthode, qui réduise la matière colorante et qui l'expulse. Les laines d'apparence blanche tiennent cette qualité bien plus de celle de la matière que de l'effet du blanchiment; il serait intéressant de trouver une marche rationnelle qui supprimât l'azurage complémentaire avec lequel on imite un faux blanc.

PRATIQUE DU BLANCHIMENT. Maintenant que nous connaissons, au titre le plus général, la théorie du blanchiment des matières textiles d'origine quelconque, les appareils dont on fait usage, et l'ordre dans lequel on fait les opérations successives qui composent l'ensemble de l'art du blanchisseur, nous résumerons, au point de vue des dosages des bains, la série des opérations auxquelles on soumet les étoffes de coton, de lin ou de chanvre, de laine ou de soie.

Blanchiment des tissus de lin et de chanvre. — Les méthodes que nous venons de décrire, très-simples, rationnelles, actives dans le cas du blanchiment des tissus de coton, sont bien moins efficaces quand on les applique au blanchiment des tissus de fils de lin et de chanvre. La matière colorante est en plus grande quantité dans ces dernières, elle est plus résistante, et les matières grasses et résineuses ne cèdent pas aussi facilement à l'action des agents dont on ne saurait augmenter l'énergie sans compromettre la solidité de l'étoffe. Il faut donc répéter successivement les opérations que nous avons indiquées; pour les fils de lin, on va jusqu'à faire subir à la pièce quatre lessives à la chaux, en les faisant suivre, pour l'opération du dégraissage, d'autant de lavages à l'acide, puis au carbonate alcalin.

Le lin perd presque 1/3 de son poids par le blanchiment, tandis que les fils de coton en perdent au plus 1/20. Sa couleur naturelle est d'un gris blond pâle, mais elle se fonce pendant le *rouissage*, opération destinée à faciliter la séparation entre les filaments textiles et la partie ligneuse du lin; aussi le lin préparé sans rouissage est-il beaucoup plus pâle que le lin roui, et en le lavant à l'eau de savon seulement on peut le blanchir presque complétement.

La substance qui colore le lin en gris verdâtre est insoluble dans l'eau bouillante, les acides et les alcalis; mais elle devient soluble dans les lessives alcalines ordinaires ou caustiques, après une longue exposition à l'air qui la résinifie. Le chanvre est sous ce rapport tout à fait analogue au lin.

Les étoffes de lin et de chanvre sont donc celles auxquelles on applique le plus généralement la décoloration par l'étendage au pré. Nous supposerons ici que nous voulions traiter pour la blanchir la toile commune écrue.

Le dégraissage s'opère au moyen des opérations suivantes, savoir :

1° Un premier dégommage à l'eau tiède;
2° Un second dégommage dans les mêmes conditions;
3° Un lessivage à chaud dans une dissolution de savon vert;
4° Une lessive de 4 heures dans un mélange de chaux vive et de sel de soude qui forme une lessive caustique.

La décoloration s'exécute au moyen d'opérations subséquentes, savoir :

5° Une première exposition au pré, pendant 2 ou 3 jours, suivant la saison ou l'état de l'atmosphère;
6° Une seconde lessive de 3 heures;
7° Un nettoyage et un dégorgeage;
8° Une nouvelle exposition au pré de 4 à 5 jours;
9° Une troisième lessive de 4 heures;

10° Un nettoyage et un dégorgeage;
11° Une troisième exposition au pré, de 4 à 5 jours, selon l'état de l'atmosphère;
12° Un dernier passage aux acides.

On peut recommencer les passages en lessive et l'exposition au pré, si les pièces n'ont pas le blanc qu'on désire.

Les chiffres qui suivent permettent de se faire une idée des frais occasionnés par cette méthode.

Pour composer la lessive, d'après des renseignements fournis à M. Persoz par MM. Kœchlin frères, on prend :

45 kilog. de potasse des Vosges;
20 kilog. de chaux;
35 kilog. de chlorure de sodium;
1200 kilog. d'eau.

On porte à l'ébullition pendant une heure; on laisse déposer; on décante, et on ajoute à la dissolution limpide 7 fois son volume d'eau claire. Ces quantités de matières servent pour une lessive propre à 300 pièces. On répète cette même dépense à chaque lessive qu'on fait subir aux matières à décolorer.

On peut combiner la décoloration sur le pré par l'action de la lumière avec l'emploi du chlorure décolorant. Nous en donnerons un exemple, et nous nous contenterons d'indiquer la série des opérations suivies dans une des meilleures blanchisseries de toiles de lin, en faisant remarquer une fois pour toutes que les lavages à l'eau s'y font avec beaucoup de soin au moyen des appareils que nous avons décrits, et que l'exposition sur le pré dure de 4 à 8 jours suivant les circonstances.

Si l'on suppose 360 pièces de toiles de 32 mètres de longueur chacune, primitivement dégorgées dans l'eau, mises en digestion avec de la lessive alcaline ayant déjà servi, lavées de nouveau, et pesant chacune 4k,60, en tout 1604 kil., on devra :

1° Lessiver avec 27k de potasse, laver et expos. s. le pré
2° — 36 — —
3° — 40 ,50 — —
4° — 36 — —
5° — 36 — —
6° — 24 ,50 — —
7° — 31 ,50 — —
8° — 34 ,50 — —
9° Immerger pendant 12 heures dans un bain d'acide sulfurique étendu, et laver.
10° Lessiver avec 22k,50 de potasse perlasse, laver, et exposer sur le pré.
11° Immerger pendant 12 heures dans un bain de chlorure de potasse ou de chaux et laver.
12° Lessiver avec 13k,50 de potasse perlasse, laver, et exposer sur le pré.
13° Passer dans un bain d'acide sulfurique étendu, et laver.
14° Passer au savon noir, lavage.
15° Apprêter.
16° Sécher.

Les pièces qui ne sont pas suffisamment blanchies sont traitées de nouveau par une série de bains de chlorures décolorants et d'acide sulfurique étendu, jusqu'à ce qu'elles aient acquis une blancheur suffisante.

Quelque soin qu'on ait apporté dans la pratique des différentes opérations que nous venons de décrire, il est urgent de reconnaître l'état des toiles blanchies lorsqu'elles sont destinées à la teinture, soit qu'on veuille préparer des teintes unies, soit qu'on veuille les transformer en tissus imprimés; à cet effet, on soumet à des épreuves convenables des morceaux d'étoffes prélevés au hasard sur l'une des pièces faisant partie d'une série soumise à la succession des opérations du blanchiment.

Si le blanchiment n'avait pas fait disparaître toutes les parties grasses, en passant l'étoffe, par exemple, dans une cuve d'indigo, la couleur ne prendrait pas également sur toutes les parties; si l'on imprimait en ani, les parties grasses fixeraient la couleur, ce qui formerait des taches, diminuant la valeur de la teinture. Si l'on cherchait à produire des dessins sur fond blanc, ces taches maculeraient la partie blanche; dans le cas où le fabricant voudrait ensuite enlever ces taches, il s'exposerait à l'inconvénient de détruire la solidité de la pièce.

Pour s'assurer de l'état dans lequel se trouvent les pièces blanchies, on en prélève un échantillon qu'on coud à la suite des pièces *mordancées* qui passent dans un bain de garance. Nous verrons plus loin que le mordançage a pour but de fixer la garance qui, par elle-même, ne contracte aucune adhérence avec la fibre végétale. La pièce, en passant dans le bain de garance, devra se colorer d'autant moins que le blanchiment aura reçu le plus de perfection, c'est-à-dire qu'on aura détruit le plus matières étrangères à la fibre. Dans tous les cas, la coloration devra se présenter unie et sans maculatures.

Ce mode d'épreuve ne révèle pas toujours les accidents qui peuvent survenir, lorsqu'on imprime des tissus blanchis. Certaines natures de graisse ou de résine ont par elles-mêmes si peu d'affinité pour la matière colorante de la garance, qu'elles n'en fixent que des quantités insignifiantes, tandis qu'au contraire, par l'intermédiaire de certains sels d'alumine ou de fer, il y a fixation d'une coloration assez sensible. Avec de semblables toiles, on court le risque de voir apparaître une coloration rose prononcée, soit unie, soit sous forme de taches, lorsque par suite de l'opération du *bousage* elles auront été mises en contact avec l'excédant de sel à base d'alumine ou de fer que le bain de bouse a redissous, et lorsque ces taches auront fixé l'une ou l'autre de ces bases.

Il convient donc, pour n'être pas surpris au milieu d'une opération, de répéter l'essai du garançage d'un échantillon sur un nouvel échantillon préalablement passé dans un bain de bouse : si le morceau d'étoffe ne se colore pas à cette double épreuve, ou si la teinte est légère et très-uniforme, on en conclut que l'échantillon est complétement débarrassé de matières étrangères à la fibre; on peut conclure que toutes les pièces en essai sont de bonne qualité.

On consomme en tout 310ᵏ,50 de potasse, ce qui fait au plus 0ᵏ,90 par pièce de 32 mètres de longueur.

Blanchiment des tissus de coton. — Nous appliquerons au blanchiment du calicot les observations que nous venons de poser. Les pièces de calicot écru reçoivent pour être dégraissées :

1° Un premier lessivage à la chaux de 20 à 24 heures; on prend pour faire la lessive 30 kilogrammes de chaux, pour 1000 pièces de calicot 3/4, qu'on fait dissoudre pour économiser la chaux dans le résidu de l'opération n° 3;

2° Un lavage et un dégorgeage;

3° Un second lessivage à la chaux, de même durée que le premier et de même composition, mais fait avec de l'eau pure;

4° Un lavage et un dégorgeage;

5° Une immersion dans l'acide sulfurique tiède à 1°,48;

6° Un lavage et un dégorgeage;

7° Un lessivage au carbonate de soude; la lessive est faite avec le résidu de la lessive n° 12, à laquelle on ajoute 1 kilog. de carbonate de soude par 100 mètres de calicot 3/4;

8° Un lavage et un dégorgeage.

La décoloration s'effectue pour le même nombre de pièces en leur faisant subir :

9° Une immersion de quelques heures dans une solution de chlorure de chaux qui ne marque pas à l'aréomètre, et qui, saturée par un acide, dégage à peine de chlore;

10° Une immersion dans un bain acidifié par l'acide chlorhydrique à 2° Baumé;

11° Un lavage et un dégorgeage;

12° Un second lessivage au carbonate de soude pendant 24 heures. On ajoute 4 kilog. 5 de carbonate de soude à la quantité d'eau nécessaire au lessivage de 1000 mètres de calicot;

13° Un lessivage et un dégorgeage;

14° Une seconde immersion dans le chlorure de chaux semblable à l'opération n° 9;

15° Une immersion dans l'acide chlorhydrique à 2° Baumé;

16° Un lavage et un dégorgeage parfaits.

D'après les chiffres produits par M. Persoz, le montant approximatif de la dépense nécessaire au blanchiment de 10,000 mètres de calicot se balance par :

60 kilogrammes de chaux.		4 fr.
55 — de sel de soude. . .		37 fr.
55 — de chlorure de chaux.		16 fr.
Acide.		10 fr.
Main-d'œuvre et frais généraux. . .		150 fr.
		214 fr.

Soit 1 fr. 07 par pièce de 50 mètres. Les frais de main-d'œuvre diminueraient beaucoup si la fabrication était exercée sur une plus grande échelle.

Ce procédé permet de remplacer les alcalis caustiques par leurs carbonates. Il n'en résulte pas d'inconvénients; car les carbonates alcalins dissolvent aussi bien les corps gras à l'état libre et jouissent de plus de l'avantage de décomposer par double décomposition les savons calcaires en formant des savons alcalins et du carbonate de chaux. Dans l'origine de ce procédé, les résultats satisfaisants étaient obtenus même en l'absence de toute décomposition, par les acides des savons calcaires résultant du lessivage à la chaux.

Dans ce même procédé, l'acide qui sert à décomposer le chlorure de chaux est l'acide chlorhydrique et non l'acide sulfurique. Non-seulement, il y a formation de chlorure de calcium qui, déliquescent, entretient une humidité plus uniforme dans toutes les parties de la pièce, mais il y a dégagement d'une quantité plus considérable de chlore dans le cas où le sel contient du chlorate de chaux. Il est donc rationnel de préférer une méthode comme celle que nous venons de décrire, car elle apporte économie au double point de vue de la main-d'œuvre et des matières premières. Cette considération acquiert un grand poids par suite des baisses de prix qui conduisent forcément le fabricant à diminuer incessamment le chiffre des frais occasionnés par les opérations du blanchiment. C'est même pour satisfaire à ces conditions d'économie qu'ont été disposés les systèmes dits *continus*.

Pour nous rendre compte de ces systèmes, supposons cousues à la suite les unes des autres plusieurs pièces de calicot avant ou après le lessivage; on les supporte par un nombre suffisant de cylindres qui servent aussi de rouleaux de tension; on fait mouvoir la tête des pièces en la faisant immerger successivement dans les bains convenables, acides, alcalins, de chlorure de chaux, acides, etc.; on intercale entre chaque bain des appareils à nettoyer et dégorger. Un mouvement continu permet donc de conduire l'étoffe blanchie convenablement dans les appareils à sécher. Cette méthode réunit alors à l'économie des opérations chimiques celle des opérations mécaniques qui n'est pas moins importante.

Par les procédés perfectionnés que nous venons

d'exposer, on évite toute la fermentation acide qui jouait un si grand rôle dans la pratique du blanchiment des calicots, surtout anciennement. Nous allons en dire quelques mots, car elle n'est pas abandonnée partout, et quelques teinturiers l'appliquent encore à l'avivage de certaines nuances. Les points théoriques sur lesquels nous insisterons ici éclaireront plus tard quelques usages consacrés par la routine.

On laisse macérer la pièce dans une cuve avec plus ou moins d'eau tiède, et pour déterminer une certaine fermentation on ajoute une petite quantité de son. La pièce doit être complétement immergée pendant toute la durée de l'opération : soit 40 à 50 heures pendant l'été, 3 à 5 jours pendant l'hiver.

Si les pièces ne sont pas convenablement submergées, la température de la masse s'élève considérablement au centre surtout; il s'y produit une espèce de pourriture nuisible à la résistance du calicot. S'il y a trop d'eau, la fermentation se règle mal, et l'on ne parvient que très-imparfaitement à faire disparaître le gluten et les matières amylacées que contient la fibre, et dont on cherche à se défaire. Au point de vue des besoins de la teinture, cette ancienne méthode a l'inconvénient de transformer les matières, ou certaines matières résineuses fixées à l'étoffe, de telle sorte qu'en contact avec quelques principes colorants, ces résines modifiées les rendent adhérentes aux tissus. Les molécules de garance, par exemple, sont attirées avec énergie et viennent *teindre* les parties altérées; ce genre d'altération ne se produit jamais lorsque le lessivage à la chaux supprime la fermentation.

On fait à Glascow de très-beau blanc et comme les procédés dont on fait usage font connaître les précautions que l'on prend suivant la nature des tissus, nous devons les reproduire ici. Nous supposerons que l'on ait à blanchir des mousselines, des jaconas et des organdis.

On laisse fermenter les mousselines pendant 36 heures dans la lessive à la température de 35 à 60°, suivant la saison. Le lessivage subséquent, de 54 kilog. pour 112 pièces de mousseline, se fait avec 3 kilog. de potasse perlasse et 1 kilog. de savon mou dissous dans 1,635 litres d'eau, et dure 6 heures; on lave à l'eau froide, on fait subir un second lessivage de 3 heures, on lave derechef, puis on fait une immersion de 6 à 12 heures dans un bain de chlorure de chaux d'une densité de 1,025. On lave à l'eau froide, et on laisse digérer pendant une heure dans un bain d'acide sulfurique étendu, ayant une densité de 2,0175. On lave à l'eau avec soin, on donne un lessivage d'une demi-heure avec 1k,12 de potasse et 0k,90 de savon mou, on lave à l'eau pure, on fait une immersion de 6 heures dans un bain de chlorure de chaux d'une densité de 1,015, on lave à l'eau, on passe dans un bain d'acide sulfurique étendu d'une densité de 1,015, et enfin on termine par un lavage à l'eau très-soigné. Pour les tissus plus épais, on doit leur faire subir en sus un troisième lessivage, suivi d'une immersion dans le bain de chlore, puis dans l'acide sulfurique étendu.

Lorsque dans le lessivage qui suit la fermentation on remplace la potasse par de la chaux, le remplacement se fait poids pour poids, seulement l'opération ne dure qu'un quart d'heure, parce qu'un plus long séjour dans le lait de chaux altérerait le tissu.

On a adopté tout dernièrement dans l'établissement cité ci-dessus, le procédé suivant, qui fournit les blancs les plus parfaits qui arrivent sur la place de Londres.

La chaux est rarement employée dans le blanchiment des mousselines de première qualité, parce qu'on a remarqué qu'elle altérerait leur tissu, et que plus tard les couleurs ne se fixaient pas d'une manière solide sur les mousselines blanchies à la chaux. On la remplace par une lessive caustique formée en faisant bouillir, pendant une heure, dans de l'eau, des poids égaux de soude du commerce et de chaux, et décantant; on n'ajoute pas de savon à la soude, comme cela a lieu pour la potasse.

Les mousselines et les jaconas sont lavés à la fin du blanchiment dans de l'eau de source, contenant un peu de bleu d'azur, qui leur donne une teinte agréable à l'œil. Si ce sont des tissus communs, on y ajoute un peu d'empois dissous dans de l'eau bouillante. Ils sont ensuite tordus ou pressés, passés à la machine à étendre que nous avons décrite, puis enroulés sur un cylindre d'étain chauffé à la vapeur qui les sèche complétement dans l'espace d'un quart d'heure. Il ne reste plus qu'à les dérouler, à les plier et à les comprimer à la presse hydraulique, pour qu'ils soient propres à la vente. Les frais de blanchiment et d'apprêt sont payés à raison de 0f,60c à 0f,90c par pièce de 11 mètres de longueur.

L'organdi est tordu ou pressé après le dernier lavage, porté au séchoir, puis empesé avec un apprêt que l'on prépare en faisant bouillir 1k,20 d'amidon avec 20 litres d'eau, et y ajoutant ensuite 500 grammes de bleu d'azur. On le tord, on le porte quelque temps dans une étuve chauffée à 43°, où on le travaille jusqu'à ce que l'apprêt l'ait bien également pénétré; on l'étend ensuite dans une chambre froide, et on le porte enfin au séchoir, où on l'étire pendant le séchage dans le sens de la largeur, ce qui lui donne une sorte d'élasticité. Le blanchiment et l'apprêt réunis d'une pièce de 11 mètres d'organdi se payent de 0f,90c à 1f,50c.

Lorsque l'étoffe est en partie tissée avec des fils préalablement teints en rouge d'Andrinople, ou en bleu par l'indigo, le blanchiment, ou plutôt le blanchissage, en exige beaucoup de soin. On commence par la faire dégorger dans de l'eau de source; on fait bouillir avec précaution dans de l'eau de savon, et, après un nouveau lavage à l'eau fraîche, on les immerge dans une dissolution convenablement étendue de *chlorure de potasse*, on répète ces opérations jusqu'à ce que l'on ait obtenu un blanchissage suffisant; enfin on passe l'étoffe dans un bain d'acide sulfurique étendu qui, si l'on a opéré avec soin, avive les couleurs, et on termine par un lavage à grande eau.

Les guingamps qui sont tissés avec des fils préalablement blanchis, sont simplement débarrassés du parement ou parou par un lavage à grande eau, bouillis pendant peu de temps avec de l'eau de savon, rincés à l'eau, passés dans un bain d'acide sulfurique étendu et lavés à grande eau.

Outre les procédés de blanchiment que nous venons de décrire, on a imaginé d'imprégner les tissus d'une dissolution alcaline caustique d'une densité de 1,02, puis après les avoir laissés égoutter, de les placer sur le double fond à jouer d'une chaudière, à travers lequel on fait arriver de la vapeur d'eau, après avoir assujetti, au moyen de vis et d'écrous, le couvercle supérieur qui se ferme hermétiquement. Ce procédé a été depuis entièrement abandonné en Angleterre.

Il nous reste à parler des taches graisseuses que l'on trouve souvent sur les tissus de coton, taches qu'il est très-difficile de faire disparaître dans l'opération du blanchiment, et qui produisent un effet très-désagréable, surtout dans les étoffes teintes en rouge par la garance ou en bleu par l'indigo. Les fils de la chaîne sont souvent de mauvaise qualité, ou tellement fins, qu'ils peuvent à peine supporter la traction des lisses ou le frottement de la navette, surtout lorsque le parou en séchant est devenu roide et cassant; le tisserand cherche alors à abréger et à faciliter le travail, en les enduisant avec une matière grasse à bas prix, telle que le beurre rance ou le suif; ce dernier est surtout

BLANCHIMENT.

employé comme étant le plus économique. Le tisserand fait tomber, à l'aide d'une tige de fer rougie au feu, le suif en gouttes sur la chaîne, et l'étend ensuite à l'aide d'une brosse. On conçoit aisément qu'il est impossible de le répartir ainsi d'une manière tout à fait uniforme, ce qui donne lieu à la production de ces taches qu'il est si difficile de faire disparaître complétement dans le blanchiment, et qui se manifestent d'une manière si fâcheuse dans la teinture.

Les principaux blanchisseurs d'Écosse emploient, pour enlever ces taches, le procédé suivant qui donne de très-bons résultats : on commence par flamber les tissus, on les fait ensuite dégorger dans de l'eau de source, et on les passe sous une paire de cylindres de pression pour enlever l'eau et les impuretés dissoutes pendant le dégorgeage. Comme le flambage augmente l'adhérence des matières qui salissent les tissus, il est avantageux de faire dégorger ceux-ci pendant 30 à 40 heures, de les presser et de les sécher à l'étuve ou à l'air libre avant de les soumettre à cette opération. Après le dégorgeage, on donne quatre lessives, chacune de 10 à 12 heures, dans une dissolution alcaline caustique ayant une densité de 1,0127 à 1,0156, et on lave avec soin à l'eau froide chaque lessive. On passe ensuite les tissus, pendant 8 à 12 heures, dans un bain de chlorure de potasse, obtenu en étendant une dissolution d'une densité de 1,0625 de vingt-quatre fois son volume d'eau.

Quelques blanchisseurs ont l'habitude d'exposer les tissus sur le pré, pendant quelques jours, au sortir du bain de chlorure alcalin, et les passent ensuite dans un bain d'acide sulfurique étendu ayant une densité de 1,0254 et une température de 43° C. Pour les tissus communs, le bain acide a une densité qui varie de 1,0146 à 1,0238, et on les y laisse 5 à 6 heures. On les lave ensuite avec soin à l'eau dans la roue à laver. On donne de nouveau 4 lessives caustiques comme ci-dessus, en lavant à l'eau entre chacune. La dernière lessive se fait souvent avec de la potasse perlasse, parce que le sulfure que renferme la potasse ordinaire du commerce empêche d'obtenir un blanc aussi pur. On passe ensuite comme ci-dessus dans le bain de chlorure de potasse, on lave à l'eau, on passe au bain d'acide, on lave avec soin dans de l'eau de source ou de l'eau courante, et on fait sécher à l'air libre et à l'ombre.

Ce procédé est long et compliqué, mais c'est celui qui donne les résultats les meilleurs et les plus certains dans toutes les circonstances et dans toutes les saisons de l'année.

Nous ne quitterons pas ce sujet sans exprimer un regret, c'est qu'on ne connaisse pas encore le degré de solubilité de la matière colorante du lin ou du coton dans les lessives de diverses forces et dans les savons, depuis 60 jusqu'à 481 degrés, la température correspondant à 10 atmosphères; on ignore ainsi quelle est la température la plus favorable pour blanchir les tissus. On n'a sur ce sujet que peu de documents pratiques; les voici :

Des expériences très-soignées ont fait voir :

1° Que, sous la pression atmosphérique, une ébullition continue de deux heures, avec un lait de chaux, n'altère aucunement les tissus, pourvu qu'ils demeurent constamment recouverts d'une couche de liquide en ébullition, et qu'on les lave immédiatement après à grande eau;

2° Que les tissus n'éprouvent aucune altération par la digestion dans de l'eau pure, bouillante, sous une pression de 10 atmosphères;

3° Que l'on peut faire digérer les tissus sous une pression de 10 atmosphères, sans les altérer, dans une lessive bouillante de soude caustique dont la densité primitive serait de 1,015, jusqu'à ce que la vaporisation de l'eau ait amené cette lessive à un état de concentration double;

4° Que, sous la pression atmosphérique les tissus ne s'altèrent pas, par l'ébullition avec une lessive de soude ayant une densité de 1,070;

5° Qu'il en est de même par une immersion de 8 heures dans un bain de chlorure de chaux, susceptible de décolorer le triple de son volume de la solution d'essai d'indigo, et le traitement subséquent des tissus par un bain acide d'une densité de 1,067;

6° Enfin que les tissus ne s'altèrent pas lorsqu'on les laisse digérer, pendant l'espace de 8 heures, dans de l'acide sulfurique ou hydrochlorique étendu d'eau d'une densité de 1,035 à la température de 35°.

Si quelques praticiens font usage d'appareils à haute pression, rien ne prouve que ce soit avec avantage, puisqu'on réussit à l'ébullition à l'air libre; la science n'a pas encore démontré l'utilité de cette pratique.

Cependant *généralement* on admet :

Pour les toiles d'Alsace et les fortes toiles de Rouen.	5 atmosphères.
Pour les toiles de Rouen, jaconas, madapolams..	4 —
Pour les articles de Saint-Quentin.	3 —
Pour les toiles et fils de lin. . .	2 à 2 1/2.

En résumé, dans nombre de bons établissements, on pratique :

1° Enlèvement du parou ou parement par une digestion de 12 heures dans l'eau froide, suivie d'un lavage à la roue à laver;

2° Ébullition avec un lait de chaux de force convenable, ou mieux, deux ébullitions très-courtes avec le lait de chaux, séparées par un lavage intermédiaire à l'eau;

3° Ébullition, de 10 à 12 heures, avec une lessive de soude renfermant 1 kil. de carbonate de soude cristallisé par 56 kil. de tissus à traiter;

4° Nouvelle ébullition dans les mêmes circonstances;

5° Exposition de 7 à 8 jours sur le pré, ou immersion, d'abord dans un bain de chlorure de chaux, puis dans de l'acide sulfurique étendu, comme il est décrit plus haut;

6° Traitement par une lessive alcaline caustique, renfermant autant et même moins de soude que les lessives 3 et 4;

7° Exposition sur le pré, ou immersion dans un bain de chlorure de chaux, puis dans l'acide sulfurique, étendu, comme pour le n° 5;

8° Lessive de soude caustique, comme le n° 6;

9° Immersion dans un bain de chlorure de chaux, puis dans l'acide sulfurique étendu;

10° Rinçage dans de l'eau chaude, ou lavage à la roue à laver.

Lorsque le nombre des cuves à chauffer à la fois dépasse 4 ou 5, il y a économie dans le chauffage par un courant de vapeur; lorsqu'il est moindre, il est plus économique d'appliquer directement le feu sous les chaudières dans lesquelles s'opère le lessivage ou le débouillage. L'emploi de la vapeur diminue le danger que l'on court, dans le chauffage à feu nu, d'attaquer les tissus; mais d'un autre côté, la vapeur en se condensant, étend les dissolutions que l'on emploie et qui deviennent alors incapables de servir au blanchiment d'une nouvelle quantité de tissus, tandis qu'au contraire ces dissolutions se concentrent par l'application directe du feu sous les chaudières; toutefois, il est à remarquer que cette dissolution n'offre aucun inconvénient dans le cas du lait de chaux. Lorsque celui-ci contient trop de chaux, ainsi que lorsqu'on le verse bouillant sur les tissus, on court risque de les endommager; aussi est-il préférable de l'introduire, par le bas, dans la cuve à lessiver. Pour une raison analogue, il faut avoir soin, à la suite d'une

lessive de soude caustique, si les tissus ne peuvent être portés immédiatement à la roue à laver, de les transvaser dans une cuve remplie d'eau qui les recouvre complétement.

Lorsque le bain de chlorure de chaux est trop concentré, il se forme quelquefois dans le calicot, principalement sur les bords ou les parties les plus épaisses de la pièce, de petits trous ronds très-nets, analogues à ceux qu'y produiraient des gouttes d'acide sulfurique concentré. Cela tient, indépendamment de la cause que j'ai déjà signalée plus haut, à ce qu'il se dégage de la dissolution concentrée de chlorure de chaux, par la moindre élévation de température ou par toute autre cause, des bulles de chlore gazeux qui s'attachent aux parois sur les tissus, et y restent fixées pendant un espace de temps suffisant pour corroder et détruire les parties avec lesquelles elles se trouvent en contact; ce sont évidemment les parties les plus compactes du tissu, qui retiennent les bulles gazeuses avec le plus de force, et empêchent le plus longtemps sa dissolution dans la masse liquide. On prévient cet accident en employant des dissolutions de chlorure de chaux plus étendues, et en y agitant fréquemment les tissus.

Lorsque les matières grasses qui imprégnaient le tissu n'ont pas été complétement enlevées dans les premières opérations du blanchiment, elles restent et se reconnaissent dans les étoffes blanches, parce qu'il en résulte des parties qui n'absorbent pas, comme le reste, l'humidité atmosphérique, ce qui détruit l'uniformité de la teinte, et surtout lors de la teinture, parce qu'il se forme des taches plus fortement colorées que le reste de la pièce, par suite de l'affinité qui existe entre les matières grasses et les matières colorantes. Aussi devrait-on défendre aux tisserands d'employer de la graisse pour assouplir les fils de leur chaîne, et le cas échéant, faudrait-il nettoyer les tissus très-promptement, et avant de les mettre en magasin, pour prévenir l'altération, par le contact prolongé de l'air, des matières grasses, dont il devient alors impossible de se débarrasser complétement. Il est aussi très-essentiel que la graisse soit entièrement enlevée avant de traiter le tissu par le chlore. Les blanchisseurs ne devraient également jamais garantir les tissus qu'ils livrent à l'impression avant de s'être assurés sur quelques pièces, en les humectant avec de l'eau, qu'elles ne renferment aucune tache graisseuse.

Nous terminerons cette analyse générale des principes du blanchiment, en indiquant quelques règles à suivre, résultats de l'expérience : pour les tissus imprégnés de matières grasses, il convient d'éviter l'emploi du lait de chaux pour une première lessive; on les traite d'abord par une ou plusieurs lessives de soude, vient ensuite le lait de chaux, et enfin on termine par une ou deux lessives de soude. On ne doit dans ce cas, employer l'immersion dans le chlorure de chaux, qu'à la fin du blanchissage; on fera digérer le tissu après chaque lessive, dans un bain d'acide sulfurique, pour décomposer les savons insolubles formés, et rendre solubles dans les lessives de soude subséquentes les acides gras qu'ils renferment.

On a pu voir par ce qui précède toutes les lenteurs qu'on rencontre dans les opérations courantes du blanchiment appliqué aux tissus d'origine végétale. Nous avons signalé les points encore délicats qu'il était possible d'aborder. Disons quelques mots des tentatives faites dans ces dernières années pour introduire dans la pratique de nouveaux agents.

On a fait en Prusse, dans une douzaine de fabriques, des expériences en grand sur l'emploi du verre soluble comme savon; en général, les résultats n'ont pas été satisfaisants; on nettoie bien, il est vrai, les tissus de coton par l'emploi de cette matière, mais son action n'est pas supérieure à celle du sel de soude; elle est de beaucoup inférieure à celle du savon alcalin. Les fils et tissus traités par les silicates alcalins conservent presque toujours une dureté et une rigidité désagréables; le blanc est d'ailleurs moins pur et plus salissant; les taches sont difficiles à faire disparaître; la silice qui reste dans les fibres après le lavage fait répartir inégalement le duvet, bien qu'on ait cherché par un rinçage des plus soignés à l'éliminer complétement.

Employé pour l'avivage des couleurs garancées, cet agent n'a pas donné de meilleurs résultats. Le blanchiment des tissus de lin et de chanvre n'a pas été couronné de plus de succès. Cependant, il faut dire que le lessivage des linges grossiers de ménage réussit plutôt avec un mélange de savon et de verre soluble qu'avec le silicate alcalin sans addition.

M. Chapoteaut fils, pharmacien à Decize (Nièvre), a fait connaître qu'on opère avec facilité le lessivage au moyen d'un mélange de 4 grammes d'acétone, 20 grammes d'essence de térébenthine, et 40 grammes d'ammoniaque liquide. Si l'acétone recevait cet emploi, sa fabrication deviendrait facile par la décomposition, sous l'influence de la chaux, de l'acétate de soude obtenu par le contact du carbonate de soude avec le gaz provenant de la distillation des bois.

Blanchiment des laines et mi-laines (chaîne-coton).— Il est urgent d'abord de débarrasser la matière textile de tous les corps étrangers, gras, résineux, salins, qui peuvent la souiller. Ce n'est qu'après cette première opération qu'on peut songer à la décolorer d'une manière prompte, efficace, durable.

La laine est reconverte, comme la soie, d'un enduit particulier qui porte le nom de *suint (angl.* yolk); c'est une matière grasse, onctueuse, d'une odeur forte, dont il faut probablement rechercher l'origine dans la transpiration cutanée des moutons, mais qui a dû subir, par l'action des agents extérieurs, une série de modifications qui ont altéré sa constitution. Il résulte des expériences de Vauquelin et de M. Chevreul, que le suint se compose de plusieurs substances, savoir :

1° D'un savon à base de potasse, qui en constitue la majeure partie;

2° D'une quantité notable d'acétate de potasse;

3° D'une petite quantité de carbonate de potasse et d'une trace de chlorure de potassium;

4° D'un peu de chaux à l'état de combinaison non déterminée;

5° D'un acide gras particulier;

6° D'une substance animale à laquelle il doit son odeur.

Outre ces éléments constitutifs du suint, on rencontre aussi accidentellement dans la laine brute, diverses autres matières, telles que des poussières, etc.

M. Chevreul a encore extrait de la laine désuintée 17 p. 100 de matières grasses solubles dans l'alcool, divisibles par l'éther en deux principes distincts qu'on nomme l'un principe gras solide de la laine, et l'autre principe liquide de la laine. Le premier est ramollissable à 45° fusible à 60°, cristallisable; le deuxième est liquide à 15°, non cristallisable.

Le soufre est aussi partie constitutive de la laine. On en constate la présence dans la laine purifiée par l'éther et l'alcool, au moyen du carbonate de soude qui noircit ensuite par l'hydrogène sulfuré.

La proportion de suint est variable, suivant la nature de la laine; mais en général elle est plus abondante dans la plus belle. La perte, dans le désuintage, est de 45 p. 100 en poids pour les laines les plus fines, et seulement de 36 p. 100 pour les laines grossières.

Le suint, en raison de sa nature savonneuse, se dissout promptement dans l'eau, à l'exception d'un peu de matière graisseuse qui est libre, mais qui se détache

également et reste en suspension dans la liqueur. Il semblerait suffisant, d'après cela, de soumettre les laines à un simple lavage à l'eau courante; mais l'expérience a démontré que cette méthode ne réussit jamais aussi bien que celle généralement adoptée, et qui consiste à laisser les laines dégorger pendant quelque temps dans une petite quantité d'eau tiède ordinaire, ou mêlée d'un quart d'urine putréfiée; 15 à 20 minutes suffisent dans ce dernier cas, si l'on a eu soin de chauffer le bain à une chaleur telle que la main puisse à peine la supporter; on agite fréquemment les laines avec une perche, on les enlève au bout du temps indiqué, on les fait égoutter, et on les place ensuite dans de grandes corbeilles, afin de pouvoir les rincer complétement dans l'eau courante.

On admet généralement que l'urine putréfiée agit sur le suint par l'ammoniaque qu'elle renferme, et qui sert à saponifier l'excès de matière graisseuse qui n'est pas combinée avec la potasse. L'urine fraîche ne peut être employée parce qu'elle contient un acide libre qui en décomposant le savon que renferme le suint contrarierait l'opération du désuintage.

Si les laines sont mieux désuintées dans une petite quantité d'eau que dans l'eau courante, comme le démontre l'expérience, cela tient à la nature même du suint qui, en dissolution concentrée, agit comme un véritable savon, et contribue ainsi à enlever les particules graisseuses qui adhèrent aux filaments. On doit aussi remarquer qu'un trop long séjour de la laine dans un bain qui s'est chargé de suint, et qui renferme de l'urine putréfiée, altère sa qualité en faisant gonfler et même fondre ses filaments; on dit alors que la laine a perdu son nerf. Une chose également essentielle à observer, c'est de ne jamais travailler la laine dans le bain au point d'en déterminer le feutrage, ce qui rendrait extrêmement difficiles le cardage et le filage subséquents; à cet effet, il faut se borner à faire tourner lentement la laine dans le bain, ou à la fouler modérément sous les pieds.

L'eau bouillante pouvant altérer la laine, il est de toute nécessité de ne jamais amener la température du bain de désuintage à un point voisin de l'ébullition, ni même en réalité, au-dessus de 60° centigrades.

Quelques auteurs recommandent d'employer pour le désuintage, des bains de savon ou des lessives alcalines; mais jusqu'ici on a toujours préféré suivre l'ancienne méthode, qui est la plus économique et qui donne des résultats satisfaisants.

Lorsque le lavage est opéré, les laines qui doivent rester blanches sont traitées par l'acide sulfureux, liquide ou gazeux, comme nous l'indiquerons au mot SOUFRAGE. L'exposition sur le pré peut aussi contribuer très-efficacement au blanchiment de la laine. Quelques personnes, excitées par la cupidité, trempent les laines dans du lait de beurre ou dans de l'eau de craie avant de les livrer au commerce; par cette fraude blâmable, elles en accroissent la blancheur et en augmentent considérablement le poids.

On blanchit la laine tantôt en toison, tantôt lorsqu'elle a déjà été filée; cette dernière est toujours d'un plus beau blanc. On a remarqué que la laine de certaines parties de la toison, et particulièrement celle des aines se blanchissait beaucoup plus difficilement que le reste.

Après le soufrage, la laine est roide et dure au toucher; on lui rend sa douceur et sa souplesse primitives par un très-léger bain de savon.

Tels sont les principes généraux qui dominent l'opération du blanchiment des laines.

Nous réunirons ici l'ensemble des opérations qui constituent le blanchiment des laines tel qu'on l'exécute aujourd'hui. Nous supposerons avec M. Chevreul qu'on ait à blanchir 100 pièces de mousseline de laine, ayant 60 mètres de longueur, soit 6,000 mètres d'étoffe :

1° Les pièces sont assemblées par mises de cinq, et cousues ensemble jusqu'à la fin des opérations. Chaque mise est enroulée sur des bobines. Les 100 pièces forment ainsi vingt mises; chaque mise est garnie aux deux bouts de deux garats en toile de 2 mètres environ, cousus solidement pour protéger les chefs de chaque extrémité de la mise;

2° On monte un bain avec 7 kilog. de carbonate de soude, et 1k,75 de savon blanc, à la température de 50 degrés, dans une cuve à foulardor, garnie de son rouleau presseur et convenablement chauffée par la vapeur;

On y fait passer la première mise trois fois de suite dans les rouleaux. Avant d'y faire passer la deuxième mise, on ajoute 500 grammes de savon bien dissous, en maintenant la température toujours à 50 degrés. On remonte de même le bain par 500 grammes de savon, pour la troisième, la quatrième et la cinquième mise; après le passage de ces cinq mises, on vide la cuve que l'on remonte à neuf pour cinq autres mises, en sorte que pour les 100 pièces on emploie 28 kilog. de carbonate de soude, et 15 kilog. de savon blanc;

3° On rince ensuite deux fois chaque mise dans un bain d'eau à 35 degrés, monté dans l'appareil à foulardor, où l'on renouvelle l'eau pour chaque mise;

4° On monte un bain avec 7 kilog. de carbonate de soude à la température de 50 degrés centigrades; on y fait passer trois fois la première mise entre les rouleaux; avant d'y faire passer la seconde mise, on remonte le bain avec 50 grammes de carbonate de soude très-limpide, et l'on maintient la température à 50 degrés centigrades. On remonte de même le bain avec 50 grammes de carbonate de soude avant le passage de la troisième et de la quatrième mise; on remonte à neuf une nouvelle cuve pour le passage de la cinquième mise, en sorte qu'on emploie pour ces 100 pièces 36 kil. de carbonate de soude;

5° Les pièces passent ensuite au soufrage, elles restent 12 heures dans le soufroir, compris le temps nécessaire pour garnir et dégarnir la chambre; on consomme 25 kilog. de soufre;

6° Au sortir du soufroir, les pièces sont rincées dans un courant d'eau froide qu'on renouvelle continuellement;

7° On répète l'opération 4°, en ayant soin d'employer pour faire les bains nécessaires aux 100 pièces 36 kilog. de carbonate de soude;

8° On répète l'opération du soufrage avec 25 kilog. de soufre;

9° On rince encore à l'eau courante;

10° On lessive avec le carbonate de soude, en consommant 36 kilog. de carbonate de soude;

11° On soufre de nouveau, toujours avec 25 kilog. de soufre;

12° On rince enfin en eau tiède;

13° On rince en eau froide en établissant un courant.

On azure, au moyen d'un passage dans le carmin d'indigo, qu'on fixe dans la dernière opération du soufrage, lorsque les pièces sont destinées à la vente en blanc; elles peuvent d'ailleurs ne recevoir qu'un seul soufrage. Quant aux pièces destinées à la teinture en nuances claires et brillantes, il faut leur donner le dégraissage et la décoloration la plus complète, afin d'obtenir des nuances ou des impressions irréprochables. On ne doit soumettre les pièces décolorées avec l'acide sulfureux qu'à des températures peu élevées, afin de ne pas détruire par la chaleur le principe incolore qui résulte de la combinaison de l'acide sulfureux

avec la matière colorante ; il se dégagerait de l'acide et la coloration apparaîtrait de nouveau.

En résumant et présentant cette opération méthodiquement, comme nous l'avons fait pour les autres tissus, on trouve :

1° *Dégraissage.* — On comprendra sans peine que les étoffes de laine ne puissent être dégraissées, c'est-à-dire débarrassées des matières cireuses, graisseuses, salines et résineuses qui constituent, par leur association à la fibre textile, un tissu de laine, au moyen des méthodes que nous avons appliquées au blanchiment des tissus d'origine végétale. Les alcalis caustiques, en effet, ne dissolvent-ils pas les fibres, comme nous l'avons dit ; et la chaux ne les désorganise-t-elle pas à ce point que la fibre ainsi traitée perd toute énergie pour fixer la matière colorante? On est donc forcé d'avoir recours d'abord à l'action des cristaux de soude, et si cet agent n'est pas assez fort, on fait usage des savons qui, tantôt dégraissent en saponifiant les corps gras directement par l'alcali qu'ils renferment en excès, et tantôt agissent en se décomposant sous l'influence de l'eau, de manière à former des acides gras qui dissolvent mieux les matières résineuses, insolubles dans l'eau, tout comme elles le sont dans les carbonates alcalins.

Quant aux températures auxquelles on opère le lessivage, elles diffèrent encore notablement de celles qu'on choisit pour blanchir les toiles de coton, de lin ou de chanvre. On doit redouter une élévation de température et n'opérer qu'entre 60 et 70 degrés ; les appareils dans lesquels on lave et rince les tissus de laine sont aussi généralement différents de ceux qu'on emploie dans le dégorgeage des tissus de coton ou de lin. Presque toujours les étoffes de laine ont besoin d'être tendues en passant dans les dissolutions alcalines pour éviter les contractions qui gêneraient la teinture. On se sert de la machine à fouiarder, dite encore machine à plaquer, parce que c'est elle dont on se sert pour mettre sous épaisseur uniforme les intermédiaires capables de fixer sur les tissus les matières qui par elles-mêmes ne teindraient pas (voyez IMPRESSION, 2e volume). Chaque pièce passe une fois ou deux au fond d'une auge remplie de lessive ; elle en sort ensuite pour être exprimée par deux rouleaux qui font retomber dans l'auge l'excédant de la lessive, et s'enroule sur des cylindres mobiles en bois qui se nomment *bobines*, et qui servent à transporter le tissu. Quand les pièces ont été pendant un temps suffisant en contact avec la lessive, on change les bobines de place, et, les transportant au-dessus de nouveaux bains ou d'eau pour laver, ou de carbonate de soude et de savon pour opérer un dégraissage plus complet, on les fait circuler une seconde fois ; on a soin de répéter ces opérations tant qu'on ne juge pas le dégraissage suffisamment avancé. Ce n'est qu'alors qu'on passe à la dernière phase du blanchiment, à la décoloration.

2° *Décoloration.* — Nous avons insisté plus haut sur le mérite de l'acide sulfureux dans son emploi très-ancien à la décoloration des tissus fabriqués au moyen des fibres d'origine animale, nous n'y reviendrons pas.

Blanchiment des soies. — Nous n'avons plus qu'à dire quelques mots du blanchiment des soies.

Si les procédés à l'aide desquels on blanchit ou prépare à la teinture les étoffes de coton, de lin et de chanvre, diffèrent notablement de ceux auxquels on soumet dans le même but les tissus de laine et de soie, on n'a que de faibles modifications à faire subir aux procédés qui servent au blanchiment des laines pour les approprier au blanchiment des soies. Nous les ferons connaître d'une manière sommaire. Dans cette opération, comme dans celle qui s'applique au travail des calicots, nous aurons à distinguer le dégraissage et le blanchiment, et, pour ces deux phases, des moyens mécaniques et des agents chimiques.

La soie brute ou écrue, telle qu'elle vient du cocon, est blanche ou jaune, et recouverte d'un vernis qui lui donne de la roideur et une sorte d'élasticité ; la plupart des usages auxquels on la destine exigent qu'on la dépouille de cet enduit naturel, que l'on a longtemps regardé comme une sorte de gomme ; opération qui porte le nom de *décreusage* (*angl.* scouring, *allemand* entschælen).

On a proposé un grand nombre de procédés divers pour opérer le décreusage ; mais aucun d'eux n'a pu remplacer avec avantage le procédé le plus ancien, qui consiste à traiter la soie par une eau de savon chaude, comme le constatent les intéressantes recherches de M. Roard. Le vernis qui recouvre la soie se dissout aisément dans les alcalis caustiques ou carbonatés, et même à la longue dans l'eau bouillante, mais aucun procédé ne conserve mieux le brillant et la souplesse de la soie qu'une ébullition courte et rapide dans de l'eau de savon.

La méthode la plus anciennement connue pour blanchir la soie se subdivise en trois opérations :

1° Le *dégommage*, qui consiste à préparer une dissolution bouillante de 30 p. de savon dans 100 p. d'eau de source, puis à abaisser un peu la température en ajoutant un peu d'eau froide et en retirant le feu, ou au moins en fermant toutes les issues du fourneau ; par ce moyen, le bain est tenu très-chaud, sans cependant atteindre à l'ébullition, ce qui est un point essentiel, car on s'exposerait à attaquer la soie, et non-seulement en dissoudre une portion, mais encore la priver de son lustre ; on plonge alors dans cette préparation les écheveaux de soie enfilés sur des perches ou *lissoirs* disposés horizontalement au-dessus de la chaudière ; la partie immergée dans le bain se dégorge peu à peu, le vernis et la matière colorante se dissolvent, et la soie prend la blancheur et la souplesse qui lui sont naturelles. Lorsqu'on est arrivé à ce point, on tourne les écheveaux sur les lissoirs, de manière à ce que la partie primitivement hors du bain y soit trempée à son tour ; dès que le tout est parfaitement dégommé, on retire les écheveaux du bain ; on les tord à la cheville, on les dresse, et on procède à l'opération suivante :

2° *Cuite.* On a des sacs en canevas grossiers appelés *poches*, dans chacun desquels on renferme environ 12 à 15 kilog. de soie dégommée, et on les place dans un bain semblable au précédent, mais qui renferme une moindre quantité de savon, de sorte que l'on peut sans inconvénient le porter à l'ébullition. On la soutient pendant une heure et demie, en ayant soin de remuer souvent les sacs, dans la crainte que ceux qu'on laisserait séjourner sur le fond de la chaudière ne subissent une trop forte chaleur.

La soie perd dans ces deux opérations environ 25 p. 100 de son poids.

3° Enfin la troisième et dernière opération du décreusage a pour but de donner à la soie une légère teinte qui en rende le blanc plus agréable et mieux approprié à l'usage que l'on en veut faire. Ainsi l'on distingue le blanc de Chine, qui a un léger reflet rougeâtre, le blanc azuré et le blanc de fil. Pour produire ces diverses nuances, on commence par préparer une eau de savon assez concentrée pour qu'elle devienne mousseuse par l'agitation ; on y ajoute ensuite, pour le blanc de Chine, un peu de rocou que l'on mélange avec soin dans la liqueur, et on y passe la soie à plusieurs reprises, s'il est nécessaire, jusqu'à ce qu'elle ait acquis la nuance désirée ; les autres blancs s'obtiennent en azurant plus ou moins la soie par l'addition d'une certaine quantité d'indigo fin, dans le bain de savon. Dans tous les cas, il faut, au sortir du bain,

tordre la soie et l'étendre sur des perches pour la faire sécher; on la porte ensuite au soufroir, si elle est destinée à rester blanche.

A Lyon, on ne sert pas de savon pour la troisième opération : après la *cuite*, on lave la soie, on la soufre, et on l'azure dans de l'eau de source convenablement chargée de bleu.

Quant aux soies destinées à la fabrication des blondes et des gazes, on ne peut les soumettre au décreusage ordinaire, parce qu'il est essentiel qu'elles conservent leur roideur naturelle. On choisit à cet effet les soies écrues de Chine, qui sont d'un très-beau blanc, ou les plus blanches que fournissent les autres pays; on fait tremper, on les rince dans de l'eau claire ou dans une très-légère dissolution de savon; puis on les tord, on les soufre et on les azure. Quelquefois on on réitère une seconde fois toute cette série d'opérations.

M. Roard a observé que la soie complétement décreusée, perd son moelleux et son lustre lorsqu'on la plonge de nouveau pendant quelque temps dans un bain de savon, ou même seulement dans l'eau bouillante; c'est pour cela qu'on ne peut aluner la soie décreusée à chaud, et qu'elle perd même son lustre lorsqu'on la teint en brun, couleur qui réclame l'emploi d'un bain d'eau bouillante. Pour prévenir cet accident, il faut, lorsque les soies doivent plus tard être teintes, employer d'autant moins de savon pour le décreusage que la teinte qu'elles doivent recevoir sera plus foncée.

Selon M. Roard, il faut employer 8 litres d'eau et la quantité correspondante de savon pour décreuser complétement 1 kilogr. de soie. Les soies écrues dans lesquelles le vernis qui les recouvre a déjà éprouvé quelque altération, n'acquièrent jamais une blancheur complète que par l'action de l'acide sulfureux; l'exposition sur le pré donne aussi de bons résultats, et l'on dit que les Chinois emploient ces procédés avec avantage.

On a essayé de remplacer le savon par le carbonate de soude qui agit, il est vrai, plus activement, mais ne produit jamais un blanc aussi parfait. On a aussi essayé de blanchir la soie à la vapeur, et on a pris à ce sujet, en Angleterre, un brevet dont nous rendrons compte à l'article SOIE.

Il paraît que les Chinois n'emploient pas de savon pour obtenir ces belles soies blanches qui sont importées en Europe. Michel de Grubbens, qui a résidé longtemps à Canton, a vu et pratiqué lui-même leur méthode, dont il a publié la description dans les Mémoires de l'Académie de Stockholm pour 1803: elle consiste à décreuser la soie dans un bain composé de :

25 parties d'eau de source;
6 parties de farines de blé;
5 parties de sel marin;
5 parties d'une espèce particulière de fèves blanches, plus petites encore que les fèves turques, et préalablement lavées.

Baumé a indiqué un procédé qui consiste à faire macérer pendant 48 heures la soie écrue dans un mélange d'alcool à 36° B. (ayant une densité de 0,837), et 1/32 d'acide hydrochlorique pur; au bout de ce temps elle est aussi blanche que possible, et possède un éclat et un moelleux remarquables. La perte en poids dans cette opération n'est que de 1/40, ce qui prouve que la matière colorante seule a été attaquée et dissoute. Ce procédé paraît n'être pas passé dans la pratique en grand à cause de la dépense qu'il occasionne; on pourrait retrouver une partie de l'alcool en saturant dans l'eau mère l'acide hydrochlorique avec de la craie, et soumettant ensuite à la distillation.

Si nous voulons ramener le blanchiment des soies aux principes généraux que nous avons admis au commencement de cet article, nous résumerons ici en quelques mots les opérations que nous venons de rappeler, en séparant le dégraissage et la décoloration proprement dite.

Les étoffes qu'il s'agit de blanchir ont été déjà soumises à l'opération du décreusage, ou bien elles sont écrues. Il faut, par conséquent, plus de travail dans le second cas que dans le premier.

Lorsqu'il s'agit de blanchir des soies déjà décreusées, il suffit d'immerger les tissus dans une eau courante, puis de les laver dans une lessive formée de 60 grammes de savon, et 500 grammes de son par pièce de 40 mètres environ : le son, par son acide, affaiblit l'action de l'alcali du savon, et détruit moins la soie; en sortant de ce bain, les pièces sont dégorgées à 40 degrés, lavées à l'eau froide, puis nettoyées dans les roues à laver. Dans le second cas, les opérations sont distinctes.

1° *Dégraissage.* — On immerge les pièces, après les avoir introduites dans un sac, dans une chaudière remplie d'une eau tenant en dissolution 250 grammes de savon pour 1 kilogr. de soie. Après avoir chauffé graduellement et maintenu l'ébullition pendant deux ou trois heures, on nettoie à l'eau courante. L'étoffe bien rincée reçoit un second bain semblable au premier; on la dégorge de nouveau dans la roue à laver. Lorsque le dégorgeage est complet, on termine par un passage dans l'eau contenant 15 grammes de carbonate de soude cristallisé pour chaque pièce de 40 mètres. La pièce est alors dégorgée, rincée et passée dans un bain d'acide sulfurique qui ne marque pas à l'aréomètre. On termine enfin par un dernier lavage à l'eau chaude, suivie d'un battage à l'eau courante après rinçage.

2° *Décoloration.* — Les tissus de soie blanchis de la sorte sont d'un blanc assez vif pour recevoir toutes les colorations foncées; mais quand ils sont destinés à recevoir des nuances très-légères, il convient de les exposer à l'action d'un léger soufrage. C'est là que l'emploi de l'acide sulfureux liquide est parfaitement approprié; il faut dans tous les cas, agir avec la plus grande circonspection pour ne pas altérer le tissu.

Au reste, pour les soies, les opérations du blanchiment et de la teinture s'exécutent généralement sur des fils ou des écheveaux qu'on livre ensuite aux tisserands. Le travail du blanchiment a souvent pour but de dégraisser et de décolorer entièrement la fibre; dans d'autres cas, au contraire, on veut seulement assouplir le fil; on nomme soies assouplies celles qui n'ont subi que l'action prolongée pendant une heure environ de l'eau chaude à 80 ou 90 degrés centigrades; on conserve ainsi tout le poids que la soie possède, tandis que par le décreusage ordinaire il diminue d'environ 25 p. 100. Mais le volume augmente par une sorte de gonflement de la matière fibreuse; ces soies sont réservées pour les parties non apparentes des tissus; on sait, par exemple, que dans les satins dont la chaîne est brillante, la trame est presque toujours en fil simplement assoupli. Quand la couleur le comporte, le blanchiment du fil est suivi d'un engallage; quand on engalle les soies assouplies on trouve forcément une augmentation de poids. Nous signalerons toutefois une variété de soie de Chine qui perd par l'eau seule de 15 à 20 p. 100; l'engallage ne fait donc que diminuer cette perte de poids.

Quelques observations sur le décreusage des soies peuvent trouver leur place ici : lorsque les soies ont été dévidées dans des eaux calcaires ou chargées de sels inorganiques, ces sels peuvent se fixer sur la fibre et conduire à des accidents dans les opérations subséquentes auxquelles on soumet les soies, ou pour les cuire ou pour les teindre. L'expérience prouve en effet que lorsque la soie mouillée laisse plus de 1 gramme

de cendres p. 100, cette soie prend un aspect terne au décreusage et qu'elle reçoit mal la teinture.

Si l'on soupçonne avoir à traiter une soie de cette espèce, il faut commencer par la laver avant de la décreuser par un lavage à l'eau légèrement aciduléo d'acide chlorhydrique, puis avec une faible dissolution alcaline. On enlève de la sorte les oxydes inorganiques qui, pendant le décreusage au savon, formeraient des savons insolubles et pénètreraient dans les fibres en leur enlevant leur éclat soyeux.

On connaît à Lyon, sous le nom de soie Tussah, une soie d'une espèce particulière, qui n'est importée que depuis 1846 et qui nous vient par voie d'Angleterre; elle est réservée pour des usages spéciaux à cause de sa résistance; elle est d'un prix plus bas que celui des soies les plus communes.

M. Guinon, de Lyon, a fait connaître en 1849 l'emploi des alcalis caustiques pour décreuser et décolorer cette soie. On plonge la soie qu'on agite pour que l'action soit uniforme dans une solution alcaline de soude caustique à 100 degrés centigrades et marquant 3 degrés à l'aréomètre. Pendant cette première opération, la matière colorante se dissout immédiatement, la soie cède environ 0,12 de son poids, sa rudesse disparaît; elle devient souple en même temps qu'elle acquiert du brillant et l'éclat soyeux. Cette immersion ne doit pas se prolonger au delà d'un quart d'heure, autrement on risquerait de voir la soie s'altérer profondément par l'action de la soude dont l'énergie est augmentée par la température à laquelle on opère. Au sortir de ce bain, on lave à l'eau et on passe en acide sulfureux; on lave, on blanchit encore en acide sulfureux, puis on lave une dernière fois. Il est évident que ces répétitions ne sont nécessaires que pour la teinture en nuances claires.

La soie n'a rien perdu de ses qualités; son affinité pour les matières colorantes n'a pas augmenté, mais en acquérant la souplesse, le brillant et l'éclat des soies ordinaires, elle est devenue propre à recevoir la teinture. On peut lui appliquer toute couleur, excepté cependant les couleurs tendres, telles que blanc, rose, bleu de ciel, paille et gris fin.

M. Petzi à Lyon donne, pour opérer le décreusage de la soie Tussah, les recettes suivantes :

On la soumet à trois reprises pendant 3 à 6 heures à l'action d'un bain formé de :

Carbonate de soude. . . .	11 kilog.
Potasse du commerce. . .	1
Potasse caustique.	51
Eau choisie.	315

après ces trois traitements, on agite la soie pendant 45 minutes dans un quatrième bain renfermant :

Potasse du commerce	11
Chlorure de chaux.	2
Eau.	315

après cette opération la soie est lavée dans de l'eau froide et immergée pendant dix minutes dans un bain composé d'acide chlorhydrique, 22 parties, et 315 litres d'eau. Pour ajouter à l'éclat, on la passe enfin dans un bain d'acide nitrique très-étendu d'eau, on rince et on passe entre des cylindres pour allonger les fibres.

Lorsqu'on fait usage d'acide sulfureux gazeux pour blanchir les soies, on doit, pour éviter l'altération des fibres, mettre dans les chambres un excès de soufre, et protéger les écheveaux suspendus sur des tringles de bois enveloppées de toile. Au sortir du soufroir, les écheveaux sont placés dans des draps de toile simplement humectés, et transportés dans une autre chambre où la marchandise est abandonnée à elle-même pendant 12 heures. L'action de l'acide sulfureux se prolonge lentement, et s'il se forme de l'acide sulfurique, il agit sur les enveloppes qui sont promptement corrodées. J'ai vu prendre à Lyon ces précautions indispensables pour conserver aux fils leur brillant et leur solidité; on les rince après le soufrage.

Nous n'aurons rien à dire de l'opération qu'on nomme séchage; on la pratique sur les pièces teintes par immersion dans un bain de teinture soit sans impression, soit après impression. Nous aurons donc à décrire les méthodes dont on fait usage, en traitant des opérations de la teinture proprement dite. (Voy. TEINTURE.)

SALVETAT.

BLANCHISSAGE. — On donne le nom de blanchissage à l'opération bien voisine du blanchiment au moyen de laquelle on enlève aux linges salis dans les usages domestiques, les matières étrangères déposées par leur emploi.

Généralement les impuretés consistent en matières grasses, en substances colorées non fixées par les phénomènes de teintures, simplement retenues par l'évaporation des matières liquides qui les tenaient dissoutes. Le blanchissage est une opération ménagère ou bien il prend le caractère d'une grande industrie lorsqu'il s'applique aux buanderies ou au blanchissage du linge des hôpitaux ou grands établissements, tels que restaurants, hôtels, etc., etc.

Théoriquement, le blanchissage est le blanchiment sauf la période de décoloration.

Pour les opérations ménagères, le savonnage peut être suffisant : on supprime le lessivage, surtout pour les tissus qui ont été très-peu encrassés par l'usage; on se contente d'examiner le linge trempé et savonné et on traite par des réactifs spéciaux les taches particulières qu'il faut faire disparaître.

L'acide oxalique fait disparaître les taches d'encre, le cyanure de potassium enlève les taches d'argent et celles d'or. L'eau de Javel décolore la plupart des matières colorées provenant des fruits ou des boissons.

Ces procédés particuliers et minutieux ne peuvent être appliqués à l'opération en grand du blanchissage des linges des hôpitaux; ils sont remplacés par le lessivage dans des appareils de forme et de grandeur variables avec l'importance de l'opération à faire.

La théorie de ces appareils a été présentée plus haut, la méthode pratique se confond avec celle du blanchiment. Il y a toutefois de légères modifications qui feront l'objet des observations consignées dans cet article. On distingue dans le blanchissage neuf opérations principales :

1° Le *triage*, opération qui a pour but de distribuer le linge à blanchir en plusieurs tas, suivant son degré de finesse et de saleté;

2° Le *trempage*, ou première imbibition d'eau froide que l'on fait ordinairement subir au linge dans des baquets;

3° L'*essangeage*, ou lavage du linge aussi dans l'eau froide, pour enlever le plus gros de la malpropreté. Cette opération, faite presque toujours d'une manière brutale au moyen de battes en bois, est souvent nuisible au linge;

4° Le *coulage*, qui consiste à faire passer à travers le linge une dissolution alcaline de soude ou de potasse; les cendres de bois servent aussi à cet usage. Cette dissolution doit être presque à l'état d'ébullition pour que son effet soit complet. C'est là l'opération capitale du blanchissage;

5° Le *savonnage*, dont le but est d'enlever complétement les taches qui auraient résisté aux opérations précédentes;

6° Le *rinçage*, complément du savonnage pour enlever l'eau de savon;

7° L'*égouttage*, dont le nom indique assez l'objet;

8° Le *séchage*, qui doit compléter l'évaporation de l'eau contenue dans le linge;

BLANCHISSAGE.

9° Enfin le *pliage* et le *repassage*, auquel se rattache le raccommodage des accrocs faits au linge.

La plus importante de ces opérations est la quatrième; nous allons décrire en détail les appareils destinés à la faire. Les autres, sauf la huitième, étant faites manuellement, par suite de leur nature même, on ne peut rendre le travail le plus productif possible que par une bonne disposition des appareils, et en les faisant se succéder dans l'ordre des opérations afin d'éviter tout transport inutile.

Quant à l'opération du séchage, elle se fait soit à l'air libre, soit au moyen du SÉCHOIR (voir ce mot).

Le lessivage se fait au moyen de plusieurs méthodes; la plus ancienne est connue sous le nom de *coulage*.

Le coulage des lessives, tel qu'il est fait ordinairement, présente de graves inconvénients : dans ce système, on fait chauffer la lessive dans une chaudière en fonte, en tôle ou en cuivre, placée dans un massif de maçonnerie au-dessus d'un foyer alimenté par du bois ou du charbon; un robinet adapté à la partie inférieure de la chaudière sert à faire couler la lessive, arrivée à l'état d'ébullition, dans des seaux que l'on vide ensuite dans le cuvier où se trouve le linge déjà trempé. Ce cuvier, tout à fait indépendant de la chaudière, placé à un niveau supérieur, est recouvert d'une toile grossière ou *charrier* sur laquelle on place de la cendre de bois.

L'eau chaude, versée sur la cendre, s'empare peu à peu des sels solubles que celle-ci renferme et forme une dissolution alcaline qu'on nomme *lessive*, et qui n'agit comme moyen de blanchiment, que par le carbonate de potasse qu'elle contient. On forme souvent et avec avantage la lessive, en mettant avec l'eau dans la chaudière une quantité déterminée de sel de soude ou de potasse pour donner à l'eau le même degré alcalimétrique. La lessive filtre à travers la toile et tombe sur le linge, qu'elle traverse avant d'arriver au fond du cuvier. Un robinet placé en bas du cuvier lui donne issue sur un conduit en bois ou en tôle qui la verse dans la chaudière, où elle entre de nouveau en ébullition pour être reversée ensuite dans le cuvier. Quelquefois la chaudière n'est pas même munie d'un robinet, et il faut puiser la lessive à la main.

Ce système grossier présente les inconvénients suivants :

La vapeur qui se dégage de la lessive pendant le transvasement emplit la pièce destinée à ce service, obscurcit l'air, se condense sur les plafonds et sur les murs, qu'elle détériore, et occasionne une perte de chaleur, et par suite de combustible, qui devient considérable quand on opère sur une grande échelle.

Le transport et le transvasement rendent le service pénible, occupent des bras, sont l'occasion d'un écoulement d'eau qui salit le sol; nouvelle perte de chaleur.

Ensuite, quelque soin qu'apportent à leur besogne les hommes chargés du transvasement, ils versent la lessive dans le cuvier à des températures inégales, et trop souvent ils sont victimes d'accidents contre lesquels la prudence ne les défend pas toujours.

Enfin un coulage fait par ce procédé n'exige guère moins de dix à douze heures de travail.

On a donc cherché, par des procédés perfectionnés, à faire disparaître ces inconvénients; l'expérience acquise par les industriels qui s'occupent du blanchiment des tissus de lin et de coton a puissamment contribué, depuis près de vingt ans, aux progrès de la blanchisserie. Cette industrie qui, de prime abord, semble sans importance représentait il y a déjà plusieurs années un chiffre de 1 milliard 700 millions de francs (Péclet, *Traité de la chaleur*, 4re édition).

Aujourd'hui, nous pouvons rapporter à six types différents les appareils auxquels on a recours dans l'industrie pour opérer le blanchissage. Ces notions compléteront l'article blanchiment qui précède celui-ci.

On procède donc :

1° *Par coulage ordinaire.*

2° *Par affusions opérées par pression de vapeur.*

3° *Par circulation continue de la lessive.*

4° *Par vapeur.*

5° *Par l'eau de savon avec macération sans coulage.*

6° *Par affusion à des températures graduées, soit par coulage perfectionné.*

Nous avons déjà décrit les appareils au moyen desquels ces opérations se réalisent. Nous classerons ici les modifications dont nous avons déjà déterminé le but et l'influence.

1° Le lessivage ordinaire, même perfectionné, se fait ainsi qu'il a été dit plus haut.

2° Le lessivage par affusions produites par la pression de la vapeur trouve une application efficace au moyen des appareils Vidmer, Bardel, Descroizilles, Laurie, perfectionné successivement par Duvoir (1837), Guxon (1846), Gay (1848)

La forme la plus pratique semble avoir été celle de René Duvoir, qui fait disparaître la plus grande partie des obstacles au travail du blanchissage.

La fig. 254 présente une coupe longitudinale d'un appareil à lessiver établi par M. Duvoir, ainsi que de la chaudière qui l'alimente; elle est disposée de manière à montrer le mode de circulation de la lessive.

Les buanderies ordinaires renferment généralement deux de ces appareils placés l'un près de l'autre et alimentés par la même chaudière.

A est une chaudière cylindrique en cuivre dont le couvercle est maintenu exactement fermé au moyen d'une vis de pression; sur ce couvercle est disposée une soupape à flotteur, qui ne s'ouvre que quand le niveau du liquide est descendu à une certaine limite.

B est un cuvier dont les douves en bois de chêne épais sont maintenues par des cercles de fer. A une petite distance du fond de ce cuvier se trouve une grille en bois supportée par des morceaux de bois découpés en arcade, afin de ménager à la lessive un espace libre où elle puisse se réunir. C'est sur cette grille qu'on entasse le linge sale après le trempage. Un couvercle en cuivre C est attaché à une corde qui passe sur des poulies fixées au plafond, et vient s'enrouler sur l'arbre d'un treuil qui sert à élever ou à descendre le couvercle.

aa et *bb* sont les tuyaux de circulation de la lessive, le premier *aa*, traverse le fond du cuvier, s'élève au centre jusqu'à la partie supérieure, et se termine par un champignon *c*, qui projette le liquide chaud dans toutes les directions. Le second tuyau *b s*, ramène la lessive dans la chaudière. Dans ce tuyau, on a placé une petite soupape *d*, qui ne s'ouvre que quand une assez grande quantité de liquide s'est réunie au fond du cuvier. E est un espace vide, de dimensions suffisantes, ménagé dans la maçonnerie, pour la pose des tuyaux et les réparations.

F est le fourneau en briques. La construction de son foyer et des carneaux est appropriée à la nature du combustible qu'on doit brûler sur la grille. Les produits de la combustion circulent deux fois autour de la chaudière, et se rendent dans la cheminée T.

Voici quelle est la marche des opérations dans cet appareil. On met le sel de soude ou de potasse au fond du cuvier, et on y verse de l'eau jusqu'à ce que la chaudière soit remplie, et que le niveau du liquide soit arrivé à la hauteur de la grille supportant le linge. On place le linge d'une manière régulière sur la grille en bois sans trop le tasser, et on abaisse le couvercle du cuvier. On fait du feu dans le foyer et on porte le liquide à l'ébullition. La pression de la vapeur fait

BLANCHISSAGE.

monter la lessive dans le tuyau *aa* et la projette contre le champignon c, qui la répartit uniformément sur toute la surface du linge. La lessive traverse toute la masse et se réunit à la partie inférieure du cuvier; le niveau du liquide s'abaisse dans la chaudière A et ouvre la soupape *s*, en même temps que la pression du liquide sur le fond ouvre la soupape *d*; alors la lessive revient à la chaudière pour se chauffer de nouveau et retourner dans le cuvier. Cette circulation de la lessive bouillante s'effectue d'elle-même, et produit un lessivage prompt et parfait de toute la masse du linge.

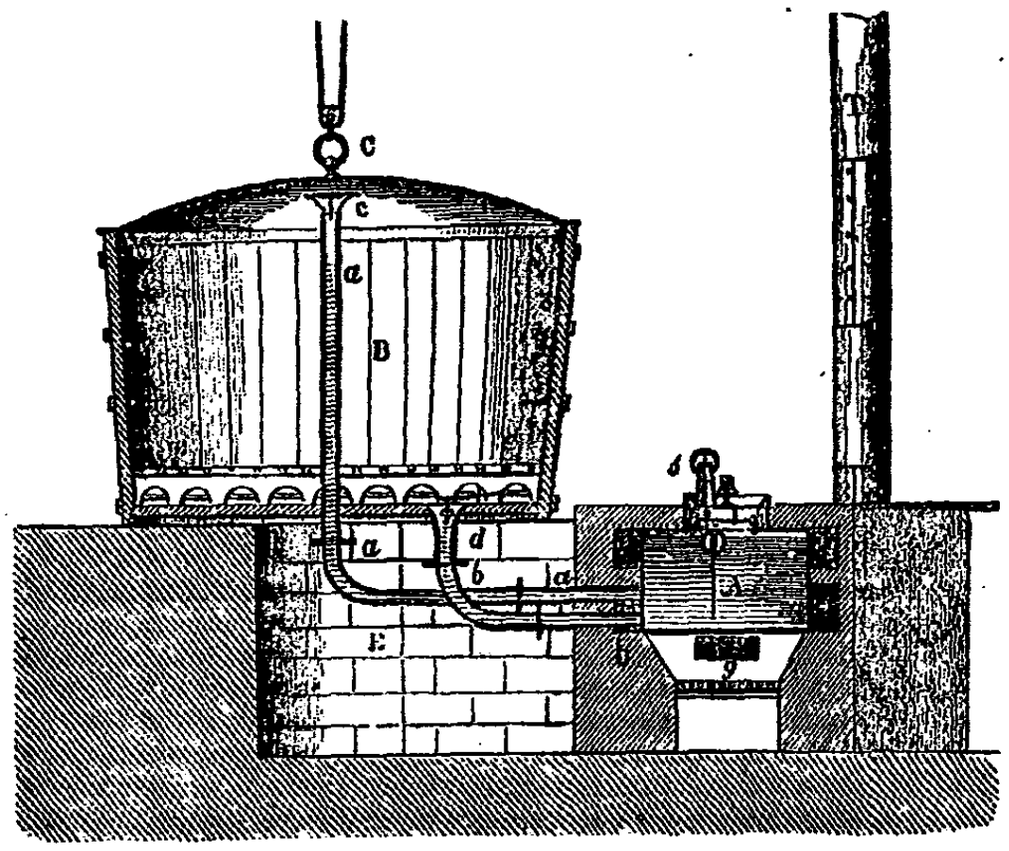


Fig 254.

Dans ce système, on le voit, les inconvénients que nous avons signalés n'existent plus. Une fois le linge placé dans le cuvier, on ferme le couvercle. Il n'y a plus qu'à faire du feu; la lessive se verse d'elle-même sur le linge aussitôt qu'elle a acquis la température nécessaire, et retourne ensuite à la chaudière. Cette circulation, ainsi rendue intermittente, empêche l'écoulement de s'établir par une seule voie, ainsi qu'il arrive presque toujours avec les appareils à jet continu. La personne qui était occupée au coulage devient inutile, puisqu'il suffit seulement d'alimenter le foyer de temps en temps. Ce coulage, fait dans des vases clos qui conservent toute la chaleur du liquide, n'exige que de quatre à six heures pour un cuvier de 2 mètres de diamètre.

Il résulte de l'emploi de ce système de l'économie sur la main-d'œuvre, sur le combustible, et, comme le linge, mieux chauffé, s'y nettoie beaucoup plus facilement, il en résulte encore de l'économie sur le savon employé et sur le temps des laveuses.

Après des expériences comparatives avec d'autres systèmes, il a été adopté par les hôpitaux civils et militaires de Paris; l'emploi journalier auquel il a été soumis a permis de constater qu'il remplit toutes les conditions désirables.

Voici sur cet appareil l'opinion de M. Payen, rapporteur du jury central de l'Exposition de 1839:

« L'ingénieux appareil de lessivage de M. René Duvoir, récemment amélioré, facilite le chargement et le déchargement alternatifs de deux cuviers servis par une seule chaudière.

« Une disposition convenable opère, avec l'échauffement graduel des lessives, des aspersions et des circulations intermittentes qui excluent les inconvénients des fausses voies de filtrage.

« Le système de lessivage de M. Duvoir est employé avec succès dans plusieurs établissements publics et blanchisseries particulières. »

Cet appareil a l'inconvénient de verser sur le linge sale de la lessive trop chaude.

3° Le lessivage par circulation continue se fait au moyen des appareils Schopper et Hartmann, Darcet, Descroizille père, Chevalier. Il faut beaucoup de soins et de précautions pour les faire marcher régulièrement. Dépense de lessive, de combustible et de temps.

4° Le lessivage à la vapeur, préconisé par Chaptal, Cadet Devaux, Curaudeau, Charles est très-simple, mais comme le linge est macéré dans une lessive alcaline, il reçoit l'action de la vapeur et se trouve corrodé. On a dû l'abandonner dans l'hôpital Saint-Louis. Ce système a disparu avec les hommes instruits qui, séduits par la théorie, en avaient préconisé l'emploi. Les avantages que cette méthode promettait n'ont été obtenus que lorsqu'on alternait les affusions d'eau froide et de vapeur sur le linge à blanchir; il en résultait une perte notable d'alcalis et de combustible, compensant mal les avantages que j'ai déjà mentionnés.

5° Si la vapeur tend à détruire le tissu, ce qui n'est pas contesté, la lessive chauffée à des températures inférieures à 100 dégrés sans coulage, est-elle capable de blanchir? Quelques praticiens l'ont pensé. Le système Sol, le système La Meilleraye étaient basés sur cette idée. Une roue à laver dans un cas, une caisse carrée dans l'autre, à l'intérieur desquelles la lessive était chauffée par un courant de vapeur produite dans une chaudière voisine, tels étaient les appareils dans lesquels on n'avait pas à craindre une surélévation de température. L'expérience a démontré que ces méthodes étaient insuffisantes. Cette sorte de houillage ne conduit pas au lessivage effectif; il n'y a pas blanchissage dans l'acception propre du mot.

6° En matière d'industrie des changements, en apparence de peu d'importance, conduisent à de grands résultats. Cette observation est on ne peut plus fondée dans le cas qui nous occupe. Combiner dans un même système des affusions successives à des températures graduées, tel était le problème à résoudre.

Le succès des appareils Bouillon, Muller et C° donne raison aux idées théorique que je viens de résumer · Économie, rapidité, blanchissage complet, tout se trouve réuni dans ce système, qu'on peut regarder comme une combinaison heureuse de la pompe, de l'affusion spontanée et de la vapeur; mais avant de décrire ces appareils, faisons connaître quelques résultats statistiques qui doivent mettre en lumière l'efficacité du système.

Depuis 1851, les appareils et les cuviers de l'hospice de la Salpêtrière se trouvaient dans un tel état de détérioration qu'il devint nécessaire de les reconstruire. Le système Bouillon, Muller et compagnie fut

adopté; nous extrayons les chiffres qui suivent d'un rapport fait au directeur de l'assistance publique de Paris sur la Buanderie générale, au sujet de ses productions pendant l'année 1854. Les six cuviers peuvent contenir 800 kilos de linge sec pouvant être essangés, lessivés, lavés, séchés et pliés dans la même journée; ils sont faits pour être remis en service dès le lendemain matin; le lessivage qui s'effectue dans les cuviers d'une contenance de 800 kilos dure quatre heures; on a donc dans ce même espace de temps dans 6 cuviers 4,800 de linge lessivé prêt à être lavé. Les flammes et les chaleurs perdues circulent autour de réservoirs en tôle qui donnent sans augmentation de dépense et par jour 14,000 litres d'eau à 50 ou 60°, température nécessaire pour faire de bons savonnages.

Le relevé du linge blanchi pendant 1854 porte en moyenne 8,782 pièces par jour, pesant 5,462 kil.; les 1,993,907 kil. de linge blanchis pendant l'année ont coûté ensemble, tous frais généraux compris, 130,625 francs; ce blanchissage confié à l'industrie privée aurait coûté 321,541 francs : c'est donc une économie de 190,916 francs.

A cette économie, il faut ajouter celle qui résulte du ménagement du linge et qui ne peut se traduire directement par des chiffres. Les appareils fonctionnent avec une telle régularité que les lessives ne dépassent jamais 1 degré 5 ou 2 degrés de l'aréomètre de Baumé.

Ceci posé, faisons connaître les procédés rationnels employés par MM. Bouillon, Muller et compagnie, dans les installations qu'ils ont eu l'occasion de faire pour l'industrie privée.

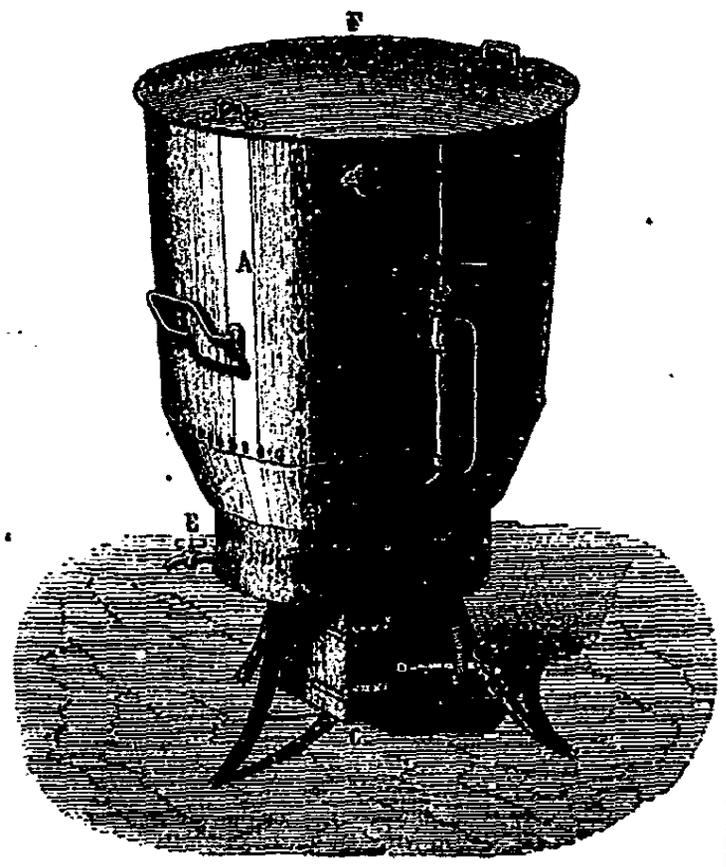


Fig. 255.

Lorsqu'on ne doit opérer que sur des masses inférieures à 300 kilog., on peut faire usage de lessiveuses économiques, mobiles; ces appareils agissent par l'emploi simultané des affusions et de la vapeur; elles produisent une notable économie sur la dépense ordinaire et sur l'usure du linge; elles opèrent en 3 ou 4 heures, suivant leurs dimensions; le linge acquiert une blancheur convenable, et le chauffage se fait au bois, au charbon de terre ou au coke. On peut indistinctement employer le sel de soude, les cristaux ou la cendre;

on peut faire varier la force de la lessive et la température à laquelle on la fait agir. Elles sont montées sur des fourneaux portatifs, et les applications qui sont faites chaque jour prouvent la généralité de leur emploi. Les unes comportent une pompe d'un système très-simple; dans les autres, la pompe est remplacée par un robinet de vidange d'où s'écoule la lessive qu'on verse sur le linge, au moyen d'un seau spécial, par un entonnoir ménagé dans le couvercle; les unes sont en tôle galvanisée, avec foyer en fonte et pompe; les autres sont en fonte et bois; leurs formes sont représentées dans les figures 255 et 256.

Un appareil, de la forme de celui représenté fig. 255, de 1m,40 de hauteur, et de 1m,03 de diamètre, à la place des couvercles, peut contenir 425 kilog. de linge; il coûte 300 francs en tôle galvanisée.

A est le cuvier, B la chaudière, C le foyer, D la pompe, E un robinet de vidange, F le couvercle, S une tige pour guider le piston, *p* un tuyau par lequel s'écoule la lessive. L'épanchement du liquide se fait sur la surface du linge par l'intérieur où le tuyau se recourbe et se termine par une pomme d'arrosoir.

Un appareil de la forme de celui représenté fig. 256, garni de sa pompe, contenant 425 kilog. de linge, ayant 1m,30 de hauteur sur 1m,14 de diamètre au couvercle, vaudrait 340 francs.

Les mêmes lettres que dans la figure précédente indiquent les mêmes objets: G est un entonnoir dont le couvercle est muni dans le cas où l'appareil n'a pas de pompe.

En résumant la marche de ces appareils, on voit que le linge n'est soumis à l'action de la lessive à 100 degrés qu'après avoir été successivement immergé

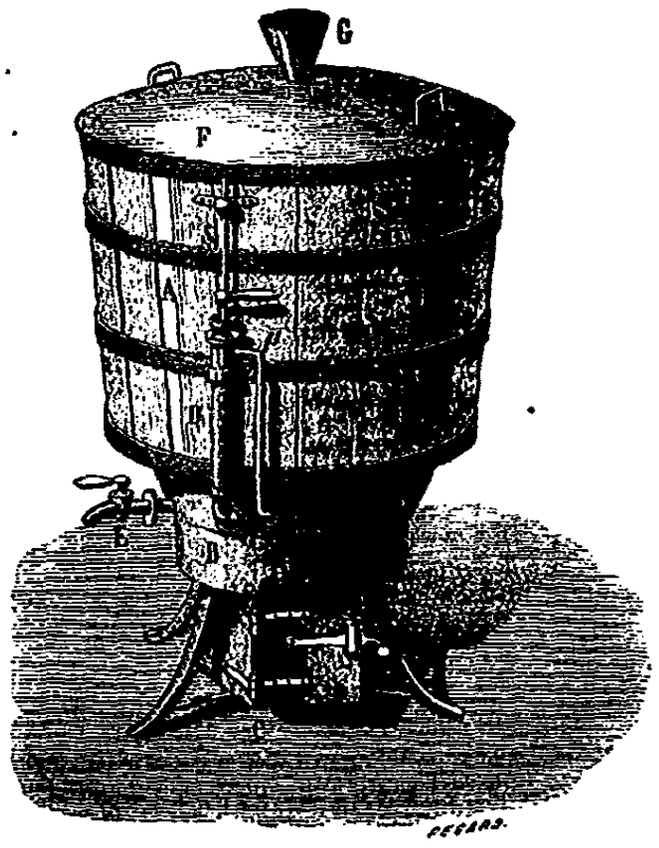


Fig. 256

dans de la lessive d'abord à une température peu élevée, puis à des températures de plus en plus croissantes; la vapeur agit pour élever la température du linge à 100°, et maintenir cette température, mais sans qu'on ait à craindre les inconvénients de surchauffage. On réalise ensuite les avantages d'un coulage perfectionné. Le jeu de la pompe, assujettissant sans doute, n'est nécessaire que pendant la première heure; l'opération dure de 3 à 4 heures.

L'expérience a prononcé favorablement. Ainsi se

résument l'ensemble des documents officiels, documents très-nombreux que j'ai consultés sur l'emploi de ces appareils dans les hôpitaux civils et militaires, les hospices, les lavoirs et les buanderies particulières qui l'ont adopté.

MM. Bouillon, Muller et compagnie ont joint à leur installation propre aux blanchisseries des aides-laveuses, qui sont des auxiliaires des plus utiles. Elles servent à dégrossir, dans le savonnage, les parties les plus sales et les moins adhérentes; l'ouvrière n'a plus qu'à faire la recherche des taches et le travail intellectuel. On peut évaluer à moitié l'économie qu'elle produit dans cette seule opération. L'aide-laveuse peut servir à faire l'essangeage de linge sans savon, et le rinçage après le savonnage. Elle est indistinctement mue mécaniquement ou à bras par une action rotative ou directe; elle fait office de bac à savonner et donne place à deux ouvrières qui, après avoir utilisé l'action de la machine, peuvent visiter le linge et compléter son lavage sans aucun déplacement.

Une petite chaudière à circulation qui s'adapte à l'aide-laveuse sert à chauffer économiquement l'eau de savonnage et à la maintenir toujours à la température voulue. Le chauffage peut ainsi se faire au moyen de la vapeur ou d'une circulation d'eau. L'aide-laveuse est représentée dans la fig. 257.

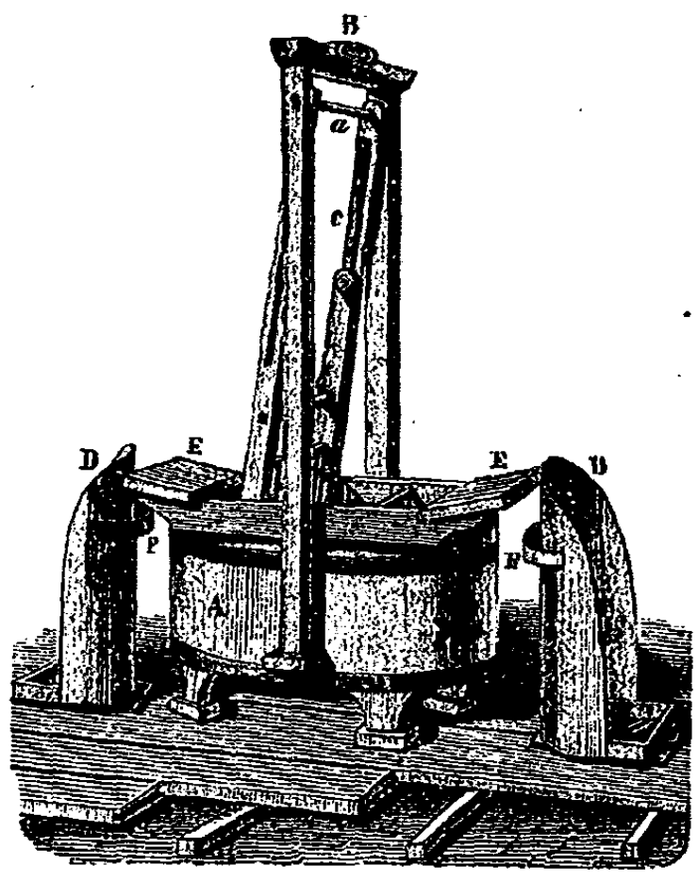


Fig. 257.

Une caisse ou bac en bois A reçoit le linge à blanchir. Un bâti B fixé sur les joues du bac permet au râteau C d'osciller autour d'un axe horizontal *a*, lorsqu'on lui donne un mouvement de va-et-vient, au moyen d'un bâton transversal *b*. Deux blanchisseuses peuvent être placées en regard l'une de l'autre dans des stalles D qui les protégent contre l'humidité, et vis-à-vis les plans inclinés E, destinés à ramener dans le bac l'eau qui s'échappe sous les coups de battoir. Le dessin laisse voir les claies verticales contre lesquelles le linge est comprimé par le râteau C.

Une aide-laveuse à bras, à mouvement direct, pouvant fournir 300 kilog. de linge par jour vaut 300 fr.; une aide-laveuse à mouvement rotatif, propre au lavage de 375 kilog. par jour, se vend 400 fr.; une aide-laveuse, propre à 400 kilog., munie de son appareil de chauffage, ne coûte que 600 fr. Les divers mécanismes que nous venons de faire connaître sont actuellement très-répandus. MM. Bouillon, Muller et compagnie qui se sont fait une spécialité très-importante, ont su rendre à l'hygiène publique un très-grand service; ils ont combattu l'expansion considérable des vapeurs qui dégradent les murs et fatiguent les gens de service, l'écoulement de l'eau sur le sol, le transvasement pénible de la lessive à des températures inégales.

Les linges blanchis, c'est-à-dire lavés, sont placés pour égoutter, ou sur des bancs fixes, ou sur des tricycles, ou sur des bancs roulants, ou bien encore sur des bâches roulantes, dont le transport est facile, sans trop grande fatigue. Les hydro-extracteurs ou essoreuses que ces ingénieurs installent avec une grande économie reposent sur le principe de la force centrifuge; on supprime ainsi la torsion qu'on fait subir au linge pour l'égoutter. Une essoreuse à bras pour femmes peut essorer par jour de 200 à 400 kilog. de linge égoutté; une essoreuse à bras, mue par des hommes, peut essorer de 1,000 à 1,400 kilog. par jour. Avec un moteur mécanique, on arrive à 1,600 kilog. par jour. Une machine de cette dernière force vaut 700 fr. d'acquisition.

Dans les ménages, les séchoirs spéciaux sont installés par MM. Bouillon, Muller et C^e^; ils consistent en caisses en fer, garnies de murs de briques, ayant latéralement d'un côté quatre ou six ouvertures fermées par des portes, qui ont toute la hauteur du séchoir; l'air est chauffé par un foyer placé à la partie inférieure; la vapeur d'eau s'échappe par une ouverture inférieure communiquant avec un tuyau d'appel. Les portes, qu'on n'ouvre que pour passer les linges à sécher, ne laissent échapper que la quantité d'air chaud correspondant à leur largeur; elles sont aussi étroites que possible. A chacune de ces portes, à la partie supérieure, correspond une tringle dans laquelle est passée une autre tringle creuse qui glisse et porte à l'intérieur de l'étuve le linge qui s'y trouve étendu. On les charge successivement l'une après l'autre.

MM. Bouillon, Muller et compagnie ont complété leurs appareils en installant d'une manière très-heureuse de petites machines pour cylindrer, calandrer et satiner le linge. Les cylindres en bois, à pression, servent à étirer, lisser et lustrer le petit linge uni; ceux en métal chauffés servent au repassage du menu linge. Les machines à calandrer donnent le lustre du neuf; les presses à satiner forment les plis après l'apprêt.

Il est inutile de s'appesantir sur ces diverses opérations qui ont la plus grande analogie avec celles que nous avons étudiées déjà relativement au blanchiment. Nous terminerons en appelant l'attention du lecteur sur les avantages qui peuvent résulter dans les petits ménages du chauffage au moyen du gaz d'éclairage.

On établit à bon compte aujourd'hui pour les usages domestiques des appareils chauffés au gaz faciles à régler et à mettre en feu pour chauffer les fers à repasser, à tuyauter, etc., etc. Dans les ateliers de repassage ces appareils, dont on se représente très-facilement la disposition, remplacent avantageusement les poêles en brique ou en fonte autrefois en usage.

SALVETAT.

BLENDE. — Sulfure de zinc naturel, genre de minerai de zinc qui se rencontre le plus fréquemment et qui est très-employé, depuis quelques années, pour la préparation de ce métal, les gisements de calamine, plus faciles à traiter, tendant à s'épuiser. Voy. ZINC.

BLÉ, pour la nomenclature des diverses espèces de blé, voyez AGRICULTURE, et pour les fabrications qui

ont pour objet les céréales, voy. MOULIN, AMIDON, PAIN.

BLEU D'AZUR, verre bleu de Cobalt. Voy. COBALT.

BLEU DE MONTAGNE. — Carbonate tribasique de cuivre hydraté que l'on rencontre dans la nature sous forme de beaux cristaux bleus. Cette substance réduite en poudre est dite *cendre bleue naturelle*, et est employée dans l'impression des papiers peints. Elle est habituellement remplacée par la cendre bleue artificielle qui est un mélange de chaux et d'oxyde de cuivre hydraté. On est parvenu, paraît-il, à préparer en Angleterre un produit qui a la même composition que le bleu de montagne et qui est, comme ce dernier, bien plus stable que les cendres bleues ordinaires du commerce. Voy. CENDRES BLEUES.

BLEU THÉNARD, préparé par le chimiste dont il porte le nom en calcinant le phosphate de l'arséniate de Cobalt avec l'alumine en gelée. D'un admirable éclat, cette couleur noircit sous l'influence de la lumière.

BLEU DE PRUSSE (*angl.* prussian-blue, *all.* berliner blau), et PRUSSIATE DE POTASSE (*angl.* prussiate of potash, *all.* blutlaugensalz). La liaison intime qui existe entre ces deux importants produits manufacturiers, nous engage à les réunir ici.

Le *prussiate jaune de potasse* se produit toutes les fois que l'on chauffe au rouge un mélange de matières organiques azotées, de potasse et de fer. Ainsi en chauffant au rouge dans une chaudière en fonte ou en fer du sang desséché, de la corne, des poils, des rognures de peau, ou d'autres matières d'une nature analogue, avec de la potasse, on obtient une masse gris foncé, qui lessivée avec de l'eau bouillante, fournit une dissolution appelée en allemand *blutlauge*, laquelle suffisamment concentrée par évaporation fournit par le refroidissement des cristaux jaunes de prussiate jaune de potasse, en tables rectangulaires.

Le prussiate jaune de potasse cristallisé se compose de :

Sesqui-cyanure de potassium.	61,93
Cyanure de fer.	25,22
Eau.	12,85
	100,00

Les cristaux sont presque transparents, très tendres et se dissolvent dans 4 parties d'eau froide et dans leur poids d'eau bouillante.

Ils ne se décomposent pas à l'air à la température ordinaire; mais à une faible chaleur, ils perdent leur eau de cristallisation sans changer de forme, acquièrent une couleur blanchâtre et deviennent très fragiles.

Lorsque l'on fait passer un courant de chlore à travers une dissolution de prussiate jaune de potasse, jusqu'à ce qu'un essai pris dans la liqueur ne donne plus de précipité dans une dissolution d'un sel de peroxyde de fer, qu'on filtre ensuite et qu'on évapore la liqueur, ce qui se fait pour le mieux dans le vide au moyen de l'acide sulfurique, on obtient des cristaux aciculaires, rouge grenat, de *prussiate rouge de potasse*; en les purifiant par plusieurs cristallisations successives, on peut obtenir le prussiate rouge en gros cristaux, transparents, d'un rouge rubis, jouissant d'un éclat presque métallique.

Ces cristaux sont anhydres et se composent de :

Sesqui-cyanure de potassium. . . .	59,60
Sesqui-cyanure de fer.	40,40
	100,00

Les deux prussiates donnent lieu dans la plupart des dissolutions métalliques à des précipités de couleur caractéristique, ce qui leur donne une grande importance dans la chimie analytique pour l'analyse qualitative; dans ce cas, le métal en dissolution se substitue à la place du potassium et il se forme un sel soluble de potasse, et un cyanure double de fer et du métal ci-dessus, ordinairement insoluble, qui se précipite. Seulement les dissolutions sur lesquelles on opère doivent être suffisamment étendues, parce que les prussiates jaune et rouge pourraient être en partie décomposés par les acides concentrés, et donner lieu à des précipités qui induiraient en erreur.

Voici le tableau de la manière dont ils se comportent avec les principales dissolutions métalliques.

SELS DE	PRUSSIATE JAUNE.	PRUSSIATE ROUGE.
Antimoine.	Précipité blanc.	Pas de précipité.
Argent.	Précipité blanc.	Précipité jaune orangé.
Bismuth.	Précipité blanc insoluble dans l'acide hydrochlorique.	Précipité jaune brun soluble dans l'acide hydrochlorique.
Cadmium.	Précipité blanc soluble dans l'acide hydrochlorique.	Précipité jaune soluble dans l'acide hydrochlorique.
Cérium.	Précipité blanc laiteux soluble dans l'acide nitrique.	Pas de précipité.
Chrôme.	Id.	»
Cobalt.	Précipité gris verdâtre.	Précipité rouge brun foncé.
Protoxyde de cuivre.	Précipité blanc.	Précipité brun.
Deutoxyde de cuivre.	Précipité brun rougeâtre.	Précipité jaune verdâtre sale.
Étain.	Précipité blanc.	Précipité blanc.
Protoxyde de fer.	Précipité blanc qui bleuit presque instantanément à l'air.	Précipité bleu foncé
Peroxyde de fer.	Précipité bleu foncé.	Pas de précipité.
Iridium.	Pas de précipité.	Id.
Manganèse.	Précipité blanc prenant toutefois une teinte rougeâtre.	Précipité gris brunâtre.
Mercure.	Précipité blanc.	Précipité jaune.
Molybdène.	Précipité brun rouge.	Précipité brun rouge.
Nickel.	Précipité jaune verdâtre.	Précipité brun jaunâtre.
Or.	Pas de précipité.	»
Osmium.	Id.	»
Palladium.	Précipité gélatineux brun jaunâtre.	»

SELS DE	PRUSSIATE JAUNE.	PRUSSIATE ROUGE.
Platine.	Pas de précipité.	Précipité brun jaune.
Plomb.	Précipité blanc.	Pas de précipité.
Rhodium.	Pas de précipité.	Id.
Tantale.	Précipité jaune.	»
Titane.	Précipité jaune cannelle qui verdit à l'air pour peu que le titane contienne du fer.	Précipité jaune brunâtre.
Tungstène.	Pas de précipité dans les dissolutions neutres.	»
Urane.	Précipité rouge brunâtre.	Précipité rouge brunâtre.
Vanadium.	Précipité jaune citron verdissant à l'air.	»
Zinc.	Précipité blanc.	Précipité jaune orangé.

Les sels d'alumine donnent avec le prussiate un précipité blanc qui ne se manifeste qu'au bout d'un certain temps ; les sels de zircone un précipité blanc, et les sels formés par les autres terres et les alcalis ne donnent lieu à aucun précipité.

De tous ces précipités celui produit par le mélange des dissolutions de peroxyde de fer et du prussiate jaune de potasse est le plus important, et est connu sous le nom de *bleu de Prusse*. Il se compose de :

Cyanure de fer.	46,07
Sesqui-cyanure de fer.	53,93
	100,00

Dans le procédé que l'on suit d'ordinaire pour la fabrication du bleu de Prusse, celui que l'on obtient a toujours une composition un peu différente de celle que nous avons indiquée, parce qu'au lieu d'employer du peroxyde de fer pur, on se sert de vitriol vert (sulfate de protoxyde), seulement en partie transformé en sulfate de peroxyde, et qui retient une quantité plus ou moins grande de sel de protoxyde. Ce dernier donne par le prussiate jaune un précipité blanc qui bleuit à l'air, en en absorbant l'oxygène, et forme un sel basique qui se distingue du bleu de Prusse véritable en ce qu'il se dissout dans de l'eau pure, en lui donnant une belle couleur bleue. On ne doit pas confondre ce sel basique avec un autre bleu, que l'on obtient en versant lentement du nitrate de peroxyde de fer dans une dissolution de prussiate de potasse que l'on agite constamment. Le précipité qui se produit alors, est en partie soluble dans l'eau pure qu'il colore en un beau bleu foncé ; si on évapore à sec la dissolution, on obtient un résidu brillant qui a l'apparence d'un vernis, est presque complétement soluble dans l'eau, et est formé d'une combinaison de bleu de Prusse neutre avec du prussiate jaune.

Le bleu de Prusse insoluble se présente en masses plus ou moins compactes dont la cassure est terne, d'un bleu foncé présentant un reflet rougeâtre, mais qui prennent par le frottement un bel éclat métallique bronzé, et qui dans leur ensemble ont beaucoup d'analogie avec l'indigo. Il est complétement insoluble dans l'eau et l'alcool, et n'est pas attaqué par les acides étendus. L'acide sulfurique concentré le transforme à froid en une masse pâteuse blanchâtre, qui, lorsqu'on l'étend d'eau, se décompose et laisse un précipité de bleu de Prusse. Chauffé avec les acides sulfurique ou nitrique concentrés, il se décompose complétement, et l'addition subséquente de l'eau ne donne plus lieu à un précipité bleu. La potasse, la soude et leurs carbonates, la baryte, la strontiane et la chaux caustiques, en décomposent le sesquicyanure de manière à en précipiter le fer à l'état de peroxyde, et à former un cyanure alcalin ou terreux qui se combine avec le cyanure de fer, pour former un sel double soluble ; si par exemple on emploie de la potasse, on reproduira du prussiate jaune ; c'est même le meilleur procédé pour obtenir ce sel à l'état de pureté. Lorsqu'on fait digérer le bleu de Prusse avec de l'oxyde rouge de mercure et de l'eau, la couleur bleue disparaît, il se forme du cyanure de mercure qui se dissout, et il reste un précipité brun clair formé de cyanure et de peroxyde de fer.

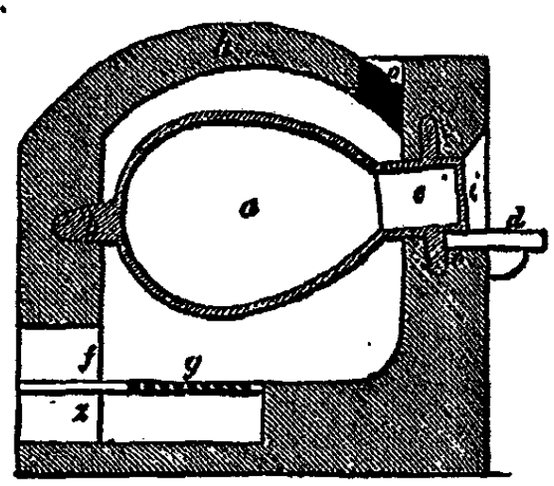
Fabrication du prussiate jaune de potasse. Elle consiste, comme nous l'avons dit, à chauffer au rouge des matières animales azotées brutes, ou déjà calcinées avec du carbonate de potasse et du fer. Ce dernier procédé a prévalu et est généralement employé, parce qu'il permet de retirer par une distillation préalable des matières animales, une quantité considérable de carbonate d'ammoniaque, que l'on peut transformer soit en sel ammoniac, soit immédiatement en ammoniaque caustique (voyez AMMONIAQUE et CHLORURES), produits qui ont une assez grande valeur, à tel point que la fabrication du bleu de Prusse n'est la plupart du temps qu'un produit secondaire des fabriques de sels ammoniacaux.

Tous les résidus de la calcination ou de la distillation des matières animales sont propres à la fabrication du prussiate de potasse, à l'exception du noir animal qui, par suite de la grande quantité de phosphate de chaux qu'il renferme, donnerait lieu par la calcination avec du carbonate de potasse, à une quantité correspondante de phosphate de potasse au lieu de bleu de Prusse. Les matières animales que l'on emploie surtout sont les sabots, rognures de cornes, sang desséché, etc. ; elles rendent environ : les sabots et rognures de cornes, 12 à 13 p. 100 de charbon animal ; le sang desséché, 10 p. 100.

Ce charbon est finement pulvérisé et mélangé très intimement avec de la potasse perlasse de bonne qualité, aussi exempte que possible de sulfate, dans les proportions de 1 1/2 à 2 p. de charbon pour 1 p. de potasse ; on peut dissoudre la potasse dans la moindre quantité d'eau possible, ce qui offre l'avantage de séparer les sels étrangers, et surtout le sulfate, qui sont insolubles dans une dissolution très concentrée de potasse, en faire une pâte avec le charbon en poudre, puis faire sécher le tout ; de cette manière, la potasse s'introduit dans les moindres pores du charbon, et le mélange est bien plus intime que celui qu'il est possible d'obtenir par un procédé mécanique.

On chauffe ensuite le mélange dans une espèce de cornue en fonte, jusqu'à ce qu'il arrive à l'état de fusion pâteuse où on le maintient. La cornue dont on se sert est en fonte, très épaisse, de forme variable, mais qui, dans tous les cas, doit avoir une ouverture ou col assez étroit et que l'on puisse fermer aisément ; la forme la plus généralement adoptée est représentée dans la fig. 249. *a*, est la cornue en fonte de forme ovoïde, soutenue à sa partie postérieure par un tourillon *b*, et dont le col cylindrique *e*, soutenu par deux appendices *c*, *c*, se ferme au moyen d'une plaque *i* ; au-devant de cette ouverture se trouve la plaque de travail en fonte *d* ; *g*, est la grille sur laquelle on charge le combustible par la porte de chargement *f* ; *z*, le cendrier ;

h, la voûte qui recouvre le fourneau ; et *o*, le rampant qui conduit les produits de la combustion dans la cheminée.



249.

On remplit environ à moitié la cornue avec le mélange ci-dessus, et on commence à la chauffer graduellement en chargeant du combustible sur la grille. Aussitôt que la cornue est arrivée au rouge, on en ferme le col avec la plaque *i*, et on entretient seulement le feu de manière à maintenir cette température ; de quart d'heure en quart d'heure, on enlève un instant la plaque *i*, pour brasser rapidement la masse pâteuse avec un ringard en fer. Pendant l'opération, il se dégage des gaz combustibles, qui viennent s'enflammer à la bouche de la cornue chaque fois qu'on l'ouvre. La quantité de ces gaz diminue à mesure que l'opération avance, et l'on peut regarder celle-ci comme terminée lorsque toute flamme a disparu. La première opération dure en tout environ 12 heures, y compris le temps nécessaire pour l'échauffement du fourneau et de la moufle ; les opérations suivantes, dans lesquelles on introduit le mélange dans la cornue déjà portée au rouge, ne durent que 8 heures. Un inconvénient qu'on n'a pu surmonter jusqu'ici, et qui augmente considérablement le prix du prussiate de potasse, tient à ce que le fer nécessaire à sa préparation doit être fourni par les parois mêmes de la cornue ; la fonte se dissout surtout dans la partie inférieure de la cornue et d'une manière souvent inégale, et bientôt la paroi se trouve percée d'outre en outre en certains points. On est donc obligé de donner aux parois de la cornue une épaisseur considérable, de 3 à 5 centim., et par suite, pour produire à l'intérieur une température convenable, de chauffer le fourneau au rouge vif, ce qui détériore et brûle rapidement la paroi extérieure de la cornue. On a essayé d'ajouter directement au mélange de charbon animal et de potasse, du fer très divisé en limaille ou en tournures, mais les résultats ne paraissent pas avoir répondu d'une manière satisfaisante à ce qu'on espérait. Lorsqu'il se manifeste un trou à la partie inférieure de la cornue, on lui fait faire une demi-révolution sur son axe, on bouche le trou avec un morceau de tôle que l'on lute avec du mastic de fer, et ainsi réparée, la cornue peut servir encore à une nouvelle série de fontes.

L'opération terminée, on puise la matière avec une cuillère en fer, et on la verse dans une caisse en tôle que l'on ferme ensuite, et où on la laisse refroidir ; lorsque la masse est suffisamment refroidie, on la lave à l'eau bouillante jusqu'à épuisement. Les eaux de lavage sont filtrées dans une chausse en laine, et la dissolution jaune et claire qui passe au travers du filtre est, soit employée immédiatement pour la fabrication du bleu de Prusse, soit concentrée à un degré convenable dans des chaudières en tôle, puis versée dans des cristallisoirs en bois. Le prussiate jaune que l'on obtient ainsi doit encore être purifié par une ou deux cristallisations subséquentes avant d'être livré au commerce. Par suite de la grande solubilité du prussiate de potasse, les eaux-mères en renferment encore une quantité très notable, et en outre des carbonate, phosphate et sulfate de potasse, et des chlorure, sulfure et sulfo-cyanure de potassium ; on les emploie immédiatement à la préparation d'une qualité inférieure de bleu de Prusse, ou bien, on les concentre par évaporation pour en retirer du prussiate de potasse impur.

Voici la théorie de cette fabrication.

Le charbon animal consiste essentiellement en carbone, et renferme en outre une quantité assez faible d'azote ; lorsqu'on le chauffe seul, il n'éprouve aucune altération ; mais lorsqu'on le mélange avec de la potasse et qu'on chauffe le tout au rouge, l'affinité de l'alcali pour le cyanogène détermine la formation de celui-ci au moyen de l'azote et d'une partie du carbone renfermés dans le charbon animal. Lorsque, outre la potasse, il entre du fer dans le mélange, il se forme également du cyanure de fer qui, ayant une très grande affinité pour le cyanure de potassium, se combine avec lui pour former un cyanure double qui est le prussiate de potasse. Presque toujours, surtout si l'on a arrêté l'opération un peu trop tôt, il ne se forme pas une quantité de cyanure de fer suffisante pour saturer tout le cyanure de potassium qui se trouve alors en excès dans la masse, et passe dans les eaux de lavage. Pour transformer le cyanure de potassium en excès, on cyano-ferrure de potassium ou prussiate jaune, avant de faire cristalliser la dissolution, on y verse du sulfate de protoxyde de fer (vitriol vert) en dissolution, jusqu'à ce qu'il commence à se former un précipité blanc ou bleuâtre et persistant ; dans cette réaction, une partie du cyanure de potassium est décomposé, il se forme du sulfate de potasse d'une part, et de l'autre du cyanure de fer, qui se combine avec le cyanure de potassium non décomposé, pour former une nouvelle quantité de prussiate jaune.

Préparation du bleu de Prusse. Nous avons déjà donné plus haut la théorie de fabrication du bleu de Prusse ; il ne nous reste qu'à entrer à ce sujet dans quelques détails pratiques.

On distingue les bleus purs ou *bleus de Paris*, et les bleus mélangés d'alumine ou *bleus de Berlin*. Le choix des matières premières de la fabrication dépend naturellement de la beauté et du prix des objets que l'on veut fabriquer ; pour les sortes les plus fines, on emploie du prussiate de potasse, purifié par une ou plusieurs cristallisations successives ; pour les bleus communs, on se sert presque toujours de la dissolution brute de prussiate de potasse ; enfin, pour les variétés inférieures, on emploie même les eaux-mères de la fabrication du prussiate cristallisé.

Le sel de fer, presque exclusivement employé, est le sulfate de protoxyde de fer ; il ne doit pas contenir de cuivre, lequel donnerait lieu à un précipité brun rougeâtre qui altérerait sensiblement la couleur du bleu de Prusse ; on reconnaît la présence du cuivre en dissolvant un peu du sulfate à essayer dans de l'eau, aciduler la liqueur avec de l'acide sulfurique et y plongeant une lame de fer bien décapée ; s'il y a du cuivre dans le sulfate, il sera réduit, et viendra former un enduit rouge et métallique sur la surface de la lame de fer. On peut bien purifier le sulfate cuprifère et en précipiter tout le cuivre, en le dissolvant dans l'eau et le faisant bouillir pendant quelque temps avec un peu d'acide sulfurique et de la tournure de fer ou de la vieille ferraille ; mais ce procédé ne laisse pas que d'entraîner dans des frais assez coûteux, et il vaut mieux dans tous les cas se procurer dans le commerce du sulfate de fer exempt de cuivre, ce qui n'offre pas beaucoup de difficultés. Avant d'employer ce sulfate, on le laisse exposé à l'air jusqu'à ce qu'il ait pris extérieurement une couleur brun jaunâtre. Il conviendrait peut-être

même d'employer, pour la préparation des bleus les plus fins, du nitrate de peroxyde de fer, qui fournit un bleu d'une beauté telle, que les frais qu'entraînerait son emploi seraient compensés et au-delà par la qualité du produit obtenu.

La dissolution brute de prussiate de potasse, et même le prussiate purifié par une seule cristallisation, renferment encore, comme nous l'avons fait remarquer, plus ou moins de carbonate de potasse, de sorte, qu'outre le bleu de Prusse, il se précipite en même temps de l'oxyde jaune de fer qui en altère la teinte ; pour prévenir cet inconvénient, on neutralise le carbonate de potasse par de l'acide sulfurique que l'on ajoute, soit à la dissolution de prussiate de potasse, soit à celle de sulfate de fer. Dans la fabrication des bleus de Berlin communs, on neutralise le carbonate de potasse par de l'alun ; il en résulte un précipité d'alumine qui se mélange intimement avec le bleu de Prusse, et en augmente beaucoup le poids sans en diminuer notablement la teinte, lorsque la quantité n'en est pas très considérable. A cet effet, on dissout la quantité d'alun nécessaire, préalablement déterminée par expérience, dans la dissolution de sulfate de fer, puis on verse le tout peu à peu, et en ayant soin d'agiter continuellement, dans la dissolution de prussiate de potasse, ce qui donne lieu à la formation d'un précipité d'un bleu plus ou moins foncé qui ne tarde pas à se déposer. On décante le liquide surnageant, on le remplace par de l'eau pure, on agite pour mettre de nouveau le précipité en suspension, on laisse déposer de nouveau, on décante, et on continue ainsi à laver pendant longtemps par décantation, afin d'enlever les matières solubles et de foncer la couleur du bleu, comme nous l'avons expliqué au commencement de cet article, par l'absorption de l'oxygène dissous dans l'eau ; on jette ensuite le résidu du lavage sur des chausses en toile où on le laisse égoutter, on le comprime modérément, et on le divise en petits pains que l'on laisse sécher à l'ombre.

Comme le bleu de Prusse une fois desséché est difficile à réduire de nouveau à l'état d'extrême division qu'il possédait étant humide, il est souvent vendu et employé *en pâte* (c'est-à-dire non desséché), surtout pour les fabriques de papiers peints, etc.

Nous avons donné plus haut les caractères du bleu de Prusse pur ; les bleus qui contiennent l'alumine présentent par le frottement d'autant moins d'éclat cuivré qu'ils en renferment en une plus grande quantité.

Le bleu de Prusse est employé dans la peinture à l'aquarelle, mais non dans la peinture à l'huile. Pour son emploi dans la TEINTURE, voyez les articles IMPRESSION SUR ETOFFES et TEINTURE.

MM. Stéphen et Nax de Londres ont pris en Angleterre un brevet (en 1837), pour un procédé qui leur permet de dissoudre le bleu de Prusse, de sorte que l'on peut non plus seulement l'appliquer par impression, mais encore l'employer en dissolution comme la plupart des autres matières colorantes, ce qui en étend considérablement l'application.

Ce procédé consiste d'abord à faire digérer le bleu de Prusse du commerce, pendant 24 à 48 heures, avec de l'acide hydrochlorique concentré ou de l'acide sulfurique au maximum de concentration que l'on doit étendre, après le mélange, de son poids d'eau ; on lave ensuite soigneusement, avec de l'eau pure, par décantation, afin d'enlever tout l'acide, on jette sur un filtre où on termine le lavage, on dessèche le résidu, on le broie avec de l'acide oxalique, et le mélange est soluble dans l'eau.

L'insuffisance de la description du procédé dans la patente, ainsi que le manque de détails sur les quantités de matières à employer, et les précautions à suivre dans la manipulation, ont déterminé dernièrement M. Karmarsch à faire à ce sujet une série d'expériences dont voici les résultats principaux.

1° Le traitement préalable du bleu de Prusse, par les acides hydrochlorique ou sulfurique, offre l'avantage :

a. Qu'il est nécessaire d'employer, pour rendre le bleu soluble, une beaucoup moindre quantité d'acide oxalique ;

b. Que la dissolution de bleu de Prusse peut se conserver longtemps sans déposer aucun précipité, ce qui arrive infailliblement lorsqu'on ne fait pas subir au bleu ce traitement préalable ;

c. Enfin, qu'il faut une moindre quantité d'eau pour dissoudre le bleu, ce qui permet d'obtenir une dissolution plus concentrée.

2° La quantité d'acide oxalique nécessaire pour déterminer la dissolution du bleu de Prusse est faible ; un excès de cet acide, loin d'augmenter la solubilité du bleu dans l'eau, la diminue.

3° La combinaison de bleu de Prusse et d'acide oxalique n'est pas soluble en toutes proportions dans l'eau, et lorsqu'il n'y a pas assez d'eau, une partie reste, sans se dissoudre, sous la forme de boue d'un bleu foncé.

4° Les proportions les plus convenables pour obtenir un bleu soluble en dissolution concentrée, susceptible d'être filtrée sans résidu et de se conserver longtemps sans donner lieu à aucun dépôt, sont : 8 parties de bleu de Prusse traité par l'acide sulfurique, puis bien broyé avec 1 p. d'acide oxalique, et dissous dans 256 p. d'eau. Voyez PRUSSIATE.

BLEU DE TOURNESOL. Voyez TOURNESOL.

BLEU D'INDIGO. Voyez INDIGO.

BLEU D'OUTREMER. Voyez OUTREMER.

BLEU RAIMOND. Voyez TEINTURE.

BLUTEAU ou BLUTOIR. Voyez MOULINS.

BOCARD. Voyez MÉTALLURGIE.

BOIS (*angl.* wood, *all.* holz). On désigne sous ce nom la partie ligneuse des arbres. Le bois est essentiellement composé de ligneux, mais il renferme en outre diverses substances que la sève tient, pour la plus grande partie, en suspension ou en dissolution. Ce sont surtout des matières gommeuses ou résineuses, l'extractif, et des principes colorants. Le bois se conserve indéfiniment dans l'air sec ainsi que lorsqu'il est tenu plongé dans l'eau ; mais lorsqu'il est exposé à l'influence alternative ou simultanée de l'air, de l'eau et de la lumière, il s'altère peu à peu en absorbant de l'oxygène et en produisant de l'acide carbonique ; il perd de sa cohésion et finit par se convertir en une poudre grise ou brunâtre. Le chlore blanchit le bois sans le dissoudre. L'acide nitrique bouillant et concentré le jaunit, détruit sa cohérence, et finit par le convertir en acide oxalique. L'acide hydrochlorique le noircit sans le rendre soluble. L'acide sulfurique concentré et bouillant le carbonise également ; à froid cet acide concentré et en excès le transforme en gomme, puis en étendant d'eau et faisant bouillir, la gomme se change en sucre de raisin. A chaud, une dissolution concentrée de potasse dissout le bois en formant une liqueur brune, qui renferme des acides oxalique, acétique et ulmique.

On admet en général que les bois verts renferment de 0,37 à 0,48 de liquides, suivant qu'ils sont plus ou moins compactes, et qu'après un an de coupe, ils en retiennent encore 0,20 à 0,25. Le bois est très hygrométrique ; on ne peut le dessécher complétement qu'en le réduisant en copeaux minces, puis l'exposant pendant 24 heures au moins, et jusqu'à ce qu'il commence à brunir, dans une étuve sèche, à la température de 120 à 130° centigr. Tous les bois, quels qu'ils soient, parfaitement desséchés et conservés dans une chambre sans feu pendant un an, absorbent 0,08 à 0,10 d'eau.

La plupart des bois sont plus légers que l'eau, mais

leur densité est très variable, selon leur essence et selon leur état de dessiccation. Cependant la matière ligneuse elle-même, indépendamment des cavités dont elle est criblée, est plus pesante que l'eau, et a une densité à peu près constante, quelle que soit la nature du bois, qui varie de 1,46 à 1,53, d'après Rumfort.

Pour trouver la pesanteur spécifique d'un bois, on en pèse un morceau sec, on le plonge ensuite dans l'eau, et lorsqu'il en est entièrement saturé, on le pèse de nouveau à l'air; enfin on le pèse plongé sous l'eau; la différence entre la deuxième et la troisième pesée est le poids de l'eau déplacée, et en divisant le résultat de la première pesée par cette différence, on aura la pesanteur spécifique cherchée. M. Marcus Bull a remarqué que ce procédé est inexact, parce que le bois se gonfle promptement dans l'eau; il préfère empêcher l'eau de le pénétrer, en enduisant les morceaux, après les avoir pesés à l'air, d'un vernis qui a exactement la même densité que l'eau, et qu'il obtient en mélangeant de la résine dont la densité est 1,079 et de la cire dont la densité est de 0,967. M Le Play a imaginé de faire tailler les échantillons de bois, dont il voulait trouver les poids spécifiques à divers états de dessiccation, sous la forme de cylindres pesant environ 1 kilogr., qu'il desséchait très graduellement à l'étuve, en les pesant de temps en temps, et notant à chaque fois leurs dimensions, ce qui lui permettait d'en déterminer très approximativement le volume et, par suite, la densité.

L'*Annuaire du bureau des longitudes* adopte, pour pesanteur spécifique, du :

Chêne.	885	Tilleul.	604
Hêtre.	852	Cyprès.	598
Frêne.	845	Cèdre.	561
If.	807	Peuplier blanc. . . .	529
Orme.	800	Sassafras.	482
Pommier.	733	Peuplier ordinaire. .	383
Sapin jaune.	657	Liége.	240

Celle de l'eau étant 1.000.

Le poids du bois cordé dépend de la pesanteur spécifique, de la grosseur des morceaux, de leur forme, et surtout du soin plus ou moins grand avec lequel ils sont rangés; toutes choses égales d'ailleurs, plus les morceaux sont gros et plus le poids de la mesure est considérable. M. Marcus Bull a reconnu, par un grand nombre d'expériences, que le plus ordinairement il y a 0,56 de plein et 0,44 de vide dans le bois cordé, ce qui, à l'aide du tableau ci-dessus des pesanteurs spécifiques, permet de calculer le poids du stère des différentes essences de bois séchés à l'air. Comme le bois d'un an de coupe retient encore environ 25 p. 100 d'eau, il faudrait prendre les trois quarts des nombres obtenus pour avoir le poids du bois parfaitement sec.

I. Bois d'œuvre, que l'on façonne à l'aide des outils tranchants, etc. Les deux principales applications des bois sont la construction de tout genre, dans laquelle ils sont employés en raison de leur résistance et de leur élasticité et l'ébénisterie, la fabrication des meubles pour laquelle les belles colorations des bois sont d'un très-haut prix. Chacun sait quelles grandes différences existent entre les divers bois sous le rapport de la solidité, de la couleur, de la finesse du grain, de la dureté, de l'élasticité, etc., ce sont ces conditions, ainsi que la rareté, qui assignent à chaque espèce des applications différentes. C'est pour ce dernier motif que les modestes constructions dans chaque contrée emploient les bois qui y poussent naturellement, tandis que certains bois originaires des climats chauds, de l'Amérique principalement, en raison de la beauté de leur grain, de leurs belles teintes, des dessins que la nature y a tracés, de leur odeur, etc., sont recherchés pour la confection des meubles et d'une foule d'objets d'ornement qui sont l'objet du travail des ébénistes. De même, le graveur sur bois n'emploie que le buis, bois dur, d'un grain très-fin et très-homogène; le luthier des bois élastiques, sonores, etc. C'est au point de vue de toutes ces applications possibles, que nous passerons en revue les diverses espèces de bois.

Pour mettre un peu d'ordre dans un travail qui s'applique à une multitude d'êtres différents, et qui exigerait un grand développement pour être en rapport avec la grande utilité des bois dans l'industrie, il faudrait pouvoir les classer d'après des principes qui permissent de prévoir les propriétés de la plupart d'entre eux d'après la connaissance de la classe à laquelle ils appartiennent, et les renseignements que peut fournir l'étude d'un individu de l'espèce.

Nous ne connaissons qu'un travail de M. Forbes, dans lequel on ait tenté de réunir l'indication des propriétés des bois à celle de la famille à laquelle ils appartiennent en botanique, ce qui doit le mieux renseigner sur leur nature intime, base de la classification naturelle admise aujourd'hui en botanique. Nous ferons de même dans ce qui suit, et si nous ne pouvons le faire qu'incomplétement, nous aurons la satisfaction d'indiquer la voie à quelque ingénieur capable de compléter un semblable travail.

Quant aux renseignements techniques sur la manière dont les principaux bois se comportent sous l'action des outils, nous en devons beaucoup à un travail d'un habile praticien, M. Paulin Désormeaux notre ancien collaborateur.

Nous dirons d'abord quelques mots des propriétés générales des bois et des questions qui se rapportent à leurs emplois.

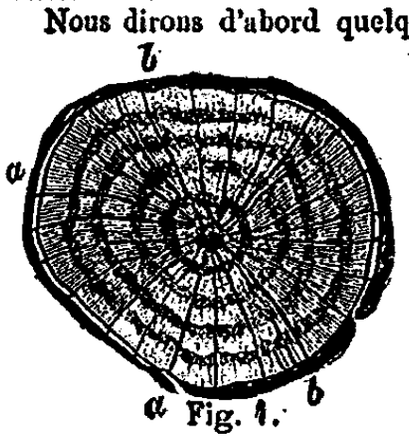


Fig. 1.

Nous avons vu (INTRODUCTION) comment se produit la circulation de la sève dans les végétaux, comment leur accroissement a lieu. La contexture des bois se trouve par suite, suivant la direction des coupes, analogue à celle représentée par les figures suivantes.

La figure 1 représente une section transversale d'un jeune arbre ou d'une branche. On y voit la disposition circulaire des couches annuelles terminées par l'aubier

Fig. 2.

Fig. 3.

et l'écorce. Les rayons qui vont du centre à l'écorce sont des canaux médullaires. Les figures 2 et 3 représentant des sections verticales faites dans une pièce de vieux hêtre. La figure 2 est obtenue par un plan dirigé comme de *a* en *a*, dans lequel les fibres des cercles annuels sont sensiblement parallèles. Des veinures dans le sens vertical dues aux variations de la végétation, à la différente circulation de la sève au centre ou vers les bords, fournissent souvent des effets décoratifs dans quelques bois; quelques écarts plus larges sont formés par les bords de quelques canaux

médullaires. La figure 3 représente une coupe passant par le centre, comme de *b* en *b*. On voit que les fibres appartiennent à deux séries, qui courent à angle droit l'une sur l'autre; l'une représente les fibres qui appartiennent aux cercles annuels comme fig. 2 et l'autre les plaques qui sont formées par des rayons médullaires.

Nous parlons ici des plantes dites *exogènes*, analogues aux arbres de nos climats qui croissent par des cercles annuels, et non des plantes *endogènes*, dont le développement est inverse, dont la moelle va en diminuant avec les années. Les palmiers, les bambous sont les principaux types d'un genre de plantes qui ne fournit pas un bois ayant une consistance suffisante pour être utilisé en dehors des pays où il vient naturellement (voyez COCOTIER). Ces arbres, dont le tronc est formé de fibres presque simplement juxtaposées, ne sauraient recevoir des emplois semblables à ceux de nos arbres; dans les deux cas il faut remarquer que c'est par leur défaut de résistance à toutes les actions qui ne mettent pas seulement en jeu la résistance à la traction des fibres longitudinales que le bois est surtout imparfait. Dans un travail fort bien fait sur l'élasticité des principaux bois de charpente des Vosges, par MM. Wertheim et Chevandier, ces auteurs sont arrivés à la conclusion suivante : en moyenne, lorsqu'on prend pour unités les coefficients d'élasticité et les cohésions moyennes (à diverses hauteurs) dans le sens de l'axe, on trouve, pour les coefficients d'élasticité dans le sens du rayon et de la tangente à la circonférence extérieure, pour nos arbres, 0,165 et 0,091 et pour les cohésions, dans les deux directions, les nombres 0,163 et 0,159. Ces rapports ne varient pas sensiblement avec la hauteur dans un même arbre, ni dans des arbres de même espèce, mais bien lorsqu'on compare les diverses espèces entre elles. Je citerai encore les résultats suivants auxquels sont arrivés les deux expérimentateurs que je viens d'indiquer, en employant des méthodes vraiment scientifiques.

La cohésion augmente, dans presque tous les cas, avec la dessiccation, avec les pertes d'eau successives, et dans une proportion assez variable. Lorsque la dessiccation a été poussée artificiellement jusqu'à ne laisser que 10 p. 100 d'eau dans le bois, celui-ci devient tout à fait cassant.

Les propriétés mécaniques (Voy. RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX) augmentent d'une manière constante, et quelquefois même dans une très-forte proportion, du centre à la circonférence, pour le sapin, quel que soit son âge, pour le pin, le charme, le frêne, l'orme, l'érable, le sycomore, le tremble, l'aune et en partie pour l'acacia. Cette augmentation paraît être indépendante de l'âge dans les bois résineux, et, en général, dans l'espèce dont les couches restent toujours perméables aux liquides. Dans le vieux chêne et le vieux bouleau, les propriétés suivent une marche inverse, c'est-à-dire qu'après avoir augmenté jusqu'au tiers du rayon, elles redescendent ensuite jusqu'à la circonférence. Enfin, dans le hêtre, on trouve la marche ascendante pour un jeune arbre, et la marche décroissante pour un arbre plus âgé, ce qui semblerait indiquer que, dans les arbres dont les couches les plus anciennes s'oblitèrent pour former le bois de cœur, cette transformation modifie la marche des propriétés.

CARACTÈRES DES PRINCIPAUX BOIS.

SAULE (famille des Salicinées).— Bois blanc, léger, trop tendre et trop poreux pour être employé dans la menuiserie. Les repousses de saule sont, ainsi que les pousses d'osier, la matière première du travail du vannier, à cause de leur grande souplesse.

PEUPLIER. — Bois tendre, léger, blanchâtre, n'est guère employé que pour les ouvrages de peu de durée comme les emballages.

AULNE (famille des Bétulinées). — Bois léger, tendre, d'un blanc rouge, servant à faire des échelles, des chaises, etc., a une très-longue durée dans l'eau, donne de bons pilotis, des corps de pompes, etc. Sa loupe, de couleur fauve, relevée par des palmettes rouges et des points bruns, fournit un beau placage pour les meubles de prix, car elle n'est pas commune dans le commerce.

Poids spécifique 0,555.

BOULEAU (id.). — Bois blanc et léger, trop mou pour supporter les assemblages. Sert surtout comme bois de chauffage des fours. Les branches moyennes de cet arbre servent à faire de grands cercles pour les cuves. Le bouleau du Canada fournit un bois plus dur, plus compacte que le bouleau d'Europe. Les Russes, pour lesquels le bouleau est bien précieux, car c'est un des arbres qui résistent le mieux aux froids, en utilisent diversement les produits. De la sève ils tirent une liqueur fermentescible; l'écorce leur sert à tanner les cuirs, à fabriquer le cuir de Russie.

ÉRABLE (famille des Acéracées). — L'érable indigène n'est pas employé comme bois d'ornement, mais comme un bois ayant des qualités précieuses. L'*érable commun*, bois de couleur blanchâtre, d'un grain serré, est employé par les menuisiers qui en font des dessus de table, des manches d'outils et divers autres objets. L'*érable sycomore* est semblable au précédent, mais plus souvent ondulé, ce qui le fait rechercher par les luthiers pour la fabrication des violons et autres instruments à cordes. L'*érable à feuilles de frêne*, originaire d'Amérique, dont le bois blanc est dur, est recherché des ébénistes.

L'*érable d'Amérique*, qui vient des parties tempérées du Nouveau-Monde, est une des plus heureuses acquisitions de l'ébénisterie moderne, et bien que moins à la mode aujourd'hui que dans ces dernières années pour l'exécution de mobiliers complets, il est encore d'un fréquent emploi. On trouve dans le commerce :

L'érable moucheté, est quelquefois très-blanc, souvent un peu jaunâtre; les mouches sont formées par la substance de la maille qui s'extravase à des intervalles à peu près égaux; c'est un bois dur, coriace, assez difficile à polir et sujet à se gercer. Mais le luisant argenté de ce bois le fera toujours rechercher.

L'érable gris ondulé, est un bois léger et mou, ressemblant beaucoup au sycomore ondulé de France, sauf ce luisant dont nous venons de parler qui n'appartient qu'à l'érable américain.

La loupe d'érable argenté, est très-recherchée comme bois de placage riche. Elle prend quelquefois des couleurs variées et est alors employée pour objets de luxe de petite dimension, des coffrets par exemple.

MARRONNIER D'INDE. (*Id.*) — Bois employé par les ébénistes à cause de sa blancheur, lorsqu'il est convenablement travaillé, ce qui permet de l'employer pour une foule de petits articles de fantaisie sur lesquels on peint à l'huile des fleurs, des paysages, etc. D'une consistance médiocre, ne résiste pas à l'air.

La blancheur de ce bois qui fait son prix, tient au soin qu'il faut prendre de le priver de son eau de végétation qui jaunit rapidement. Aussi faut-il l'abattre par un temps sec et froid, et aussitôt qu'il a égoutté son eau, le refendre avec une scie à dents écartées en planches aussi minces que possible d'après l'usage qu'on en doit faire. La sève se répand alors au dehors, elle y jaunit la surface de la planche; mais aussitôt que celle-ci est sèche, le rabot enlève la couche jaune très-mince qui la recouvre et le blanc du bois paraît pour ne plus s'altérer.

Pour la résistance, ce bois doit être classé parmi les plus mauvais.

TILLEUL (famille des tiliacées).—Bois doux, soyeux, léger, d'un grain très-fin. Il est employé par les sculpteurs, parce qu'il se coupe aisément dans tous les sens.

Il sert à faire des jouets d'enfants, des polissoirs, des moules à l'émeri, etc.

Il est trop mou pour faire de bons assemblages de charpenterie ; il s'amincit considérablement en se desséchant.

Platane (famille des platanées). — Bois un peu tendre, léger, mais dont le grain est très-fin ; il se coupe très-bien et est susceptible de recevoir le poli. Longtemps négligé, il est mieux apprécié aujourd'hui, et on a reconnu qu'il pouvait recevoir d'utiles applications, qu'il était très-propre à faire des assemblages, à recevoir des moulures d'une grande finesse. Employé dans le Levant pour l'ameublement, il produit très-bon effet, surtout quand il provient de vieux arbres et a quelquefois un aspect damassé très-agréable. Quand il a été refendu obliquement à son fil, il donne un veinage agréable. Une fois sec, il ne travaille plus.

Poids spécifique 0,63.

Sapin (famille des conifères).—Uni, homogène, léger, ce bois est employé sur une grande échelle pour les constructions maritimes et la menuiserie de bâtiment, ce qu'expliquent ses qualités et l'abondance de sa production, les arbres de cette famille couvrant les montagnes élevées, les régions neigeuses où les arbres résineux peuvent seuls subsister. L'Europe centrale en reçoit une grande quantité de la Suède et de la Norwége ; ce bois est d'excellente qualité.

Le sapin se rabote parfaitement ; il est trop spongieux pour qu'il soit possible de le polir ; on le recouvre souvent d'une peinture opaque. Sa grande élasticité le rend propre à des applications spéciales, comme ressorts, tables d'harmonie des pianos, etc. Comme tous les bois résineux, il dure longtemps, la résine empêchant l'action destructive de l'humidité. Les arbres saignés, dont on a fait écouler la résine par des incisions, ne sont pas d'aussi bonne conservation que ceux qui n'ont pas été exploités par cette méthode, dont l'intérieur est par suite plus riche en résine.

Poids spécifique 0,753 à 0,464.

Mélèze (*Id.*). — Excellent pour la mâture, les grosses poutres et la charpenterie en général ; il est pour ainsi dire impérissable dans l'eau. Le bois de mélèze se distingue du sapin par sa couleur rouge et ses veines foncées. Le mélèze doit avoir conservé toute sa résine.

Pin (*Id.*). — Bois blanc et léger, peu employé dans l'industrie, mais d'un grand usage dans les constructions navales. Employé pour pilotis, sa durée n'est que de 5 à 6 ans pour les parties exposées à l'air ; il pourrit et se pique des vers. Quand les planches, au contraire, proviennent d'arbres très-âgés, renfermant beaucoup de résine, ce qu'on reconnaît à la couleur brune du bois, les planchers et les meubles qu'elles servent à faire ont une durée presque égale à celle des bois durs.

If (*Id.*). — Le bois de cet arbre vert est un des plus beaux de nos contrées ; sa nature sèche et résineuse assure sa durée ; son grain fin, ses belles nuances, ses nœuds qui tranchent sur la couleur du fond le rendent d'un aspect d'autant plus agréable qu'il peut recevoir un poli parfait, lui-même conservé par le vernis qui lui assure pour un long temps un éclat tout particulier. Son aubier, d'un beau jaune, peut se travailler comme le bois fait. Son seul défaut est de s'effeuiller, de s'égrener facilement, les couches ayant peu d'adhérence entre elles ; aussi le bois qui a le plus de prix est celui qui n'est pas *uni*, qui est dit *if noueux*.

Les ifs qui poussent dans les terrains gras, profonds, humides, sont tous ifs unis, n'offrent point d'accidents de veinage et ne sont employés qu'à des usages communs. Ceux, au contraire, qui viennent entre les rochers, sur les pentes escarpées où la terre végétale est rare, sont presque tous des ifs noueux.

Cèdre (*Id.*).—Originaire des régions montagneuses de l'Asie, où il arrive à une taille gigantesque. Son bois est d'une grande finesse, mais trop tendre pour recevoir un beau poli. Son odeur agréable éloigne les insectes. sa durée est très-grande. Il est employé pour la fabrication des crayons de mine de plomb, pour garnir les intérieurs de commodes ou secrétaires.

Cyprès (*Id.*). — Comme le cèdre, était très employé des anciens. Un des bois les plus durables.

Genévrier (*Id.*). Arbuste ne pouvant fournir des produits bien importants à cause de l'exiguïté des dimensions qu'il acquiert. Il est cependant recherché des tourneurs à cause de son beau veinage, de la finesse de son grain qui se prête bien au poli, et de l'odeur douce qu'il exhale, surtout pour faire de petits objets propres à conserver le souvenir des régions forestières où se rencontre le genévrier.

Thuya (*Id.*). Bois qui a beaucoup de rapport avec le sapin, mais est incomparablement plus plein et plus dur ; se polit assez bien. Pour la vivacité de ses teintes, la finesse du grain, la loupe de thuya ressemble au plus bel acajou, mais son dessin la distingue ; il est formé de nœuds circulaires, d'une couleur rouge-brunâtre, semés régulièrement.

Nous disons à art industriel, la faveur avec laquelle la mode a adopté dès 1845 la loupe de thuya, d'une coloration charmante et d'un grain très-fin, pour la fabrication des petits meubles, grâce à la quantité de vieux arbres que nous avons trouvés en Afrique, où leur bois acquiert une beauté toute particulière, comme l'avaient déjà reconnu les Romains.

Fusain (Famille des célastrinées). — Petit bois roide employé pour de petits ouvrages, tels que règles divisées, fuseaux, etc., pour lesquels il remplace le buis dont il a à peu près la couleur.

Le principal emploi du fusain est pour la fabrication des crayons faits avec son charbon sec, léger et sonore, servent aux artistes pour tracer leurs premières esquisses, les traits adhérant si peu au papier que le moindre frottement les fait disparaître. Pour obtenir ce charbon sous la forme voulue, on refend le fusain en morceaux de grosseur convenable qu'on arrondit grossièrement. On fait entrer ces baguettes dans un tuyau de tôle dont on bouche les extrémités avec de l'argile, puis on le met dans le feu assez longtemps pour que la carbonisation s'opère à l'intérieur bien complétement.

Acacia (famille des légumineuses). — Le bois d'acacia est très-recherché par les fabricants de chaises. Sa couleur tendre, jaune verdâtre, n'est point désagréable ; son grain est peu serré, mais cependant assez fin pour prendre le poli. C'est un bois dur, nerveux, résistant, et quelque peu flexible. Les tourneurs en font des pilons, des mortiers, des toupies pleines et creuses. Il sèche facilement et n'est pas trop sujet à se gercer.

Les Américains en font grand emploi dans leurs constructions navales. Il s'altère difficilement au contact de l'air et de l'eau, et n'est pas attaqué par les insectes.

Poids spécifique de l'acacia vert 0,820.

Le Faux-Ébénier (*Id.*) fournit un bois dur et de couleur brune.

Le Palissandre (*Id.*).— Ce bois fort employé aujourd'hui dans l'ébénisterie, et qui n'est entré dans la consommation que depuis peu d'années, nous vient surtout du Brésil et de la Guyane hollandaise. Il est aisé de justifier cette adoption par les qualités précieuses de ce bois. Il est dur, sec, résineux, répandant une odeur suave ; il se polit bien et prend bien le vernis. Il exige à ce point de vue un entretien particulier quand les meubles sont neufs, l'huile qui a servi au polissage ressortant bientôt des parties tendres et faisant gonfler le vernis. Ce n'est pas en effet comme l'ébène un bois foncé, d'une teinte uniforme ; il est au contraire formé de fibres séparées par des parties plus

tendres, ce qui fait des oppositions de parties noires et d'autres d'un brun fauve.

Le palissandre employé seul est trouvé quelquefois un peu sévère, bien que souvent veiné et marbré, aussi on relève quelquefois l'apparence des surfaces par des incrustations de filets de cuivre, de bois blanc tel que le marronnier.

Avec la colle-forte, la poudre fine de sciure de palissandre fait un corps dur, analogue au bois durci dont nous parlons ci-après, qui, ayant tout à fait l'apparence et la résistance du bois après le ponçage et le vernissage facilite beaucoup l'exécution d'incrustations délicates.

Ébène (famille des ébénacées et plaqueminiers). — Bois fourni par le cœur des ébéniers, arbres qui croissent en Afrique, en Amérique et surtout dans l'Inde, moyennement résistant. Il est dur, pesant, susceptible du plus beau poli. Recherché pour sa belle couleur noire qui le rend incomparable pour l'ébénisterie d'art; les incrustations d'ivoire notamment, si employées dans les meubles les plus précieux de la Renaissance y prennent un vif éclat.

Frêne (famille des jasminées).—Le premier de tous les bois pour son élasticité, qui fait d'un morceau sain de ce bois un ressort léger et peu coûteux. Il est blanc, d'un grain moyen. Il est préféré à tous les autres pour la fabrication des chaises, des échelles, des brancards de voitures, des ridelles, des rames, des leviers, etc. Le constructeur de voitures en fait un usage incessant.

La loupe de frêne est commune. Les frênes de certains pays portent tous des loupes, des excroissances qui fournissent un bois de placage estimé et quelquefois riche de dessin.

Poids spécifique 0,75.

Lilas (*Id.*).— Bois peu employé, se trouve rarement de grandes dimensions et sain dans le cœur. Il mériterait plus d'attention à cause de ses qualités, et notamment du beau poli qu'il peut prendre.

Olivier. Bois jaune, dur, compacte, exhalant une odeur qui lui est particulière. Les tabletiers en font usage comme auxiliaire du buis. Mais ce bois a le grand défaut d'être sujet à s'effeuiller, lorsque après un certain temps, l'adhérence des couches médullaires, qui séparent les couches annuelles, vient à se détruire.

Orme (famille des ulmacées). C'est le bois employé essentiellement pour le charronnage, le seul convenable pour fabriquer les moyeux des roues qui, malgré l'assemblage des rais, les nombreuses mortaises qu'ils exigent, ne se fendent pas. Il n'est pas, en effet, sujet à éclater comme le chêne, dont il a presque la résistance; il se coupe comme le hêtre dans tous les les sens, moins bien toutefois. Il résiste bien dans tous sens, même dans celui où les fibres sont coupées. Aussi convient-il spécialement pour les jantes des roues, les vis de pressoir, etc.

La couleur de l'orme varie avec l'âge : dans sa jeunesse il est blanc-jaune; plus tard, il devient rouge-brun dans le cœur; son aubier, comme dans toute espèce de bois, est inférieur au bois fait; mais il est cependant encore assez résistant.

La *loupe d'orme* et l'*orme tortillard* qui se rencontrent en grande quantité dans le commerce, ont une contexture spéciale qui leur fait trouver des applications dans l'ébénisterie. On nomme loupe d'orme ces protubérances arrondies que l'on remarque fréquemment sur les vieux ormes. L'orme tortillard prend naissance par suite de l'étêtage fréquent des ormes. La teinte rembrunie, le grain fin de ces végétations qui prennent naissance dans des conditions toutes différentes de la vie régulière de l'arbre, font bien comprendre comment on les emploie avec succès pour décoration, à l'aide du placage.

Poids spécifique 0,70.

BOIS.

Poirier (famille des pomacées). Le bois du poirier est pesant, serré, uni et très-égal; il forme en quelque sorte une pâte d'une très-grande finesse; on distingue à peine le sens du fil. Il se coupe également bien dans toutes les directions, aussi est-il recherché spécialement par les sculpteurs et les modeleurs. Il se teint facilement; la teinture noire le pénètre à une profondeur très-notable. Aussi le poirier teint en noir remplace-t-il aujourd'hui fréquemment l'ébène qui est bien plus cher, et, quand il a été poli et verni avec soin, l'œil le plus exercé ne peut trouver de différence. Il faut attendre qu'il soit parfaitement sec avant de l'employer, car il diminue beaucoup de volume en se desséchant.

Le poirier sauvage est plus dur que le poirier cultivé.

Pommier (*Id.*).— Bois très-résistant mais qui se rabote et se polit mal. Il se rapproche de celui du poirier auquel il est inférieur. Il sert à faire des manches d'outil, des mandrins.

Cormier. (*Id.*) Bois lourd, dur et résistant, très-sujet à se tourmenter en se desséchant; souvent attaqué par un gros ver, le même qu'on retrouve dans le poirier sauvage et dans l'alisier. C'est le bois par excellence pour la mise en fût des rabots, varlopes et tous outils agissant à l'aide de surfaces de frottement. Il est recherché pour les fortes vis des pressoirs.

Prunier (*Id.*). — C'est le plus riche en couleur de nos bois indigènes; son grain est fin et serré. Il peut prendre un poli de glace que le vernis conserve. On fait avec le prunier des petits meubles, des nécessaires, des dévidoirs, etc.

Mérisier et Cerisier (famille des rosacées). Bois semblables, toutefois le mérisier est plus compacte que le cerisier et supporte mieux l'assemblage. Le mérisier est naturellement rougeâtre; mais cette couleur est fugace et serait promptement passée si on ne la relevait par une coloration artificielle. Ce bois est recherché par les fabricants de chaises; autrefois on l'employait aussi pour d'autres meubles qui se gâtaient rapidement, car il est sujet à la vermoulure; aussi lui a-t-on substitué le noyer.

Amandier (*Id.*). — Bois trop peu employé par les menuisiers et les tourneurs, suivant M. Paulin Désormeaux. Les billes qui avoisinent le bas de l'arbre ont beaucoup de rapport avec le gayac, non-seulement sous le rapport de la couleur, mais encore parce que la section transversale est polie et luisante. Il conserve bien l'huile, lui-même en étant imprégné, ce qui le rend propre à faire des coussinets.

Alisier (*Id.*). Le plus dur de nos bois après le buis et le cormier. Il sert aux menuisiers pour faire leurs affûtages et surtout les rabots à moulures. Les tourneurs le recherchent parce que doux comme le poirier, il se travaille mieux; son grain serré et résistant se prête aux moulures les plus délicates; il garde bien le filet des vis les plus fines sans s'égrener. Il prend le plus beau poli et le vernis s'y applique avec facilité; l'acétate de fer, l'acide nitrique et autres acides concentrés le nuancent de couleurs diverses. (*Voy.* COLORATION DES BOIS.) Il est sujet à être percé par des vers de la grosse espèce.

Chêne (famille des cupulifères). — Le plus employé de tous les bois à cause de sa ténacité et de sa durée. Toutes les forêts de la France en produisent, c'est leur plus bel ornement. Pour être bon industriellement, il faut que l'arbre soit parvenu à un certain âge; le bois des coupes réglées n'est bon qu'à brûler, l'aubier y tient trop de place; il ne faut pas non plus que le chêne provienne d'arbres trop vieux, parce qu'alors il est dur, noir par le développement de l'acide gallique, gras sous le tranchant de l'outil, cassant et sujet à la vermoulure.

Le chêne submergé pendant deux ou trois années sous l'eau perd la sève qui est une cause d'altération et prend après sa dessiccation à l'air un grain fin. Il est alors recherché pour la belle menuiserie et constitue en effet un admirable élément de construction.

Le chêne *d'échantillon* employé pour les usages les plus ordinaires est celui qu'on a scié et débité dans la *vente* d'abattage, en longueur et en grosseur déterminées par l'usage qu'on doit en faire; il prend les noms de *membrures*, *madriers*, *cartels*, *poutres*, *solives*, *chevrons*, *faîtières*, etc., selon les dimensions. Le *merrain* est un chêne moins gros, refondu au coutre en forêt et servant aux tonneliers à faire les douves des tonneaux. Quant aux planches débitées, elles portent les noms de *voliges*, *feuillets*, etc.

Le chêne appartient essentiellement à l'Europe centrale; on connaît une soixantaine d'espèces différentes qui sont loin d'avoir la même valeur. Comme pour tous les arbres, le sol a aussi une influence sensible; les terrains marécageux produisent des arbres qui grossissent rapidement, mais le grain du bois n'est pas fin; il se tourmente beaucoup et est sujet à une prompte détérioration.

Les grands travaux de sculpture sur bois du moyen âge ont généralement été exécutés en chêne, qui acquiert par le temps une belle teinte foncée. Son poids spécifique varie de 1,231 à 6,616. Le plus dense est généralement le meilleur.

L'écorce du chêne ordinaire (Quercus robur) sert pour tanner les peaux; celle du chêne liége (Quercus suber) se détache en grandes plaques épaisses qui servent à fabriquer les bouchons.

Teak. — Chêne du Malabar fort apprécié pour les constructions navales. Il est remarquable par sa solidité et son inaltérabilité; il a la propriété de ne pas jouer. Très-employé en Angleterre, il devrait l'être davantage en France. Il a le grain de l'acajou et la couleur du noyer un peu clair. Il se polit comme le chêne.

Chataignier (id.). — Bois très-recherché jadis pour la charpente des combles des grands édifices; la plupart du temps toutefois on l'a confondu avec une espèce de chêne. Il est en effet à la fois léger et résistant, peu sujet aux attaques des vers, mais il pourrit dans la maçonnerie. Il offre l'aspect du jeune chêne. Il ne peut recevoir le poli.

Les jeunes branches reçoivent un emploi spécial important, à savoir de servir pour la confection des cercles de tonneaux.

Poids spécifique 0,80.

Hêtre (famille des Amentacées). — Grand et bel arbre dont le bois est très-employé dans les arts, mais sans être admis toutefois dans la bâtisse. Il n'offre pas une résistance comparable à celle du chêne; son élasticité est minime, il casse trop net.

Le grain de ce bois, qui n'a pas de fibres apparentes, se rapproche de celui du noyer, mais ne peut se polir comme celui-ci. Ce bois homogène, peu sujet à se gercer une fois qu'il est sec, s'emploie beaucoup dans la construction des meubles. Comme il n'a pas de fil apparent, il se coupe bien dans tous les sens et fait des assemblages solides. C'est avec le hêtre que le menuisier construit les établis, les tables épaisses. Débité en feuilles minces, le hêtre sert pour la boisselleric. Les facteurs de pianos l'emploient pour les mécaniques de ces instruments qui exigent beaucoup de légèreté. En un mot, c'est le bois usuel pour une infinité de professions pour lesquelles il convient par ses propriétés spéciales et son prix peu élevé. Il est malheureusement sujet à être piqué par le même petit ver qui cause tant de ravages dans le noyer.

Acajou (famille des Térébenthacées ou Cédrelacées). — Bois originaire de Campêche et de diverses parties de l'Amérique du Sud, où il acquiert souvent une hauteur de 10 à 15 mètres et un diamètre de 1m.50. Nous avons donné à Art industriel, l'historique curieux de l'introduction de l'acajou dans l'ameublement, qui a produit une révolution dans la fabrication des meubles. Ce bois pousse rapidement ce qui joint aux qualités précieuses qu'il possède, à sa beauté, à sa solidité, à son inaltérabilité, en fait une des matières premières les plus importantes pour les arts, l'industrie et le commerce de tous les pays civilisés. L'acajou est apporté en *billes*, c'est-à-dire en morceaux de toutes dimensions grossièrement équarris à la scie ou la hache, affectant ordinairement la forme de parallélipipèdes rectangles. On distingue pour l'emploi plusieurs variétés qui ont des valeurs très-différentes en raison des dessins différents que forment leurs veines. Je les passerai successivement en revue.

L'acajou *moucheté* a été un temps en grande faveur, il est un des bois les plus faciles à reconnaître par l'inspection extérieure des billes, ce qui, dans beaucoup de cas, offre de grandes difficultés. Avec de l'attention, on distingue sur la surface extérieure des billes des taches moins foncées que le fond, et qui paraissent picotées des vers : ces taches sont les mouches, qui seront plus foncées que le bois uni lorsque le bois sera travaillé. Ce bois fonce en vieillissant; il chatoie moins que certaines autres espèces; il est ferme, dur, d'un travail assez facile.

L'acajou *ronceux*, très-recherché. La ronce se forme dans tous les arbres dont le tronc se divise en deux ou trois branches; aussi les morceaux d'acajou ronceux se nomment-ils aussi *fourches*. Quand la fourche est composée de plusieurs branches, la ronce est sujette à être *fleurie*, qualité fort appréciée; mais alors la ronce est souvent courte et étroite; et comme la ronce large et longue est préférée, et que la fleur n'est que rare et accidentelle, on doit se défier de ces billes et donner la préférence aux fourches à deux branches égales en grosseur; il est bien plus probable que la ronce sera large et longue.

L'acheteur ne doit pas seulement veiller au dessin de l'acajou, il faut encore qu'il se préoccupe de sa couleur plus ou moins foncée. L'acajou blond est préféré, parce que l'acajou fonce toujours à l'emploi et que cette couleur est très-avantageuse pour faire ressortir la beauté de la ronce; l'acajou blond chatoie plus que l'autre.

L'acajou moiré, très-estimé pour les grands meubles, s'emploie plus souvent massif que l'acajou ronceux toujours débité en placage. La moire répond sans doute à un mode particulier de végétation; ce qui porte à le penser, c'est que parfois on trouve des parties de moiré dans le bois ronceux, sur les côtés de la ronce, car la ronce exclut la moire, et même dans le bois uni. C'est ainsi que dans nos bois indigènes nous trouvons des érables, des noyers et plus souvent des sycomores moirés, sans que les arbres qui jouissent de cet avantage appartiennent à des espèces distinctes.

L'acajou uni n'est variable que quant au grain et à la couleur.

On désigne sous le nom *d'acajou bâtard* plusieurs bois plus ou moins voisins de l'acajou, mais qui sont ternes, qui ne peuvent prendre l'éclat de l'acajou. Un examen scientifique de ces divers bois qui proviennent d'espèces voisines de l'acajou, est encore à faire.

On peut distinguer deux espèces principales : l'acajou bâtard proprement dit, bois très-lourd, d'une couleur sombre, peu veiné, dur, d'un grain fin, dans lequel se trouvent des pores longitudinaux apparents, et l'acajou femelle, plus voisin de l'acajou par le grain et un peu par la couleur, mais qui est léger et mou, cassant, peu propre à faire des assemblages. C'est un bois médiocre, bien inférieur au précédent. Ils ne

s'emploient tous deux que dans des parties peu apparentes des meubles.

Le *cafécdrat* est très-employé par les fabricants de fauteuils, de tables et d'autres meubles pour lesquels il faut un bois fort et résistant. Il a tout l'aspect de l'acajou, il se polit très-bien ; son grain est gros, apparent ; on y distingue, dans le bois tranché, de larges nervures fortement teintées, qui ne sont pas dans l'acajou.

Le *courbari*, employé surtout par les facteurs de pianos, est un bois lourd et dur, agréablement veiné de raies irrégulières brunes, jaunes et fauves.

NOYER (famille des Juglandacées). — Bois indigène qui, sauf la couleur, peut rivaliser de tout point avec l'acajou. Le noyer noir d'Auvergne est un bois doux et liant, susceptible de recevoir un beau poli et d'être parfaitement verni. Ce bois offre un veinage tel qu'on le débite en placage et qu'on en fait des meubles parfois d'une grande beauté. Le noyer blanc est moins recherché en tant qu'ornement et s'emploie presque toujours massif; on en fait des coffres de voitures, des tables, des commodes, des lits, des buffets, des secrétaires ; mais dans ces derniers cas on choisit celui où il se trouve des accidents de veinage. Ce bois est d'un fréquent usage ; il se coupe bien dans tous les sens ; il est assez résistant pour faire de bons assemblages. Son seul défaut est d'être un peu tendre et sujet à la piqûre des vers. Comme il vient de grande dimension et qu'il prend peu de retrait, il est souvent employé par les sculpteurs en bois.

La loupe de noyer, qui paraît provenir surtout des Pyrénées et d'Espagne, donne des dessins magnifiques, mais elle est assez rare.

HICKORI (id.). — Noyer blanc de l'Amérique du Nord, extrêmement remarquable par sa ténacité et son élasticité. Les Américains emploient avec succès pour une foule d'usages et notamment pour la carrosserie de jeunes branches sous des dimensions et à des poids bien moindres que ceux employés en Europe pour les pièces semblables faites avec nos bois.

BUIS (famille des Euphorbiacées). — Le plus dur et le plus compacte de nos bois. Il pousse lentement, aussi a-t-on de la peine à s'en procurer des pièces de grandes dimensions, surtout dans nos pays où il se pourrit presque toujours au centre lorsqu'il atteint une certaine grosseur, aussi en reçoit-on beaucoup des pays étrangers et notamment de l'Orient. On en distingue deux espèces : le buis vert et le buis jaune qui est le plus commum, le premier est le plus facile à travailler.

Le tourneur-tabletier préfère le buis à tout autre bois à cause de son tissu fin, serré, comparable à celui de l'ivoire; il se polit facilement, prend bien toutes les teintes qu'on veut lui donner et se vernit aisément. Les graveurs sur bois l'emploient exclusivement pour l'exécution des gravures en relief destinées à l'illustration des livres, et ces gravures faites sur bois debout montrent par leur finesse et leur résistance que le buis est formé de fibres parallèles extrêmement rapprochées les unes des autres.

La *loupe de buis*, improprement nommée *racine de buis*, car le bois de la racine diffère peu de celui de l'arbre, sert à faire des tabatières, des nécessaires, etc.

GAIAC (famille des Rutacées). — Bois remarquable par sa dureté, provient des deux Amériques et surtout de Saint-Domingue et de Bahama. Il résiste d'une manière extraordinaire aux frottements. Aussi est-il employé pour rouets de poulie, pour coussinets, etc. La structure de ce bois offre ceci de curieux que les fibres se croisent en faisant un angle de 30° avec l'axe, et si un groupe de couches annuelles se dirige vers la droite, un autre se dirige vers la gauche, sans une régularité absolue toutefois.

II. BOIS DE CHAUFFAGE.—Voyez CARBONISATION, SYLVICULTURE.

III. BOIS DE TEINTURE. Résineux ou non résineux, en bûches ou en éclisses. On ne considère comme bois de teinture que ceux dont l'infusion, riche en couleur, colore suffisamment les étoffes et d'autres substances. Les écorces et racines de certains arbres, branches et tiges de certains arbres reçoivent cet emploi.

On appelle *bois en éclisses* les bûches ou madriers débités en minces copeaux pour en extraire plus parfaitement et plus économiquement la matière colorante. Voyez EXTRAITS. On donne aussi, dans le commerce de droguerie, le nom de *bois de teinture moulus* aux minces copeaux qui tombent en poussière par le moindre effort, ainsi qu'à ceux qui sont réduits en poudre par la division mécanique.

Les bois de teinture les plus connus sont ceux du Brésil, de campêche, le santal, qui sont employés pour la teinture en rouge, et le bois jaune. Les plus estimés proviennent du Brésil, des Indes orientales, de la Jamaïque, de la Chine, de Siam, de Manille et des autres Philippines, de Gaban, d'Afrique, etc.; aussi les désigne-t-on généralement dans le commerce sous le nom des pays d'où on les tire :

Bois de Fernambouc ou de Brésil, des Indes ou de Sapan, de Bahama, de Nicaragua ou Sainte-Marthe, de Campêche, etc.

Celui de *Fernambouc* (Amérique), provenant de lieux secs et rocailleux, renferme la plus belle et la plus grande quantité de matière colorante : l'extérieur du tronc est gris ou blanchâtre, l'intérieur en est rouge ou jaune ; le premier est ordinairement enlevé, et le second est connu dans le commerce sous le nom de bois de Brésil; le meilleur vient du gouvernement de Paraïbo.

Celui du *Brésil*, pour la qualité de la matière colorante, est presque égal à celui de Fernambouc ; mais, d'après Bancroff, il ne contient que la moitié de la quantité de la matière colorante du bois de Fernambouc ; il est d'une couleur rouge foncé, avec des veines jaunâtres très-espacées. Plus il est vieux, plus il renferme de matière colorante; on estime alors principalement celui qui est en grands morceaux. La matière colorante propre à la teinture étant déposée par la végétation et ne se développant qu'avec le temps, la teinte des jeunes troncs est tout à fait blanche ; plus tard, ils passent successivement au rouge et au rouge brun.

Le *bois de Sapan* a été employé dans l'Inde orientale pour teindre en rouge dès les temps les plus reculés ; il venait en Europe quelque temps avant la découverte de l'Amérique. Le meilleur est le *Sapan de Siam;* après lui viennent ceux de Lima, de Java, le bois de Sapan de Chine, l'un et l'autre de qualité moyenne ; ceux de Manille et des autres Philippines, le bois de Saint-Martin et celui de Padangs sont les plus mauvais. (Voy. TEINTURE).

Le bois du *Brasiliensis cæsalpini* porte le nom de bois rouge de la Jamaïque, de Brasillet ou Bresillet de la Jamaïque, mais il est moins estimé que le bois de Brésil proprement dit. Ce bois vient principalement des îles de *Bahama;* il est pour cela souvent nommé d'après cette origine. Il nous arrive en bâtons, dépouillés d'écorce ; son aubier est blanchâtre, l'intérieur d'un rouge brun parsemé de veines transversales plus foncées.

Le *Nicaragua* ou *Sainte-Marthe* est presque aussi lourd que le Fernambouc, mais il ne renferme ordinairement que 1/3 autant d'une matière colorante qui n'est ni si belle ni si durable. Cependant sa qualité est très-variable; certaines variétés ne renfermant que 1/6 de la quantité de matière colorante du Fernambouc, tandis que d'autres en renferment jusqu'à

1/2. Ce bois se vend dans le commerce en bâtons foncés, gros comme le bras, très-tortueux, et remplis de trous d'un rouge pâle beaucoup plus foncé au centre qu'à la surface.

Le *Campêche* arrive en bûches, il est d'un rouge foncé qui devient noir quand on le coupe; on en fait usage pour teindre en rouge, en violet, en noir. Ce bois trempé dans l'eau donne une teinture si foncée qu'on peut s'en servir pour écrire. Voyez ENCRE.

Le *bois de Santal* est d'un beau rouge, moins foncé que le *Fernambouc;* il est dur et sec, mais s'éclatant facilement.

BOIS DURCI. — Curieuse industrie qui fournit une ressource intéressante à la fabrication si variée des articles de Paris, en permettant une reproduction à bon marché d'objets d'art, en matière suffisamment résistante, et rappelant tout à fait l'ébène sculpté. C'est sur l'extension du procédé indiqué en parlant du palissandre que repose ce procédé, qui consiste à reproduire en quelque sorte un bois artificiel en réunissant des éléments ligneux par une colle durable et résistante.

Le procédé exploité avec succès par M. Latry consiste à prendre de la sciure fine de bois dur, telle que celle que fournissent les scies à placage, à la mélanger intimement avec du sang de bœuf, puis à la mouler dans un moule en creux, en chauffant à une température convenable. Par le refroidissement la matière devient solide et résistante, son grain fin lui permet de recevoir le vernis.

La fabrication est décrite, comme il suit, dans un rapport fait par M. Chevalier à la Société d'Encouragement :

Des sciures de bois, de palissandre surtout, réduites en poudres très-fines, sont humectées avec une quantité convenable de sang mélangé d'eau, et portées dans une étuve chauffée de 50 à 60 degrés; là, elles se sèchent. C'est avec ces poussières que s'identifie l'albumine du sang. L'agglomération s'opère avec des sciures de même nature ou des sciures semblables. Le moulage est fait dans des bagues contenant des matrices en acier poli, destinées à reproduire, avec toute la finesse possible, diverses créations artistiques. Les poussières sèches sont empilées dans les moules, de manière qu'après la compression il n'y ait pas d'excès de matières premières, conséquemment de bavures.

La pression est obtenue au moyen d'une presse hydraulique d'une très-grande puissance.

Les plaques sont chauffées au gaz, de façon que la chaleur soit maintenue à un degré voulu pendant toute l'opération.

Les moules, munis de leurs bagues, se meuvent dans des rainures disposées de façon qu'ils ne puissent éprouver aucune variation.

Lorsque se produit la pression, un point d'arrêt fixe les plaques à leur distance respective; la distance est calculée de façon à recevoir un moule muni de sa bague dans chaque compartiment.

Les plaques dites de chauffe sont munies chacune d'un appareil à gaz fixé à elles, de façon à suivre le mouvement d'ascension ou de descente qu'on fait subir aux plaques, suivant la pression donnée aux diverses bagues.

Des tubes amènent le gaz de manière qu'à chaque trou corresponde un jet. Chacun des tubes est double, et une partie rentre concentriquement dans l'autre. Le tube central de cet appareil fournit, au moyen d'un ventilateur, de l'air froid venant de l'extérieur. C'est autour de ce tube aérateur que se trouve distribué le gaz destiné à chauffer les plaques à compartiment. La régularité du chauffage permet d'obtenir des moulages de la plus grande netteté. Le chauffage au gaz est assez coûteux, mais cet inconvénient est largement compensé par l'avantage qu'il offre dans le travail.

En examinant l'action exercée par l'albumine du sang sur la sciure, on en arrive à conclure qu'après que l'air a été expulsé par la pression, le mélange de sciure et d'albumine porté à une température de 170 à 200 degrés subit une fusion; il se forme alors une matière nouvelle, ressemblant au tissu ligneux, due à l'action simultanée de la résine contenue dans les sciures et de l'albumine du sang, en présence de la chaleur et de la pression.

Ce mode de reproduction à bon marché de sculpture en bois noir, imitant l'ébène, sert à faire des médaillons, des encriers, des châssis de coffrets, des reliures riches, etc.

BOLAIRE (*terre*). Nom donné à des argiles colorées par de l'oxyde de fer. Voyez ARGILE.

BOMBES. Voyez PROJECTILES.

BONNETERIE (*angl.* hosiery, *all.* strumpfweberei). La bonneterie, considérée sous son point de vue spécial, comprend tous les tissus dits *tricots*, tels que *bas, bonnets de coton, maillots, caleçons, gilets de laine, jupons, mitaines* et *gants tricotés*, etc. Tous ces tissus constituant la première classe des tissus à mailles et par suite élastiques (voy. TISSAGE) sont fabriqués au moyen d'un seul et même métier, dit *métier à tricoter*, dont la fig. 250 représente une vue en perspective.

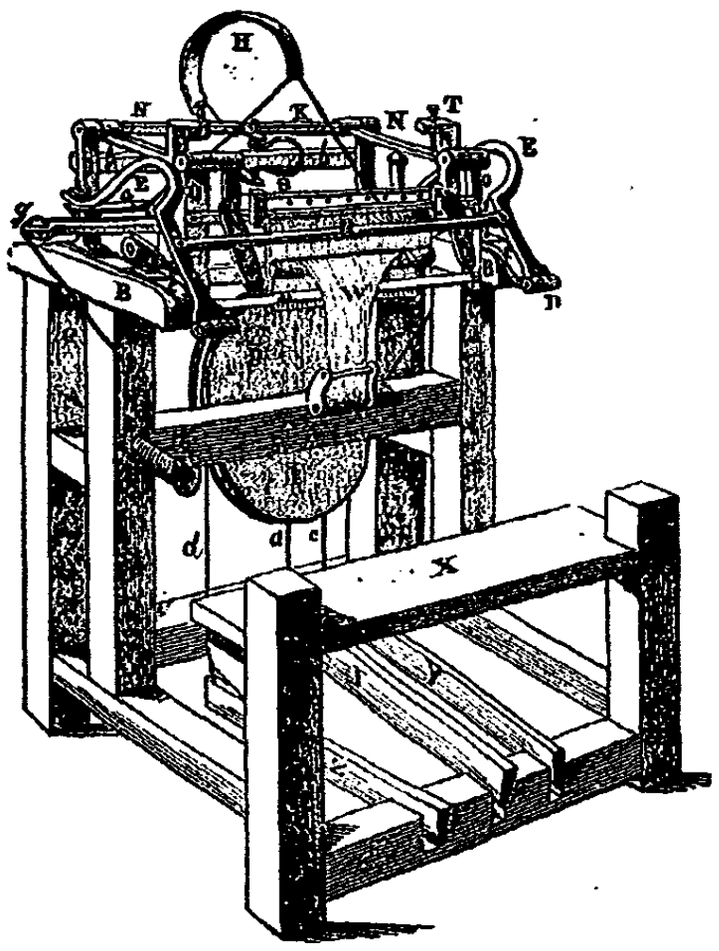


Fig. 250.

Autrefois, et cela est encore assez commun aujourd'hui dans les campagnes, les tricots se faisaient à la main au moyen de deux aiguilles; chaque mouvement faisant une *maille*. Dans le métier à tricoter, on fait autant de mailles d'un seul coup qu'il y en a de réparties sur une même ligne droite; le seul inconvénient que présente ce genre de travail, par rapport au premier, c'est qu'il ne peut donner que des surfaces planes, qu'on est ensuite obligé de relier par un remaillage spécial pour obtenir des vêtements formés, tandis que le tricot à la main permet d'obtenir immédiatement toute espèce de forme.

Mais cet inconvénient est largement compensé par la promptitude d'exécution du métier qui donne des

produits incomparablement moins coûteux que le travail à la main. Aussi le métier à bas a-t-il été considéré, avec juste raison, comme une des inventions les plus utiles de l'industrie moderne. Bien qu'elle ne soit pas très-ancienne son auteur ne nous est pas bien connu, et diverses légendes en ont fait honneur tantôt à la France, tantôt à l'Angleterre.

La tradition la plus probable est que le métier à bas fut inventé par William Lee du comté de Nottingham vers 1589, qui apporta ces métiers en France, à Rouen, à la suggestion de Sully. Il retourna en Angleterre à cause des désordres qui suivirent la mort de Henri IV, et cette industrie fut vraiment réimportée en France par Jean Hindret en 1656.

Le métier à bas ordinaire consiste en une série d'aiguilles placées parallèlement les unes aux autres, dans un même plan horizontal, et suffisamment distancées, selon la finesse et le serré du tricot que l'on veut obtenir. Ces aiguilles sont maintenues dans cette position par une de leurs extrémités, qui est noyée dans un bâti composé d'une série de petites plaques en étain contenant chacune deux aiguilles. L'assemblage des aiguilles avec ces plaques, appelées *plombs*, s'effectue de la manière suivante :

On a un moule en fer dans lequel sont ménagées bien exactement les places des deux aiguilles; quand ces dernières sont en place dans le moule, on coule l'étain fondu et on laisse refroidir avant de retirer. Par ce moyen obtient une distance constante entre les aiguilles accouplées, et si, par suite de la juxta-position des plaques, on n'obtient pas la même distance entre deux aiguilles consécutives appartenant à deux plaques contiguës, rien n'est plus simple que de rogner dans l'étain, ou d'ajouter un petit morceau de carton ou de tôle entre elles. L'autre extrémité des aiguilles, celle qui fait le travail du métier, est recourbée comme le représente la fig. 251 ci-contre. La

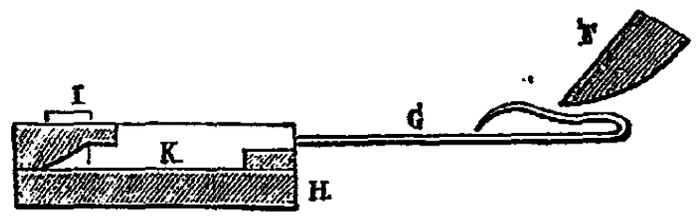


Fig. 251.

partie recourbée est assez élastique pour que son extrémité vienne s'appliquer sur le corps de l'aiguille, à l'aide d'une faible pression; en ce point où le contact a lieu dans ce cas, se trouve *le chas*, rainure capable de loger cette pointe, et la mettre ainsi dans l'impossibilité de retenir les fils sortants, comme nous verrons plus loin.

Entre les aiguilles sont intercalées des plaques ou lames verticales (fig. 252) appelées *platines*. Ces pièces, qui sont destinées à abaisser le fil entre les aiguilles pour l'opération du métier, portent chacune un bec à angle droit C, et une courbure convexe ou *ventre* V disposée au-dessous. Ces lames peuvent prendre un double mouvement, l'un de translation verticale et l'autre de translation horizontal parallélement à elles-mêmes. Indiquons d'abord leurs fonctions : le fil à tricoter F, d'une substance quelconque, est étalé sans tension, à la main dans le métier ordinaire, suivant une ligne droite sur la rangée horizontale des aiguilles de manière à faire un angle droit avec leur direction. Un mouvement de translation vertical des platines appuie successivement les becs C sur le fil F, fig. 252 *bis*, le force par conséquent à entrer dans les espaces vides qui séparent les aiguilles dont l'ensemble se nomme la *fonture* du métier. Cette transformation du fil droit en une espèce de feston constitue le

cueillage. L'avancement, dit également *amenage*, a lieu par un mouvement de translation horizontal des platines et l'action de la partie V sur le fil, fig. 253.

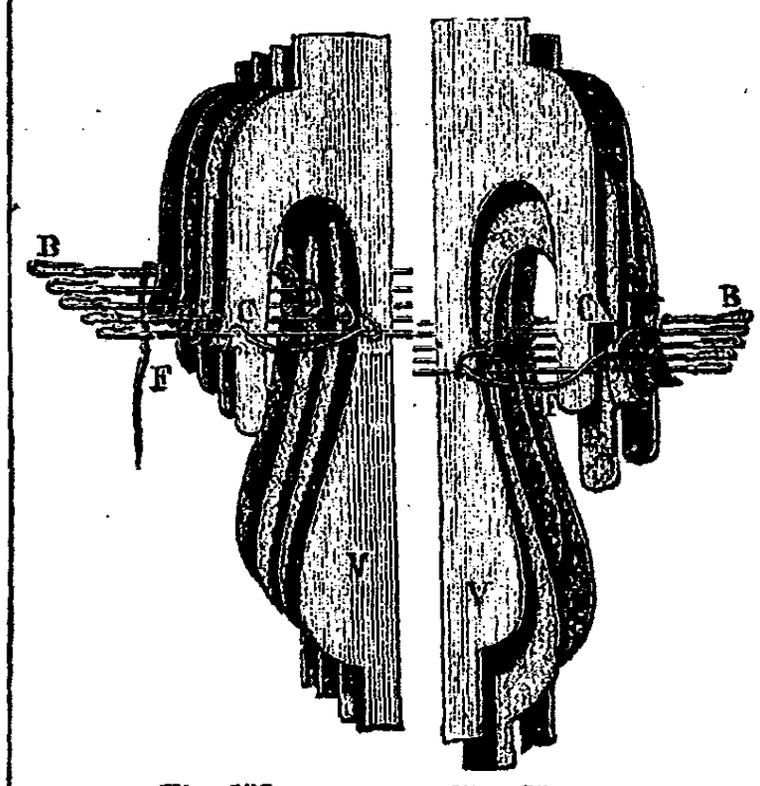


Fig. 252. Fig. 252 *bis*.

La fermeture des becs s'obtient par l'abaissement d'une règle ou presse sur les courbes B, et le dégagement du feston par-dessus les becs formés nommé par cette raison *abattage*, fig. 253 *bis*, se produit par une continuation d'action horizontale de la part du jeu de platines.

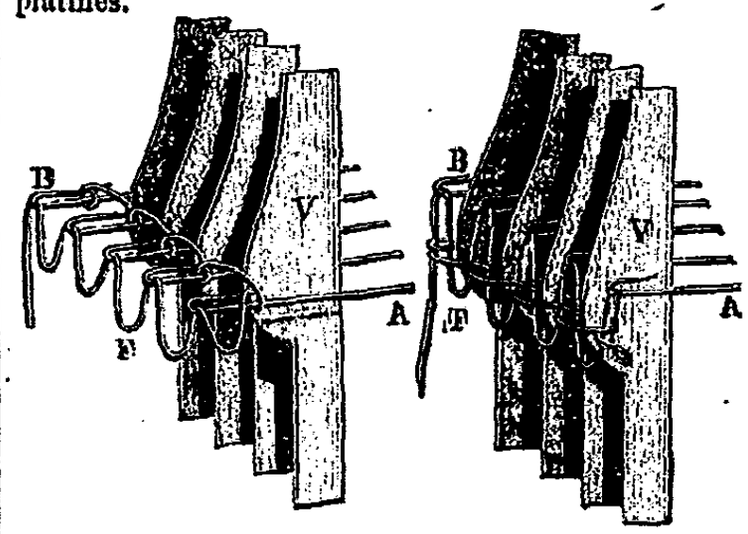


Fig. 253. Fig. 253 *bis*.

L'on remarquera que la rangée de mailles primitivement formée a passé par-dessus les becs, tandis que la nouvelle y est encore engagée. Il en résulte que le même fil a été alternativement bouclé autour de chacune de ces aiguilles fixes comme autour de celles du tricotage à la main. Après l'exécution de ces différents mouvements, nécessaires à la formation d'une rangée de mailles, l'on fait reprendre aux organes leurs positions primitives.

On distingue deux espèces de platines : les platines *fixes* et les platines *abaisseuses*.

Les platines L (fig. 254) reçoivent leur mouvement des pièces horizontales M, appelées *ondes*, avec lesquelles elles sont assemblées à charnière, et qui ont leurs axes sur *m*, *m*.

Les platines abaisseuses sont intercalées entre les platines fixes, de manière à présenter successivement une platine fixe et une platine abaisseuse.

Le but des deux systèmes de platines est le suivant :

Si on abattait sur le fil tendu toutes les platines à la fois, il en résulterait pour le fil une traction et un frottement sur les aiguilles et sous les crochets des platines, qui ne manqueraient pas de le faire rompre ou allonger au détriment de sa ténacité. Si au contraire on abat successivement les deux espèces de platines, fig. 252 *bis*, les premières descendant d'une quantité double, afin que les autres puissent prendre chacune à leur voisine la longueur de fil qu'il leur faut pour produire l'ondulation nécessaire, le fil ne subit qu'une traction pour la moitié du nombre des organes, est moins exposé à s'allonger. Les platines abaisseuses étant abattues, non pas simultanément, mais successivement, il n'est pas absolument nécessaire que les platines soient divisées en deux groupes, du moment où les abaisseuses sont abattues successivement, car il devient par là aussi facile d'opérer sans rompre le fil, en les abattant toutes les unes après les autres qu'en les abattant en deux fois, dont l'une successivement. Toutefois, le fil est toujours moins tiraillé par des platines espacées que par des platines rapprochées.

L'abattage des platines abaisseuses s'effectue de la manière suivante :

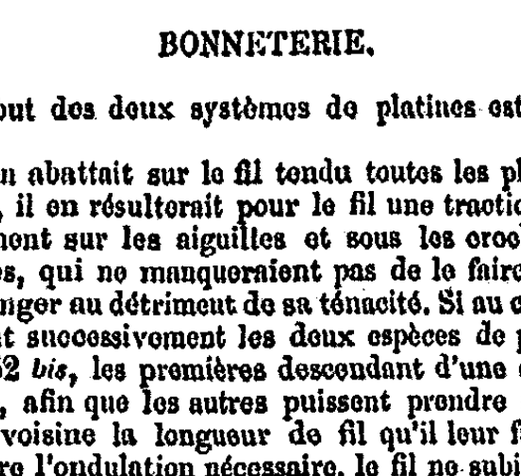


Fig. 254.

En V (fig. 254) est un curseur métallique mis en mouvement par la corde *g e*. Cette corde fait un tour complet sur la gorge de la *poulie* U, fig. 250, que mettent en mouvement les *pédales* Y et Z. *n*, *n*, sont des pièces faisant ressort sur les extrémités, de manière à les maintenir en place quand les platines abaisseuses sont levées. Comme l'indique facilement la figure, quand le curseur V avance, soit de droite à gauche, soit de gauche à droite de l'ouvrier, il soulève successivement les extrémités des ondes et abat les platines abaisseuses, qui restent dans cet état jusqu'au moment où un taquet, venant frapper sur l'extrémité *q* du levier *m*, fait baisser la barre *p p*, et avec elle les ondes M qui soulèvent les platines abaisseuses.

Cet exposé bien compris, nous allons donner la théorie de l'opération.

Théorie du métier à tricoter. Supposons un tricot commencé, et suspendu par conséquent aux aiguilles par une série de mailles. Soit ce tricot appliqué tangentiellement à la surface, formée par la série des parties rentrantes des platines ; soit S S, un fil droit qu'abaissent successivement les platines abaisseuses et fixes, de la manière que nous avons décrite plus haut. Faisant avancer les aiguilles en arrière jusqu'à tant que ce fil ondulé se trouve dans les crochets (dans la fig. 255, on a donné à tort une disposition inverse au tricot R R et au fil S S). A ce moment opérons une pression sur la totalité des crochets au moyen de la *presse* F (fig. 251), puis continuons à faire avancer en arrière les aiguilles, ainsi fermées, jusqu'à tant que les crochets se trouvent passés dans

les mailles du tricot déjà fait. On a ainsi obtenu une nouvelle série de mailles. En effet, lorsque nous faisons passer les crochets des aiguilles dans les

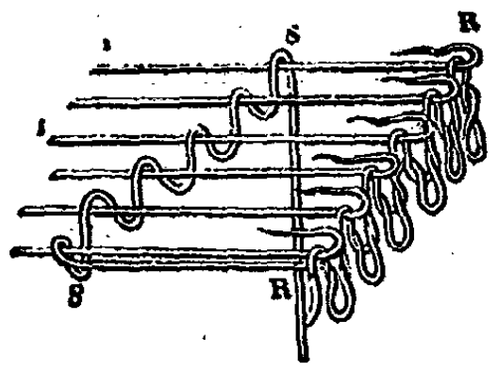


Fig. 255.

mailles du tricot, il y a à l'extrémité de ces crochets un fil ondulé qui, s'il était droit, empêcherait les mailles de sortir de ces aiguilles, mais qui ondulé pénètre dans ces mailles, qu'il laisse couler et retient près des crochets par de nouvelles mailles qu'il vient lui-même apporter.

La presse (fig. 250) est *abattue* au moyen de la pédale I, placée entre les deux pédales Y et Z ; la corde *a* attachée à cette pédale correspond à la barre G, qui par l'intermédiaire des leviers à charnière E, E, dits *cages en fer*, communique le mouvement à la presse. Le ressort H, communiquant par une corde aux deux pièces I' et G, a pour but de les maintenir alternativement levées ; c'est-à-dire que quand la pédale I est abaissée, la pièce G est baissée et le bâti P des platines fixes est levé ; tandis que, quand la pédale I est levée, la pièce G est levée et le bâti des platines fixes est baissé.

Ainsi quand les platines fixes sont abattues, les crochets sont ouverts, et quand les platines fixes sont levées, les crochets sont fermés ; ce sont deux opérations distinctes que l'on est parvenu à faire avec une seule pédale.

L'avancement et le reculement des aiguilles se fait à la main au moyen des deux *battants* B.

Comme la largeur des pièces à fabriquer n'est pas constante, pour ce qu'on nomme la façon, pour tenir compte, par exemple, du mollet, du bas de la jambe et de la pointe du pied, pour les bas, par exemple, il faut produire des élargissements et des rétrécissements progressifs convenablement combinés, ce qui s'obtient par l'augmentation ou la diminution d'une boucle de chaque côté du tricot, au point où il doit être élargi ou diminué. Le nombre de rangées qui doit subir ces additions ou soustractions dépendra évidemment du volume du vêtement.

Du métier à bas. — Le métier à bas diffère des autres métiers en ce qu'il donne toujours la même grosseur, et le même nombre de mailles ; il n'y a de variation possible que par le changement d'épaisseur du fil, qui fait le tissu plus serré ou plus clair. Il résulte de là que chaque métier a sa spécialité, et peut manquer comme regorger d'ouvrage suivant la mode des bonneteries du moment, ou suivant les commandes qu'on peut lui faire.

Le nombre des mailles d'un tricot, contenues dans une largeur donnée, varie beaucoup. Les tricots grossiers contiennent deux mailles par centimètre de large ; les tricots fins, les plus en usage, en contiennent depuis six jusqu'à dix.

Les aiguilles sont en fer et très-faciles à fabriquer ; néanmoins il faut encore bien connaître cette partie pour acquérir toute l'habileté nécessaire à leur confection, si on veut les obtenir bonnes et les vendre à bénéfice.

Pour faire les aiguilles on s'y prend de la manière suivante :

On a du fil de fer fort, fin et de qualité supérieure, incapable de se fendre ou de s'écailler par la torsion ; on le coupe en parties d'égales longueurs et en nombre suffisant, les longueurs et la finesse des aiguilles dépendant complétement de la finesse du tricot qu'elles sont destinées à faire.

On place les aiguilles ainsi préparées dans une botte en fer-blanc, puis on remplit les interstices avec du charbon de bois; on donne une chaude qui trempe légèrement la surface et rend le fer plus élastique. Pour rendre la trempe encore plus douce, on a soin de faire refroidir la botte dans un bain de cendres. Cela fait, on pratique une rainure sur une partie de la longueur de chaque aiguille pour recevoir la pointe pendant l'abatage; cette rainure se fait au moyen d'une machine représentée dans la fig. 257. Cette machine consiste en deux pièces de fer, A et C, assemblées à charnière au point B; la partie inférieure C est fixée à une table, et la partie supérieure A est mobile au moyen du ressort G et de la vis E, mise en mouvement par le levier D. En F est le ciseau destiné à faire la rainure dans l'aiguille placée dans un coussinet en acier trempé H. On obtient ainsi sur l'aiguille la rainure représentée dans la fig. 259.

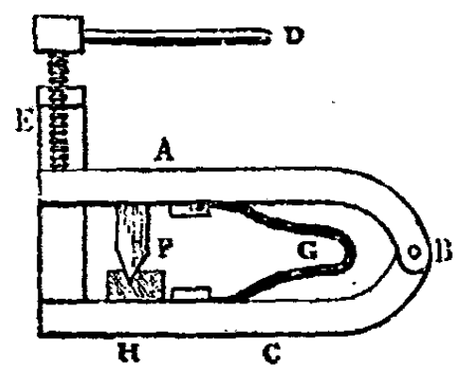


Fig. 257.

On lime ensuite l'extrémité des aiguilles, qui doit

Fig. 258.

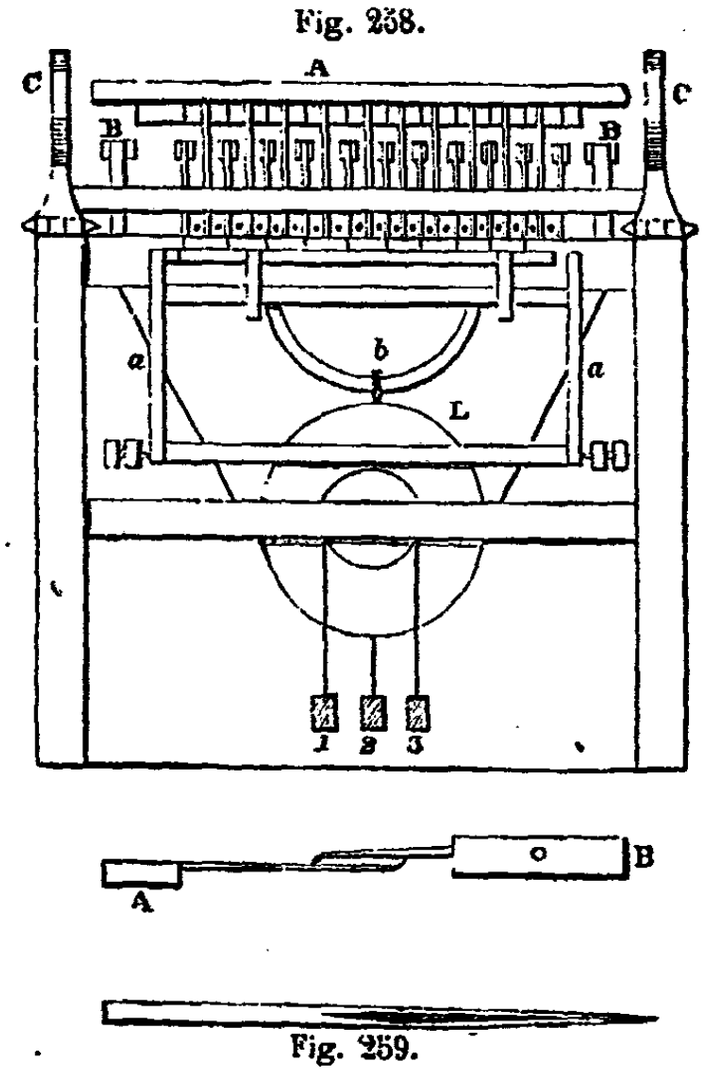


Fig. 259.

être recourbée, jusqu'à ce qu'elle offre une pointe très-aiguë et très-saine; ensuite on les courbe et leur donne la forme représentée dans la fig. 252. Enfin pour terminer, on aplatit au marteau l'autre extrémité

des aiguilles, afin qu'elles ne tournent pas dans leurs plombs.

Métier pour bas à côtes. Les tricots à côtes sont presque aussi employés que les tricots ordinaires, sinon pour la totalité des tissus, du moins pour une partie; ainsi le haut des bas, le bas des caleçons, etc., sont à côtes, parce que ce genre de tricot a l'avantage de se resserrer beaucoup et d'être élastique.

En principe, le tricot à côtes ne diffère du tricot ordinaire que par la disposition des mailles, dont les unes présentent la tête en dehors et les autres en dedans. Le métier à tricots à côtes ne diffère pas beaucoup, par cette raison, du métier ordinaire, comme nous allons le voir.

Il se compose d'un métier ordinaire auquel est ajoutée une machine particulière que nous allons expliquer:

Soit (fig. 258) un métier à tricoter vu de face. A étant le bâti qui supporte les platines fixes, B celui des platines abaissouses, et celui des cages en fer. On ajoute sur le devant le cadre *a a*, représenté par *a d* dans la fig. 260. La partie supérieure du cadre *a* est munie d'aiguilles à tricots, en tout semblables à celles du métier ordinaire ; ces aiguilles occupent les positions relatives indiquées dans la fig. 261. En *g* est une petite presse destinée à opérer l'abatage des aiguilles du cadre *a*. Ces aiguilles sont réparties par groupes de 1, 2, 3, 4, etc., suivant l'épaisseur que l'on veut donner aux côtes et la distance que l'on veut ménager entre elles. Si, par exemple, le côtelage est régulier et composé de quatre mailles d'un côté et quatre mailles de l'autre, il y a quatre aiguilles additionnelles telles que *f* devant quatre aiguilles de tricot *h*, puis un vide de quatre aiguilles *f* devant quatre autres aiguilles *h*, puis quatre aiguilles *f*, et ainsi de suite; dans ce cas le nombre des aiguilles *f* est moitié de celui des aiguilles du tricot.

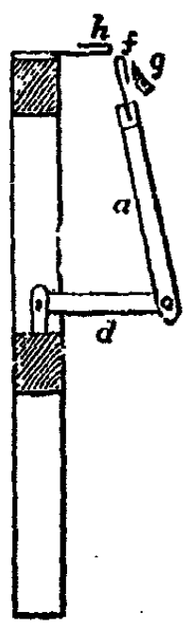


Fig. 260.

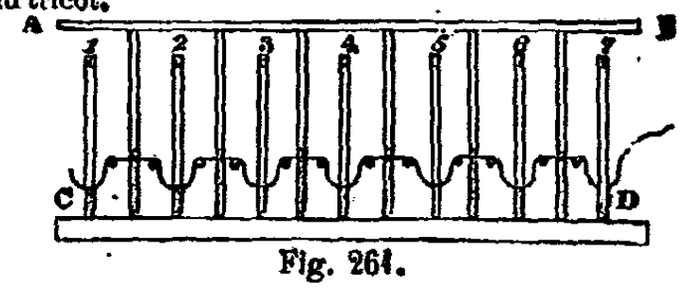


Fig. 261.

La manœuvre des aiguilles additionnelles s'effectue de la manière suivante :

Il faut retourner le sens d'un certain nombre de mailles, c'est-à-dire présenter le dos de la maille du côté opposé à celui que lui donne la machine; pour cela, il suffit de changer la position du plan des parties ondulées du fil correspondant aux côtes. A cet effet, les mailles ordinaires et les côtes se font alternativement. Quand les premières sont faites, les aiguilles à faire la côte sont soulevées entre les aiguilles à mailles ordinaires, sans qu'il soit ajouté de nouveau fil; on leur fait prendre ainsi le dernier fil des aiguilles à mailles correspondantes, puis on le fait repasser par la maille inférieure, d'où il sort pour se reporter sur l'aiguille d'où il a été enlevé. Par ce moyen on a simplement changé le sens de l'entrée de la nouvelle maille dans la maille inférieure, et par conséquent présenté le dos de la maille là où le tissu ordinaire présente l'ouverture.

BONNETERIE.

MÉTIERS CIRCULAIRES. — L'invention des métiers dits *circulaires*, destinés à faire des pièces de tricots sous la forme d'un tube ou manchon d'un diamètre plus ou moins grand et d'une longueur indéterminée, remonte à 1815 environ. On obtient sur ces métiers, par le développement des cylindres tricotés, une surface plane que l'on emploie comme un tissu quelconque, dans lequel on découpe les formes à assembler en raison de leur destination. Quoique inventé en principe vers 1815, ce système, par suite des perfectionnements qu'il a fallu y introduire, et aussi à cause de la lenteur inhérente à la propagation de toute nouveauté, n'a commencé à se faire adopter que vers 1835. La faveur dont il a joui et jouit encore repose surtout sur la possibilité d'une production particulièrement économique, restreinte aux articles à bas prix, ceux pour lesquels les formes n'ont pas besoin d'être établies par des variations dans le nombre des mailles par rangée lors de leur exécution, et aux objets qui n'ont pas de dimensions variables. La confection de la belle bonneterie reste en effet exclusivement réservée au système connu indistinctement sous les noms de métiers *droit*, *rectiligne*, de métier *français* par les uns, et *anglais* par les autres; dénominations qui indiquent des prétentions réciproques difficiles à trancher, pour le métier circulaire comme pour le métier à bas.

Depuis l'origine de l'usage des métiers circulaires, ils ont été modifiés de diverses manières, mais tous se composent des organes indispensables aux métiers droits : 1° d'une fonture ou jeu d'aiguilles disposées autour d'un plateau circulaire comme autant de rayons, au lieu d'être disposées parallèlement entre elles sur une même ligne droite; 2° d'un organe cueilleur modifié en raison de la disposition particulière des aiguilles; 3° d'un mode de pression pour fermer les becs; 4° d'un moyen pour faire cheminer les mailles pour arriver à l'*abatage*.

La dénomination de ces organes démontre que le travail du tricot circulaire réclame les mêmes éléments que la confection du tricot rectiligne exécuté sur le métier classique. Les modifications des divers métiers circulaires ont pour objet de modifier les formes des organes, de les approprier à la disposition particulière des aiguilles.

Les métiers circulaires les plus simples ne diffèrent absolument du métier droit que par le groupement circulaire des organes et leur transmission de mouvements. Les formes des aiguilles, celles des platines cueilleuses, sont à très-peu de chose près celles décrites pour le métier rectiligne. Le métier peut être mû à la main par une manivelle ou par un moteur quelconque agissant sur une poulie qui remplacerait la manivelle.

Métier circulaire à roues cueilleuses. — L'on avait eu l'idée, dès l'origine de la création du système circulaire, de supprimer entièrement les platines cueilleuses et d'y substituer une petite roue à dents disposée de telle façon que chacune de ses dents devait, par un mouvement de rotation, appuyer sur le fil étalé sur la fonture, et l'engager successivement entre les aiguilles correspondantes. Cette action forçait le fil de s'infléchir et de former le feston de la maille. L'emploi de ce moyen n'a eu d'abord que peu de succès, parce que le nombre des petites dents fixes et rapprochées placées autour de la circonférence d'un cercle simultanément en prise, ne pouvaient agir uniformément ni assez efficacement.

L'on a parfaitement obvié à cet inconvénient dans la construction des divers systèmes de roues mailleuses ou cueilleuses actuellement en usage. Le premier de ces perfectionnements qui ont ouvert une ère nouvelle aux métiers circulaires a été inventé en 1841 par M. Jacquin, de Troyes. Il repose comme tous ceux imaginés depuis sur les points principaux suivants :

1° Sur la mobilité des dents, qui peuvent rentrer et sortir de la jante pendant sa révolution.

2° Sur la propriété de ces dents de n'opérer sur la périphérie de la roue qu'au moment de leur fonctionnement et au point où leur action doit produire le cueillage.

3° De pouvoir faire varier la longueur des boucles en raison de la variation de l'amplitude de la course de la dent mobile.

Diverses dimensions et applications des métiers circulaires. — L'on exécute des métiers circulaires depuis cinq centimètres jusqu'à plus de trois mètres de diamètre de fonture. Les premiers sont plus spécialement destinés à des petits objets, à faire des bandages et autres articles pour les besoins de la chirurgie; l'on exécute sur les derniers des tissus de coton et surtout de laine destinés à faire une sorte de draperie foulée, de résistance assez médiocre, mais particulièrement élastique, et spécialement propre à certains vêtements du matin et de maison, tels que pantalons à pieds, robes de chambre, etc. Entre les deux dimensions désignées plus haut, on peut compter un grand nombre de *formats* différents, une vingtaine au moins. Le nombre de *chutes*, c'est-à-dire le nombre de répétitions des mêmes organes, tels que mailleuses, presses, pièces de reculement et d'abatage, augmente à finesses égales en raison du diamètre. Les organes constituant une chute remplissant exactement les mêmes fonctions que les doigts de l'ouvrière tricoteuse, il en résulte que plus il y a de chutes sur une machine, plus elle produira. Une petite machine sur un modèle de 0m,36 de diamètre, garnie de 1,000 à 1,400 aiguilles, munie de deux chutes seulement, peut tricoter 50 à 60 mètres carrés d'étoffe par jour, pesant de 4 à 5 kilog. Or, il y a de ces métiers dont le nombre de chutes s'élève à vingt, et dont la production est plus que décuple.

Métier rectiligne automatique à divisions multiples. — Le plus grand progrès, dont l'industrie de la bonneterie a été l'objet, dit M. Alcan (*Annales du Conservatoire*), auquel nous empruntons partie de ce qui précède, consiste dans l'exécution d'un métier rectiligne pouvant faire simultanément et automatiquement un nombre de pièces qui n'est limité que par celui des fontures, et par conséquent par la largeur du métier. Les tricots ouvrés sur ces métiers à la construction desquels ont conduit les progrès faits dans la construction et le maniement des métiers circulaires sont à formes, c'est-à-dire à *élargie* et *rétrécie*, suivant les besoins, et au moins aussi bien tissés que s'ils l'avaient été par l'ouvrier à la main le plus habile. Jusqu'ici les métiers les plus perfectionnés de ce genre sont à 6 divisions ou 6 fontures, produisant par conséquent simultanément 6 bas, avec une dépense insignifiante de force (1/10 de cheval). Un seul homme conduit facilement deux métiers qui produisent en finesse moyenne, en réduction ou jauge dite 20 fins, quatre douzaines de paires de bas ou 96 bas en 12 heures. Le même homme, en travaillant sur un métier ordinaire, n'en peut exécuter que *trois paires* pendant le même temps. La puissance productrice de l'ouvrier est par conséquent augmentée dans la proportion de 1 : 16, sans que la perfection du produit en souffre; au contraire, il y a plutôt moins de chances d'imperfection et de petites irrégularités presque inévitables dans le travail de la main qui se fatigue. L'emploi de ce métier, qui commence à se propager dans l'industrie des tissus à mailles, permet donc de faire au moins aussi bien que les meilleurs moyen en usage, d'obtenir des rendements sans précédents sous le rapport de la quantité, et explique comment les salaires ont pu être

augmentés parallèlement à la diminution du prix de revient et du produit.

Lorsqu'on voit fonctionner un métier qui produit six bas à la fois, il paraît fort compliqué, et cependant une machine semblable n'offre pas un organe ni un élément que ne possède le métier rectiligne ordinaire, et que nous ne connaissions par conséquent d'après les descriptions précédentes. Les différences entre le nouveau métier et l'ancien consistent principalement dans l'étendue plus grande du système à plusieurs divisions, et dans les transmissions de mouvements pour automatiser toutes les parties. Pour expliquer la machine nouvelle par des dessins, il eût fallu multiplier les figures outre mesure, et revenir de nouveau sur une partie de celles qui ont été décrites. Si elles ont été convenablement comprises, elles suffiront pour se rendre compte en principe des additions et des combinaisons mécaniques qui distinguent le métier rectiligne automatique à produire plusieurs pièces à la fois du métier rectiligne ordinaire.

Supposons une vue de face du métier classique, suffisamment étendue pour que l'on puisse, au lieu d'un fil, en étaler sur la fonture six de même longeur les uns à côté des autres. Bien entendu qu'entre chaque fil il y a un espace vide pour établir une séparation convenable entre les pièces d'étoffes et le jeu du mécanisme nécessaire à chacune. C'est donc simplement un métier à fonture ordinaire interrompue de place en place. Chacune de ces fontures est munie de deux poinçons, placés chacun en regard des lisières; l'un à la lisière ou rive de droite, et l'autre du côté opposé. Ils sont destinés, à un moment donné, à se déplacer de la distance d'une maille, pour élargir ou rétrécir la pièce, suivant la direction du déplacement de ces poinçons. Le métier à 6 bas est par conséquent garni de 12 poinçons semblables qui, comme les autres organes, doivent être commandés simultanément. Un mouvement continu de la part de la poulie motrice du métier commandé à la main ou par un moteur quelconque doit donc successivement réaliser les diverses fonctions qui concourent au travail complet, et chacune d'elles doit s'exécuter six fois simultanément sur un métier à six bas. Rappelons que ces fonctions sont: 1° la distribution du fil ou alimentation du métier et le cueillage; 2° le formage et l'abatage; 3° la fermeture des becs des aiguilles par la presse; 4° abaissement intermittent des poinçons et leur mouvement de translation; 5° actions correspondantes à celle du crochetage dans les métiers ordinaires, pour ramener les organes et leur commande à leurs positions initiales après leur fonctionnement.

Certaines de ces fonctions, comme celles dont les poinçons sont chargés, se décomposent pour s'exécuter en plusieurs temps. Elles ne se réalisent, en effet, qu'à des intervalles déterminés. Il faut que les organes qui les réalisent embraient et débraient spontanément à des périodes variables du travail, et de plus, que le point d'application du poinçon se déplace suivant une certaine loi à déterminer *a priori*.

Ces conditions peuvent donner une idée de la complication du problème à résoudre, et de la précision que réclame la combinaison et l'exécution de toutes les pièces mécaniques qui concourent à la construction du métier qui les résout pratiquement. Ceux qui garnissent les beaux ateliers de M. Tailbouis, à Saint-Just, comme celui que M. Berthelot, de Troyes, faisait admirer à l'Exposition de 1862, ne paraissaient réellement rien laisser à désirer.

La conception générale du système est facile à énoncer. Il consiste dans un arbre principal sur lequel sont assemblées autant de cames que le métier doit réaliser de fonctions ou de mouvements principaux. Ces cames commandent les organes par des tiges et des leviers convenablement combinés pour établir les relations voulues.

Cette invention est la cause d'une véritable révolution dans le prix de revient des produits de l'industrie de la bonneterie, mais en concentrant la fabrication dans des grands ateliers qui peuvent seuls être munis d'un matériel coûteux, cette révolution va paralyser les travaux des ouvriers possesseurs d'un petit nombre de métiers à bas de l'ancien modèle.

La production annuelle de la bonneterie française était, en 1862, d'environ 70 millions, qu'on peut diviser ainsi :

Coton.	55 0/0
Laine.	35 —
Soie.	9 —
Lin.	1 —

La moyenne des exportations était d'environ 10 0/0 de la production. La fabrication de l'Angleterre était évaluée à la même époque à 160 millions.

BORAX. Le borax, ou borate de soude anhydre, est un composé d'acide borique et d'oxyde de sodium; lorsqu'il est cristallisé il contient en outre 5 ou 10 équivalents d'eau par équivalent de sel, suivant qu'il a été obtenu à l'état de cristaux octaédriques ou de cristaux prismatiques. Voici au reste la composition du sel dans les trois états ci-dessous indiqués :

Borax anhydre.

1 équivalent d'acide borique. .	872	ou	69
1 équivalent de soude. . . .	390	—	31
Borax anhydre. . . .	1262	pour	100

Borax octaédrique.

1 équivalent d'acide borique.	872	ou	47,7
1 équivalent de soude. . .	390	—	21,3
5 équivalents d'eau. . . .	562,5	—	31,0
Borax octaédrique. .	1824,5	pour	100,0

Borax prismatique.

1 équivalent d'acide borique.	872	ou	36,55
1 équivalent de soude. . .	390	—	16,35
10 équivalents d'eau. . .	1125	ou	47,1
Borax prismatique. .	2387	pour	100,00

Le *borax prismatique* est un sel natif que l'on trouve abondamment dans l'Inde, en Chine, dans la Perse, dans l'île de Ceylan et dans l'Amérique du Sud; on en a même rencontré en Europe, dans le royaume de Saxe. Recueilli sur les bords de petits lacs qui le tiennent en dissolution, il était autrefois importé en grande quantité en Europe, où il était connu sous le nom de tinkal: reçu en petits cristaux, et contenant une certaine proportion de matières étrangères, on le raffinait avant de le livrer au commerce. L'industrie du raffinage, longtemps tenue secrète à Venise, puis concentrée en Hollande, fut enfin importée en France par les frères Lécuyer. Tant que le borax fut obtenu exclusivement avec le tinkal, son prix resta très élevé, il valait encore de 7 à 8 francs le kilogr. en 1845; vers cette époque commença en France la fabrication de ce sel au moyen de l'acide borique de Toscane et du carbonate de soude; ce nouveau procédé, très économique, puisque le borax se vend maintenant 2 fr. le kilogr., est aujourd'hui exclusivement employé en France et même en Angleterre; nous allons en donner la description. Quant à l'ancien procédé, qui n'était qu'une simple épuration, nous le croyons trop peu important pour l'indiquer ici. On le trouvera consigné du reste dans les anciens ouvrages de technologie.

Le procédé français consiste, nous le répétons, à traiter l'acide borique de Toscane (voyez l'article *acide* BORIQUE) par du carbonate de soude cristallisé, à la température de l'ébullition; le carbonate de soude est décomposé, il se forme du borate de soude, il y a déga-

BORAX.

gement d'acide carbonique, et le borax cristallise par le refroidissement de la liqueur. Au premier abord cette préparation paraît extrêmement simple, cependant elle a rencontré à l'origine des obstacles sérieux, qui provenaient de la difficulté que l'on éprouvait à obtenir des cristaux solides *et d'un très gros volume*, ainsi que le veulent encore les exigences et quelquefois les besoins du commerce. MM. Payen et Cartier écartèrent cet obstacle, et parvinrent à préparer régulièrement le borax en cristaux tenaces et volumineux en opérant la cristallisation sur de grandes masses, et en la rendant aussi lente et aussi régulière que possible. Ce premier obstacle écarté il s'en présente un second auquel on ne s'attendait pas, et que nous signalons parce qu'il montre bien comment les préjugés parviennent souvent à fausser le jugement ; en effet le commerce, habitué à trouver dans le borax de Hollande une teinte grisâtre et des cristaux à arêtes brisées par les secousses d'un long transport, ne voulut pas du nouveau produit, il fallut pour renverser ces préjugés imiter le borax de Hollande, et pour cela couronner les arêtes des cristaux en plaçant ceux-ci dans des tonneaux que l'on faisait tourner sur un axe. Aujourd'hui ces précautions ne sont plus nécessaires ; voici comment on opère.

Dans une grande cuve en bois, doublée de plomb et chauffée à la vapeur, on fait dissoudre 1200 kilogr. de carbonate de soude cristallisé dans une quantité d'eau telle qu'ajoutée avec celle produite par la condensation de la vapeur, le tout forme 2000 kilogr. Lorsque la dissolution est complète, on élève sa température à peu près à 100 degrés, puis on ajoute au liquide l'acide borique par portions de 4 à 5 kilogr. seulement à la fois ; le carbonate de soude est immédiatement décomposé, l'acide carbonique se dégage avec grande effervescence et il reste du borate de soude en dissolution ; si l'on mettait trop d'acide borique à la fois, le dégagement d'acide carbonique pourrait être assez violent pour projeter hors de la cuve une partie de la dissolution. Avec l'acide carbonique, il se dégage toujours entre autres gaz un peu d'ammoniaque qui provient de la décomposition de sels étrangers ; on pourrait le recueillir en fermant hermétiquement la cuve et en conduisant les gaz dégagés, par un tube de plomb, dans de l'acide sulfurique ; il se produirait du sulfate d'ammoniaque qui a une assez grande valeur.

Pour saturer les 1200 kilogr. de carbonate de soude cristallisé, on emploie environ 1000 kilogr. d'acide borique de Toscane, contenant à peu près 10 p. 100 de substances étrangères. Lorsque la saturation est complète, la solution doit marquer environ 21° Baumé ; on arrête alors la vapeur, et on laisse déposer le liquide pendant 10 ou 12 heures, puis on soutire la solution claire au moyen d'un robinet placé à 2 ou 3 décimètres du fond, c'est-à-dire au-dessus du dépôt.

La solution de borax est reçue dans des vases doublés de plomb, très peu profonds, 20 à 30 centimètres au plus, dans lesquels elle ne tarde pas à se refroidir et à cristalliser ; les cristaux détachés sont mis à l'égouttage sur un plan incliné. Les eaux mères passent dans une nouvelle opération, et les dépôts qui se sont formés dans la cuve de décomposition sont vidangés par une large cannelle.

Les cristaux de petite dimension, provenant de cette première cristallisation, doivent être soumis à une nouvelle opération qui consiste à les épurer et à les transformer en cristaux volumineux, tels que le commerce et l'industrie le réclament.

Raffinage du borax. Dans une cuve semblable à la précédente, et d'une grande dimension, on fait dissoudre à la fois 9000 kilogr. de borax brut ; cette dissolution s'opère à chaud, et on l'active singulièrement en plaçant le borax dans un panier en tôle élevé par une grue, et que l'on suspend au sein du liquide contenu dans la cuve. Après dissolution complète, on ajoute à la liqueur quelques centièmes de carbonate de soude. La solution bouillante doit marquer 21° à l'aréomètre de Baumé ; après un repos de une heure ou deux, on la soutire dans un grand cristallisoir doublé de plomb épais, et ayant à peu près 1m,50 de profondeur sur 2 à 3 mètres de côté. Ce cristallisoir est placé dans une pièce isolée, bien fermée, à l'abri des changements brusques de température, des chocs et ébranlements, et de toutes les causes, en un mot, qui pourraient troubler la cristallisation. Le refroidissement de la solution doit être extrêmement lent, et à cet effet, le cristallisoir doit être couvert, et environné de corps mauvais conducteurs de la chaleur. C'est en prenant toutes ces précautions, et surtout en adoptant les grands cristallisoirs que nous avons indiqués, que l'on parvient à obtenir les gros cristaux recherchés pour plusieurs applications. Suivant la température extérieure, la cristallisation doit durer de 25 à 30 jours, elle est terminée lorsque la liqueur ne marque plus que 28 à 30° de température ; à ce moment il faut enlever l'eau mère au moyen d'un siphon, puis un homme essuie vivement les arêtes des cristaux au moyen d'une éponge ; cela fait, on replace le couvercle et on laisse refroidir pendant quelques heures, afin que les cristaux surpris par le froid ne deviennent pas friables.

Les cristaux fortement adhérents aux parois du cristallisoir sont détachés au moyen d'un ciseau, et à grands coups de maillet, après leur dessiccation ; on les sépare les uns des autres avec une petite hachette, on en élimine les menus cristaux, puis on les emballe dans des caisses imitant les anciens emballages des Hollandais.

Le borax prismatique, obtenu comme nous venons de le dire, contient 47 p. 100 d'eau ; il a un goût douceâtre, il affecte les couleurs végétales comme un alcali, il est soluble dans 12 fois son poids d'eau froide et dans 2 parties d'eau bouillante. Exposé à l'air sec, il s'effleurit rapidement et perd sa transparence, il fond à une chaleur au-dessous de 100° et peut perdre toute son eau de cristallisation, il forme alors une masse spongieuse, qui par une plus haute température se fond en une masse transparente comme le cristal ; c'est le borax anhydre.

Le borax octaédrique, découvert par M. Payen, offre cela d'avantageux que cristallisé, il contient cependant moitié moins d'eau que le précédent. Il cristallise au sein d'une solution plus concentrée que celle qui produit le borax octaédrique, et dans des limites de température supérieures ; l'opération est donc la même que celle que nous venons de décrire, seulement la solution de borax brut doit marquer 30 à 32° à l'aréomètre de Baumé, et à 100° centigrades, lorsqu'on la soutire dans les grands cristallisoirs ; la cristallisation commence à 79° de température et le borax octoaédrique cesse de se former à 56°, on doit donc à ce moment enlever vivement les eaux mères qui ne donnent plus par le refroidissement que du borax prismatique.

Les cristaux de borax octaédrique adhérent fortement entre eux, ils forment des plaques peu épaisses, très dures et sonores ; à l'opposé du borax prismatique, ils s'effleurissent dans un air très humide, ou même lorsqu'on les plonge dans l'eau, ils tendent dans ces circonstances à absorber une quantité d'eau égale à celle qu'ils renferment déjà, et à passer à la composition du borax prismatique. Du reste les deux borax ont les mêmes propriétés, et agissent de la même manière dans toutes les applications, puisqu'ils commencent toujours par perdre leur eau de cristallisation.

Le borax fondu a la propriété, à une haute température, de dissoudre les oxydes métalliques et de les transformer en verres transparents et colorés, suivant leur nature ; c'est ainsi que l'oxyde de chrôme le co-

lore en vert émeraude; l'oxyde de cobalt, en un bleu intense; l'oxyde de cuivre, en vert pâle; l'oxyde de fer, en vert de bouteille ou en jaune; l'oxyde de manganèse, en violet; l'oxyde de nickel, en vert émeraude pâle. Les oxydes blancs ne le colorent pas.

Cette propriété remarquable, mise à profit dans les essais au chalumeau, est d'ailleurs la base de l'emploi principal que le borax trouve dans l'industrie. Tout le monde sait en effet que ce produit est indispensable dans quelques soudures, et pour les brasures il préserve de l'oxydation les parties que l'on veut réunir.

Depuis quelques années, on fait entrer le borax dans la composition des verres fins et des glaces, dont il facilite la bonne fabrication; d'ailleurs il est employé depuis longtemps comme fondant dans la préparation des couvertes pour porcelaine anglaise.

Dans ces dernières applications le borax, pourvu qu'il soit pur, n'a pas besoin d'être cristallisé, il serait même préférable qu'il fût anhydre; c'est à cette intention, et pour rendre en même temps la fabrication moins coûteuse, que l'on a proposé divers procédés; nous citerons entre autres celui qui consiste à épurer préalablement l'acide borique, puis à le combiner à sec avec la soude, en le mélangeant avec la proportion nécessaire de carbonate de soude cristallisé et en soumettant le mélange intime à une température convenable dans une étuve. Il paraît que dans ces circonstances la réaction se fait aussi bien qu'avec des dissolutions, et qu'on obtient du premier coup du borax spongieux très blanc et privé d'eau. Si l'acide borique arrivait pur de Toscane, nul doute que ce procédé ne fût économique; mais dans l'état actuel des choses il n'en est pas ainsi, en sorte que l'expérience peut seule prononcer pour ou contre ce nouveau mode de travail.

ACIDE BORIQUE. L'acide borique est composé de bore et d'oxygène; il peut se rencontrer ou se produire dans trois états différents. Il est formé de :

1° A l'état anhydre.

Bore.	31,19
Oxygène. . . .	68,81
	100,00

2° Hydraté, mais desséché à la température de 100°.

Acide borique.	Bore. .	22,5	72,1
	Oxygène. .	49,6	
Eau.			27,9
			100,0

3° Cristallisé dans des dissolutions aqueuses, tel du reste qu'il se trouve dans le commerce.

Acide borique.	Bore. .	17,58	56,38
	Oxygène. .	38,80	
Eau.			43,62
			100,00

Lorsque l'acide borique cristallisé est pur, et qu'on vient à le chauffer, il perd d'abord la moitié de son eau de cristallisation à la température de 100°; puis, à la température rouge, le reste de l'eau se dégage, il éprouve la fusion ignée, et il se transforme en un verre transparent et d'une grande limpidité; à cet état il attire fortement l'humidité et ne tarderait pas à perdre sa transparence si on ne le conservait dans des vases hermétiquement fermés.

L'acide borique est peu soluble dans l'eau; à 10°, 100 parties de ce liquide n'en dissolvent que 3 parties, et, à la température de l'ébullition, 8 parties, dont 5 se déposent par le refroidissement en petits cristaux prismatiques.

Découvert en 1702 par Homberg, cet acide s'extrayait autrefois exclusivement du borate de soude, ou tinkal (voyez l'article précédent BORAX), pour les besoins de la médecine; rien n'est plus simple que cette

préparation; il suffit de dissoudre à chaud le borax et de traiter la dissolution par de l'acide sulfurique concentré; il se forme du sulfate de soude qui reste en dissolution, et l'acide borique très peu soluble se précipite en larges écailles nacrées au fur et à mesure que la liqueur se refroidit. Préparé de cette manière, l'acide borique, connu sous le nom de *sel sédatif de Homberg* retient toujours, malgré des lavages, un peu d'acid sulfurique.

Aujourd'hui, non seulement l'acide borique ne prépare plus avec le borax pour les besoins des arts, mais encore les lagoni de Toscane en fournissent naturellement en telle quantité, que la plus grande partie du borax, livré au commerce, se prépare, comme nous l'avons vu dans le précédent article, en combinant directement l'acide borique avec la soude.

Sous le nom de *lagoni* on désigne les localités de la Toscane où se recueille l'acide borique; ce sont de vastes bassins que l'on maintient toujours remplis d'eau, et sous lesquels viennent déboucher des petits cratères ou *soffioni*, qui dégagent continuellement des vapeurs sortant du sein de la terre; ces vapeurs entraînent avec elles une certaine quantité d'acide borique qui se dissout dans l'eau des lacs; lorsque cette dissolution est arrivée à un certain degré de concentration, il suffit, pour en extraire l'acide borique, de concentrer et de faire cristalliser la liqueur.

Dans l'extraction en grand de l'acide borique, on a superposé plusieurs vastes bassins dans lesquels aboutissent le plus grand nombre possible de soffioni, et disposés de telle manière qu'on fait arriver de l'eau pure seulement dans le bassin le plus élevé, et qu'on la fait ensuite circuler successivement dans les bassins inférieurs, jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment saturée d'acide borique. Les eaux séjournent à peu près 24 heures dans chaque bassin; elles y sont agitées incessamment par les courants de vapeurs souterraines, dont la force est telle qu'elles lancent souvent l'eau des lagoni à une très grande hauteur.

Lorsque les eaux arrivées dans le bassin le plus bas y ont également séjourné 24 heures, on les soutire dans un réservoir appelé *vasque*, de 6 mètres carrés de superficie sur 1 mètre de profondeur, où la plus grande partie de la vase se dépose pendant un jour et une nuit, c'est-à-dire pendant l'intervalle que l'on met entre deux vidanges des bassins. On a toujours deux vasques placées l'une à côté de l'autre; pendant que les dépôts se forment dans l'une, l'autre sert à alimenter les chaudières d'évaporation.

Le liquide clair surnageant dans les vasques est décanté directement dans deux batteries de chacune sept chaudières en plomb, ayant 2m,90 en carré sur 0m,35 de profondeur, supportées par de forts chevrons en bois au-dessus d'une maçonnerie en gradins. Toutes les chaudières peuvent se vider successivement les unes dans les autres, la plus élevée est celle qui reçoit le liquide des vasques.

Pour évaporer la dissolution très étendue d'acide borique, on a profité de la chaleur produite par la vapeur des soffioni; cette vapeur, amenée par des galeries en pierre, s'introduit sous la dernière chaudière de chaque batterie, et sèche successivement le fond de toutes les autres.

C'est à M. Larderelle, le créateur de cette industri perfectionnée, que l'on doit cette heureuse et économique application de la vapeur perdue à l'évaporation. Avant lui, on se servait de combustibles très chers, ce qui augmentait le prix de revient de l'acide de manière à le rendre inabordable.

La solution d'acide borique soutirée claire des vasques, marque ordinairement de 1° à 1°,5 à l'aréomètre de Baumé; on en remplit les quatre premières chaudières de chaque double batterie. Après 24 heures d'évapora-

BOUCHES A FEU.

tion, la solution rapprochée à moitié de son volume primitif est transvasée à l'aide de siphons en plomb dans les deux chaudières suivantes de chaque rangée ; elle est remplacée par le produit d'une nouvelle décantation de la vasque. Vingt-quatre heures plus tard, la solution, réduite encore de moitié, c'est-à-dire amenée au quart du volume primitif, est siphonée dans chacune des dernières chaudières des deux batteries, et on y réunit les eaux mères provenant d'une cristallisation précédente.

C'est dans ces dernières chaudières que se termine la concentration, au bout de 21 heures; la solution marquant 10 à 12° Baumé, à la température de 78 à 85°, est soutirée immédiatement dans des cuviers en bois, doublés de plomb, ayant à peu près 80 centimètres de diamètre sur une profondeur de 1 mètre.

L'évaporation dure donc en tout 72 heures ; par la cristallisation, on obtient, de chaque double batterie de 7 chaudières, 90 kilogr. d'acide borique commercial. Lorsque la cristallisation est terminée, on soutire l'eau mère pour l'ajouter à une nouvelle opération et dans les dernières chaudières évaporatoires. L'acide est placé dans des paniers en osier dans lesquels il s'égoutte, puis on le porte sur le plancher d'un séchoir en briques, chauffé en-dessous par la vapeur d'un suffioni, que l'on amène par des canaux en pierre.

Jusqu'à présent, la Toscane est le seul pays qui ait fourni au commerce de l'acide borique, et c'est là un monopole qui lui est très-profitable ; il est produit par 9 fabriques, toutes fondées sur le principe que nous venons d'indiquer, par M. Lardorello; voici les noms de ces fabriques et les quantités d'acide borique qu'elles livraient il y a peu de temps encore au commerce :

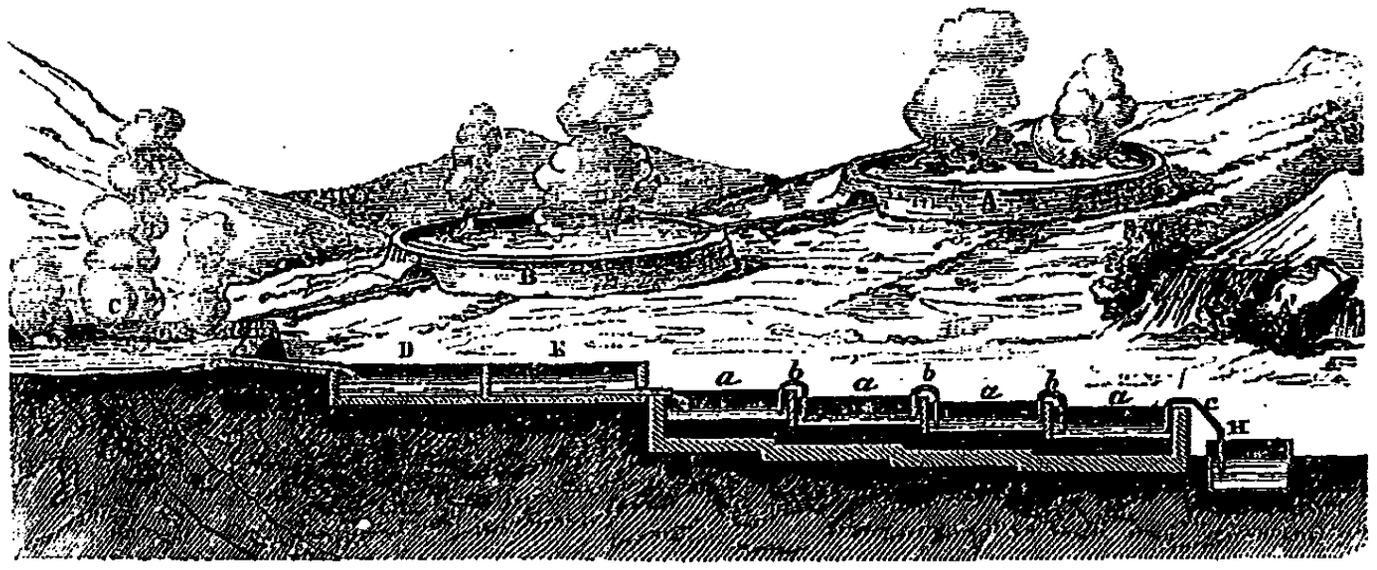
Sasso.	46,000	kilogr. par mois.
Larderello	11,000	
Lervazano	9,000	
Monte-Cerboli . .	8,500	
Castel Nuovo . . .	8,500	
Monte-Rotondo . .	7,500	
San Frederigo. . .	4,000	
Lustignano. . . .	3,400	
Lago.	2,400	
	69,200	kilogr. par mois.

Soit au total, par année, 831,600 kilogr. d'acide borique. Malheureusement, cet acide n'est pas très-pur, comme on peut en juger par le tableau suivant, que l'on doit à M. Payen, qui a visité avec détail cette curieuse industrie.

Pour 100 kilogr. d'acide borique brut, on a trouvé :

Acide borique pur et cristallisé. .	74 à 84
Sulfate d'ammoniaque. . . .	14 à 8
Id. de magnésie	
Id. de chaux.	
Chlorure de chaux.	
Alun	
Argile, sable.	2,5 à 1,25
Soufre.	
Eau hygroscopique dégagée à 35° .	7 à 5,75
Matière organique azotée. . .	2,5 à 1
Hydrochlorate d'ammoniaque .	
Acide hydrochlorique. . . .	
Acide hydrosulfurique . . .	
	100 à 100

Comme on le voit, il existe de 16 à 26 p. 100 de matières étrangères dans l'acide borique de Toscane; ces substances augmentent en pure perte les frais de transports et d'emballage, qui sont déjà assez considérables; on pourrait en réduire la quantité en traitant les eaux mères à part, au lieu de les remettre avec les nouvelles solutions d'acide borique.



Exploitation de l'acide borique en Toscane.

Une autre économie réalisable sur le prix de transport et d'emballage résulterait de la dessiccation de l'acide borique cristallisé, à une température de 100°. Par ce moyen, on chasserait, comme nous l'avons déjà dit, la moitié de l'eau de cristallisation, et, au lieu d'avoir seulement 56 p. 100 d'acide borique réel, on en aurait 72 p. 100.

L'acide borique sert, comme nous l'avons vu, à préparer le borate de soude ; on l'emploie aussi en quantité assez considérable dans la préparation de l'émail de certaines poteries pour en accroître la fusibilité et l'éclat.

BOUCHES A FEU. (*angl.* gun, *all.* geschuz.) Les bouches à feu sont les machines employées pour lancer avec une grande vitesse des projectiles d'un poids considérable et capables, par suite, de renverser les obstacles qu'ils rencontrent, même à de grandes distances.

Nous nous occuperons, dans cet article, de la construction des bouches à feu, tant des essais anciens que des procédés nouveaux. Mais d'abord quelques mots sont nécessaires pour analyser ce qui se passe dans le tir d'une bouche à feu, afin d'en déduire les conditions auxquelles doit satisfaire sa construction.

La première chose à déterminer dans la construction d'une bouche à feu, ce sont les dimensions de l'âme ou de l'intérieur de la pièce, d'après la vitesse initiale que l'on veut imprimer au projectile. Le diamètre de celui-ci donne évidemment celui de l'âme; quant à la longueur, plus la bouche à feu sera longue, plus la détente des gaz agira longtemps, et par suite, le travail sera avan-

tageux, au moins dans des limites dont la pratique est bien éloignée.

En effet, une même vitesse initiale peut être donnée à un projectile par plusieurs bouches à feu de longueurs d'âme différentes, lorsque la charge varie, la variation de la charge pouvant compenser celle de la longueur. Or il existe certaines limites pour les poids, les longueurs et les épaisseurs qu'on ne peut dépasser sans inconvénients : ainsi, pour les très-gros calibres, on donne proportionnellement moins de longueur que pour les petits, afin de ne pas trop augmenter la quantité de métal et le poids ; pour les petits calibres, on évite les âmes trop courtes, qui ne donnent ni justesse ni égalité de portée et occasionnent une grande consommation de poudre.

La table ci-dessous donne assez exactement, pour une très-bonne poudre et une bouche à feu en très-bon état, les vitesses initiales du boulet sphérique (qui constituent le travail à produire), en raison des variations des divers éléments énumérés ci-dessus.

Longueurs d'âme des pièces en nombre de longueurs de leurs boulets.....		6	8	10	12	14	16	18	20
Vitesses initiales pour des charges de.....	1/3 du poids du projectile.....	322m	382m	422m	450m	473m	492m	507m	518m
	1/6 —	243	287	319	344	368	378	389	396
	1/10 —	200	234	259	278	293	304	311	314

La charge et la longueur d'une bouche à feu étant déterminées, il reste à régler les épaisseurs du métal d'après la résistance de celui-ci et les tensions du fluide dans l'âme, suivant les diverses positions du projectile. C'est là le travail qu'a su faire Piobert. Les formules auxquelles il a été conduit, et pour l'établissement desquelles il est parti des expériences de Rumford sur la pression des gaz de la poudre faisant explosion dans un cylindre fermé qui en était rempli (la rupture des enveloppes a indiqué, dans ce cas, une pression de 25 000 à 30 000 atmosphères) et d'expériences qui lui sont propres sur la vitesse d'inflammation de la poudre (voyez POUDRE A CANON), permettent de calculer les dimensions de bouches à feu quelconques. C'est d'après ces considérations qu'il a pu établir les projets de plusieurs bouches à feu, en même temps que constater l'excellence des dimensions adoptées pour les anciens canons, par Gribeauval, d'après de nombreuses expériences.

I. — *Des métaux propres à la fabrication des bouches à feu.* Pour qu'un métal soit convenable pour fabriquer une bouche à feu il faut qu'il possède :

1° Une ténacité suffisante, pour que, sans exiger des dimensions énormes, il puisse résister aux pressions engendrées par l'expansion des gaz ; le poids, croissant avec les dimensions, aurait bientôt atteint la limite au delà de laquelle l'arme cesserait d'être transportable, et se trouverait complétement inutile. On se trouve ainsi réduit, en ne tenant pas compte des métaux précieux, aux trois métaux ou alliages : FER, BRONZE, FONTE ; en les rangeant par ordre de ténacité. Nous laissons de côté l'acier dont nous parlerons séparément plus loin.

La pression nécessaire à la rupture par centimètre carré est en atmosphères, pour les trois métaux ci-dessous :

	Fer.	Bronze.	Fonte.
	4200atm	2600atm	1200atm.
Les densités sont :	7,70	8,626	7,03.

2° Une dureté assez grande, pour que la pièce ne soit pas promptement détériorée par l'action intérieure des gaz, et surtout les frottements et les chocs du projectile dans l'âme de la pièce.

La dureté ne suit nullement l'ordre des ténacités : ainsi la fonte a, sous ce rapport, le premier rang ; par conséquent, les chocs et les compressions qui auront lieu dans l'intérieur de l'âme ne peuvent avoir aucun effet sensible sur la fonte. Cet effet sera un peu plus considérable, quoique faible, pour le fer, et enfin, il sera très-notable, et une cause de détérioration rapide dans le cas de l'emploi du bronze. L'ordre des duretés est donc : fonte, fer, bronze.

La différence de ces effets est telle que le logement du boulet (c'est-à-dire l'impression que fait le projectile dans la bouche à feu par suite de l'échappement des gaz par le vide que le projectile laisse nécessairement à la partie supérieure, qu'on appelle le vent) dans une pièce en fonte ne dépasse pas, après un long usage, 4 ou 5 points, ce qui ne produit pas grand inconvénient ; tandis qu'il est de 2 à 3 lignes, au bout de 6 à 700 coups, dans les meilleures pièces de campagne en bronze tirées à boulets sphériques roulants (c'est-à-dire sans être garnis de sabots de bois ou de carton, calottes demi-sphériques qui détruisent le vent), ce qui met celles-ci hors de service, en rendant leur tir trop incertain, outre qu'elles seraient bientôt complétement détruites par les ricochets intérieurs, si on continuait à s'en servir.

3° Un mode d'éclatement qui ne soit pas dangereux pour les soldats. En effet, si par l'usure ou l'emploi d'une charge trop forte une pièce en fer ou en bronze ne peut résister, la génératrice rectiligne, suivant laquelle s'exerce la plus grande pression, devient une ligne de rupture ; celle-ci commence à l'intérieur tend à s'accroître, et à cause de la malléabilité des parois, ceux-ci cédant, la pièce s'ouvre sans donner d'éclats.

Dans une pièce en fonte, au contraire, s'il se forme une pareille fissure, soit par des causes semblables, soit par une oxydation intérieure ou un défaut du métal en un point, l'action des gaz contre les parois de la fissure fait éclater le métal qui ne saurait s'allonger, et il est projeté en éclats, comme cela arrive pour les projectiles creux ; nous devons donc considérer le fer et le bronze comme satisfaisant seuls complétement à cette condition. L'inconvénient d'employer la fonte seule ne pourra être diminué qu'en choisissant la fonte de la meilleure qualité, et en lui donnant des épaisseurs bien supérieures à celles rigoureusement nécessaires, afin de diminuer les chances d'explosion.

4° Le moindre prix possible.

La valeur que représente l'artillerie d'une nation étant énorme, il y a grand avantage à avoir des pièces qui coûtent le moins possible, ou, si l'on veut, à avoir, pour la même dépense, la plus nombreuse artillerie possible. L'ordre de valeur est *fonte, fer, bronze.*

Le bronze est de beaucoup le plus cher, et la différence de prix pourrait compenser des frais de fabrication un peu compliqués, s'il s'agissait de le remplacer par la fonte et le fer.

5° Un approvisionnement qui puisse croître facilement avec les besoins.

A ce point de vue l'avantage est encore au fer et à la fonte sur le bronze.

II. — *Du métal convenable dans chaque cas.* Nous pouvons maintenant déterminer le métal qu'on doit employer pour les divers genres d'armes.

Fusils. La condition importante étant celle d'une grande légèreté pour une grande résistance, et le fer se

forgeant aisément à de petites épaisseurs, le canon d'un fusil devra évidemment être en fer.

Canons de côte. Le nombre des canons de côte étant très-grand, on ne pourrait les faire en bronze à cause de la dépense, puisqu'ils représenteraient un capital énorme; on sera donc obligé de les faire en fonte. Les inconvénients de la fonte seront ici les moindres possibles, puisque les pièces ne devant pas être transportées peuvent avoir des poids considérables. Le frettage avec des cercles d'acier, qui joue un grand rôle dans la fabrication d'Armstrong, offre de nouvelles ressources pour améliorer cette fabrication.

En Amérique, on a obtenu des pièces en fonte de très-bonne qualité en refroidissant rapidement le noyau intérieur, après la coulée, au moyen d'une circulation d'eau.

Canons de siége et de campagne. Ces canons, qui doivent être d'un déplacement facile, surtout ceux de campagne, se sont faits longtemps seulement en bronze, dont l'emploi offre toute sécurité, mais qui ne sont pas d'une durée suffisante, car ils peuvent se trouver usés au milieu d'une campagne. La difficulté d'éviter ces inconvénients est très-grande; on a proposé, à bien des reprises différentes, des canons en fonte. Les Suédois, se confiant dans l'excellence de leurs fontes de fer, et contraints par l'économie, les ont adoptés; mais ce système doit être rejeté à cause du danger d'éclatement des pièces qui, même avec trop peu d'épaisseur, sont encore trop lourdes, lorsque la mobilité fait la force de l'artillerie de campagne. On peut admettre cette solution pour l'artillerie servant à la défense des places fortes.

Le fer est le métal qui paraît remplir le mieux la plupart des conditions qu'exigent les canons de campagne. On n'est arrêté que par une difficulté de fabrication que les progrès de l'industrie feront certainement disparaître, disais-je ici dès 1845; cette prédiction est réalisée aujourd'hui.

Dans tous les musées d'artillerie on voit d'anciennes pièces, pour la plupart construites en barres de fer incomplétement réunies par des cercles. Nous allons indiquer comment les progrès de l'industrie du fer et les découvertes de la science ont rendu possible un genre de fabrication dont la difficulté dépassait autrefois les moyens de fabrication dont les ateliers disposaient.

III. — *Canons en fer.* Dans son grand ouvrage sur la fabrication des canons, Monge dit: « Que, par sa grande ténacité, le fer est sans contredit le métal qui convient le mieux à la fabrication des bouches à feu. » Il cite d'anciens essais qui ont réussi, et rapporte qu'une pièce, laissée fort longtemps sur les remparts, n'était pas oxydée profondément, et seulement aux soudures des barres rapportées dont elle était formée.

Monge est tellement partisan des pièces en fer, qu'il regrette que le temps ne lui permette pas de tenter une semblable fabrication.

Une tentative d'une fabrication de canons en fer fut faite en 1813; une compagnie, dite compagnie Étienne, proposa d'en construire. Voici comment Gassendi en décrit la fabrication.

Sur un tube formé comme un canon de fusil, c'est-à-dire formé avec une plaque assez mince, dont les bords avaient été rapprochés au marteau, on a soudé au marteau successivement des bandes de fer recouvrant ce tube, et qui amenaient le canon à la grosseur convenable. Puis on l'a alésé au calibre, et on a adapté à ce manchon une culasse en fer à vis, qu'on a soudée à sa place avec de la soudure d'argent, considérée comme la meilleure des soudures.

On fit une pièce de 8 qui avait 1 pouce 10 lignes d'épaisseur à la lumière, et 9 lignes à la naissance de la tulipe. Elle ne pesait que 529 kilogrammes. L'épaisseur était bien supérieure à celle strictement nécessaire.

Elle résista très-bien aux épreuves.

Gassendi trouve à ces pièces les inconvénients :

1° De détruire promptement les affûts par la longueur du recul, de gêner les troupes par cette longueur. Il eût donc fallu augmenter le poids de la pièce.

2° D'altérer les portées par l'oxydation continuelle de l'âme. Cet effet est probablement beaucoup exagéré, car les canons de fusil servent bien longtemps avant d'être détruits par cette cause. En tout cas, ce ne peut être un obstacle bien sérieux dans l'état actuel de la science, car il serait bien aisé d'employer quelque procédé de préservation.

3° D'affaiblir le moral du canonnier, parce qu'il craint que ces pièces n'éclatent.

Nous n'admettons pas que ces pièces puissent éclater d'une manière dangereuse, comme les pièces en fonte, étant faites avec un métal aussi ductile que l'est le fer de bonne qualité. On voit en effet, chaque jour, les canons de fusil crever, mais non éclater; il nous semble qu'en écrivant ceci Gassendi a confondu le fer fondu et le fer forgé. Il ajoute que les soudures (et surtout celle de la culasse) peuvent, pour un léger défaut, faire naître des fissures qui, en s'agrandissant, peuvent retenir le feu et causer des accidents. Il est certain que ce mode de fabriquer la culasse est vicieux; quant au forgeage du tube, il n'expose guère à un pareil inconvénient.

C'est par un procédé analogue que le problème a été résolu pour des canons se chargeant par la culasse, pour les canons Armstrong, qui ont été adoptés, avec un enthousiasme un peu exagéré, par le gouvernement britannique. Nous analyserons ici cette fabrication, qui est montée à Wolwich de manière à donner des produits qui sont des merveilles d'exécution.

Canons Armstrong. Préoccupé de l'idée de produire une rotation nécessaire pour obtenir un tir à longue portée par l'emploi de projectiles allongés (voyez BOULETS TOURNANTS, *Complément*), et aussi, et même à un trop haut degré, de celle d'obtenir un forcement absolu, ce qui ne correspond qu'à une économie de poudre de faible importance, Armstrong a adopté le chargement par la culasse, en employant un projectile cylindrique recouvert de plomb, qui, creusé par l'extrémité des rainures hélicoïdales de la pièce, les remplit complétement et produit la rotation.

La fabrication de ces canons se compose de celle de l'âme proprement dite et de celle d'une enveloppe destinée à la renforcer. L'âme en fer forgé est formée de plusieurs tronçons; chacun de ceux-ci est fait à part, avec une barre de section carrée enroulée en hélice serrée, que l'on chauffe au blanc soudant et que l'on soude au marteau-pilon.

Ce procédé, très-ancien, est celui employé depuis longtemps pour le forgeage des canons des fusils de luxe, dits à rubans. En 1847, MM. Pétin et Gaudet ont proposé un procédé analogue pour fabriquer des canons en fer forgé, et ils opèrent de même depuis longtemps pour faire des roues de wagon et de locomotive, qui ne présentent pas de joints de soudure dans les plans passant par l'axe, ni dans celui de joints plus ou moins inclinés sur la tangente à la circonférence, avec ou sans coin de soudure, comme on le faisait auparavant.

L'enroulement du fer en hélice a l'avantage de ne présenter de joints de soudure et de chances de défauts que dans des plans à peu près perpendiculaires à l'axe ou très-peu inclinés sur cet axe, ce qui atténue la probabilité d'éclatement selon des plans méridiens. On attribue à ce mode de fabrication la propriété de n'exposer le fer qu'à des efforts exercés dans le sens de la longueur de ses fibres.

Après avoir formé le nombre de manchons nécessaires pour l'âme d'un même canon, on les chauffe successivement au blanc, et on les soude l'un sur l'autre.

Armstrong, après avoir ainsi préparé l'âme de ses ca-

nons sous la forme d'un cylindre, la fait tourner avec beaucoup de précision et l'enveloppe de longs anneaux ou manchons parfaitement alésés, que l'on place à chaud autour du premier et du second renfort. En se refroidissant, les anneaux se serrent contre l'âme et lui apportent un surcroît de résistance.

Le cercle du second renfort, qui correspond à l'emplacement des tourillons, est entaillé pour ménager un logement à l'anneau qui porte ces tourillons et qui est forgé à part.

Toute cette fabrication du canon est exécutée avec le plus grand soin et avec une précision remarquable; la résistance présentée par les manchons rapportés est très-grande, et le tir ne les ébranle pas comme on eût pu le croire; mais elle est très-délicate et très-dispendieuse, sans offrir les avantages que l'on peut, à beaucoup moins de frais, obtenir d'une âme en acier fondu, aujourd'hui que des aciers d'une très-grande ténacité se fabriquent couramment et à bon marché, comme nous le dirons ci-après.

La difficulté de forger la culasse n'existe pas dans le canon Armstrong, qui est fermé par un obturateur mobile introduit par une entaille verticale à la partie supérieure et maintenu par une énorme vis. Nous avons décrit ce système en détail à l'article BOULETS TOURNANTS du *Complément*. Disons, en passant, que cet obturateur en cuivre, pressé à plat sur l'extrémité du tube, n'a pas la forme convenable. Une bonne fermeture exige un long bouchon, qui ne puisse laisser passer les gaz que par un petit intervalle, ce qui diminue singulièrement leur force vive, lors de l'explosion à la surface de fermeture. Il serait facile de donner cette forme à l'obturateur Armstrong, en le complétant par un bouchon saillant placé à son centre.

Ce genre de bouches à feu n'ayant pas suffi, toutefois, pour obtenir des effets de choc extraordinaire, pour percer les cuirasses des navires, l'inventeur est revenu à des pièces à culasse fixe, et le marteau-pilon a fourni le moyen de souder aisément aux tubes une masse propre à former la culasse. Il n'en résulte pas une solution complète du problème, surtout au point de vue de la modération du prix; il reste toujours l'assemblage des manchons et surtout des tourillons, qu'on peut craindre, pour la moindre imperfection, de voir désorganisé par le tir de la pièce. De plus, la bouche à feu est toujours trop légère; elle a un recul très-gênant et détruit bientôt son affût, comme on l'a reconnu pour le canon Armstrong de campagne.

IV. *Canons en fonte et en fer.* — On a cherché plusieurs fois à profiter des propriétés du fer, qui le rendent éminemment propre à former l'âme des bouches à feu. On avait établi autrefois, à l'arsenal de Strasbourg, des canons qui étaient de véritables canons en fer, d'épaisseur insuffisante s'ils avaient été isolés. Ils étaient renfermés dans des canons en bronze portant les tourillons et ayant les formes extérieures ordinaires.

On voit qu'ainsi la liaison à l'affût est bien établie, car ce n'est réellement que dans des pièces obtenues par fusion qu'on peut espérer assembler solidement et simplement des parties en relief, comme les tourillons.

On n'a cependant pas pu employer ces canons, parce que, comme on aurait pu le prévoir, étant formés de deux métaux différents et de dilatations différentes, il s'est bientôt produit une séparation complète entre ceux-ci, de telle sorte que le bronze ne contribuait en rien à la résistance de la pièce, et que, bientôt, les battements du boulet eurent occasionné des battements de la pièce en fer, qui ôtèrent toute exactitude au tir. Ce moyen s'était cependant concilié, *à priori*, grand nombre de suffrages; car si, comme nous venons de le dire, la partie extérieure paraît convenablement formée de métal fondu, l'âme était obtenue dans les meilleures conditions avec un métal forgé possédant beaucoup de dureté et de ténacité. Mais il n'est pas possible d'éviter les différences d'élasticité, de dilatation, des deux métaux sensiblement différents; leur juxtaposition ne peut subsister, parce qu'il y a changement brusque dans les vibrations rapides produites lors du tir, en passant de l'un à l'autre, d'où résulte bientôt la dislocation. Il y a, au contraire, une foule de composés intermédiaires entre le fer et la fonte: si, par conséquent, ceux-ci se succédaient d'une manière continue, l'âme pourrait être en fer forgé, l'extérieur en fer fondu, en satisfaisant aux conditions les plus avantageuses sous tous les rapports, sans qu'on puisse rien craindre des effets d'élasticité ou de dilatation. En effet, il ne pourra jamais y avoir de séparation brusque entre deux couches, qui n'auront que des différences de composition infiniment petites. Il y aura continuité dans les différences de dilatation comme dans les variations des substances.

Les produits qui se succèdent ainsi sont: le fer, le fer aciéreux, l'acier, la fonte blanche, la fonte grise. Le fer ne contient pas de charbon, le fer aciéreux en contient des traces, l'acier, de 0,60 à 1,50 p. 100, la fonte blanche, généralement de 2 à 4 p. 100, la fonte grise, de 3 à 7. Il existe une série continue du fer forgé au fer fondu.

Voici comment on peut utiliser ces données.

Un tube en fer d'assez grande épaisseur, fermé ou non fermé, étant forgé, ce que l'emploi du marteau-pilon rend facile aujourd'hui, nous le remplirions à l'intérieur d'argile; puis nous le placerions dans une grande caisse en argile réfractaire remplie de poussier de charbon, et nous disposerions le tout dans un four à cémentation. En un mot, nous fabriquerions un véritable acier de cémentation sur la surface extérieure; et on sait qu'il est aisé de cémenter une barre de fer, en y faisant pénétrer le charbon jusqu'à une profondeur voulue. On aura ainsi, d'une manière continue, du fer à l'intérieur et de l'acier à la surface.

A l'aide d'une haute température, on pourra, dans une seconde opération, fondre la surface ou l'amener près du point de fusion, car c'est précisément ainsi que se fabrique l'acier fondu. Pour cela, établissons la pièce par deux points d'appui au centre d'une espèce de moule dont la forme se rapproche, autant que possible, de celle d'un moule de canon, d'une part, au moyen d'une barre de fer enfoncée dans l'argile placée dans l'âme, de l'autre, au moyen d'une petite tige en fer faisant partie de la pièce de fer de la culasse, et ayant les plus petites dimensions possibles. Si on couvre la pièce d'un corps vitreux parfaitement neutre et qu'on produise une très-grande chaleur, la surface en acier très-carburé se fondra. Si maintenant on fait couler dans la caisse de la fonte en fusion, obtenue dans un fourneau à réverbère communiquant, la fonte entourera la surface en fusion, et il se formera à la surface de jonction un composé intermédiaire entre l'acier et la fonte employée.

Après un long refroidissement du tout, on aura une masse d'où il sera aisé d'obtenir, vu la forme convenable donnée à la caisse et au moyen de l'alésoir et du tour, une pièce qui satisfera, ce nous semble, à toutes les conditions.

Restons-en là de la description d'un procédé que nous croyons utilisable pour l'artillerie des places. En effet, la soudure par simple immersion du fer dans la fonte a réussi dans plusieurs fabrications, est bien plus facile à obtenir que nous ne l'avons supposé ci-dessus, n'exige pas tant de complications, et c'est là une solution tellement simple et économique qu'elle vaudrait grandement la peine d'être essayée. Nous trouvons dans l'industrie une vérification incontestable de cette facilité. En effet, l'exploitation de cette nature de produits est devenue une fabrication importante sous le nom de produit mixte, entre les

mains de l'ingénieux créateur de cette industrie, M. Verdié de Firminy (Loire).

Le produit mixte s'obtient par la réunion d'un noyau en fer que l'on enveloppe d'acier fondu, dans les conditions convenables pour que le soudage entre les deux métaux soit complet. A cet effet, le fer est porté dans un four à réverbère au rouge blanc, puis placé dans une lingotière de forme convenable, qui laisse tout autour l'espace nécessaire pour que la chemise d'acier ait l'épaisseur voulue. En ayant soin de saupoudrer le noyau de fer de borax, l'union des deux métaux est parfaite, et la pièce peut être étirée et supporter sans se désunir toutes les façons ultérieures d'une pièce de forge. L'industrie des chemins de fer consomme aujourd'hui une grande quantité de ces produits, des bandages de roues notamment.

Il est aisé de reconnaître que la texture des pièces, ainsi fabriquées, passe insensiblement de celle de l'acier à celle du fer, comme si dans la zone de contact le fer du noyau s'était cémenté en partie aux dépens des molécules d'acier les plus voisines.

Le danger de cette fabrication est, par un chauffage trop prolongé, qu'il faudrait limiter au strict nécessaire et qu'il y aurait sans doute avantage à produire rapidement avec une flamme non oxydante, de changer le fer à nerf (bien moins l'acier doux) en fer à grain cristallin, bien moins résistant.

V. *Canons en bronze.* Le bronze, qui a longtemps été seul employé pour les pièces de campagne, qui offre l'avantage de ne pas éclater, aura toujours de nombreux emplois dans l'artillerie. Il semblait même qu'il n'y avait plus à chercher un nouveau métal pour les bouches à feu, depuis que Piobert avait montré qu'on pouvait diminuer considérablement l'usure qui résultait du logement du boulet, en allongeant la charge. L'inertie du projectile est vaincue par une pression suffisante dès qu'elle se produit, pression bien moindre que celle qui prend naissance en un instant quand la charge remplit exactement la chambre. La recherche de très-longues portées, c'est-à-dire l'emploi de charges très-fortes, pouvait seule conduire à employer un métal plus résistant que le bronze, pour un même poids.

Le bronze des canons est un alliage de 8 à 11 d'étain fin pour 100 de cuivre, proportions que l'expérience a fait reconnaître les meilleures. Le moulage des canons se fait en terre et non en sable. Ce dernier est plus simple et plus économique, mais le moule est trop compacte pour livrer aux gaz une facile issue, en sorte que la pièce sort du moule toute criblée de soufflures; cependant on peut réussir par ce procédé, et nous avons vu toutes les pièces en bronze, moulées en sable, à la fonderie impériale de Vienne.

Le moulage comprend deux opérations:

1° La confection du modèle;

2° Le moulage du moule ou chemise.

Le modèle de la culasse se coule en plâtre; celui du corps de la pièce est en terre; on le construit autour d'un axe en bois appelé *trousseau*, qu'on place horizontalement. On l'enveloppe de tresses de paille, qu'on recouvre ensuite de terre, de manière à atteindre les dimensions voulues, indiquées au moyen d'un *gabarit* ou planche découpée selon la section extérieure de la pièce. Les anses se moulent en cire; les tourillons faits en plâtre sont rapportés au moyen de grands clous.

Le modèle étant terminé, on l'enduit d'une couche de cendre de tanneur qui facilite plus tard sa séparation avec la chemise dont on va l'entourer.

Cette chemise est formée de terre qui est un mélange d'argile, de sable, de crottin de cheval et de brique pilée. On la forme de trois couches superposées, de 2 pouces d'épaisseur environ chacune, qu'on fait successivement sécher. La chaleur fait fondre la cire des anses qui s'écoule par des trous qu'on a ménagés et qu'on a soin de boucher. On retire ensuite les tourillons, puis le moule entier, en faisant sortir d'abord le trousseau qui est de forme conique en frappant sur son extrémité, puis les nattes et couches de terre en partant de l'intérieur. On descend cette chemise dans la fosse pour la faire sécher au moyen d'un feu de bois.

Le moule de la culasse se fait à part; on le place dans un panier de bronze, ou mieux de fer, dont le bord est garni de crochets également en fer. Ces crochets viennent se réunir, au moyen de fils de fer, avec des crochets semblables que porte l'armature en fer, au moyen de laquelle on consolide le moule du corps de la pièce, armature qui consiste dans un treillage en bandes de fer qui enveloppe la pièce suivant ses méridiens et ses parallèles.

Le moule de la culasse étant cuit avec du charbon de bois se place dans un trou au fond de la fosse, on place sur lui bien verticalement le moule de la pièce.

On remplit alors la fosse de terre bien damée et on procède au coulage.

Le bronze est fondu dans des fourneaux à réverbère contenant des quantités suffisantes de métal. La nécessité d'obtenir un titre voulu, et la facile oxydation de l'étain, obligent à forcer un peu les doses de ce métal, et surtout à faire en sorte que la flamme qui lèche le métal soit désoxydante. Au reste, pour obtenir un alliage homogène (le défaut d'homogénéité, et par suite la formation d'alliages d'étain fusibles à la température engendrée par l'explosion de la poudre est la grande difficulté de cette fabrication), on a grand soin de ne pas employer seulement des métaux neufs, mais pour la majeure partie des alliages déjà formés; nous avons exposé à l'article ALLIAGE les avantages de cette méthode.

Le compte s'établit comme il suit, en tenant compte des déchets. Pour 100 kilogr. de bouches à feu terminées, on emploie:

22,20	cuivre neuf.
3,30	étain neuf.
80,40	vieilles pièces.
116,20	débris de fabrication.
222,10	bronze total mis en fonte.

Le bronze étant bien liquide, les canaux qui doivent le conduire du fourneau aux moules, ainsi que ceux-ci, étant bien séchés, on procède à la coulée du métal. Les canons se coulent en siphon, c'est-à-dire que le canal de coulée plonge dans la partie inférieure de la pièce. Le métal en fusion arrive ainsi par ce canal dans le moule qu'il remplit tranquillement en chassant l'air devant lui. Le métal fondu n'a pas seulement la longueur de la pièce, il est plus long; d'où résulte au-dessus une masse appelée *masselotte*. Son utilité n'est pas douteuse dans la pratique. Elle a pour but, dit le savant M. Dumas: « 1° de fournir au retrait que prend le métal fluide en se solidifiant; 2° de remplacer le métal qu'absorbent les terres et celui qui est employé à remplir l'excès de capacité produit par l'élargissement graduel des moules; 3° de retarder le refroidissement dans la partie supérieure de la bouche à feu, ce qui rend le tassement du métal plus régulier; 4° de recevoir les gaz et les corps étrangers que leur légèreté spécifique force à s'élever. »

Le bronze phosphoreux renfermant un peu de phosphore, dont l'effet paraît être d'assurer une désoxydation parfaite des métaux, semble avoir donné de bons résultats comme résistance.

Nous avons discuté, à l'article ALLIAGES, les causes qui rendent si difficile le moulage par fusion d'un alliage métallique, de manière à obtenir un produit homogène, un composé qui soit partout le même. C'est à approcher de ce résultat que tendent toutes les méthodes que nous venons d'indiquer, c'est là la difficulté

BOUCHES A FEU.

réelle et encore incomplétement résolue de la fonte des bouches à feu en bronze.

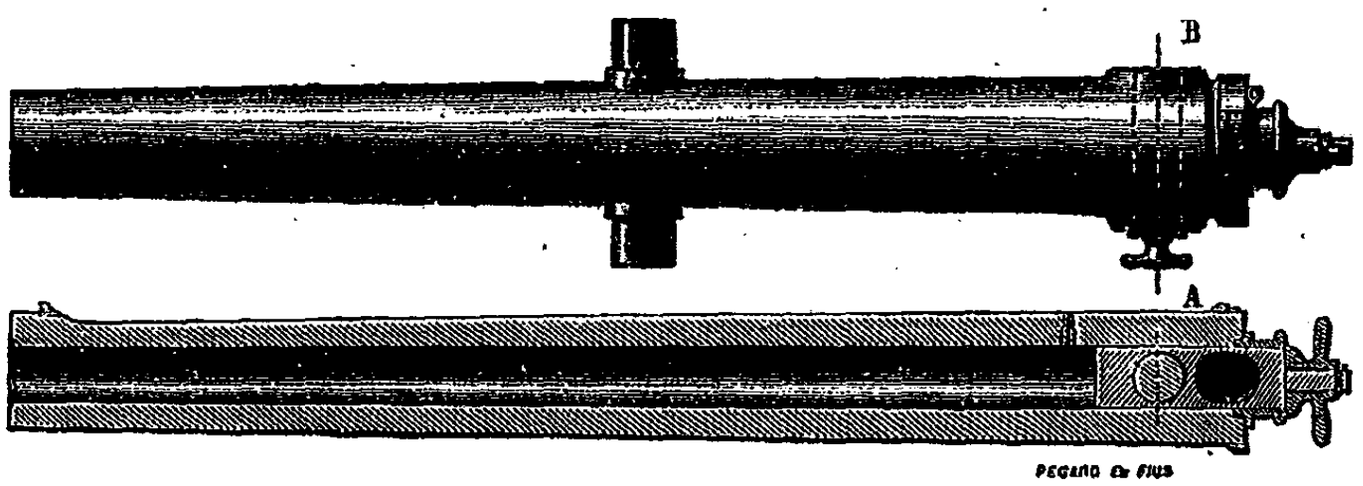
VI. *Canons en acier.* Dans ce qui précède nous n'avons parlé que du fer, de la fonte et du bronze, les seules substances qui, jusque dans ces dernières années, pouvaient être employées pour la fabrication des bouches à feu. Nous n'avons pas parlé de l'acier, ce corps qui a la tenacité du fer, unie à une dureté plus grande, mais qui, jusque dans ces derniers temps, était d'un prix élevé et ne s'employait que pour des pièces de faible dimension telles que les outils tranchants. Mais les progrès de la fabrication de l'acier, en apprenant à le travailler en grandes masses, à produire à plus bas prix des fers aciéreux fusibles, des aciers doux doués de moindres qualités au point de vue de la dureté après la trempe que les aciers de cémentation, mais d'une plus grande ténacité, ont conduit à la solution complète du problème qui nous occupe.

Nous avons parlé à l'article ACIER de la fabrication d'acier puddlé de Krupp qui a construit et fabriqué d'énormes bouches à feu en acier fondu et martelé à l'aide d'un puissant marteau-pilon. Toutes les conditions que nous avons indiquées pour une fabrication parfaite se trouvent ici réunies: dureté de la surface de l'âme pour éviter les logements du boulet, ténacité très-grande pour pouvoir utiliser de fortes pressions, poids convenables pour limiter le recul et la fatigue de l'affût. Les propriétés de ténacité de l'acier puddlé doux et celles du métal homogène de Bessemer, qui se rapproche tant du fer d'excellente qualité liquéfié par la chaleur, sont précisément celles qui manquaient à l'acier de qualité supérieure pour la fabrication des bouches à feu, et son travail, combiné au besoin avec les procédés de frettage pour les pièces de grande dimension, dont le martelage *à cœur* devient bien difficile et dont le métal demeure par suite toujours cassant, est venu fournir une nouvelle et excellente solution d'un problème difficile, inutilement poursuivie antérieurement.

L'acier Krupp, qui a été employé jusqu'à ce jour pour la confection des bouches à feu des canons rayés résiste d'une manière parfaite à l'usure et aux frottements. Dans des essais faits pour la constater on cite une pièce rayée de 4 belge ayant tiré plus de 6000 coups, dont les parois intérieures étaient en parfait état, ainsi que les rayures.

Il a été vérifié que la détérioration d'une pièce rayée en bronze d'un système semblable, commence après 6 ou 700 coups et qu'elle est en fort mauvais état vers 12 à 1500 coups. En outre, le bronze se comporte mal au frottement du plomb. S'il se grippe, le plomb s'attache après les rayures et les encrasse, et le résultat de ce deuxième défaut est de diminuer la précision du tir.

Nous décrirons ici le type capital, le canon de campagne prussien, type dont toutes les artilleries d'Europe sont obligées de se rapprocher, comme il a fallu imiter le fusil se chargeant par la culasse à cause de la rapidité du tir dans les deux cas. Ses dimensions permettent de réussir sa fabrication à l'aide des moyens dont disposent la plupart de nos grandes usines.



Canon de campagne prussien.

La figure représente cette bouche à feu et son système de fermeture, dû à l'officier suédois Warendorf, dit à verrou. L'obturateur cylindrique est une fermeture agissant, en raison de sa longueur, soutenant parfaitement le culot en carton de la cartouche. Il est percé transversalement de deux trous elliptiques, l'un pour l'alléger, l'autre pour recevoir le verrou. Le verrou transversal entre et sort facilement; il est terminé comme l'obturateur par une vis dans laquelle viennent s'engager un plateau avec chaînette et une poignée pour la manœuvre. Le plateau limite l'entrée et la chaînette la sortie du verrou.

L'obus est un projectile Armstrong revêtu d'une chemise en plomb ayant quatre cordons saillants, coulés au diamètre de l'âme. Les rayures en saillie du canon tracent leurs sillons dans ces cordons en plomb par l'effet de la pression des gaz de la poudre. L'obus chemine donc dans l'âme du canon à frottement très-dur et très-forcé, sans aucun battement possible contre les parois de l'arme, avec lesquelles il coïncide hermétiquement.

La supériorité des pièces se chargeant par la culasse sur celles se chargeant par la bouche repose sur plusieurs causes, qui sont: d'abord, comme pour les fusils, la plus grande rapidité du chargement, moins sensible toutefois à cause du temps perdu par suite des effets du recul; ensuite le facile emploi d'obus faisant explosion par percussion, lorsque leur pointe touche le but, projectile qu'il serait dangereux de pousser au fond de la pièce à l'aide du refouloir. L'avantage de ces obus est qu'on en vérifie facilement la portée et par suite qu'on arrive rapidement à un tir très-précis; toutefois c'est quelquefois un inconvénient qu'ils ne puissent éclater avant de rencontrer un obstacle. Enfin, surtout ces pièces permettent d'obtenir de très-grandes portées par suite de l'emploi de l'acier, métal doué d'une très-grande résistance et permettant, par suite, l'emploi de charges très-fortes, agissant sur des projectiles tournants. Le forcement absolu du métal recouvert de plomb, nous le répétons, ne se rapporte qu'à une économie de poudre de peu d'intérêt, et les projectiles à tenon pourraient parfaitement bien être employés dans ces bouches à feu.

Canons de gros calibre. Pour les canons de gros calibre, quelle que soit la qualité de l'acier (le plus doux possible), la puissance du martelage devient insuffisante, un frettage avec de forts cercles d'acier est indispensable. Les frettes sont mises à chaud, chauffées à une température constante dans un bain de plomb, et pla-

cées sur des parties tournées exactement à la même dimension. Ces frettes sont des cercles qui reportent sur leur résistance à l'extension la pression qui tendrait à faire éclater une substance cristalloïde comme la fonte. Le prix de semblables bouches à feu est très-élevé à cause des difficultés très grandes du travail.

En résumé l'acier doux, fusible comme la fonte, plus résistant et presqu'aussi doux que le fer, est un admirable métal pour la fabrication des pièces bouches à feu dont les dimensions ne sont pas énormes, auquel on ne peut reprocher que d'être d'une fabrication coûteuse à cause de sa dureté même.

VII. *Canons en fonte frettés en acier.* Le travail de fabrication des pièces en fonte est semblable à celui des pièces en bronze; l'important est d'employer d'excellentes fontes au bois, comme celles de Suède ou du Berry, et d'augmenter leur résistance en s'opposant à la rupture en éclats qui offre de grands dangers.

Les frettes en acier, employées dans ce but, ont permis d'obtenir, en fonte, des bouches à feu d'une grande puissance.

Ce fut vers 1861 que l'on essaya en France, dans un but d'économie bien entendue, de rayer les anciens canons de fonte de gros calibre et de les cercler de frettes en fer ou en acier puddlé.

Ces canons, ainsi frettés, étaient devenus des pièces très-puissantes, il est vrai, mais incapables d'abord d'entamer les plaques de blindages que l'on fabriquait, déjà alors, sur des dimensions considérables.

Le problème soulevé était donc le suivant: « Était-il possible de rendre les canons de fonte cerclée capables de supporter les plus fortes charges de l'artillerie moderne? » C'est ce qui a été réussi à la fonderie de canons de la marine.

Les minerais employés à Ruelle sont des hématites; les combustibles, du charbon de bois; chaque coulée y est essayée, analysée et classée avec soin. Le mélange employé se compose de 40 p. 100 de fonte de Ruelle, de 20 p. 100 de vieux canons, 40 p. 100 de fontes diverses donnant au mélange la texture désirée. La fusion se fait au réverbère. Le métal, fondu aussi rapidement que possible, est soustrait à l'action de la flamme et coulé très-chaud dans une poche où il se débarrasse, par le repos, des scories ou des oxydes qu'il pourrait entraîner. Les canons sont coulés creux et refroidis très-lentement.

La Suède possède une fonderie de canons renommée par l'excellence de ses produits, celle de Finspong, où l'on coule un grand nombre de pièces pour les arsenaux suédois, pour la Russie, pour la Hollande et pour d'autres pays.

M. le général Neuens, en Belgique, fit couler, en 1868, un canon en fonte du même calibre qu'un gros canon d'acier de Krupp, pour être éprouvé comparativement. Il fut cerclé de frettes en acier fondu, fabriquées à la Société John Cockeril, à Séraing. Le canon en fonte est sorti victorieux de cette épreuve.

Tandis que l'âme du canon d'acier a subi un accroissement sensible après un tir de 500 coups, et que, par suite, la fatigue des frettes allait en croissant, le canon de fonte est resté absolument intact.

Nous croyons qu'on peut conclure de l'expérience acquise qu'il n'y a pas, pour les canons de grande dimension, à sortir de la voie suivie aujourd'hui, c'est-à-dire que l'on doit continuer à les fabriquer avec des fontes de très-bonne qualité, par les meilleurs modes de coulage, et les munir de frettes puissantes en acier doux bien martelé, frettes comprimant la fonte de manière qu'elle ne puisse dépasser sa faible limite d'élasticité.

Travail mécanique des bouches à feu. Les bouches à feu étant coulées pleines (pendant longtemps on les a coulées avec un noyau, mais on ne pouvait obtenir ainsi la perfection de calibre qui résulte d'une opération mécanique), on les termine à l'extérieur au moyen du tour et de la ciselure pour les parties qui ne peuvent être tournées; à l'intérieur, à l'aide de machines à forer. Ces machines consistent en un foret (de diamètre inférieur au calibre de la pièce) qui s'enfonce dans la pièce, à laquelle on imprime un mouvement de rotation. Puis on arrive au calibre exact au moyen d'une série de forets, dont le dernier, qui est un véritable alésoir, a exactement le calibre de la pièce. Les rayures se font à l'aide de machines tout-à-fait analogues au tour à fileter les vis.

Nous n'avons pas cru nécessaire de donner de grands détails sur ces opérations; on trouvera aux articles PERCER, ALÉSOIR, TOUR A FILETER, etc., les principes qui doivent guider dans ce travail.

BOUGIES, CHANDELLES (*angl.* candles, *all.* kerzen). On distingue les chandelles de suif faites à la baguette ou moulées, les bougies de cire, les bougies de blanc de baleine et les bougies stéariques. Nous allons successivement passer en revue la fabrication de ces divers produits.

CHANDELLES DE SUIF. On emploie de préférence, pour la fabrication des chandelles, un mélange de graisse de mouton et de graisse de bœuf; cette dernière seule est trop molle et trop fusible, et les chandelles qu'on en préparerait couleraient trop facilement. D'un autre côté, la graisse de mouton seule donnerait des chandelles très-fermes et de belle apparence, mais qui donneraient moins de lumière à cause de leur faible teneur en oléine. La graisse brute, séparée autant que possible des matières étrangères, telles que le sang, etc., est d'abord hachée menu, puis fondue. Plus la graisse que l'on emploie est fraîche, mieux cela vaut, parce que les membranes qu'elle renferme entrent très-aisément en putréfaction, et lui communiquent une odeur repoussante que l'on ne peut enlever entièrement dans les opérations subséquentes. La fusion s'opère ordinairement dans des chaudières en cuivre ou en fonte, chauffées à feu nu. Il faut prendre garde d'élever trop la température, de peur que les tissus membraneux ou cellulaires, restés dans la graisse, n'éprouvent un commencement de décomposition, et ne donnent au suif une teinte brunâtre, qui serait persistante. On obtient un suif de beaucoup plus belle apparence en fondant la graisse au bain-marie; il est vrai que, par ce procédé, il reste dans les résidus une quantité notable de suif que l'on ne peut en retirer par expression, mais que l'on peut saponifier très-aisément, de manière à n'en rien perdre, lorsque la fabrique de chandelles est liée à une fabrique de savons. Aussitôt que le suif mis dans la chaudière est fondu, on y plonge une passoire, dans laquelle se rassemble le suif purifié que l'on y puise à mesure.

On purifie souvent encore le suif ainsi obtenu en le refondant avec de l'eau, puis y projetant quelques poignées de sel marin et d'alun concassé, quelquefois aussi un peu de tartre, et séparant, à l'aide d'une écumoire, les impuretés qui viennent former une écume à la surface du bain. On puise ensuite le suif purifié, et on le laisse refroidir lentement dans un panier très-serré, où il s'égoutte. Avant de l'employer à la fabrication des chandelles, on le refond à une basse température et mieux au bain-marie, et on le maintient fondu, avant de s'en servir, jusqu'à ce que toutes les parties aqueuses qu'il renferme encore soient entièrement volatilisées; sans cette précaution, on obtiendrait des chandelles qui couleraient aisément et brûleraient en pétillant.

Lefèvre recommande de purifier le suif en le fondant avec de l'acide nitrique très-étendu, qui dissout complétement les pellicules membraneuses, de sorte qu'il ne reste aucun grumeau, mais ce procédé est trop coûteux. *D'Arcet*, dans le même but, prescrit l'acide sulfurique; mais lorsqu'on fond à feu nu du suif avec de l'acide sulfurique, on court beaucoup de risques de lui

donner une teinte rouge brunâtre, et d'obtenir un produit qui coule très aisément.

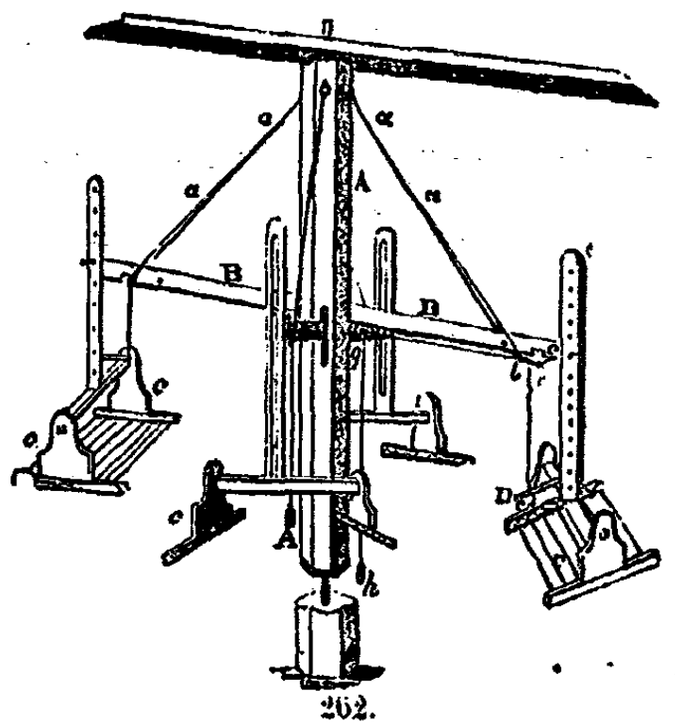
Récemment *Trischler* a recommandé le procédé suivant, dans lequel il emploie aussi l'acide sulfurique : on met dans une cuve de bois, doublée en plomb, 100 kilogr. de suif brut concassé, et on l'arrose avec un mélange de 25 kilogr. d'eau et de 1k,25 d'acide sulfurique ordinaire, puis on y fait arriver pendant 2 heures, en agitant constamment, un courant de vapeur d'eau produit par une chaudière particulière. On laisse ensuite reposer pendant une demi-heure, on enlève le suif en l'égouttant aussi bien que possible et on le transvase dans une autre cuve, puis on fait écouler les eaux acides et les résidus dans une cuve placée près de la première et à un niveau inférieur. On remet alors de nouveau le suif dans la première cuve doublée en plomb, on y ajoute le quart de son poids d'eau, et on y fait arriver un courant de vapeur d'eau. 10 minutes après que l'eau est entrée en ébullition, on ajoute, par 100 kilogr. de suif, 1 kilogr. de sel marin, et autant de potasse en dissolution, marquant 5° à l'aréomètre, qu'il est nécessaire pour neutraliser exactement l'acide libre. La réussite de l'opération dépend essentiellement de l'exactitude de la neutralisation, ce à quoi on arrive aisément en s'aidant de papier de tournesol et de curcuma ; le premier ne doit plus être rougi et le second ne doit plus passer au brun. Enfin on transvase le suif purifié dans une chaudière en plomb, chauffée extérieurement à la vapeur, et on l'y maintient fondu jusqu'à ce que toute l'eau qu'il renfermait se soit évaporée ; il est alors propre à la fabrication.

D'après l'inventeur, ce procédé s'applique avec avantage à toutes les graisses, et fournit un suif qui donne immédiatement des chandelles aussi blanches que celles obtenues avec du suif ordinaire, et qui ont subi un blanchiment de trois mois.

Quant aux mèches, elles se font en coton. Elles doivent être bien démêlées, légèrement torses et parfaitement sèches; on les coupe ordinairement de longueur, à la main.

La fabrication des *chandelles à la baguette* est théoriquement une opération très simple, qui consiste à plonger, verticalement et à plusieurs reprises, les mèches dans le suif fondu, jusqu'à ce que la chandelle ait acquis la grosseur voulue. On donne d'abord aux mèches la rigidité convenable en les trempant quelques instants dans le bain de suif, puis les étendant ou les roulant entre les mains ou sur une table. Au-dessus de la chaudière où l'on fond le suif est un châssis circulaire, suspendu à une corde passant sur une poulie fixée au plafond, et équilibré par un contre-poids qui sert à le manœuvrer; on y suspend les mèches, et en appuyant légèrement sur le châssis, on amène les mèches à plonger dans le bain de suif fondu à une température aussi basse que possible; lorsqu'elles se sont recouvertes d'une couche ayant une épaisseur suffisante, on laisse remonter le châssis par l'effet du contre-poids, et on laisse refroidir à l'air les chandelles pendant un temps assez long, pour que, par une nouvelle immersion dans le bain, elles puissent se recouvrir d'une nouvelle couche de suif. On continue ainsi jusqu'à ce que les chandelles aient acquis la grosseur voulue.

La fig. 262 représente une disposition un peu différente adoptée à Édimbourg. Au milieu de l'atelier est placé un axe vertical A A, mobile autour de deux tourillons. Il est percé vers le milieu de sa hauteur de 6 ouvertures rectangulaires, que traversent autant de barres en bois B, B,.., mobiles chacune autour d'axes fixés dans l'arbre vertical A A; il résulte de cette disposition 12 bras, dont 4 seulement sont représentés dans la figure. A chacun de ces bras sont suspendus, par des tiges verticales, les châssis *c*, *c*,.., chacun desquels porte 6 ficelles tendues horizontalement; enfin on enfile 18 mèches sur chaque ficelle; ce qui fait 1,296 mèches pour toute la machine. Quoiqu'il semble un peu lourd, cet appareil se ma-



262.

nœuvre aisément par un seul ouvrier, qui amène successivement les divers châssis au-dessus du bain de suif pour les y plonger. Les 12 bras étant d'égale longueur et à peu près également chargés, se tiennent naturellement dans une position horizontale; cependant, afin de prévenir toute oscillation pendant la rotation de l'appareil, les bras B, B, sont maintenus dans leur position horizontale au moyen de petites chaînes *a*, *a*, fixées par l'une de leurs extrémités à la partie supérieure de l'axe A A, et se terminant, par l'autre bout, à de petites plaques carrées en bois *b*, qui sont engagées dans les encoches marquées *c*, sur les bras B, B. Lorsqu'il devient nécessaire d'incliner les bras pour faire plonger les mèches dans le bain de suif, l'ouvrier appuyant sur le levier D, qui communique par une chaîne avec le petit levier *e* placé dans une rainure du bras B, chasse hors de l'entaille *c*, la petite pièce de bois carrée dont nous avons parlé, et rend ainsi au bras la liberté de ses mouvements. Lorsque l'ouvrier relève le châssis, la petite pièce de bois est ramenée dans l'encoche *c*, au moyen d'une chaîne *g*, qui passe sur deux poulies de renvoi fixées sur l'arbre B, et est terminée par un contre-poids *h*. La fabrication marche ainsi d'une manière continue, d'autant plus que le refroidissement des chandelles est considérablement accéléré pour leur déplacement continuel au milieu de l'air qui les entoure. Le nombre de révolutions que doit faire la machine dépend évidemment de la grosseur des chandelles à fabriquer et de la température qui règne dans l'atelier, lorsque cette température est modérément fraîche, il suffit de 2 heures pour préparer les mèches et fabriquer une charge de chandelles, de sorte que, dans ce cas, un seul ouvrier peut, en 12 heures de travail, fabriquer 7,776 chandelles.

La fabrication des *chandelles moulées* est encore plus simple, s'il est possible, que celle des chandelles à la baguette. Les moules dont on se sert ordinairement, dits en étain, sont composés de 1 p. d'étain et de 2 p. de plomb, et sont formés de deux parties : le corps du moule, cylindre creux, poli avec soin à l'intérieur et ouvert par les deux bouts; le chapeau du moule, portant une ouverture pour laisser passer la mèche. Ces deux parties sont soudées ensemble, et présentent alors la forme d'une chandelle. 8 à 12 de ces moules, et même souvent beaucoup plus, suivant leurs dimensions, sont fixés verticalement sur la table de coulée, de manière à ce que l'extrémité ouverte de ces moules soit placée en haut et au niveau du fond d'un canal pratiqué dans la

table de coulée. On introduit ensuite les mèches dans les moules au moyen d'un fil de fer recourbé en crochet, on les attache par l'un des bouts avec de petits morceaux de fils de fer qui reposent en travers sur l'orifice supérieur du moule; l'autre bout sortant à la partie inférieure par le trou qui le termine, il est facile, au moyen d'un petit coin en bois, de maintenir la mèche dans un état de tension convenable.

Alors, après avoir fixé les mèches au milieu des moules, on fait fondre le suif à une très douce chaleur, on le verse dans un vase en fer blanc muni d'une anse et d'un goulot, et l'on remplit successivement tous les moules. Si l'on coulait le suif trop chaud, outre l'inconvénient qu'il aurait de sauter, on ne pourrait retirer les chandelles des moules qu'avec beaucoup de difficulté. On attend toujours avant de couler qu'il se soit formé une légère pellicule au-dessus du suif en fusion. Aussitôt après la coulée, et avant que le suif ne se soit entièrement solidifié, on tire par les deux bouts, afin de les redresser, les mèches qui se courbent presque toujours un peu pendant la coulée. On laisse ensuite la solidification se terminer dans un endroit aussi frais que possible; on enlève l'excédant de suif à l'aide d'une spatule en bois, puis on retire des moules les bougies qui se sont détachées des parois par suite du retrait dû au refroidissement. Nombre de fabricants blanchissent leurs chandelles, en les exposant à l'action réunie de l'air et de la rosée, pendant quelque temps, avant de les mettre en paquets; cette opération devient superflue, dans les grands établissements, lorsque les chandelles sont gardées en magasin pendant quelques mois avant d'être livrées au commerce, ce qui du reste devrait toujours avoir lieu, parce qu'en vieillissant elles acquièrent une blancheur suffisante et une qualité supérieure.

L'addition d'une petite quantité de cire au suif augmente la consistance de la chandelle en la rendant d'ailleurs d'un usage plus agréable; elle porte alors le nom de *chandelle économique*. Quelquefois au lieu de fondre le suif avec la cire, on fond cette dernière substance à part et on l'introduit dans le moule à chandelles, qu'on roule horizontalement jusqu'à ce que ses parois en soient partout recouvertes. On remplit le vide à la manière ordinaire par une mèche et du suif fondu, et l'on obtient ainsi une chandelle entièrement revêtue de cire dont l'aspect est agréable et le prix peu élevé.

D'après quelques auteurs, la fécule de marron d'Inde ajoutée au suif dans des proportions convenables, donnerait une chandelle bougie qui réunirait presque toutes les qualités de la cire.

BOUGIES DE CIRE. Ces bougies sont rarement moulées, parce que la cire se détache difficilement des moules, et parce qu'il se forme très aisément des boursouflures dans l'intérieur de la bougie. Pour la fabrication des cierges, on suspend ordinairement les mèches dans une position verticale, et après avoir ramolli la cire dans de l'eau chaude, on la prend par petites portions, et on l'applique sur les mèches que l'on roule entre les mains. Pour les bougies ordinaires, on suspend les mèches à un châssis circulaire placé au-dessus d'un bain de cire, fondue dans une chaudière en cuivre étamé, et on verse successivement, à l'aide d'une cuillère, la cire fondue au sommet des mèches le long desquelles elle coule et se solidifie. Lorsque les bougies ont atteint la grosseur voulue, on les enlève et on leur donne la régularité convenable en les roulant sur une table en noyer poli, au moyen d'une planche rectangulaire également en noyer poli.

Malgré les difficultés que présente le moulage des bougies de cire, ce procédé ne doit pas être mis de côté car celles ainsi fabriquées se distinguent par l'éclat de leur surface et la régularité de leur forme.

BOUGIES DE PARAFFINE. D'une origine minérale, ces bougies ne le cèdent à aucunes autres pour leur transparence et la beauté de la lumière qu'elles fournissent. Voy. PARAFFINE.

BOUGIES DE BLANC DE BALEINE. Le blanc de baleine ou spermaceti tient le premier rang parmi les diverses matières employées à la fabrication des bougies, tant à cause de la blancheur et de la transparence qu'il possède que par la pureté et l'éclat de la lumière qu'il produit. On obtient les plus belles bougies en employant le blanc de baleine raffiné que l'on trouve dans le commerce en grosses masses parfaitement incolores, à texture cristalline et fortement lamelleuse, et nullement grasses au toucher. On trouve aussi dans le commerce une seconde sorte de spermaceti, grasse au toucher, et qui fournit des bougies d'une qualité bien inférieure, que l'on reconnaît aisément à ce qu'elles présentent moins de transparence et une moindre sécheresse au toucher.

La confection des bougies transparentes de blanc de baleine n'offre aucune difficulté, et n'exige qu'une grande pureté de la part des matières premières, parce que les moindres impuretés deviendraient visibles au milieu de la masse transparente de la bougie. Si l'on employait le blanc de baleine pur, on obtiendrait des bougies à texture lamelleuse et très cassantes; on détruit cette texture en ajoutant au blanc de baleine 3 p. 100 environ de son poids de cire; il va sans dire que l'on doit choisir à cet effet la plus belle cire qu'on puisse se procurer. Toutes les bougies de blanc de baleine se font par moulage; le blanc de baleine doit être assez chaud pour que les parties qui se sont solidifiées sur les parois des moules, lors de la coulée, se liquéfient de nouveau, de telle sorte que les moules présentent le même aspect que s'ils étaient remplis d'eau claire. On atteint très facilement la température convenable, que l'on détermine au mieux à l'aide d'un thermomètre; l'expérience a démontré que lorsque les moules n'étaient pas trop froids, une température de 60° C suffisait dans la plupart des cas. Le blanc de baleine éprouve, par le refroidissement, un retrait considérable qui produit dans chaque bougie et autour de la mèche un vide qui s'étend quelquefois jusqu'à la moitié de sa hauteur; on remplit ultérieurement ce vide en y coulant du blanc de baleine, puis on achève de laisser refroidir les bougies, on les retire des moules, et on leur donne le dernier poli, en les roulant entre les mains, avant de les mettre en paquets.

Si l'on veut obtenir des bougies colorées, on agite le blanc de baleine fondu avec une très faible quantité de matières colorantes broyées à l'huile. Les matières les plus convenables à employer sont : pour le rouge, le carmin; pour le jaune, le chrômate de plomb; et pour le bleu, le bleu de Prusse. La proportion extrêmement minime de ces substances, qu'il suffit d'ajouter à la bougie pour lui donner une teinte agréable à l'œil, n'a aucune influence sur la couleur et l'éclat de la lumière.

BOUGIES STÉARIQUES. La fabrication de ces bougies, qui a pris dans ces derniers temps une extension considérable, a commencé à Paris, et est due à MM. *Gay-Lussac* et *Chevreul*, qui prirent aussi à ce sujet un brevet en Angleterre, dès le mois de juin 1825. Les différentes opérations en usage pour la fabrication de la bougie stéarique peuvent se subdiviser comme il suit :

1° *Saponification*, qui consiste à combiner les acides gras contenus dans le suif avec de la chaux, et à éliminer ainsi la glycérine;

2° Pulvérisation des savons de chaux;

3° Décomposition des savons de chaux par de l'acide sulfurique étendu;

4° Lavage des acides stéarique, margarique et oléique rendus libres, d'abord avec de l'eau légèrement aciduléé, puis à l'eau pure;

BOUGIES.

5° Moulage et cristallisation des acides gras mis en liberté,

6° Découpage des masses cristallines;

7° Pressage à froid;

8° Pressage à chaud;

9° Épuration des acides solides, d'abord par de l'eau acidulée, puis par de l'eau pure;

10° Fonte et moulage des bougies;

11° Blanchiment des bougies;

12° Polissage, mise en paquets des bougies.

La saponification s'exécute dans une cuve en bois légèrement conique, que l'on chauffe au moyen d'un tube annulaire placé dans le fond de la cuve, et qui lance de la vapeur par une multitude d'orifices; un agitateur composé d'un axe vertical situé au milieu de la cuve et armé de bras, reçoit son mouvement d'un manége ou de tout autre moteur. La cuve est recouverte d'un couvercle fermant exactement. On y introduit d'abord le suif déjà purifié par une première fusion, puis on ajoute peu à peu, pour 100 parties pondérables de suif fondu, un lait de chaux formé de 12 parties de chaux vive éteinte dans 100 parties d'eau, en ayant soin de mettre l'agitateur en mouvement continuel. Dans les premiers moments, le suif et le lait de chaux forment ensemble une masse homogène et pâteuse, dans laquelle le suif existe encore en grande partie sans altération. Au bout de deux heures, l'eau commence à se séparer du savon calcaire, qui renferme encore une quantité fort notable de chaux libre et de suif non décomposé, et possède la consistance d'une pâte molle et graisseuse. On arrête alors ordinairement l'agitateur, mais on n'en continue pas moins l'ébullition. Le savon calcaire devient de plus en plus dur, et finit par acquérir une cassure tout à fait terreuse. On arrête alors le courant de vapeur, et on laisse reposer pendant quelques heures, la cuve étant aussi bien fermée que possible, puis on soutire le liquide surnageant qui entraîne en dissolution la glycérine, et on extrait de la cuve les stéarate, margarate et oléate de chaux sous la forme de savons très durs. La durée totale de la saponification pour 500 kilogr. de suif, est de six à huit heures.

La chaux nécessaire à la saponification des acides gras contenus dans le suif, doit être aussi caustique que possible; elle doit s'éteindre complétement sans laisser de grumeaux. Sa qualité a beaucoup d'influence sur la beauté de l'acide stéarique que l'on obtient; ainsi lorsqu'elle contient beaucoup d'oxyde de fer, une partie notable de cet oxyde passe dans le savon calcaire, se combine avec l'acide stéarique qui le retient fortement, et lui communique une teinte jaunâtre qu'il est extrêmement difficile de lui enlever économiquement; aussi faut-il toujours choisir la chaux la plus blanche et la plus pure possible. Avant d'employer le lait de chaux, on le passe au travers d'un tamis métallique très fin qui retient tous les grumeaux.

On pulvérise les savons calcaires obtenus entre des cylindres broyeurs, ou sous une meule verticale.

Les cuves à décomposition par l'acide sulfurique sont analogues aux cuves de saponification, doublées en plomb, et ont les mêmes dimensions. On y agite les savons pulvérisés avec de l'eau froide, de manière à en former une bouillie claire, puis on y ajoute 25 kilogr. d'acide sulfurique étendu préalablement de 100 litres d'eau, pour le savon calcaire provenant de la saponification de 100 kilogr. de suif. On laisse ensuite reposer le tout, souvent pendant plusieurs jours en l'agitant fréquemment; l'acide sulfurique s'empare de la chaux pour former du sulfate de chaux, et met en liberté les acides gras. On fait ensuite arriver dans la cuve un courant de vapeur d'eau, le sulfate de chaux se sépare et se précipite au fond, tandis que les acides gras se fondent et viennent surnager le liquide; on les soutire au moyen d'un robinet placé au-dessus du dépôt, dans une cuve de bois, semblable aux précédentes, chauffée à la vapeur et doublée en plomb. Dans cette cuve, les dernières traces de chaux sont enlevées au moyen d'une solution très étendue d'acide sulfurique. Une seconde chaudière, en tout semblable à la première, est destinée à opérer un deuxième lavage à l'eau pure.

Au lieu de décomposer à froid le savon calcaire, on peut effectuer cette opération à chaud, ce qui l'abrége considérablement; mais on obtient par ce procédé un produit moins pur, parce que les parties savonneuses englobées dans les acides gras fondus, s'attaquent moins complétement que lorsque toute la matière est réduite à un état très divisé. L'oxyde de fer surtout, lorsqu'il y en a dans le savon, se sépare beaucoup mieux à froid qu'à chaud.

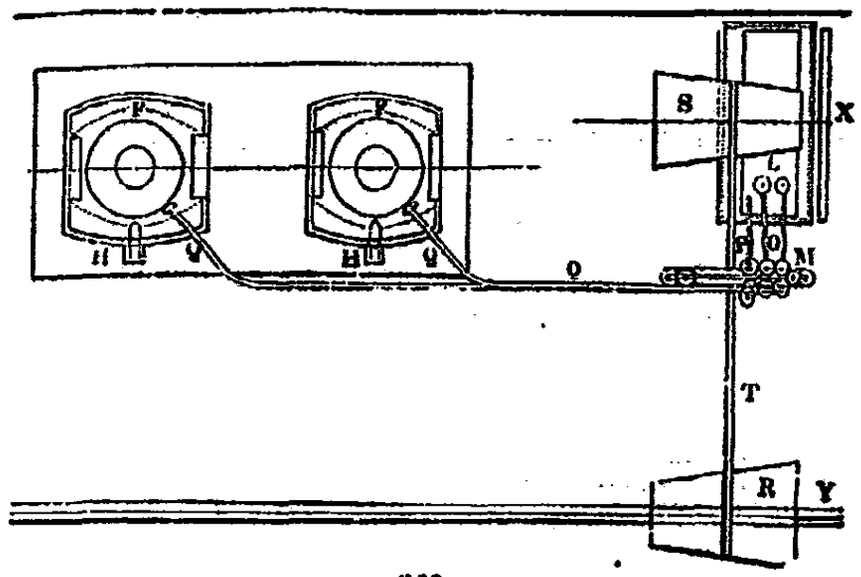
Les trois acides gras, privés autant que possible de chaux et d'acide sulfurique, sont enfin soutirés dans des moules en ferblanc, de la contenance de 30 litres à peu près, et un peu évasés afin que le pain d'acide solidifié en sorte plus facilement.

Ces pains, dont le poids est d'environ 25 kilogr., présentent à l'œil une teinte jaune, quelquefois assez intense, et ont encore une apparence désagréable; cela tient à l'interposition d'acide oléique liquide entre les lames cristallines d'acides stéarique et margarique; on le sépare par la presse hydraulique. Avant d'y soumettre les acides gras, on les divise en fragments plus petits au moyen d'un couteau mécanique, ce qu'on peut d'ailleurs éviter en les moulant tout d'abord en plaques minces.

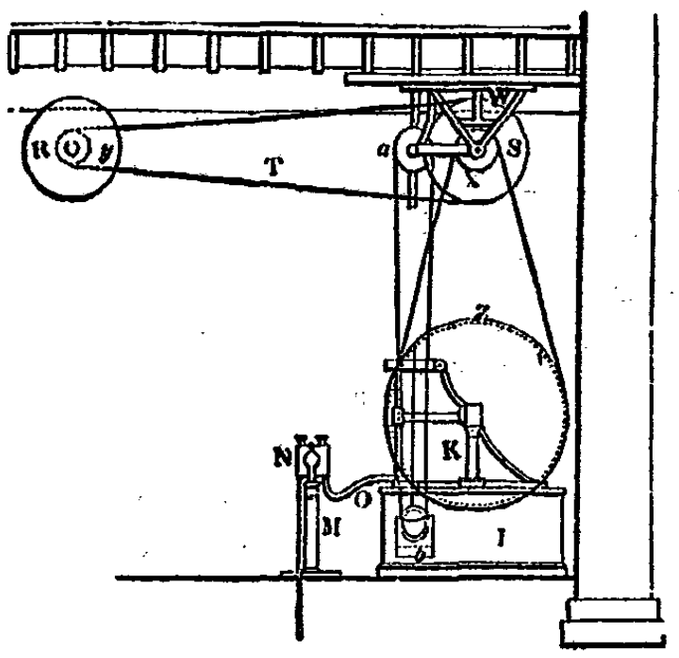
On introduit les acides gras, en couches minces, dans des sacs en forte serge, et on les soumet à froid à l'action d'une presse hydraulique verticale. Lorsqu'on a ainsi exprimé autant qu'il est possible l'acide oléique, on enlève l'acide stéarique mêlé d'acide margarique et d'un peu d'acide oléique, on les introduit dans de nouveaux sacs et on les presse à chaud, dans une presse hydraulique ordinairement horizontale et chauffée à la vapeur, où on achève ainsi de séparer la presque totalité de l'acide oléique.

La presse hydraulique employée pour exprimer à froid l'acide oléique, est représentée en plan fig. 263; la fig. 264 montre sa pompe d'injection et la fig. 265 en représente l'élévation; l'échelle est de 1/80e. Les mêmes lettres se correspondent dans les trois figures.

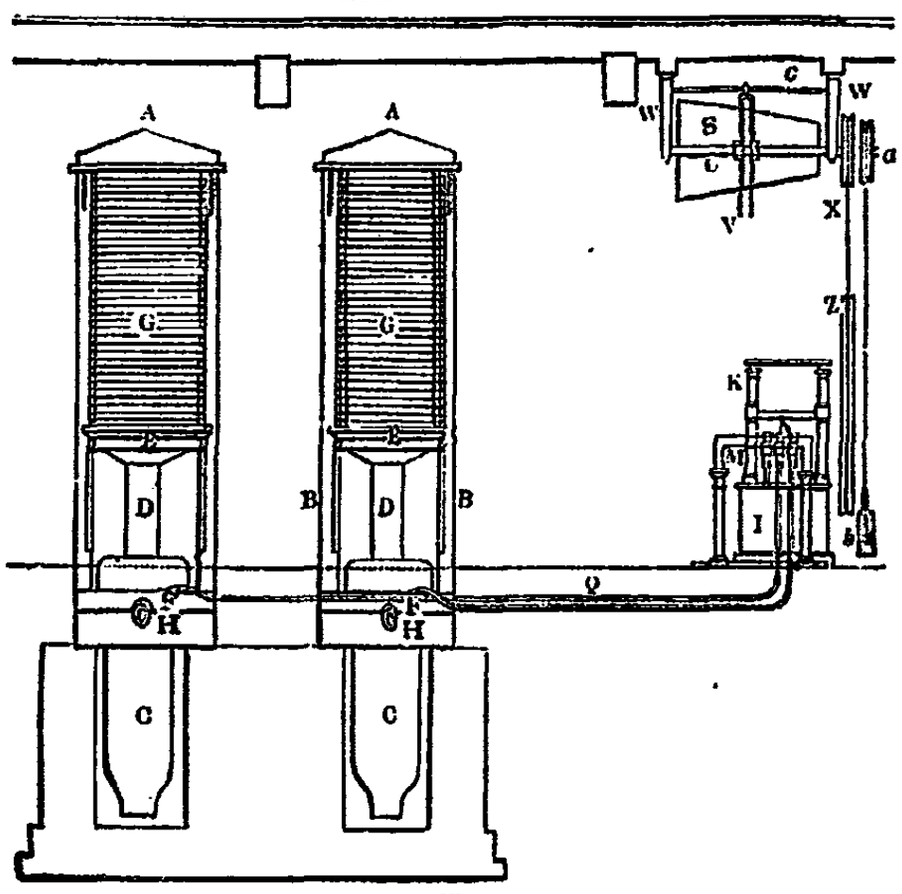
A, A, sont deux presses hydrauliques; B, B, leurs châssis; C, C, les cylindres; D, D, les pistons; E, E, les plateaux; F, F, les récipients où se rend l'huile exprimée, G, G, les sacs de serge remplis de la matière que l'on veut presser, et séparés les uns des autres par des plaques de tôles percées de trous; H, H, ouvertures par lesquelles on retire l'huile, I, bâche où plongent les pompes; K, châssis qui maintient les pistons des pompes; L, deux pompes, une forte et une petite, servant à injecter l'eau dans les cylindres; M, châssis soutenant trois doubles branches N, garnies chacune de deux robinets, par le moyen desquels on peut arrêter ou envoyer à volonté l'eau des deux pompes ou d'une seule, vers l'une ou l'autre presse, ou vers les deux à la fois. Au commencement du travail on ne fait usage que de la plus forte pompe, et on termine avec la petite; ces branches servent à décharger les presses quand l'opération est finie; O, deux tuyaux allant des pompes aux branches; P, tuyau par lequel l'eau retourne des cylindres à la bâche I; Q, tuyaux conduisant l'eau des pompes aux cylindres; R, tambour de transmission du mouvement (il est conique et fixé sur l'arbre principal Y); S est un tambour également conique qui met les pompes en mouvement; T, courroie en cuir qui communique le mouvement de R à S; V, fourchette ou guide suspendu à la tige *c*, et qui sert à mettre en mouvement la courroie T; W, W, supports du tambour S; X, poulie montée sur l'arbre du



263.



264.



265.

tambour S; Y, arbre principal, mû par une machine à vapeur ou tout autre moteur; Z, poulie folle, conduite par la poulie X; sur l'axe de S sont deux cames qui font mouvoir les pistons des deux pompes L *a*, est une poulie placée à l'extrémité d'une longue vis horizontale qui porte à son extrémité une poulie *a*, sur la gorge de laquelle passe une courroie sans fin, qui vient passer sur une seconde poulie *b* portant un contre-poids, qui la maintient tendue. Suivant que l'ouvrier tire cette courroie dans un sens ou dans l'autre, il fait tourner la poulie *a*, et par suite avancer ou reculer la vis horizontale qui traverse la fourchette V, et la fait glisser à volonté sur le tambour S

Nous donnerons tous les détails de la presse hydraulique à chaud à la fin de ce paragraphe.

L'acide stéarique ainsi obtenu est ensuite fondu au bain-marie, puis filtré dans une chausse en laine; il ne forme plus que les 0,45 du suif employé. On le porte alors dans les cuves d'épuration, chauffées à la vapeur, où on le lave d'abord avec de l'acide sulfurique très étendu pour séparer les dernières traces de chaux, puis ensuite à l'eau pure pour enlever tout l'acide sulfurique. Il est alors propre à la fabrication des bougies.

La température à laquelle le moulage des bougies stéariques doit s'effectuer, est une chose assez difficile à atteindre; est-elle trop élevée, les bougies acquièrent une texture cristalline, un aspect désagréable et beaucoup de fragilité; est-elle trop basse, le refroidissement dans les moules devient trop rapide et les bougies se fissurent aisément.

Des fabricants anglais ont combattu cette tendance à la cristallisation, en ajoutant à l'acide stéarique une certaine quantité d'arsenic; mais ce procédé est très nuisible à la santé tant des ouvriers que des consommateurs, et doit être toujours rejeté. Un moyen encore plus efficace et tout à fait inoffensif, consiste dans l'addition d'une petite quantité de cire. Cependant ce dernier procédé est lui-même employé seulement dans très peu de fabriques, parce que l'on a remarqué qu'en ayant soin d'échauffer d'abord modérément les moules, un peu au-dessous du point de fusion de l'acide stéarique, et laissant refroidir ce dernier, jusqu'à ce qu'il ait acquis une consistance pâteuse, avant de le couler, on obtenait des bougies d'acide stéarique pur tout à fait exemptes de défauts, et c'est ainsi que l'on prépare actuellement la presque totalité de celles que l'on trouve dans le commerce.

On emploie des mèches tressées, disposition ingénieuse qui évite la nécessité de moucher continuellement ces bougies, car les mèches de la bougie stéarique charbonnent au moins autant que celles des chandelles. Par suite du tressage, la mèche, au fur et à mesure que la bougie se brûle, se détourne et se recourbe légèrement, de sorte que l'extrémité va se consumer dans le blanc de la flamme. Cette précaution de tresser les mèches ne suffit pas, car la faible quantité de chaux que retient toujours l'acide gras engorgerait les mèches et diminuerait leur capillarité, si on ne prenait pas la précaution de les plonger dans une dissolution d'acide borique; cet acide forme avec la chaux un borate qui se fixe dans la mèche et qui se convertit en une perle fusible qu'on voit briller à l'extrémité de la mèche après sa complète combustion.

On blanchit ces bougies par l'exposition à la lumière et à la rosée; enfin on les polit en les frottant vivement avec un morceau de drap humecté d'alcool ou d'ammoniaque, puis on les réunit

cinq par cinq pour en faire des paquets de 1/2 kilog. qu'on livre au commerce.

Revenons sur le pressage que nous avons vu être insuffisant à froid.

Pressage à chaud. — Lorsque la presse verticale paraît avoir épuisé son action, on enlève les sacs, on les vide, et on procède au pressage à chaud. Cette opération a lieu également au moyen d'une presse hydraulique puissante disposée horizontalement, comme l'indique la fig. 226. L'eau, arrivant par le tuyau R, vient dans le cylindre C agir sur la tige T, qui presse les

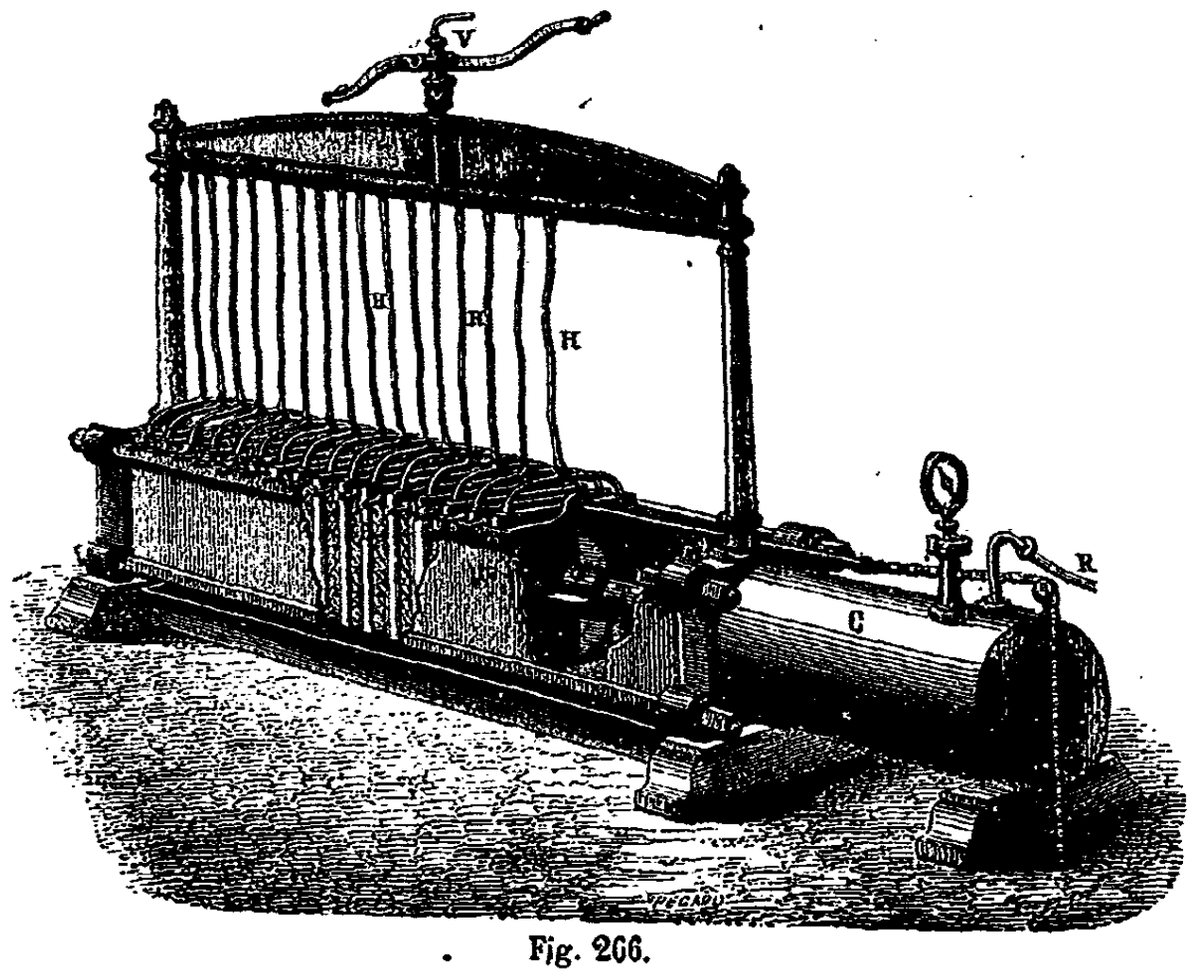


Fig. 266.

substances placées dans la bâche de la presse. Les pains fournis par le pressage à froid sont cassés aux dimensions convenables, puis placés entre deux tissus très-solides en crin, désignés sous le nom d'*étreindelles*. Celles-ci sont séparées par des plaques creuses en fonte dans lesquelles peut circuler la vapeur arrivant du générateur par le tuyau V. La communication entre le tuyau V et les plaques chauffées s'établit habituellement au moyen de tubes articulés; mais nous avons vu substituer avec avantage à ce système l'emploi de tubes en caoutchouc de 4 à 5 millimètres d'épaisseur, disposés ainsi qu'on le voit en H, H. Pour faire usage de cette presse, on place, à la suite de chaque plaque P, une étreindelle; puis, lorsque la bâche se trouve remplie, on ouvre le tuyau V, de manière à échauffer les plaques. Pour y parvenir, la température doit d'abord être portée jusqu'à 70° environ; mais il faut la modérer rapidement et la laisser retomber à 40°, et même 35°; en même temps, on fait agir doucement la tige T. Une séparation plus profonde des acides se produit alors : l'acide oléique, entraînant une notable quantité d'acide stéarique, s'écoule par le fond de la bâche, et de là dans des caniveaux qui le conduisent à des réservoirs spéciaux. Lorsque l'opération est terminée, on démonte la presse, et l'on trouve dans chaque étreindelle un pain sec et dur d'acides gras qui en ont épousé la forme, et dont la surface seule est souillée par quelques traces de matière organique et d'oxyde de fer provenant des appareils. La quantité d'acides solides ainsi obtenus peut, selon M. Dumas, s'élever jusqu'à 45 p. 100 du poids du suif; mais généralement elle ne dépasse pas 40 p. 100.

Les presses à chaud offrent, dans leur forme, des différences assez notables. Ainsi, dans quelques usines, on se contente d'introduire dans la bâche des plaques pleines, et de faire arriver la vapeur par des tubes longitudinaux percés de trous et placés à la partie inférieure. La bâche est garantie contre le refroidissement par une enveloppe de briques, et l'on recouvre le tout d'un vaste feutre. D'autre fois, la bâche est, de tous côtés, munie d'un double fond dans lequel on fait circuler la vapeur; quelquefois enfin, on n'emploie en aucune façon la vapeur, et l'on plonge simplement les plaques à chaque opération dans l'eau bouillante.

L'injection de la vapeur dans les plaques creuses, et même dans les presses à plaques pleines, présente l'inconvénient grave d'être d'une conduite difficile; aussi quelques fabricants se préoccupent-ils de substituer à la vapeur l'eau chaude comme moyen d'échauffement des plaques creuses. Cette manière d'agir paraît, *a priori*, devoir offrir de grands avantages; mais il semble que jusqu'à présent on n'ait pu se rendre complétement maître du procédé.

Au sortir de la presse à chaud, l'acide oléique se rend dans de vastes réservoirs disposés dans les caves; là on l'abandonne jusqu'à ce que, par le repos et le refroidissement, il ait laissé déposer une grande partie des acides solides qu'il renferme; on l'enlève alors en laissant le dépôt, puis on le remplace par un produit récemment préparé; lorsque le dépôt paraît suffisant, on filtre sur des chausses en feutre, puis on ramène aux presses la matière solide.

Amélioration des procédés de saponification par la chaux. — La saponification par la chaux fournit des produits supérieurs en qualité à ceux qu'on obtenait par le moyen de la potasse et de la soude proposées à l'origine; elle procure une grande économie, mais le sulfate de chaux provenant de la décomposition du savon retient de fortes proportions des acides gras, et comme la quantité de chaux nécessaire pour l'opération, 14 p. 100 environ, surpasse énormément celle

que ces acides exigeraient pour former des savons neutres, 5,4 p. 100, la perte s'accroît dans cette proportion, en même temps que celle d'acide destinée à saturer la base.

Il restait donc beaucoup à faire pour perfectionner cette industrie, et c'est par la combinaison d'une pression élevée avec l'action chimique qu'on y est parvenu.

James Hall paraît être le premier qui s'occupa de vérifier l'action d'une haute température exercée concurremment avec une haute pression sur des composés dont quelques-uns sont volatils.

On comprend facilement que, par leur action simultanée, une pression moindre, une moindre proportion de base et la présence d'un savon déterminent les même effets que des actions plus puissantes détermineraient séparément.

La fig. 267 représente l'appareil employé pour ce travail. A est la chaudière dans laquelle s'opère la saponification calcaire, H la cuve qui renferme les corps gras, que l'on fait fondre à l'aide d'un jet de vapeur, F celle qui renferme le lait de chaux, G l'entonnoir qui sert à l'introduction, E le tube qui introduit la

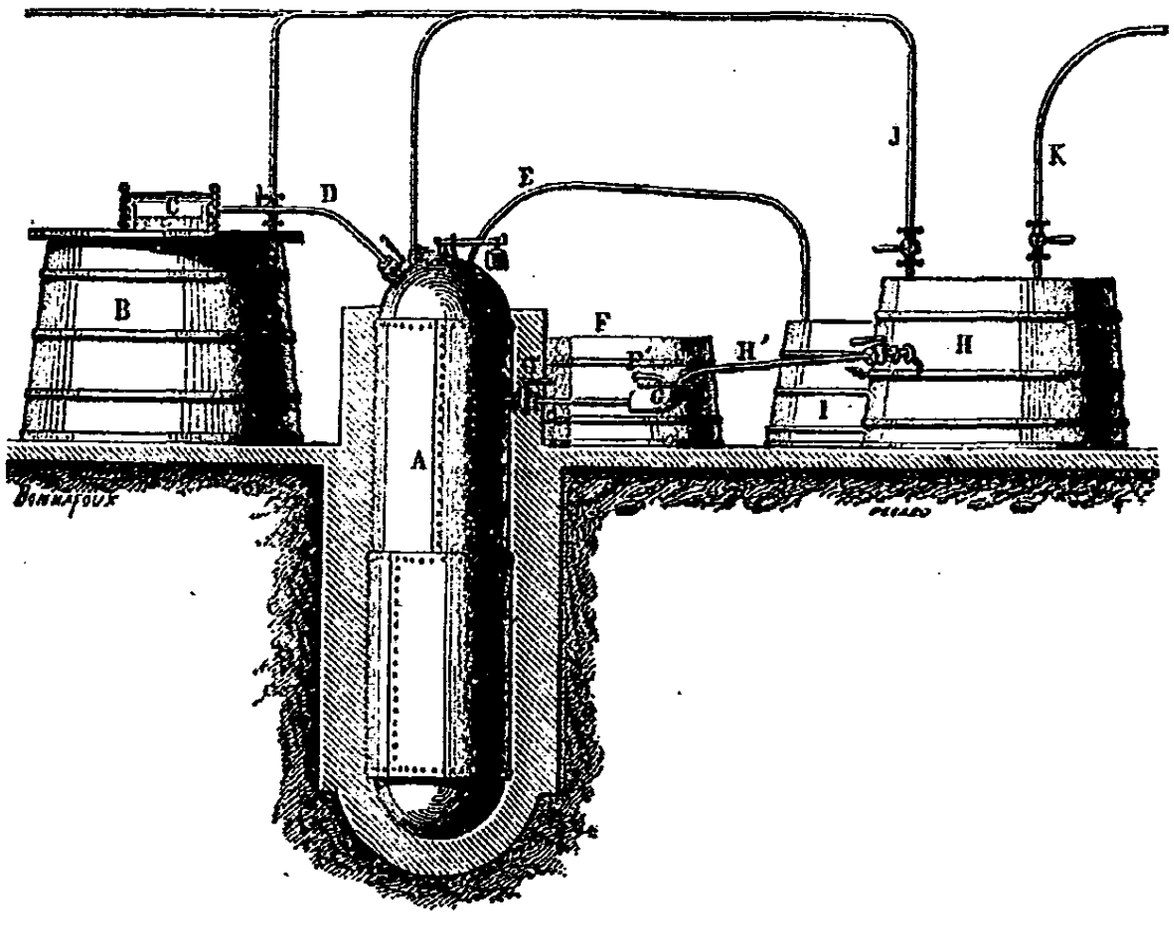


Fig. 267.

Cagniard-Latour, Faraday et postérieurement M. Berthelot, ont obtenu, par l'application de ce moyen, des résultats du plus haut intérêt que nous devons signaler.

C'est dans ces conditions qu'il a été démontré que *l'eau seule, à une pression de 10 atmosphères, peut transformer les corps gras en acides gras et en glycérine, comme le font la potasse et la soude même à la température ordinaire, la chaux à celle d'ébullition.*

Ces deux faits expliquent le mode d'action sur lequel est fondé l'important procédé que M. de Milly, le créateur de cette industrie, a rendu pratique, et dont les recherches de M. Pelouse sur l'action exercée par l'eau de savon sur les matières grasses pour les convertir en acides gras et en glycérine rendent parfaitement compte.

Dans une chaudière, où ils sont soumis à une pression de 8 atmosphères, à l'aide de la vapeur produite par un générateur, on introduit de l'eau, les matières grasses et *une proportion de chaux qui ne s'élève qu'à 2 p. 100 du poids de celle-ci, c'est-à-dire beaucoup moindre* que celle qu'exige la saturation des acides gras; la saponification est complète et s'opère chaque jour sur 6,900 kilogrammes de suif, en fournissant les résultats suivants :

Économie de temps, de main-d'œuvre, de corps gras, de combustible, de chaux, d'acide sulfurique, et production facile et économique de glycérine dont les usages se multiplient continuellement.

vapeur à la partie inférieure du mélange. L'opération est terminée en 8 heures.

Emploi du gaz sulfureux. L'utilité du gaz sulfureux, conduit dans les cuves pendant que la saponification calcaire s'y opère, pour rehausser la blancheur des produits et diminuer les déchets de la saponification des acides gras, est démontrée par l'expérience. M. Jacquelain, dans un rapport étendu à la Société d'encouragement, a fixé, d'après ses expériences, à 5 p. 100 l'économie qu'on obtient ainsi.

Fabrication par distillation. Une nouvelle industrie fort intéressante a été créée postérieurement à la saponification par les alcalis. Elle est fondée sur de nouveaux moyens d'extraire les acides gras, et s'applique à des matières impures qu'on ne pouvait traiter avantageusement par les procédés précédemment décrits. Ces matières sont notamment les graisses des eaux savonneuses, résidus des graissages et dégraissages des laines, les graisses d'os, les huiles de foie de morue, et surtout les huiles de palme et de coco que le commerce apporte en abondance des contrées orientales, etc.

Ces substances sont d'abord traitées à l'acide sulfurique, qui produit un dédoublement analogue à celui obtenu à l'aide de la saponification avec la chaux, c'est-à-dire qu'il se forme des acides doubles (acide *sulfoléique*, *sulfo-margarique*, *sulfo-stéarique*), le premier soluble dans l'eau froide, les deux derniers décomposés par ce liquide : tous trois sont décomposés par l'eau

bouillante, qui dissout l'acide sulfurique ainsi que la glycérine et laisse surnager les acides gras.

La décomposition par l'acide s'effectue dans une chaudière chauffée par la vapeur, et dans laquelle les matières sont mélangées par une agitation mécanique. L'opération dure douze à dix-huit heures. Pour 1000 kil. d'huile de palme, on emploie 150 kil. d'acide. Après un refroidissement partiel, on porte le mélange dans un récipient rempli d'eau qu'on porte à l'ébullition par un jet de vapeur. Les acides gras viennent surnager, et ce sont ces acides que l'on soumet à la distillation par un procédé particulier, c'est-à-dire en les entraînant par un courant de vapeur. A l'origine, on avait trouvé avantage à entourer la chaudière contenant les acides gras d'une espèce de bain de sable, ou dans un bain de plomb fondu. Quand la température approchait de 300°, on faisait arriver la vapeur dans le bain. Nous allons indiquer plus loin l'emploi qui a prévalu, de la vapeur surchauffée dans des appareils où elle ne peut atteindre des températures où les acides gras s'altèrent.

BOUGIES.

duisons ici partie de la description de ses appareils dont il a bien voulu fournir les éléments à M. Payen pour les *Annales du Conservatoire*. Nous lui emprunterons la description de l'appareil distillatoire tel qu'il est organisé dans sa fabrique que l'on peut citer comme modèle.

Nous donnerons d'abord sur la chaudière ou la cucurbite elle-même des détails indispensables pour comprendre ce qui se passe dans cette partie principale de l'appareil.

On voit les détails intérieurs de cette cucurbite indiqués par deux coupes verticales (fig. 268 et 269) suivant deux plans perpendiculaires l'un à l'autre; son petit diamètre est de 1m,53; son grand diamètre est de 2 mètres. Ce vase est formé de deux pièces en fonte : l'une inférieure, ou la chaudière, est exempte d'ajutage extérieur; la coupole, ou partie supérieure, est terminée par un col à large ouverture et bords rabattus HH, sur lesquels se fixent, à l'aide de brides, rondelles et boulons, les bords également rabattus du

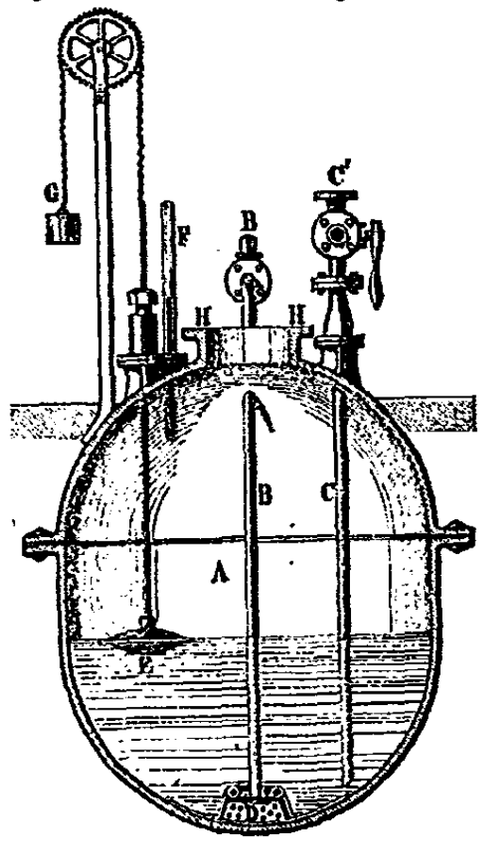


Fig. 268.

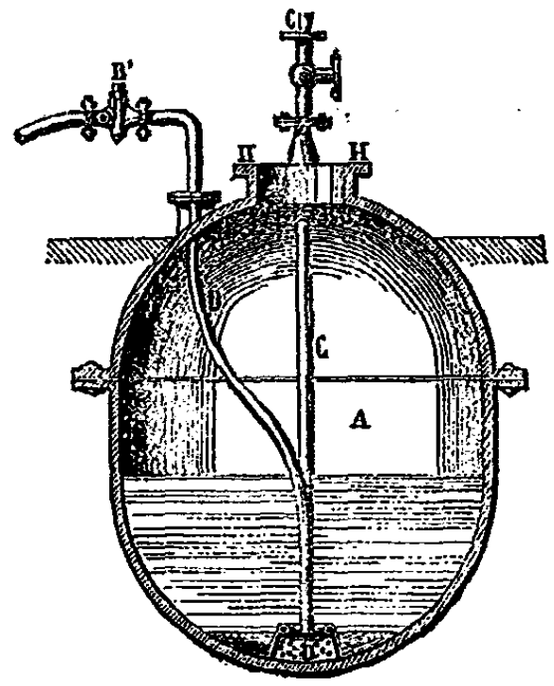


Fig. 269.

Vers la température de 300° et sous l'influence d'un courant de vapeur, la transformation des dernières portions de graisses neutres s'achève, les acides gras sont entraînés avec la vapeur et viennent se déposer dans le serpentin adapté à la chaudière.

Voici les rendements en acides gras, fournis par différentes matières traitées au moyen des procédés nouveaux ;

Résidus de graissage et dégraissage de laines.	0,50 à 0,55
Huile d'olive épaisse.	0,55 à 0,66
Huile de palme	0,70 à 0,80
Acide oléique des fabriques de bougies par saponification calcaire.	0,25 à 0,30

Les acides gras produits par ces réactions sont suivant les matières employées ou identiques avec les acides gras extraits par les alcalis, ou en diffèrent par des proportions d'oxygène ou d'hydrogène équivalentes à une certaine quantité d'eau, ce qui suffit pour expliquer les changements de propriétés physiques qui s'observent dans divers cas.

M. de Milly, le créateur de l'industrie des bougies stéariques, a encore attaché son nom à des progrès capitaux dans les procédés de distillation. Nous reproduisons ici partie de la description de ses appareils dont il a bien voulu fournir les éléments à M. Payen pour les *Annales du Conservatoire*. Nous lui emprunterons la description de l'appareil distillatoire tel qu'il est organisé dans sa fabrique que l'on peut citer comme modèle.

Nous donnerons d'abord sur la chaudière ou la cucurbite elle-même des détails indispensables pour comprendre ce qui se passe dans cette partie principale de l'appareil.

On voit les détails intérieurs de cette cucurbite indiqués par deux coupes verticales (fig. 268 et 269) suivant deux plans perpendiculaires l'un à l'autre; son petit diamètre est de 1m,53; son grand diamètre est de 2 mètres. Ce vase est formé de deux pièces en fonte : l'une inférieure, ou la chaudière, est exempte d'ajutage extérieur; la coupole, ou partie supérieure, est terminée par un col à large ouverture et bords rabattus HH, sur lesquels se fixent, à l'aide de brides, rondelles et boulons, les bords également rabattus du long col recourbé, en cuivre, indiqué sur la figure suivante. La chaudière et sa coupole sont solidement assemblées au moyen de boulons et d'écrous; ces deux parties peuvent être réparées isolément et remplacées de même lorsque l'une d'elles est détériorée. La cause principale de ces altérations et des dangers d'incendie qui peuvent en résulter a été supprimée chez M. Milly, en rendant la cucurbite tout à fait indépendante du foyer qui surchauffe la vapeur.

Sur la coupole de cette chaudière (*fig.* 268), un ajutage porte une boîte à étoupes dans laquelle glisse, à frottement doux, la tige verticale du flotteur E; cette tige est soutenue à l'autre bout par une chaîne passant sur la poulie et reportant à l'extérieur les mouvements ou indications du flotteur qui sont signalés par les mouvements en sens contraire et les variations correspondantes dans la hauteur du contre-poids G.

Un thermomètre F, même figure, dont le réservoir est à l'intérieur, tandis que la tige graduée est partiellement engagée dans un ajutage spécial, montre au dehors les degrés de température qu'il importe de vérifier.

Le tube et le robinet CC servent à mettre la cucurbite en communication avec la bâche à serpentin, contenant les acides gras, lorsqu'on veut introduire

BOUGIES.

cette matière grasse à distiller. Le tube à robinet extérieur B est terminé à sa partie inférieure par une capsule renversée D, percée comme une pomme d'arrosoir et fixée au fond de la chaudière; ce tube est destiné à diviser dans la cucurbite la vapeur surchauffée (de 290 à 300°), et à la forcer de sortir par un grand nombre de trous, de traverser ensuite la masse liquide, de façon à y maintenir une haute température, tout en offrant un espace sans cesse renouvelé, qui détermine la vaporisation des acides gras, les entraîne avec elle vers le col de l'alambic et les tubes réfrigérants ou condensateurs.

Il nous sera facile maintenant d'expliquer, à l'aide de la figure suivante, les relations entre la cucurbite dont nous venons de décrire les dispositions internes, et, d'une part, le serpentin disposé sous une voûte pour surchauffer la vapeur qui doit passer au travers des acides gras, d'une autre part la direction et les condensations successives de cette vapeur d'eau chargée des vapeurs d'acides gras.

La figure 270 montre la disposition générale de cet appareil distillatoire, comprenant trois parties bien distinctes isolées les unes des autres par deux gros murs de séparation, quoique les communications soient entre elles rendues à volonté parfaitement libres, ou, également à volonté, complétement interceptées. Les

le foyer G, dont la flamme parcourt successivement les espaces sous les voûtes GEF; à l'extrémité opposée du serpentin, la vapeur surchauffée passe par un tube engagé dans la maçonnerie aboutissant à un robinet dans l'atelier de l'appareil distillatoire; c'est en ouvrant ce robinet que l'on introduit la vapeur surchauffée dans la cucurbite, où elle se divise, par la pomme d'arrosoir, en une multitude de jets ou bulles traversant toute la matière grasse liquide et lui communiquant une température élevée à 290° environ. Ce courant multiple de vapeurs entraîne successivement les acides gras mélangés, et cela suivant l'ordre de leur volatilité (qui pour ceux de l'huile de palme est en ordre inverse du degré de solidification). Ces vapeurs grasses et aqueuses passent ensemble dans le col H de la cucurbite et son prolongement pour se rendre au réfrigérant extérieur. Sur leur trajet, les premières portions condensées de ces vapeurs rencontrent un large ajutage C par lequel le liquide s'écoule en suivant un tube qui les conduit vers une bâche I; arrivé là, le tube, comme le montre la figure, se termine en siphon renversé, ce qui permet l'écoulement du liquide dans cette bâche, sans que les vapeurs et les gaz puissent sortir. Un robinet, que l'on voit à la naissance du siphon, sert à intercepter l'issue, lorsque les premières parties condensées qui ont pu

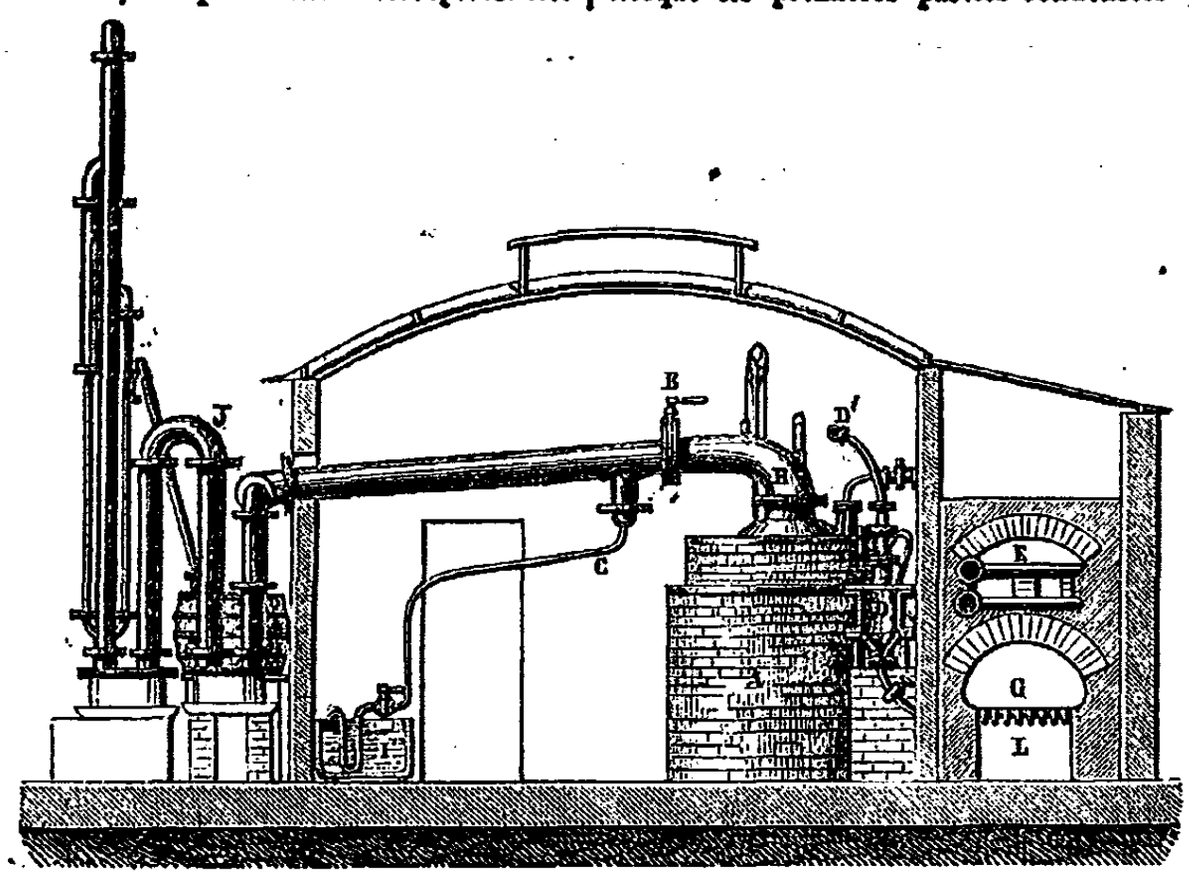


Fig. 270.

trois parties distinctes représentent: 1° le four à trois voûtes superposées EG, et le foyer; 2° la cucurbite et ses accessoires AHBCI, renfermée dans l'atelier central où se trouvent les robinets des tubes à matière grasse et à vapeurs simple et mixte; 3° le réfrigérant à air libre, entièrement au dehors des ateliers; ce réfrigérant est formé de longs tubes en cuivre recourbés en siphons; à sa suite le récipient ou citerne aux acides gras distillés placée sous un hangar.

Dans l'atelier principal, la cucurbite A, entourée de maçonnerie qui la préserve du refroidissement extérieur, est chargée, comme nous l'avons vu, de matière grasse (acidifiée, lavée, séchée à la température de 150°). On fait alors arriver par le tube D', en ouvrant le robinet spécial sur son trajet, la vapeur du générateur dans le cylindre purgeur D, où sont retenus les globules d'eau; la vapeur ainsi épurée passe dans le serpentin en fonte chauffé à 300° environ par

entraîner des projections sont sorties, et que dès lors il convient de séparer ces premiers produits impurs; ce qui s'écoule ensuite est dirigé dans le récipient général.

Les vapeurs engagées dans le long col H de la cucurbite se rendent au dehors de l'atelier dans un réfrigérant à l'air, formé de tubes de 20 cent. de diamètre, en cuivre, adaptés à brides sur les ajutages des bâches qui reçoivent tous les produits liquides de la condensation; ces produits s'écoulent par un tube collecteur dans le réservoir commun (placé sous un hangar clos), tandis que les gaz et vapeurs continuent de circuler en passant de bas en haut et de haut en bas alternativement, d'une branche à l'autre de chaque large siphon; l'avantage principal de cette disposition comparée avec les serpentins réfrigérants à l'eau, c'est que ceux-ci peuvent s'engorger, surtout au commencement de l'opération, si, la température de

l'eau se trouvant inférieure au point de leur congélation, les acides gras qui distillent se figent dans les tubes et obstruent le passage, occasionnant une pression plus ou moins forte et des fuites avec leurs inconvénients et leurs dangers ; les mêmes accidents se peuvent produire, si l'on renouvelle trop rapidement l'eau qui environne le serpentin ; sans doute on parvient à éviter ces inconvénients par de simples précautions ou à l'aide d'un tube supplémentaire rectiligne, dont la température ne saurait s'abaisser au-dessous de 50°, et dont l'extrémité inférieure, plongeant dans la cuvette à trop plein, récipient des liquides condensés, ne laisse aucune issue aux vapeurs. Le réfrigérant à l'air est en tous cas préférable, puisqu'il n'oblige à aucune de ces précautions, et cependant la condensation des acides gras s'y effectue si bien que les tubes rétrécis des siphons, dans lesquels circulent les dernières portions des gaz et des vapeurs, ne donnent plus qu'un liquide aqueux en arrivant au tonneau l' indiqué dans la figure. Celui-ci sert donc de récipient au produit des dernières vapeurs condensées; quant aux gaz incondensables qui s'y rendent également, ils trouvent une libre issue par un troisième tube X, à plus large section, implanté sur le même couvercle et aboutissant à la cheminée qui dissémine dans l'atmosphère ces gaz avec la fumée.

La cucurbite de cet appareil se vide aisément, comme nous l'avons dit plus haut, en fermant la valve à papillon ouvrant la communication entre l'intérieur de la cucurbite et l'air extérieur par le tube à trois eaux habituellement abducteur des matières grasses, qui, muni alors d'une allonge, offre une issue au goudron liquide, dès qu'en laissant arriver la vapeur par le tube terminé en pomme d'arrosoir, la pression interne chasse aussitôt toute la matière fluide vers la nouvelle issue. Dans d'autres fabriques, la vidange s'effectue à l'aide d'un siphon à demeure; on peut quelquefois obtenir des acides gras distillés plus blancs en opérant cette vidange, sans attendre que le résidu soit épuisé, c'est-à-dire lorsque les 9 dixièmes ou les 95 centièmes du produit sont extraits; on laisse alors la température de la chaudière s'abaisser pendant quelques heures, puis on recharge l'alambic comme la première fois avec la matière grasse acidifiée lavée et séchée à 150 degrés. Après huit ou dix distillations semblables, on peut laisser épuiser la matière goudronneuse, puis la chasser au dehors par le siphon, à l'aide d'une injection de vapeur, enfin lorsqu'on veut nettoyer à froid la chaudière, on suspend les opérations pendant un jour, on ouvre dans cet intervalle de temps le trou d'homme en démontant le col de l'alambic et l'on effectue sans peine ce nettoyage. On a dû prendre le soin de fermer la vanne B, située sur le trajet du col de l'alambic, afin d'éviter la rentrée des gaz et vapeurs dans la cucurbite et dans l'atelier. Lorsque l'on a limité chaque distillation aux 0,9 ou 0,95 de la matière volatilisable les résidus non épuisés sont mis en réserve, et, après dix à quinze opérations, la quantité réunie est suffisante pour en faire une distillation spéciale avant de procéder au nettoyage à fond de la chaudière.

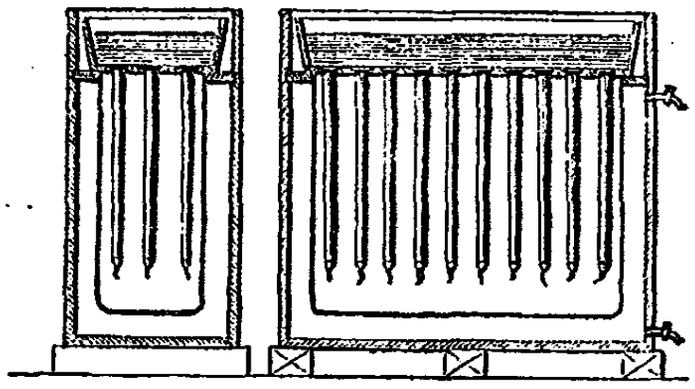
Dans l'usine de M. Wilson, la distillation des corps gras s'effectue à l'aide d'appareils semblables à celui que nous venons de décrire, mais en raison de l'importance plus considérable de la fabrication et de l'emploi des produits de l'acidification à l'exclusion de ceux de toute saponification calcaire dans cette usine, les appareils distillatoires sont beaucoup plus grands : chacun d'eux suffit pour distiller, à la fois, 6,000 kil. de matière grasse acidifiée, en sorte que les quatre appareils représentent une fabrication journalière de 24,000 kil., non compris la production de l'appareil à distiller par la vapeur seule et sans acidification préalable, appareil dont la cucurbite peut contenir également 6,000 kil. qui passent à la distillation en 24 ou 36 heures.

Les acides gras distillés sont ordinairement soumis à la cristallisation dans des augettes peu profondes en fer-blanc, comme les acides gras provenant de la saponification calcaire, puis au moyen des pressions successives à froid et à chaud, on élimine de même la plus grande partie de l'acide oléique, afin d'élever le point de fusion des acides solidifiables qui doivent être moulés en bougies.

Les bougies ainsi obtenues donnent une belle lumière et offrent les autres propriétés des bougies d'acides gras de saponification calcaire, sauf leur point de fusion qui étant moins élevé de 3 ou 4° les rend plus susceptibles de couler dans les endroits où l'air est chaud ou agité.

Moulage. Un perfectionnement récemment tenté consiste dans l'emploi fort heureux de moules en fer étamé

Fig. 271. Fig. 272.



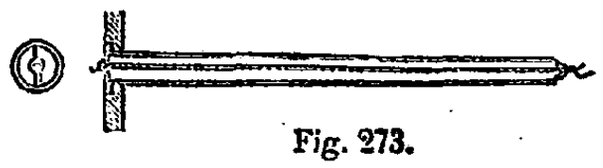


Fig. 273.

Les fig. 271 et 272 montrent la disposition de l'appareil entier qui sert à mouler, et la fig. 273, sur une plus grande échelle, comment la mèche est fixée au centre par un petit disque percé d'un trou, dans lequel elle est retenue par un nœud, tandis qu'elle est tendue et fixée par une cheville qui bouche l'orifice inférieur.

L'étain, seul métal employé jusqu'ici pour les moules, nécessite une assez grande épaisseur, qui correspond à une dépense élevée, et qui ralentit le refroidissement. Il faut ajouter à cela la difficulté, et même le danger pour les femmes exclusivement employées à ce travail, de manœuvrer et de transporter continuellement de lourdes charges, d'autant plus fatigantes à mouvoir que les ouvrières sont obligées de les tenir presque à bras tendus à la hauteur de la poitrine.

Par l'usage des moules en fer embouti, fabriqués par le procédé de M. Palmer (voyez BANC A TIRER), on obvie complétement aux divers inconvénients que nous venons de signaler. La rigidité du fer qui sert à fabriquer ces moules permet de ne leur donner qu'une épaisseur de quatre dixièmes de millimètre au maximum; les moules en étain n'ont pas moins de 3 millimètres. Les moules et porte-moules pèsent de 9 à 10 kil. à peine, au lieu de 25 à 26 kil. qui est le poids de ces ustensiles en étain.

A l'aide d'une ingénieuse machine, on a rendu continu le placement des mèches en faisant dérouler la tresse d'une bobine sur laquelle elle est enroulée. (Voir dans l'article de M. Payen la description de cette machine.)

Polissage. La fig. 274 représente une machine très-simple qui sert au polissage des bougies.

On pose les bougies, toutes dans le même sens, dans une trémie A, un rouleau cannelé B les prend une à une et, en tournant, les fait passer devant la scie circulaire C qui les coupe, puis elles tombent sur un drap de laine sans fin supporté par les petits rouleaux G G G, et qui passe sous les rouleaux H, H. En

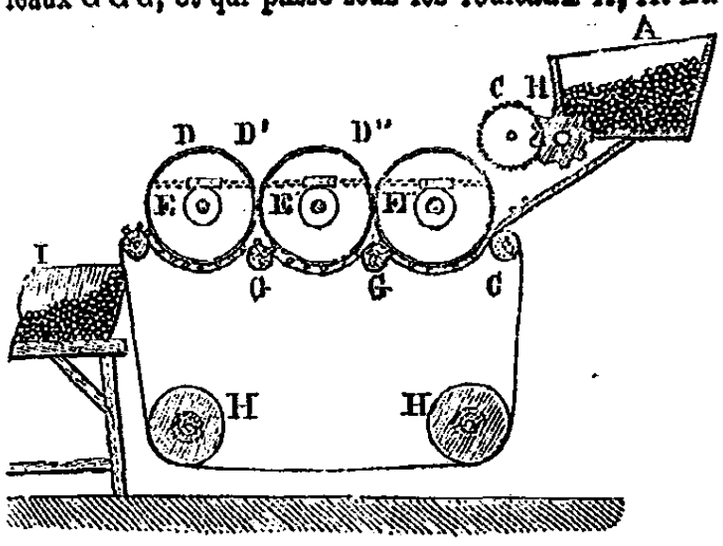


Fig. 274.

même temps que le mouvement de rotation imprimé aux rouleaux fait circuler le drap, trois autres cylindres D, D', D'', recouverts de drap, sont mus en sens contraire par les trois pignons E, E', E'', qui font tourner trois vis sans fin enfilés dans un axe commun. Les mouvements de rotation concourent à faire avancer les bougies depuis leur chute sous la scie C jusqu'au dernier rouleau G, qui les déverse dans le récipient I. Les cylindres D D' D'' sont d'ailleurs portés sur un bâti mobile et reçoivent un mouvement rapide de va-et-vient parallèlement à leur axe. On comprend facilement que par ces dispositions les bougies arrivent parfaitement lustrées dans le récipient, d'où elles sont *tirées pour être empaquetées.*

BOUGIES MÉDICAMENTEUSES. On donne ce nom à une sorte d'instrument cylindrique, lisse, flexible, élastique et mince, qu'on introduit dans l'urètre, le rectum ou l'œsophage, pour les ouvrir ou les dilater, en cas de resserrement, ou dans d'autres maladies. L'invention de cet instrument a été réclamée par *Aldereto,* médecin portugais, mais sa forme et ses usages ont été décrits pour la première fois par son élève *Amatus,* en 1554. Il y a des bougies pleines et des bougies creuses, il y en a qui sont faites pour corroder, d'autres pour ramolli.. Elles doivent généralement leur élasticité à l'huile de lin, épaissie par une longue ébullition, et rendue siccative par la litharge. On répand cette matière visqueuse par couches sur un cordon très fin, ou sur un ruban tubulaire de coton, de chanvre ou de soie; on roule celui-ci sur une plaque de marbre quand la matière commence à se solidifier par la dessiccation, et on achève le cylindre en le polissant.

Pickel, médecin français, a publié la recette suivante pour la composition des bougies : prenez 3 parties d'huile de lin cuite, une partie de succin, et une partie d'huile de térébenthine; fondez, mêlez bien ces ingrédients ensemble, et appliquez par couches, à trois reprises successives, sur un cordon ou un ruban de soie; mettez ces pièces ainsi recouvertes dans un four à la *température de 65° centigr., laissez-les-y* pendant 12 heures en ajoutant successivement 15 ou 16 nouvelles couches, jusqu'à ce que les instruments aient acquis la grosseur voulue. Polissez-les d'abord avec la pierre ponce, et donnez le douci avec du tripoli et de l'huile d'olives. Ce procédé est encore celui qui est en usage à Paris, sauf quelques légères modifications, dont la principale consiste à dissoudre dans l'huile de lin la 20e partie de son poids de caoutchouc, afin d'assurer la solidité de l'instrument. Dans ce but, il faut couper le caoutchouc en petits fragments minces, et l'ajouter graduellement à l'huile chaude; le tissu de soie doit être fin et lâche, afin que la composition puisse le pénétrer facilement. Après l'application de chaque couche, on doit faire sécher d'abord à l'étuve, et mieux à l'air libre, avant d'en ajouter une nouvelle. Ce procédé n'exige pas moins de 2 mois pour que l'opération soit complète, et pour obtenir des bougies dites *élastiques*, très résistantes et souples, qu'on puisse entortiller autour du doigt sans qu'elles se gercent ou s'écaillent. Lorsque les bougies doivent être creuses, on se sert d'un mandrin en fil de fer, garni d'un anneau à une de ses extrémités, que l'on introduit dans l'axe du cordonnet de soie. Quelques bougies sont faites avec un axe creux *formé d'une feuille d'étain enroulée en tube mince.* Il y a encore des bougies faites entièrement en caoutchouc; on les obtient en se servant d'éther sulfurique pour dissoudre et appliquer le caoutchouc. Il y a des bougies médicales dont la composition appartient à la pharmacie chirurgicale. La fabrication de ces diverses sortes d'instruments forme à Paris une branche d'industrie à part et qui n'est pas sans importance. MM. Febuger et Lamotte sont les fabricants les plus distingués dans cette partie.

BOULANGERIE. Voyez PAIN.

BOULETS. Voyez PROJECTILES.

BOUSAGE (*angl.* dunging, *all.* kühkothen). Le bousage est une opération importante de la fabrication des indiennes, qui succède au mordançage; il a pour but :

1° De fixer complétement le mordant par la matière albumineuse que renferme la bouse de vache, et qui se combine avec lui pour former une combinaison insoluble qui se précipite sur les fibres du tissu, et en même temps de saturer l'acide acétique qui reste du mordançage;

2° D'enlever une partie des matières employées pour épaissir le mordant;

Et 3° de dissoudre le mordant non combiné, qui n'est que mécaniquement appliqué sur les fibres du tissu, et qui lors de la teinture coulerait sur les autres parties, et donnerait lieu à des taches.

On emploie en certains cas, pour des nuances très délicates, jaunes, roses ou lilas, du son au lieu de la bouse de vache, qui leur communique souvent une légère teinte verdâtre. Du reste, la bouse de vache est bien plus économique et agit beaucoup plus efficacement que le son; comme la matière albumineuse qu'elle renferme se combine avec le mordant et se précipite sur les fibres du tissu, il s'ensuit que l'effet de la bouse de vache cesse bientôt, et qu'elle ne peut servir que pour une quantité déterminée de tissus.

Le bousage s'opère dans une caisse de 2 à 3 mèt. de profondeur, 1m,50 de large et 4 mèt. de longueur. Près du fond de cette caisse sont établis une suite de rouleaux sur lesquels le calicot passe en serpentant d'abord sur un rouleau, puis sous le suivant, et ainsi de suite, et finit par passer entre deux rouleaux de pression, placés à l'une des extrémités de la cuve, et qui lui communiquent le mouvement.

Le passage des calicots doit être aussi rapide que possible, afin que le mordant non combiné ne puisse couler sur le tissu, ce qui altérerait plus tard la netteté de l'impression et produirait des taches..

Le bain de bouse de vache se compose ordinairement de 30 kilogr. de bouse de vache, et de 1,200 à 1,500 litres d'eau, et peut servir pour le bousage de 20 à 60 pièces d'indiennes. Du reste, cela dépend entièrement de la quantité et de la qualité du mordant. On règle également la température du bain d'après la nature du mordant, ainsi que d'après celle des substances employées pour l'épaissir : ainsi, par exemple, la température du bain peut être portée à celle de l'ébullition.

si l'on a employé de l'amidon ou de la farine, tandis que, si c'est de la gomme, elle ne doit pas dépasser 50 à 60° centigr. Il en est de même du temps que doit durer l'immersion dans le bain. Ainsi, les indiennes fortement mordancées, pour lesquelles on aura employé de l'amidon ou de la farine pour épaissir le mordant, seront repassées deux fois dans le bain de bouse de vache, en ayant soin de leur faire subir deux lavages à l'eau intermédiaires. Les mordants fortement acides sont plus difficiles à traiter que ceux qui le sont peu; on ajoute quelquefois dans ce cas un peu de craie, cependant on se règle en cela entièrement d'après la couleur que l'on doit appliquer ensuite sur le tissu.

Penot a publié à cet égard un excellent mémoire dans le Bulletin de la Société de Mulhouse (octobre 1834), et postérieurement, en mars 1835, M. *Camille Kœchlin* a inséré sur le même sujet, et dans le même Bulletin, une notice très intéressante servant de commentaire au mémoire ci-dessus. Pour pouvoir expliquer l'action de la bouse de vache, *Penot* en a fait une analyse qui lui a donné :

Eau.	69,58
Matières biliaires.	0,74
Matières sucrées.	0,93
Chlorophylle.	0,28
Matière albumineuse.	0,63
Fibres végétales.	26,39
Chlorure de sodium.	0,08
Sulfate de potasse.	0,05
Sulfate de chaux.	0,25
Phosphate de chaux.	0,46
Carbonate de chaux.	0,24
Carbonate de fer.	0,09
Silice.	0,44
Perte.	0,14
	100,00

M. *Kœchlin* attribue l'effet principal de la bouse de vache à la matière albumineuse qu'elle renferme, laquelle forme, avec l'albumine ou l'oxyde de fer, une combinaison insoluble qui se précipite sur les fibres du tissu, ce qui empêche le mordant de s'étendre et d'altérer la netteté de l'impression. En même temps la réaction légèrement alcaline de la bouse de vache neutralise l'acide acétique libre, ce que l'on peut reconnaître à ce que le bain qui a déjà servi prend une réaction légèrement acide. Lorsque cette réaction devient sensible, il faut renouveler entièrement le bain, ou y ajouter un peu de craie pour saturer l'acide qu'il renferme.

On peut remplacer la bouse de vache, dans la fabrication des indiennes, par des phosphates ou des arséniates. *Mercer* et *Blyte*, de Manchester, ont dernièrement trouvé le moyen de fabriquer économiquement, en grand, un sel propre au bousage, qui est composé de phosphates de soude et de chaux. *Kestner*, de Thann, l'a mis en circulation dans le commerce, sous le nom de *sel pour bousage*. Pour s'en servir, on le dissout dans 10 fois son poids d'eau, et on l'agite fortement pour mettre tout le phosphate de chaux en suspension dans le liquide. *Specz*, qui a analysé le sel pour bousage que l'on trouve dans le commerce, l'a trouvé composé de :

Phosphate de soude.	38,64
Phosphate de chaux.	8,00
Sulfate de magnésie.	4,10
Chlorure de sodium.	3,92
Eau.	45,00
Perte.	0,34
	100,00

Et dit qu'on peut le préparer en neutralisant l'acide phosphorique impur (renfermant de la chaux) par la soude du commerce.

BOUSSOLE. Cet instrument se compose essentiellement d'une aiguille aimantée montée sur une chape très mobile, ordinairement en agate, et renfermée dans une boîte en bois ou en cuivre, qui porte à l'intérieur un cercle divisé en cuivre ou en argent. L'emploi de cet instrument est basé sur ce fait : que l'aiguille aimantée prend en chaque lieu une direction constante, quelque position que l'on donne à la boîte de la boussole; cette direction n'est dans la plupart des cas pas exactement celle du nord au sud ; il y a une déviation qu'on appelle *déclinaison*, qui n'est pas la même dans tous les pays, et même qui varie très lentement en chaque lieu. On est en droit de la regarder comme constante, pendant un temps assez long, dans chaque pays; cette direction fixe est ce qu'on appelle l'*axe* ou le *méridien magnétique*. A Paris, la déclinaison est occidentale et se trouve actuellement d'environ 22°.

Les dimensions nécessairement restreintes de la boussole, ne permettent pas de lire les angles avec une approximation qui dépasse 15 minutes, ce qui serait d'ailleurs illusoire à cause de la variation diurne de la déclinaison qui, dans nos contrées, s'élève jusqu'à 15 ou 16 minutes, et empêche de s'en servir dans les opérations très exactes ; mais l'usage en est si simple et si rapide, qu'elle est très fréquemment employée dans les cas où une grande précision n'est pas nécessaire, tels que les levés de cadastre d'une faible étendue, les levés des plans de mines, etc... Pour le levé des plans à la surface, on emploie des boussoles renfermées dans une boîte carrée avec une alidade à pinnules ou une lunette, placée sur le côté; pour le levé des plans de mines, on se sert de boussoles suspendues. La boussole dite *compas de route*, qui sert à diriger les navires sur les mers, est également munie d'un double système de suspension autour de deux axes perpendiculaires entre eux, de manière à demeurer constamment horizontale, quelles que soient les agitations du vaisseau. (V. *Complément*).

BOUTONS (MANUFACTURE DE) (*angl.* button manufacture, *all.* knopf fabrication). Pour la fabrication des boutons, on se sert de matières très différentes, telles que la corne, les os, le bois, etc., qui restent nues ou qui doivent être recouvertes de soie ou d'autres étoffes. La plus grande partie des boutons se font en métal, et sont souvent dorés ou argentés, rarement étamés.

Les boutons, qui doivent être recouverts de soie ou de toute autre étoffe, se font ordinairement en os ou en bois, et à l'aide d'un tour qui les découpe, et perce les trous qui permettent le passage du fil qui sert à les attacher au vêtement.

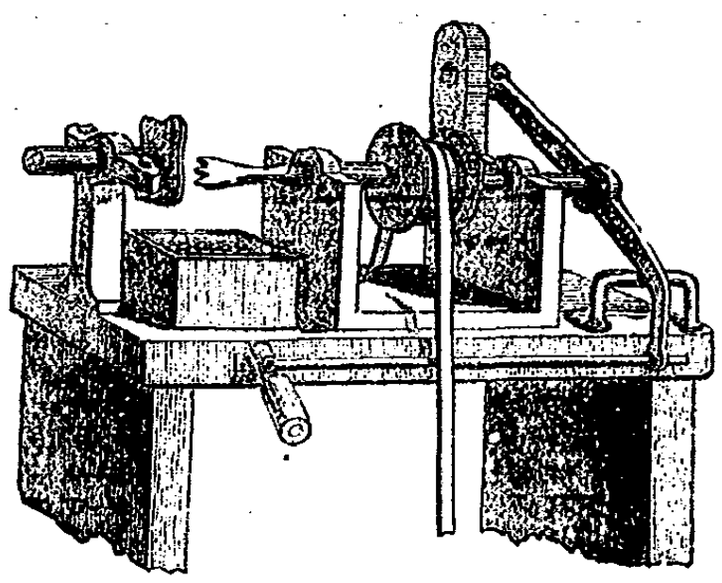
Après avoir découpé en petites planchettes, d'épaisseur convenable, à l'aide d'une scie à main, les bois les plus durs que l'on emploie pour cette fabrication, on les porte sur le tour qui les découpe et les perce. On distingue deux fabrications, suivant que le bouton doit porter deux ou quatre trous. Décrivons les deux outils qui servent dans les deux cas :

Bouton à un seul trou. L'arbre D (fig. 277) porte à l'une de ses extrémités une mèche de vilebrequin *b*, tandis que l'autre va se réunir à un levier *fe*. Le point d'appui du levier est en *e*, et l'extrémité *f* porte une tige garnie d'une poignée *g*, au moyen de laquelle on peut imprimer au levier, et par suite à l'arbre, un mouvement d'arrière en avant, et *vice versâ*. Une poulie C, sur laquelle glisse une courroie, reçoit le mouvement d'une roue de rémouleur, et le communique à l'arbre D.

La roue étant mise en mouvement, l'ouvrier applique une des rondelles de bois sur la planche *d*; puis, saisissant la poignée *g*, il lui imprime un mouvement en avant, et rapproche en conséquence la mèche *b* de la lame dans laquelle doivent être taillés les boutons. La pointe centrale de la mèche, la plus longue des trois, fait une ouverture de part en part, tandis que les deux autres creusent un cercle qui n'inté-

BOUTONS.

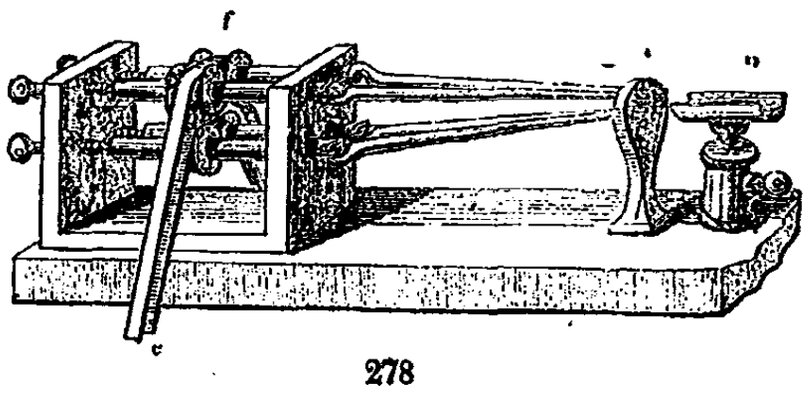
resse que la moitié de l'épaisseur de la plaque; les parties intermédiaires, tranchantes, polissent la surface du bouton. L'on soumet immédiatement la partie voisine du morceau de bois à la même opération, et l'on continue jusqu'à ce que toute sa surface soit couverte. On présente alors l'autre côté à l'action de la



277.

mèche : la pointe du milieu est placée dans les trous déjà pratiqués, et les deux pointes latérales, en creusant une seconde circonférence, séparent complétement le bouton qui tombe dans la boîte F, au moyen du mouvement de *va-et-vient* que le levier *ef* permet de donner à l'arbre du tour.

Boutons à plusieurs trous. Les trous, au nombre de quatre ordinairement, sont percés au moyen d'un *tour*, dont la fig. 278 représente la partie supérieure.



278

aaaa sont quatre arbres porteurs de poulies, sur lesquelles passent les courroies *ef* qui les font mouvoir au moyen d'une roue de rémouleur.

L'une des extrémités de ces arbres porte un crochet qui s'unit, d'une manière mobile, à une tige *b*, soutenue à l'autre extrémité par un chevalet de cuivre A. Les quatre tiges *bbbb* traversent les ouvertures pratiquées au chevalet, et viennent présenter, de l'autre côté, leur extrémité libre, terminée en *vrille* ou *foret*.

Quand il s'agit de percer un bouton, on le place dans la coulisse B, puis on l'approche des vrilles, qu'on met en mouvement au moyen de la roue; en changeant le chevalet A, on obtient des trous plus ou moins rapprochés.

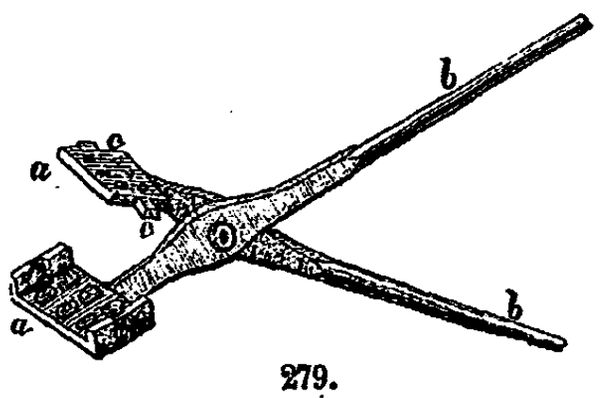
Les boutons qui doivent être recouverts de drap de soie, ou de toute autre étoffe, sont généralement appelés *moules de bouton*. Faits en bois, ou avec des rebuts d'os et de corne, ils ne sont percés que d'un seul trou à leur centre. La machine dont nous allons donner la description en rend la fabrication tellement simple et rapide, qu'un enfant de dix ans peut en faire de vingt à vingt-cinq à la minute.

Boutons en corne. La corne après avoir été ramollie dans l'eau bouillante est coupée en rondelles ou tranches d'une épaisseur égale à celle que doit avoir le bouton; ces tranches sont ensuite découpées en petits carrés qui, par la section de leurs angles, se transforment en octogones d'une grandeur convenable; ces opérations préliminaires terminées, on soumet les pièces octogonales à la pression, dans un moule représenté fig. 279. *aa* sont les deux mors d'une pince; ils ont la forme de plaques carrées, offrant chacun six, huit ou dix coins d'acier qui portent l'empreinte du bouton qu'on veut frapper; quand la pince est fermée, ces coins correspondent d'autant plus exactement, que les deux tenons *cc*, entrant dans des mortaises pratiquées à la seconde plaque, empêchent toute déviation.

Un double manche *bb* sert à saisir l'instrument et à le transporter.

Les fragments octogones dont nous avons parlé plus haut, ayant été ramollis dans une étuve chauffée à une température de 100° et au-dessus, sont placés sur chacun des coins, la pince est alors fermée et soumise à une forte pression dans une presse à vis.

Quelques minutes suffisent pour que ces morceaux de corne prennent l'empreinte voulue; on en fait alors sauter les angles à l'aide de forts ciseaux, puis on les arrondit et on les polit avec la lime; ces boutons ont ordinairement une de leurs faces concave.



279.

Boutons métalliques. En général les boutons métalliques, au moins les plus usités, se font en étain ou avec un mélange d'étain et de laiton. On coule les boutons d'étain dans des moules en fer ou en laiton, unis ou gravés, suivant la nature des boutons que l'on veut obtenir. On coule quelquefois en même temps l'anneau ou la queue du bouton; le plus souvent on le forme avec un fil de laiton étamé recourbé sur lui-même et introduit dans le moule; de manière à ce qu'il se trouve pris dans le métal fondu. Les boutons formés d'un mélange d'étain et de laiton, auquel on ajoute quelquefois une faible proportion de zinc, afin de rendre le métal plus fusible et d'obtenir un moulage plus parfait, se coulent ordinairement dans des moules en sable. Pour préparer ces moules, on se sert d'un modèle formé d'une grande quantité (4 à 12 douzaines) de modèles de boutons isolés placés sur le même plan, aussi rapprochés que possible les uns des autres et réunis par de petites tiges destinées à former les jets de coulée; on imprime le modèle en sable entre deux châssis; on enlève ensuite avec précaution le châssis qui a reçu l'empreinte du dessous des boutons; on enfonce dans chaque empreinte, et à une profondeur égale à la saillie qu'on veut leur donner, les anneaux en fil de laiton; on retire le modèle, on assemble les deux châssis et on coule le métal. Après la fonte, on sépare les boutons les uns des autres, et on enlève, à l'aide d'une brosse, le sable qui adhère à leur surface; on fixe ensuite chacun de ces boutons sur le tour en les saisissant par l'anneau au moyen d'un mandrin à ressort, et on en dresse les bords à la lime, on place ensuite le bouton dans un autre mandrin, sur un autre tour, l'anneau en dehors, et l'on en dresse le dessous; enfin on le place sur un troisième tour, où on taille et on polit la partie supérieure avec un burin d'acier bien affilé.

Les boutons en laiton et en cuivre doré se fabriquent comme il suit : on réduit d'abord le cuivre, le laiton ou le tombac, au laminoir, en feuilles d'une épaisseur convenable. On découpe dans ces feuilles à l'emporte-pièce des rondelles de la grosseur des boutons que l'on veut fabriquer, on recuit ces rondelles pour les adoucir, et, au sortir du four, on les frappe à l'aide de coins, qui impriment sur leur pourtour le nom du fabricant et qui leur donne une forme un peu convexe, afin qu'ils ne s'attachent pas les uns aux autres lors de la dorure. On soude ensuite les anneaux, on polit les boutons sur le tour avec un brunissoir d'hématite, et on les décape.

Il ne reste plus qu'à appliquer la dorure : à cet effet on place dans un vase en terre la quantité d'amalgame d'or nécessaire pour les dorer, et une petite quantité d'acide nitrique étendu ; puis on agite les boutons, à l'aide d'un pinceau rude, jusqu'à ce qu'ils soient uniformément recouverts d'une couche d'amalgame. Pour préparer cet amalgame, on place l'or laminé en feuilles aussi minces que possible dans un creuset de Hesse, et on le porte au rouge ; on y ajoute alors huit fois son poids de mercure, on laisse encore quelques moments sur le feu jusqu'à ce que tout l'or soit dissous, puis on le refroidit brusquement, en le coulant dans l'eau, afin de prévenir la tendance qu'il a à se grumeler lorsqu'on le laisse refroidir lentement. La dorure est naturellement d'autant plus forte que l'on a employé un amalgame plus riche et en plus grande quantité. On chasse ensuite le mercure des boutons recouverts d'amalgame, en les chauffant dans une chaudière en fer, travail très dangereux pour les ouvriers qui l'exécutent, lorsqu'on ne prend pas de grandes précautions pour les soustraire à l'action des vapeurs mercurielles. Dans la plupart des fabriques de boutons dorés, ces vapeurs passent immédiatement au sortir de la chaudière dans un large canal horizontal en tôle de fer, qui les conduit dans une haute cheminée d'appel; disposition qui, en produisant un tirage très vif, protége très efficacement l'ouvrier, tout en permettant de recueillir la plus grande partie du mercure qui se condense dans le canal en tôle. Au sortir de la chaudière, on lave les boutons à l'eau, on les sèche et on termine en les polissant sur le tour avec un brunissoir d'hématite rouge.

Les boutons plaqués sont découpés à l'emporte-pièce dans des feuilles de cuivre plaqué, en ayant soin de placer le côté de l'argent en dessous. Les bords du coin inférieur sont relevés de telle sorte que, dans le découpage des boutons, les bords se recouvrent d'une légère pellicule d'argent. On soude après les anneaux avec de la soudure d'argent, au moyen du chalumeau. On tourne ensuite les boutons sur les bords en ayant soin de ne pas enlever d'argent; puis on les décape sur le revers, et on les y argente légèrement en les faisant bouillir avec une dissolution de crème de tartre et de chlorure d'argent. Enfin on les termine sur le tour au brunissoir.

La confection des anneaux forme une partie importante de la fabrication des boutons, et s'exécute ordinairement comme il suit : on enroule en spirale serrée, sur le tour autour d'une tige de fer ronde, le fil métallique qui doit les former.

La spirale obtenue (fig. 280) ayant reçu un double

280.

mandrin C, est mise sur l'enclume, puis est frappée avec une sorte d'emporte-pièce, de manière à se mouler sur le mandrin et à prendre la forme D. L'emporte-pièce porte un tranchant qui marque le milieu *d*; il est alors facile, au moyen de forts ciseaux, de couper chaque tour de spirale, qui est ainsi converti en deux anneaux parfaits de bouton.

Chaque anneau est soudé séparément au bouton, au moyen de la lampe et du chalumeau ; on emploie d'habitude la soudure d'argent.

Il nous reste à dire un mot des boutons portant des reliefs, tels que ceux pour livrées, lorsqu'on ne les fabrique par moulage et qu'ils doivent avoir un certain volume.

Pour garnir en cuivre doré ou argenté le devant du bouton déjà formé d'une plaque de métal à laquelle on a soudé un anneau, on prend une plaque mince dorée ou argentée, on en enlève au découpoir des cercles de deux ou trois millimètres plus grands que le moule; on met celui-ci sur le tour en l'air, en l'y fixant par l'anneau qu'il porte; et alors, avec un brunissoir que l'on pousse contre la partie du cercle mince qui excède le moule, on sertit la plaque sur ce dernier, et le bouton est fini.

Les boutons militaires et ceux pour livrée, qui doivent porter des légendes, des chiffres ou des armoiries en relief, présentent quelques différences dans leur confection. Avant d'appliquer ou de sertir sur le moule les petits cercles qui doivent les recouvrir, on les grave avec un balancier analogue à ceux qu'on emploie pour frapper la monnaie. On a deux coins qui se correspondent; l'intérieur est gravé en creux, le supérieur est gravé en relief. La plaque ronde entre juste dans un creux circulaire, et en même temps que le balancier y imprime la gravure, il relève à angles droits le bord de la plaque, en forme de petite écuelle, dans laquelle il ne reste plus qu'à sertir le moule comme ci-dessus.

Boutons à vis. Nous ne parlerons que pour mémoire d'un genre de boutons qui a été tenté il y a quelques années, et qui consistait dans une espèce de double rondelle, dont l'une formait écrou sur la tige soudée à l'autre rondelle, tige filetée en vis. Ces boutons avaient l'avantage de s'adapter à l'étoffe sans couture ; il suffisait de percer un trou dans l'étoffe pour passer la tige et visser l'écrou. C'était à peu près le seul avantage qu'ils pussent offrir, aussi ne les rencontre-t-on plus nulle part aujourd'hui.

Boutons semi-métalliques. Une nouvelle fabrication de boutons, que nous appellerons semi-métalliques, est celle qui consiste à serrer fortement une rondelle de forte toile entre deux rondelles métalliques. La rondelle supérieure, d'un diamètre un peu plus grand que la rondelle inférieure, est sertie sur celle-ci, de telle sorte que la toile reste fortement pressée.

Les deux rondelles métalliques sont percées à leur centre, de telle sorte que le tailleur traverse avec son aiguille, coud la toile, et par suite attache le bouton à l'étoffe avec la plus grande facilité.

Boutons en pâte céramique. Une curieuse industrie est née dans ces dernières années, nous voulons parler des boutons fabriqués en matières analogues à la pâte de porcelaine. Cette invention est très heureuse, car les petits boutons surtout ont une résistance au moins égale à celle des boutons en os et peuvent être obtenus à des prix bien inférieurs. C'est vers 1840 que M. Prosser, le premier inventeur, en dota l'Angleterre.

Dans le procédé *Prosser*, la pâte, formée généralement d'éléments fusibles, tels que le feldspath et le phosphate de chaux, afin de donner au bouton cuit une translucidité suffisante, était moulée tout à fait sèche. On lui donnait le liant indispensable pour le moulage et le maniement des boutons moulés, à l'aide d'un corps gras chauffé à une douce chaleur avec la pâte. La poudre préparée était moulée à l'aide de petites machines à balancier qui frappaient les boutons un à un. Après le moulage, ils étaient placés à la main sur des rondeaux en terre cuite, et encastés dans

des manchons que l'on superposait dans les fours où l'on cuit la porcelaine tendre à la manière anglaise. La cuisson s'opérait, dans ces fours, à feu intermittent, de la même manière que celle des porcelaines, qu'on y plaçait en même temps.

Ces procédés ont été améliorés, et la production amenée à un degré fabuleux de bon marché par un fabricant français, M. Bapterosse. Le point de départ de ses procédés consiste en une presse pouvant monter 500 boutons à la fois.

Donnons quelques détails sur ses procédés, détails que nous empruntons au rapport fait par M. Ebelmen à la Société d'encouragement.

M. Bapterosse fabrique deux qualités de boutons : les boutons dits *agate* et les boutons *strass*.

La pâte à boutons agate est composée de feldspath lavé aux acides pour le débarrasser de l'oxyde de fer, et d'une petite proportion de phosphate de chaux. La pâte des boutons *strass* est composée de feldspath pur; une petite quantité de lait mélangée à la pâte lui donne le liant nécessaire pour qu'elle puisse se mouler après une dessiccation convenable.

Une seule presse peut, comme nous l'avons dit, mouler jusqu'à 500 boutons à la fois, et l'ouvrier qui la dirige peut frapper, en moyenne, deux ou trois coups par minute. En tombant de la presse, les boutons viennent se ranger sur une feuille de papier maintenue par un cadre rectangulaire en fer.

Les fours qui servent à la cuisson des boutons sont ronds ou rectangulaires; mais le principe de leur construction est le même. Le foyer est central, comme dans les fours à cristal. Un certain nombre d'arches se partagent l'espace à l'entour du foyer, et chacune d'elles reçoit six ou sept mouffles superposées. La flamme s'élève du foyer jusqu'à la voûte du four, pour redescendre dans chacune des arches, et en circulant tout à l'entour des mouffles jusqu'à des carneaux placés à la partie inférieure, et qui vont se réunir dans une cheminée centrale. Les fours ronds ont jusqu'à soixante mouffles.

Chacune des mouffles peut recevoir une plaque en terre réfractaire de la même dimension que la feuille de papier sur laquelle se sont rangés les boutons au sortir de la presse. Quand la plaque est rouge, l'ouvrier vient poser dessus la feuille de papier recouverte de boutons. Le papier brûle et les boutons se trouvent rangés sur la plaque de terre rouge dans la disposition symétrique qu'ils avaient au moment du moulage. Les plaques sont remises au four; elles y restent pendant dix minutes environ, temps suffisant pour la cuisson. On retire la plaque, on enlève avec un râble les boutons qui la recouvrent, et comme elle a conservé presque toute sa chaleur, elle peut servir immédiatement à une nouvelle opération.

Un four de soixante mouffles, qui peut cuire, en vingt-quatre heures, 500 masses de boutons, brûle dans le même temps environ 6,000 kilogr. de houille.

En introduisant dans la pâte des boutons différents oxydes métalliques, M. Bapterosse obtient des boutons de couleur teints dans la masse. Enfin, par impression, il obtient des boutons portant tous les dessins demandés par la consommation.

Par ces procédés perfectionnés, et malgré les déchets inévitables en opérant sur un si grand nombre de pièces à la fois, l'inventeur a pu abaisser le prix des boutons blancs de 8 fr. la masse encartée (prix de 1845) à 1 fr. 75 cent. (Voyez POTERIE, *Complément*.)

M. Salvetat a complété cette description à l'article POTERIE (*Complément*) et à l'article DÉCORATION CÉRAMIQUE, en décrivant le lustre de bismuth nacré de M. Brianchon, qui, appliqué aux boutons, a donné un nouvel essor à cette industrie en conduisant à des effets vraiment merveilleux.

Les boutons bombés, munis d'une queue en anneau

constituent une autre et très-importante fabrication, organisée par M. Bapterosse avec le même succès que celle des boutons à trous, et toujours en trouvant le moyen d'agir sur grand nombre à la fois; problème économique de la fabrication de ces petits objets, dont la solution a fait la base d'une puissante industrie, et de la fabrique de Briare, presque celle du monde entier. Nous décrirons ces procédés d'après M. Turgan (*Grandes usines de France*).

Leur fabrication diffère dès la presse : au lieu des tiges qui percent des trous de part en part dans la pâte, des vrilles y creusent seulement un pas de vis qui s'arrête au milieu de l'épaisseur : voilà quant à l'émail. Un bouton à queue se compose de quatre parties : d'abord l'émail, puis une petite boule de métal fusible, un petit plastron en laiton percé de deux trous dans lesquels passent les deux branches de l'anneau ouvert également en laiton. Ce plastron est découpé par une petite machine à emporte-pièce qui, du même coup enlève le petit disque et perce les trous du suivant. Les queues se fabriquent deux à deux, en enroulant un fil métallique autour de deux tiges mobiles de fil de laiton séparées par une lame de cuivre, de manière à en faire une sorte de barrette plate; on passe ensuite cette barrette entre les cannelures de deux cylindres qui forment de chaque côté une dépression. Quand deux passages ont suffisamment accusé l'étranglement, on retire la règle plate qui est au milieu, et un troisième cylindre coupe sur toute la longueur les fils enroulés; chacune des deux tringles latérales se trouve avoir autour d'elle un chapelet de quatre à six cents queues de boutons. Comme chaque tringle est surmontée par un petit renflement, en désembrochant toutes les petites sections de fil de laiton, le passage de la boule force la branche à s'écarter.

D'autres procédés peuvent également former des queues de boutons, mais celui-ci est le plus expéditif et le moins compliqué. Il s'agit maintenant d'engager dans les deux trous du plastron les deux branches écartées de l'anneau.

On n'est pas encore arrivé à effectuer mécaniquement cette introduction : elle se fait à la main, en enfonçant une à une, au moyen de petites pinces, les branches de chaque queue dans les trous du plastron et en resserrant ensuite, de manière à arrêter ce dernier dans l'étranglement qui précède l'anneau. Cette opération ne se fait pas dans les ateliers de l'usine, il faudrait trop d'ouvriers consentant à gagner trop peu pour que cela pût se faire économiquement, tandis que les bergères en gardant leurs troupeaux, les enfants inoccupés, des ménagères en veillant sur les plus petits, et même les pères de famille pendant les jours de chômage, peuvent utiliser ainsi un temps qu'ils perdaient, et, par ce travail supplémentaire, accroître leur bien-être. C'est donc dans les campagnes environnantes que se fait cette union de la queue et du plastron. Pour la plupart des boutons, ces deux pièces sont argentées dans l'usine même.

Nous avons vu comment se faisaient le bouton céramique, la queue et le plastron; il nous reste à voir comment, au moyen d'une petite boule en métal fusible, placée dans la cavité ménagée dans la boule d'émail par la vrille, on peut, en y scellant les branches de la queue, terminer le bouton. La manœuvre est basée sur la division du travail, et se fait sur de longues tables s'étendant sur l'un des côtés d'un atelier de 100 mètres de long sur 10 de large au plus; plus de cent femmes ou petites filles sont assises de chaque côté de la table sur laquelle sont placés, dans des cases, des boutons à garnir, les petites boules de métal, et enfin les queues emmanchées dans leurs plastrons. Une ouvrière, tenant en main une plaque

de cuivre bronzée et percée, suivant la grandeur du bouton, de cent à trois cents trous correspondant exactement au dos du bouton, enfonce cette plaque dans le tas, puis, par un mouvement de va-et-vient, sorte de sassage, elle fait tomber un bouton dans chaque trou, et rejette les autres en inclinant sa plaque (sa main, organe analogue, qui se retrouve dans la fabrication des aiguilles, capsules, etc.); puis, la posant sur deux supports, elle passe légèrement ses doigts sur la plaque et retourne tous les boutons qui ne présentent point en l'air leur face trouée. Quand tous les boutons sont placés de la bonne manière, ce qui est fait presque instantanement, elle passe sa plaque garnie à une autre ouvrière placée à côté d'elle, qui, au moyen d'un distributeur, met un grain de métal dans chaque trou.

Pendant ce temps, une autre ouvrière a serré dans une pince en laiton, par une disposition analogue à celle d'un composteur à timbrer, les queues correspondantes au bouton, rangées à l'avance sur une autre plaque trouée suivant la division voulue; on place alors le plateau garni de boutons sur un autre également en cuivre bronzé, muni de montants dans les rainures desquels on introduit le petit appareil qui porte les queues, les tiges en l'air, et l'on donne le tout à un ouvrier assis à l'extrémité d'une table en fonte étroite et longue sous laquelle s'ouvre une série de petits becs de gaz allumés; l'aide de cet ouvrier place au bout de la table, le petit wagonnet de cuivre chargé des pièces à réunir, et qui prend son rang à la suite de ceux qui l'ont précédé. Pendant que les petits wagonnets se rapprochent peu à peu de l'ouvrier qui doit accomplir l'opération dernière, la table doucement échauffée par la combustion du gaz, communique sa chaleur au plateau, qui la transmet aux boutons dans lesquels la petite boule métallique entre en fusion.

Quand l'appareil arrive devant l'ouvrier assis au bout de la table, il n'a plus qu'à retourner et abaisser chaque composteur; les branches de la queue entrent dans le métal, et le petit plastron vient oblitérer entièrement le trou en le comprimant; tout est si bien combiné qu'aucune bavure ne déborde à l'extérieur. L'appareil est ensuite enlevé tout entier, porté sur une table et mis en presse au moyen de larges ressorts d'acier qui pressent sur les composteurs. Quand on juge le refroidissement suffisant, on lâche les ressorts et on retire du petit wagonnet le plateau rempli de ses boutons désormais achevés.

Pour vérifier les boutons, M. Bapterosse a inventé la singulière machine suivante : Un levier à genouillère, dans le genre de ceux des aiguilleurs de chemin de fer, exerce sur une tige un effort que l'on peut varier à volonté. Cette tige abaisse un plateau sur lequel sont disposés autant de crochets qu'il y a de boutons; ces derniers, restés sur leur plateau, la queue en l'air, et recouverts d'une plaque qui ne laisse passer que les queues; on retourne le tout et on l'apporte sur le plateau garni de crochets; un petit mouvement latéral enfile tous les crochets dans tous les anneaux; l'ouvrier fait alors basculer le levier. La traction, calculée pour produire environ le poids de 13 kilogrammes sur chaque bouton, fait éclater les pièces défectueuses et arrache les queues mal soudées.

Cet habile fabricant fait aujourd'hui environ 800,000 boutons de ce genre par jour de travail, émaillés, peints, beaucoup portant des cercles, brillantés, etc., par un passage supplémentaire dans les mouffles.

BOYAUDERIE. Nous ne pouvons mieux faire pour donner la description de cette industrie que d'emprunter celle qu'a donnée M. Labarraque dans le mémoire qui lui a valu le prix de la société d'encouragement et qui l'a amené à l'admirable résultat de montrer qu'on pouvait, par l'emploi du chlorure de soude, effectuer tout le travail du boyaudier en évitant la putréfaction et par suite l'épouvantable infection qui en résulte.

I. — DES BOYAUX INSUFFLÉS. L'art du boyaudier consiste à débarrasser la membrane ou tunique musculeuse des autres membranes qui constituent l'intestin. Pour y parvenir, on emploie successivement, dans la préparation des boyaux soufflés, les opérations suivantes: 1° le *dégraissage*, 2° le *retournage*, 3° la *fermentation putride*, 4° le *ratissage*, 5° le *lavage*, 6° l'*insufflation*, 7° la *dessiccation*, 8° la *désinsufflation*, 9° l'*aunage*, 10° le *soufrage*, 11° le *ployage*. Nous allons exposer dans des paragraphes séparés chaque opération, après avoir fait connaître l'atelier où se fait le premier travail.

De l'atelier. On ne peut dépeindre le sentiment pénible et le dégoût qu'on éprouve lorsqu'on entre pour la première fois dans une fabrique de boyaux insufflés. Qu'on se représente un local de 4 à 6 mètres de long, sur 4 à 5 de large et de 3 à 4 de haut, clos dans l'hiver, et les croisées ouvertes en été, entouré de vieilles futailles de la capacité de 250 litres; dans le milieu de cette enceinte, des bouts de bois descendant suffisamment pour attacher des agrafes, et quelquefois scellés au sol; à côté, des baquets plus ou moins grands, et tous ces vases, ou la plupart, contenant des intestins en pleine putréfaction; les vases incrustés, pour ainsi dire, de matières à moitié corrompues; le sol, s'il est pavé, toujours plus qu'humide par les matières fécales et le déchet des boyaux dont il est parsemé; s'il n'est point pavé, présentant plusieurs mares où de l'eau fétide séjourne, comme pour augmenter encore les causes de l'horrible puanteur qui vous environne en se répandant au loin.

Près de l'atelier, ordinairement dans le jardin, se trouve un trou de 3 mètres carrés environ, dans lequel on jette les excréments et les morceaux de boyaux rebutés. C'est surtout quand on vide ce foyer d'infection que l'odeur se développe avec violence.

Toutefois, il est nécessaire de le relater pour prouver l'influence de l'habitude sur l'homme; les ouvriers, assez nombreux, qui se livrent à ce travail ne sont pas plus souvent malades que s'ils s'occupaient de tout autre métier : ils sont imprégnés d'une odeur fade et nauséabonde, qui ne les quitte pas, même après leur toilette du dimanche, et qu'on reconnaît facilement pour peu qu'on ait fréquenté leur atelier.

1° *Dégraissage.* Après s'être procuré les boyaux grêles de bœufs et de vaches, que le boyaudier va chercher aux abattoirs deux fois par semaine, soit dans des hottes, soit dans des voitures, selon sa plus ou moins grande exploitation, il les dépose dans des tonneaux défoncés, pour les dégraisser le plus tôt possible; car l'ouvrier a observé que plus il tarde, plus le dégraissage devient difficile.

Quand il veut opérer, il met une quantité donnée de boyaux dans un baquet avec un seau d'eau; il prend un des bouts, qu'il passe sur une agrafe placée sur un morceau de bois et à 2 mètres environ de haut; il tire environ trois pieds de long du boyau avec la main droite, et de la main gauche il passe une portion d'intestin sur l'agrafe, de manière à former une sorte de nœud; cela fait, il prend la portion d'intestin qui pend, la faisant passer entre le pouce et l'index de la main gauche. De la main droite, il tient un couteau semblable à ceux dont se servent les charcutiers, et avec adresse le fait glisser sur l'intestin jusqu'auprès des doigts de la main gauche, de manière à enlever le tissu graisseux, et portion de la membrane péritonéale; ensuite la main gauche baisse en tenant toujours de la même manière l'intestin; le couteau agit comme on l'a déjà indiqué, jusqu'à ce que la portion pendante soit dégraissée. Cela opéré, de la main gauche l'ouvrier défait le nœud, tire de la main droite une seconde portion d'intestin égale à la première, et successivement arrive au dégraissage complet du boyau.

Chaque fois que l'ouvrier trouve une déchirure, ce qui arrive souvent, les bouchers agissant avec peu de précaution pour enlever le suif qui adhère à l'intestin, il coupe cette partie, qu'il jette dans le baquet des boyaux déjà dégraissés.

L'eau que l'on jette sur les boyaux est nécessaire, seulement pour les humecter, afin que le couteau glisse sur la membrane musculeuse sans l'entamer; s'il l'entame, le boyau est coupé en entier et forme un morceau.

La graisse tombe par terre avec partie des matières fécales; cette graisse est ensuite lavée dans des baquets, et étendue sur des claies pour la faire sécher. Fondue, elle produit des suifs communs : les boyaudiers font rarement cette dernière opération.

2° *Retournage ou invagination.* Après le dégraissage, les boyaux de bœufs sont jetés dans un cuvier à moitié plein d'eau; un des bouts est pris par la main droite de l'ouvrier; il y introduit son pouce à une profondeur d'environ 5 centimètres, et presse ledit pouce entre l'index et le médius; avec la main opposée, il fait recouvrir ces deux doigts par le boyau qu'il retourne, les plonge dans l'eau; tandis que de l'autre main il tient le boyau perpendiculaire. L'eau qui est entrée dans l'intestin au moyen de l'écartement des doigts, fait, par son poids, glisser la partie supérieure, et par un léger mouvement de la main, ainsi que par de nouvelle eau qu'on introduit de temps en temps de la manière déjà indiquée, il se trouve très promptement retourné. Alors un des bouts est jeté sur le bord de la cuve, et quand il y en a une assez grande quantité, on en forme un paquet au moyen d'une ficelle de moyenne grosseur, ayant un nœud coulant. On continue le retournage en formant de la même manière des paquets, dont chacun contient le plus ordinairement le produit de deux ventres de bœufs.

3° *Fermentation putride.* Souvent avant le retournage, faute de temps ou par négligence, les paquets de boyaux sont jetés dans des tonneaux défoncés et posés debout avec l'humidité assez abondante qu'ils retiennent, mais sans autre addition d'eau. La corde de chaque paquet pose sur le rebord supérieur du vase, dans lequel on en entasse environ les trois quarts de sa contenance; et ces paquets déjà fétides sont abandonnés pendant plus ou moins longtemps, selon la température de l'air.

En hiver, ordinairement, il faut de cinq à huit jours; en été, deux ou trois jours suffisent.

Lorsque la fermentation est assez avancée, ce que les ouvriers reconnaissent aux bulles d'air qui viennent crever à la surface, ils passent à l'opération suivante. Il arrive surtout en été que la putréfaction marche trop rapidement, et qu'ils craignent la perte de leur marchandise : alors ils jettent dans le tonneau un verre de vinaigre, qui arrête la fermentation et leur laisse le temps suffisant pour travailler les boyaux.

Avant et pendant cette fermentation, les boyaux exhalent une odeur des plus infectes.

4° *Ratissage.* Après la putréfaction vient le ratissage, qui était impossible auparavant. Pour cela, les paquets de boyaux sont jetés dans une cuve contenant les deux tiers d'eau; la ficelle qui les tient est enlevée, l'ouvrière en prend un bout de la main droite, le met dans la main gauche, l'ongle du pouce de celle-ci appuie sur l'intestin, qui est pressé sur l'index, tandis qu'elle tire de la main droite. Après en avoir tiré environ une demi-brassée, l'autre face de l'intestin est reprise pour subir la même opération; ensuite on le trempe dans l'eau; celle-ci enlève la membrane muqueuse ratissée qui reste encore à la surface, et lubrifie encore l'intestin, qui glisse d'autant mieux sous l'ongle.

Le boyau contient encore une partie de la membrane péritonéale, le couteau dans le dégraissage n'en ayant enlevé que le tiers environ.

5° *Lavage.* Quand les boyaux sont ratissés, on les jette dans des cuves pleines d'eau, qu'on change une ou deux fois par jour, en les remuant chaque fois pour les faire dégorger. On les laisse ainsi pendant deux ou trois jours, ayant soin de renouveler l'eau. Celle-ci sort, les premières fois, trouble et fétide. Les dernières eaux sont plus claires, quoique un peu colorées et toujours fétides. Ce liquide offre à sa surface une pellicule irisée avec quelques bulles, surtout les premières fois.

6° *Insufflation.* Les lavages terminés, l'ouvrier, qui a fait la première opération, c'est-à-dire le dégraissage, met sur sa poitrine une espèce de bavette en cuir, nommée *bouclier*; il implante son couteau sur le rebord du large baquet qui contient les boyaux, de manière que le tranchant de la lame se trouve en face de lui; un peloton de gros fil est placé à côté, et le bout trempe dans le baquet. Il met à sa bouche un cylindre creux de roseau ou autre de 15 à 16 centim. de long; il introduit le bout de ce cylindre à l'orifice de l'intestin, qu'il serre avec sa main gauche; il souffle en étendant le boyau avec la main droite; si le boyau n'est pas crevé dans toute sa longueur, il est adapté au bout avec une autre longueur de boyau, et l'ouvrier fait la ligature des deux bouts; il souffle la première portion, la main gauche presse près du tube, et de la main droite il entoure le boyau avec un fil, le noue, et présente au couteau le fil ainsi que le bout de boyau noué et non soufflé, il l'enlève en en laissant environ un demi-pouce de long, pour que le nœud ne glisse point; il reprend l'autre bout, le souffle à son tour, et lorsque cela est fait, l'attache avec un autre bout de boyau, qui est ensuite soufflé. Si le boyau offre un trou peu considérable, après avoir soufflé, l'ouvrier le découvre en faisant passer successivement toutes les parties du boyau déjà soufflé dans l'eau, et en les pressant un peu, le bruit que fait l'air en venant crever à la surface de ce liquide le lui fait apercevoir : alors il pince cette partie d'intestin, la double et l'entoure d'un fil, qu'il noue d'une seule main; le *bouclier*, appuyant contre le baquet, presse le fil qui fait résistance, et de cette manière on peut facilement faire le nœud; le fil est coupé en présentant le bout au couteau, et le morceau de boyau en même temps, s'il est trop long. Ensuite une ouvrière attache les bouts de fil de telle manière, que le canal intestinal est comme étranglé par plusieurs ligatures, dans sa longueur.

A mesure que les boyaux sont soufflés, et quand la surface du grand baquet est remplie, on les met dans un très grand panier d'osier pour les porter au séchoir.

Pendant cette opération, les boyaux répandent une odeur des plus infectes, qui se fait sentir au loin (le séchoir étant en plein air), et l'air qui s'échappe souvent des boyaux qu'on souffle en étant imprégné. Le même ouvrier ne peut pas souffler plus de trois jours de suite; ses mains seraient pour ainsi dire dépouillées, et sa poitrine fatiguée. Malgré l'habitude, il sent alors l'odeur qui lui prend à la gorge, cet organe recevant presque chaque fois qu'il respire le refoulement de l'air qu'il a fait entrer avec force dans le boyau, et qui en sort infect.

7° *Dessiccation.* Le panier est porté près du séchoir, qui est formé de longues perches en bois, clouées horizontalement sur des piquets en bois, de 2 mètres de haut, et scellés de loin en loin dans la terre. Les boyaux sont étendus de manière qu'ils ne se touchent point. On les laisse à l'air jusqu'à leur parfaite dessiccation, ce qui demande plus ou moins de temps, selon la saison et le nombre de ligatures, celles-ci étant plus longues à sécher, et aussi selon qu'ils sont plus ou moins bien dépouillés de la membrane muqueuse et de la graisse; en général il faut de deux à cinq jours.

Si le temps est pluvieux, on est obligé de les porter sous des hangars ou au grenier, pour éviter qu'ils ne pourrissent.

Si le soleil est trop ardent, on a à craindre que la dilatation de l'air qu'ils contiennent ne les fasse déchirer, alors on les met sous un hangar. Le vent peut, en les froissant les uns contre les autres, les faire trouer, et on les en garantit le mieux possible. On évite aussi la gelée avec le plus grand soin, ce dernier état de la température leur étant également nuisible.

8° *Désinsufflation*. Une fois la dessiccation opérée, les boyaux sont portés dans une pièce humide, espèce de cellier : là des ouvrières tenant dans la main droite une paire de ciseaux prennent les intestins, les percent avec la pointe de cet instrument pour chasser l'air, et coupent avec les ciseaux, le plus près possible de la ligature, la portion de boyau qui n'a pas été soufflée, et ainsi de suite à chaque point d'attache, en pressant successivement dans toute la longueur pour chasser l'air.

9° *Aunage*. Lorsqu'on a une certaine quantité de boyaux de *dessoufflés*, l'ouvrière les mesure par paquets de 15 à 20^{m}, dont elle fait une espèce d'écheveau très large, qu'elle attache avec le bout du boyau, de manière qu'à l'endroit de la ligature celle-ci offre une sorte d'anse destinée à les enfiler dans une broche en bois. On laisse ces paquets dans le cellier pour qu'ils s'imprégnent bien d'humidité; ceci est indispensable pour la réussite de l'opération suivante.

10° *Soufrage*. Le soufroir est de diverses dimensions selon l'importance de la fabrique, je le suppose de 2 mètres de haut et de 1^{m},65 en tous autres sens. On met à la partie supérieure 100 paquets ou davantage de boyaux enfilés par leur anse, à un ou plusieurs bâtons, et encore très humides; s'ils ne le sont pas assez, on les asperge d'eau avec un balai, qu'on trempe de temps en temps dans ce liquide. On pose à la partie inférieure une terrine contenant environ une livre de fleur de soufre; on jette dessus des charbons allumés et on ferme la porte, sur les jointures de laquelle on applique des bandelettes de papier enduites de colle, ou plus souvent on bouche les interstices avec de la terre délayée dans l'eau. Au bout de quelques heures on ouvre la porte, et, après le temps nécessaire pour laisser dégager les vapeurs d'acide sulfureux, on retire les boyaux.

11° *Ployage*. Les boyaux soufrés sont rapportés au cellier. Étant suffisamment humides, l'ouvrier prend un des paquets, choisit le bout qui présente les ligatures les plus rapprochées, en fait plusieurs doubles de 15 à 20 centim. de long, et ensuite entortille à l'entour le restant du boyau, qu'il arrête à la fin, en faisant passer le bout sous le dernier pli. Le paquet présente la forme d'un fuseau effilé par les deux bouts.

Cela opéré, les paquets sont portés au magasin et mis dans des cases aérées qui en contiennent cinq cents. Pour les livrer au commerce, on les emballe dans des sacs qui contiennent la même quantité, et on y ajoute du poivre, du camphre, etc.

Pour donner idée de la facilité de l'emploi du chlorure de soude, et combien il est peu coûteux, nous nous contenterons de rapporter l'expérience suivante, faite devant la commission de la Société d'encouragement. Il paraît après cela inconcevable que le travail ne se fasse pas toujours d'après les procédés si simples, malgré les efforts de l'autorité municipale.

On a mis dans six seaux d'eau 1^{k},50 de chlorure de soude marquant 16°, et décolorant 16 parties de sulfate d'indigo, et versé ce mélange sur cent boyaux de bœuf fétides : l'odeur a été détruite instantanément, et au bout de quelques heures, le boyau a été travaillé : la muqueuse se détache très facilement, les boyaux sont superbes, et le deviennent davantage après les autres opérations. En établissant le prix de cette eau de Javelle à base de soude à 10 fr. les 50 kilogr., les frais pour cent boyaux de bœuf s'élèveront à 30 cent., et en supposant qu'on soit obligé d'élever la dose de ce chlorure de manière à en mettre 1 kilogr. pour cinquante intestins, contenance ordinaire d'une futaille, la dépense ne dépassera pas 40 cent., c'est-à-dire un peu plus de 1/3 de cent. par boyau; on doit se fixer à ces quantités et à ce dernier chlorure, qui offre évidemment les plus avantageux résultats.

II. — DES CORDES A BOYAUX. Avant de faire connaître la préparation des boyaux de moutons pour la fabrication des diverses cordes, nous allons décrire la manière de faire celle d'intestins de cheval, qui ne reçoit pour traitement préparatoire que le travail indiqué dans le premier paragraphe; ensuite nous exposerons les diverses opérations qu'on fait subir à ceux de mouton; et enfin nous ferons connaître les manipulations qu'on emploie pour chaque espèce de corde, que nous distinguerons par les noms connus des ouvriers et des commerçants. Chaque sorte fera le sujet d'un chapitre particulier : ainsi nous traiterons, outre la corde des *rémouleurs*, dite *des Lorrains*, des diverses cordes faites avec les boyaux de moutons, et qu'on nomme :

1° *Corde à raquettes*.
2° *Corde à fouets*
3° *Corde pour les chapeliers*, dite *d'arçon*.
4° *Corde pour les horlogers*.
5° Et la *Corde à instruments de musique*.

Corde pour les remouleurs, dite *des Lorrains*. Les cordes des remouleurs, polisseurs, etc., se font avec des boyaux de cheval débarrassés de la membrane muqueuse par la fermentation, comme nous l'avons indiqué dans le premier paragraphe. Le boyau fétide est pris par un des bouts, dans lequel on fait entrer une boule en bois, fichée au bout d'un piquet scellé sur un établi. A la suite de cette boule sont quatre lames tranchantes : ou, pour rendre l'explication plus claire, qu'on se représente un couteau rond à quatre lames, surmonté d'une boule en bois. On tire également le boyau avec les deux mains, et au fur et à mesure il se coupe en quatre lanières égales. On prend quatre, six ou huit lanières, suivant qu'on veut faire la corde plus ou moins épaisse; on attache par un nœud particulier les lanières à un double bout de ficelle préparée exprès, et qu'on nomme *lacet;* on passe le lacet dans une cheville introduite dans un trou pratiqué sur un poteau fortement scellé. A une distance de 10 mètres, se trouve un semblable poteau avec des chevilles, sur l'une desquelles on passe les lanières. On se rapproche du premier poteau, et l'ensemble des lanières est attaché à un nouveau lacet qu'on enfile à la cheville dont nous avons déjà parlé. Les ouvriers désignent ce premier travail par le mot *ourdir*. On coupe les lanières, on les attache de la même manière que ci-dessus, si elles sont assez longues, ce qui arrive presque toujours, attendu que les bouts sont recousus par de la filandre, après les avoir coupés préalablement en biais et disposés de manière que la couture ne fasse pas épaisseur inégale; si elles sont assez longues, disons-nous, on fait une seconde longueur, jusqu'à ce qu'enfin le boyau soit tout employé. On les cheville entièrement garnies.

Sitôt l'*ourdissage* fini, l'ouvrier place convenablement le rouet, et passe dans le crochet de l'émérillon la ficelle qui tend la corde ourdie; il met un second lacet : si le rouet est suffisamment fort, il donne quelques tours à la roue par le moyen de la manivelle, et place sur une cheville la corde déjà tordue. Il agit de même sur chacune des cordes ourdies; ensuite il passe la main, en pressant convenablement, sur la corde, à partir du rouet, et coupe avec son couteau les filandres qui ne font pas corps avec la corde. Celle-ci ne diminue pas en longueur par la dessiccation, attendu que toujours elle est ramenée à la même dimension par les chevilles; mais par le tordage et la dessiccation, elle diminue beaucoup en épaisseur : après le premier tordage, elle est de la grosseur du doigt.

Quelques heures s'étant écoulées, on remet les cordes

au rouet, on les tord de nouveau. Douze ou quinze heures après, on les prend l'une après l'autre, on enfile le lacet à une cheville qu'on tourne dans la main, le rouet n'étant pas ordinairement assez solide. Ce tordage opéré, on les frotte avec une corde en crin qu'on humecte avec de l'eau et dont on fait un paquet, qui les entoure et qu'on tient entre les mains : cette opération est nommée *étricher*. Un autre tordage est fait trois heures après, et on étriche fortement encore après avoir remis les cordes à la cheville et celle ci au poteau.

Si la corde, suffisamment séchée et tordue, n'est pas bien unie, on la polit avec de la peau de chien; mais si l'on a passé la corde de crin assez de fois, cela devient inutile. La corde est séchée tendue; on ne la passe pas au soufre habituellement. Bien sèche, on coupe les deux bouts près du lacet, et on la ploie en rond pour la livrer au commerce.

Au moment où l'ouvrier qui fait les cordes dont nous venons de parler reçoit de l'*écarrisseur* les intestins du cheval, de l'âne ou du mulet, ils sont déjà en pleine putréfaction : en les recevant, l'ouvrier devra les laver pour les débarrasser des matières, les retourner, et les mettre macérer pendant la nuit dans un tonneau contenant deux seaux d'eau mélangée avec 1/2 kil. de chlorure de soude alcalin. Cette quantité pourra servir pour quinze à vingt intestins, et n'augmentera la dépense du fabricant que de 10 centimes pour cette quantité.

Le lendemain, il décollera la muqueuse par le moyen usité, lavera les boyaux dans un grand baquet d'eau, ensuite les coupera en lanières, et en filera la corde pendant la journée et donnera le premier tors ; le lendemain, il la finira.

Si cette corde n'est pas assez sèche le lendemain, il sera toujours obligé de donner un second tordage : peu importe pour la salubrité publique, qu'il agisse ensuite plus ou moins rapidement, la fétidité étant peu considérable après le second tordage dont nous venons de parler.

Des opérations préliminaires que les intestins de moutons subissent avant la confection des cordes ordinaires. Les boyaux de mouton retirés du ventre de l'animal encore chaud, on en fait sortir les matières fécales, et du produit de chaque ventre on forme un paquet. Dans cet état, ils sont livrés au boyaudier; quelquefois il les reçoit sans être vidés : dans ce cas, ils ne peuvent être utilisés que pour la corde à raquette, attendu que les matières séjournant dans les intestins les font fermenter, et prendre une couleur qui persiste lorsque la corde est fabriquée.

Les paquets sont apportés à la boyauderie, et là déposés dans un baquet, dénoués et passés à la main pour les mettre dans un autre baquet avec de l'eau : cette manœuvre se nomme *assir* le boyau. Les morceaux de suif qui ont pu rester sont enlevés en même temps ; ils sont peu considérables; les petits bouts de chaque intestin sont mis sur le rebord du baquet, et ensuite noués ensemble : ceci est essentiel pour l'opération suivante. On laisse tremper le boyau pendant un ou deux jours pour pouvoir détacher les membranes péritonéale et muqueuse. L'eau est changée plusieurs fois pendant cet espace de temps.

Dès le lendemain, on prend le paquet de boyaux noués, qu'on pose sur un banc incliné, dont la partie inférieure porte sur un baquet; on gratte avec le dos de la lame du couteau un ou plusieurs intestins. Si le boyau est assez avancé, cet instrument déchire une moitié environ de la membrane péritonéale dans la longueur de 0m,10 à 0m,12 : alors l'ouvrière prend le boyau, pince en le tirant l'autre moitié de cette membrane externe qui suit dans toute la longueur de l'intestin, c'est ce qu'on nomme la filandre ; elle est étenque sur une planche en la doublant sur elle-même, on

BOYAUDERIE.

la noue si elle casse. Cette opération se nomme *filer*. Une chose digne de remarque, c'est que si on cherche à l'enlever, en commençant par la partie la plus grosse de l'intestin, elle ne suit pas, et elle se déchire si souvent qu'à peine peut-on en retirer des morceaux de plus de 20 à 30 centimètres de longueur. Serait-ce rationnel de considérer le tube intestinal comme composé, dans toute sa longueur, du même nombre de fibres ; et si cela est vrai, comme nous le croyons, ne trouverions-nous pas l'explication du fait dans la dilatation plus grande de ces fibres sur le bout le plus large de l'intestin, tandis qu'elles sont plus rapprochées dans le côté opposé? En pinçant la membrane péritonéale par la partie où les fibres sont plus rapprochées et tirant, ces fibres, étant plus fortes que celles qui suivent, les entraînent dans toute la longueur. Outre la force, la disposition des fibres y est pour quelque chose; car en enlevant la péritonéale par le bout d'intestin le plus large, la portion de membrane péritonéale va toujours en diminuant de largeur jusqu'au moment où elle se rompt.

La filandre s'emploie pour coudre les boyaux, elle remplace le fil ; de plus on l'utilise pour faire la corde à raquette, comme nous le dirons plus loin.

Sitôt la filandre enlevée, les boyaux sont remis dans des baquets qu'on remplit d'eau de puits. Le lendemain, on les ratisse sur le banc incliné; ils trempent d'un bout dans l'eau du baquet, l'autre bout est tenu de la main gauche, et de la main droite on tient un couteau dont la lame est arrondie par le dos, et pèse sur le boyau en tirant plus fort à droite. L'ouvrière tient ordinairement trois ou quatre bouts de boyaux ; on nomme cette opération *curer* le boyau. Au fur et à mesure du ratissage, la partie nettoyée est amoncelée sur le haut du banc, qui est long de 1m,33 et de 0m,30 environ de largeur. Les boyaux, tirés par la main gauche, glissent sur la planche de ce banc sans tomber sur les côtés, parce qu'on a pratiqué à son bout incliné un creux arrondi en forme de croissant.

Après cette opération, les boyaux sont mis dans l'eau, et le lendemain celle-ci est remplacée par une solution de potasse, que les ouvriers préparent comme il suit :

Un seau d'eau de fontaine de 14 ou 15 litres est mis dans une tinette ou terrine de grès, on verse dessus 125 grammes de potasse et 125 grammes de perlasse. Les ouvriers ignorent que ces deux sous-sels sont la même substance de qualité différente. La solution opérée, ils laissent déposer, et déterminent si cette eau est trop forte, par l'action qu'elle exerce sur la peau de leur main ; ils ajoutent de l'eau s'il le faut. Quand elle est au point convenable, ils en versent une quantité suffisante sur les boyaux ; on les change trois ou quatre fois de cette eau potassée, en laissant agir chaque fois quelques heures, et en passant au dé une ou deux fois, selon que l'intestin est destiné pour telle ou telle espèce de corde. La plupart des ouvriers croient plus convenable de préparer deux sortes d'eaux de potasse, la seconde avec la perlasse seule, qui, disent-ils, rend le boyau plus sec . ils ont observé que si l'on employait cette dernière solution seule, la corde est trop sèche, et se casse, disent ils, plus facilement.

L'opération de passer au dé se fait en prenant un des bouts du boyau, le pressant contre l'ongle, et employant ensuite un dé ouvert en cuivre, qui au fur et à mesure qu'on tire, ratisse sur le boyau et le débarrasse de plus en plus des corps étrangers à la membrane musculeuse. Pour la corde à instruments, par exemple, on passe au dé bien plus de fois que pour les autres cordes, comme nous l'observerons en son lieu.

Les boyaux, passés suffisamment au dé et à la potasse, sont triés, les plus gros et les plus longs pour la corde de chapelier, qui doit être sans nœuds ni coutures; la seconde qualité pour la corde à fonet ; la plus

BOYAUDERIE.

inférieure pour la corde à raquettes. Si la quantité nettoyée présente de beaux boyaux fins et très blancs, on les met de côté pour la corde à instruments; mais cela n'a pas toujours lieu, parce que peu d'ouvriers savent faire cette qualité.

Les autres préparations se rapportent à chaque espèce de corde, et en décrivant leur mode de fabrication nous les exposerons.

Corde à raquettes. Les boyaux de moutons de qualité inférieure, soit qu'ils aient subi les opérations par la potasse, soit qu'ils aient été bien lavés et dégorgés dans l'eau de puits seulement, sont coupés en biais, s'ils sont en plusieurs morceaux, et cousus, étant mouillés, avec de la filandre, en ayant soin de mettre un biais supérieur et l'autre inférieur, afin d'éviter que les coutures rendent la corde inégale. Cela opéré et le boyau ne faisant qu'une seule longueur, on ourdit comme nous l'avons déjà indiqué; ensuite on réunit un, deux, trois ou quatre boyaux qu'on attache à un lacet; on continue à les attacher de la même manière, en mettant chaque fois un lacet; à la cheville opposée à ce lacet l'intestin fait deux tours pour l'empêcher de glisser. Les attaches étant terminées, l'ouvrier prend un des lacets, le met au crochet de l'émérillon du rouet; il en place même deux ou trois autres, et donne quelques tours de manivelle. Le tordage fait diminuer la corde, mais l'ouvrier la ramène en tirant par le lacet, qu'il enfile à la cheville supérieure. Quand celle-ci est garnie, il promène sa main en pressant la corde à partir du rouet, pour faire sortir l'humidité, et faire qu'elle soit tordue également dans toute sa longueur: une ou deux heures après, il les remet au rouet, et passe la corde de crin.

Après que le tordage est effectué et que la corde est convenablement *étrichée*, on la met en couleur; et voici comment les ouvriers s'y prennent: une des chevilles qui enfilent les lacets est enlevée; la corde est ployée à l'entour, on la réunit avec la cheville opposée, et on laisse tremper la corde dans du sang de bœuf pendant quelques minutes; on la tord de nouveau jusqu'à dessiccation complète; quelquefois on la passe une seconde fois au sang de bœuf; il arrive aussi fort souvent que les boyaux sont mis en couleur avant le tordage: dans ce cas, on met les boyaux tremper dans le sang de bœuf avant l'ourdissage. La corde tordue est ensuite polie avec la corde de crin, suffisamment séchée; on coupe les bouts, et on la ploie en rond: dans cet état, elle est propre aux usages auxquels on l'a destinée.

Pour les qualités inférieures de corde à raquettes, on met un boyau seul et deux ou trois filandres, et on opère de la manière que nous avons indiquée.

Corde à fouets. Les boyaux de moutons préparés à la potasse, et mis de côté pour la corde à fouets, sont pris par l'ouvrière, les bouts coupés en biais et cousus avec de la filandre, toujours de façon que les coutures ne fassent pas épaisseur inégale. On *ourdit* la corde et on tord chaque bout séparément, car il est rare qu'on fasse de la corde à fouets à deux brins ou boyaux. On la soufre une ou deux fois. Quelquefois on la met en couleur, soit en noir, rose ou vert. Les boyaux prennent bien la teinture. Le noir se donne avec l'encre ordinaire; le rose avec l'encre rouge, que l'acide sulfureux fait virer au rose; le vert par la couleur de cette nuance, que les marchands de couleurs vendent aux boyaudiers

Les soins pour la fabrication de ces cordes sont plus grands que pour la corde à raquettes, mais moindres que pour celle des chapeliers. Après l'avoir bien polie à la corde de crin, on la laisse sécher, on la coupe par les bouts, et on la ploie par grosses pour la livrer aux fabricants de fouets.

Corde pour les chapeliers, dite *d'arçon*. Les boyaux de moutons les plus longs, les plus gros, après avoir été passés convenablement à la potasse, sont *ourdis* par quatre, six, huit, dix ou douze, selon la grosseur dont on veut faire la corde, qui est ordinairement de 5 à 8 mètres de long. Pendant et après l'*ourdissage*, on place sous la longueur de la corde une caisse longue, de 0m,50 à 0m,55 de large, ayant à l'entour un rebord de quelques centimètres; elle doit être très propre, étant destinée à empêcher le boyau qui traîne de se salir: on la nomme le *rafraîchi*.

Cette corde ne doit avoir ni coutures ni nœuds; aussi l'ouvrier, en ourdissant, double les boyaux, met un lacet aux bouts réunis, qu'il place à la première cheville; il tire les boyaux doublés, et si dans la longueur il s'en trouve qui n'arrivent pas à la seconde cheville, il prend un bout de boyau qu'il passe dans celui qui est trop court, et double le bout pour arriver à ladite cheville: s'il y en a plusieurs, il agit de la même manière; enfin il les attache à un lacet, qu'il place sur la cheville. Ce travail fini, il applique au rouet et agit comme pour les autres cordes, en *étrichant* avec le plus grand soin et à plusieurs reprises chaque fois qu'il tord de nouveau. A demi-séchées, ces cordes sont soumises deux fois à la vapeur du soufre. Après chacune de ces opérations, la corde est tendue, *étrichée*, en arrosant la corde de crin avec assez grande quantité d'eau de potasse. On la laisse sécher tendue, ensuite on la coupe et ploie comme il a été déjà dit.

Corde pour les horlogers. Cette corde à boyau doit être extrêmement mince: aussi pour la faire prend-on des intestins très petits, bien travaillés par la potasse, ou le plus souvent des boyaux coupés en deux par un couteau approprié à cet effet. C'est une espèce de lance surmontée d'une boule en plomb ou en bois. Cet outil est placé sur le bout d'un établi, et on tire avec les deux mains également le boyau, dans lequel on a introduit la boule. Le boyau mouillé se coupe assez régulièrement en deux lanières, qui tombent chacune dans une terrine. Il est inutile de dire que chaque main tire une lanière, et que les deux marchent en même temps.

Les horlogers se servent aussi de cordes de diverses grosseurs, et contenant un plus ou moins grand nombre d'intestins: on les fabrique comme les cordes à instruments dont nous allons parler, mais avec beaucoup moins de soins.

Cordes à instruments. Il est reconnu de temps immémoriel que les cordes à instruments préparées en France par d'habiles ouvriers, sont aussi bonnes que celles qui nous viennent d'Italie, excepté cependant les chanterelles, que nos fabricants ne sont parvenus à faire aussi bien qu'en très petite quantité; ce qui tient à la nature des boyaux de moutons, qui à Paris proviennent de trop grands animaux. Les chanterelles nous forcent donc à être tributaires de Naples, et tous les efforts qu'on a faits jusqu'à présent pour nous affranchir de ce tribut ont été sans succès. Quand on a pu en faire quelques-unes de qualité égale, on n'y est parvenu qu'en choisissant sur une très grande quantité de boyaux, et en prenant les plus minces.

Nos fabricants ne vendent que les produits de leur industrie. Le commerce français ne fait venir d'Italie que des chanterelles, qui arrivent par paquets de trente cordes ployées dans du papier tellement huilé, qu'elles nagent pour ainsi dire dans ce liquide; et les luthiers ne peuvent se procurer les cordes que chez les marchands qui les tirent d'Italie, ou chez les fabricants. Il nous paraît évident, d'après cela, que les consommateurs ne peuvent employer (en bonnes cordes) que des chanterelles de Naples, et que toutes les autres cordes dont ils se servent sortent de nos fabriques. Cependant il est vrai de dire que les marchands, pour faire valoir leur marchandise, assurent, dans cette partie comme dans bien d'autres, que leur article vient de loin. Les

musiciens peuvent bien en être dupes relativement au prix d'achat; mais ils ne le sont pas relativement à la qualité, puisqu'ils ont ce qu'on connaît jusqu'à présent de meilleur.

D'après ce que nous venons de dire, nos recherches doivent principalement se porter sur les chanterelles; il nous faut surmonter cette grande difficulté, contre laquelle tant d'artistes ont échoué; savoir, de faire à Paris des chanterelles aussi fortes, sans être plus épaisses, avec des boyaux trop gros, tandis que les Napolitains se servent des intestins de moutons beaucoup plus petits. Avant d'exposer nos tentatives, nous croyons de notre devoir d'exposer l'art du fabricant de cordes à instruments de musique.

Aux abattoirs de Paris, les boyaux grêles de moutons sont remis aux boyaudiers après avoir été débarrassés des matières fécales; on en fait des paquets dont chacun contient l'intestin d'un animal. Parvenus à l'atelier, on les met dans un baquet plein d'eau de Seine; on les dénoue, et on les fait passer dans un second baquet ou terrine d'eau fraîche, en posant le bout le plus mince de l'intestin sur le rebord. On continue ainsi jusqu'à ce que tous les boyaux soient passés. Alors on en fait un paquet, qu'on met tremper dans l'eau, et on change ce liquide dans la journée. Si la température est élevée, on essaie de les *curer* le soir même ou le lendemain : cette opération se fait comme nous l'avons indiquée en parlant des autres espèces de cordes de moutons; il faut toujours qu'elle se fasse le plus tôt possible, attendu qu'une macération trop longue diminue leur force. On se sert peu maintenant de morceaux de roseau arrondis : quelques fabricants ont conservé cette manière d'opérer; mais on va plus vite avec le dos de la lame d'un couteau, et on déchire moins souvent l'intestin. Si l'on met à l'eau courante les boyaux, au lieu de les laisser tremper dans des baquets ou terrines pleines d'eau, le *curage* peut s'effectuer bien plus promptement, et la matière est entraînée par le courant.

Ce premier ratissage opéré avec encore plus de soin que pour les autres espèces de cordes, et en se servant toujours d'eau de Seine, les boyaux sont mis dans les eaux alcalines, qu'on prépare de la manière suivante :

Dans une fontaine de grès de six voies, qu'on remplit d'eau de Seine, on met 1^{k},50 de potasse, on remue bien et on laisse déposer. Semblable vase également plein d'eau est placé à côté : on y ajoute 2^{k},50 de cendres gravelées, et on laisse ainsi déposer. Si l'on est pressé de se servir de cette solution, on y verse dessus un peu d'alun, qui la clarifie promptement par la précipitation de l'alumine, et c'est pour ce seul motif que l'alun est ajouté.

On met les boyaux ratissés dans des terrines de grès ou vernissées, de manière que chacun de ces vases en contienne près de la moitié, on les remplit de suite d'eau de potasse coupée de partie égale d'eau; on change les solutions deux fois par jour, en augmentant leur force avec la solution de cendres gravelées, et en diminuant la dose de l'eau, et cela progressivement, de manière que les dernières eaux soient les plus fortes. Les boyaux blanchissent de plus en plus et se gonflent. Après avoir laissé macérer de 3 à 5 jours, ou davantage, selon la température, on passe aux opérations suivantes.

Chaque fois qu'on change l'eau alcaline, les terrines sont placées sur une caisse de 2 mèt. environ de long, sur 0^{m},50 de large, ayant un rebord de 0^{m},10 à 0^{m},12; cette caisse se nomme *rafraîchi*, et est posée sur une table ou sur des appuis, toujours ayant une pente douce pour faciliter l'écoulement des eaux. Elle est de grandeur convenable pour tenir solidement les métiers sur lesquels les cordes sont étendues. On passe les boyaux dans une nouvelle terrine, et on les ratisse avec une espèce d'ongle de cuivre, qu'on met au pouce de la main gauche, il a la forme d'un dé à coudre ouvert; anciennement on se servait d'un pareil outil en fer-blanc, mais on s'est aperçu que le fer déchirait souvent le boyau. On applique l'index contre ce dé, tandis que de la main droite on tire une portion d'intestin qui est pressée entre le bord supérieur du dé et l'index. On continue de passer ainsi chaque boyau, et quand la terrine est épuisée, on verse de la solution plus forte que celle d'où les boyaux sortent, comme nous l'avons déjà dit. Cette opération est essentielle pour que le dégraissage de l'intestin soit parfait, et que les cordes soient de belle qualité.

Pendant cette opération l'on a devant la poitrine une planche nommée *plastron*, *bouclier*, etc., de 0^{m},40 à 0^{m},50 de hauteur sur 0^{m},25 de large; elle est armée d'une coulisse, qui permet de la faire glisser devant chaque terrine, et elle est destinée seulement à empêcher qu'on ne soit mouillé par l'eau alcaline, qui éclabousse quand on passe rapidement au dé les boyaux.

Quand on s'aperçoit que les boyaux gonflent davantage, et qu'il se présente quelques bulles à leur surface (car dans ce cas ils montent sur l'eau), il est urgent de filer la corde; autrement, on verrait tourner le boyau, ce qui arrive quelquefois, surtout en été : dans ce cas, les matières premières et le travail sont perdus. A une haute température, le dégraissage se fait plus facilement; mais il faut que l'ouvrier redouble d'attention, et que les lessives soient augmentées de force plus promptement; en hiver il marche avec plus d'ordre, et la confection de ses produits est meilleure. En général les fabricants de cordes à instruments travaillent dans des locaux frais et un peu humides.

Les boyaux en état d'être filés, on décante toute la lessive dans laquelle ils nagent, on dit alors qu'ils sont au sec. D'autres fabricants les jettent dans l'eau, les lavent bien et décantent ensuite; dans ce cas, les boyaux prennent mieux le soufre, et les cordes sont plus blanches : n'est-ce pas aux dépens de leur force?

Pour filer et terminer la corde, on prend un métier, espèce de châssis de 0^{m},65 de large sur 1^{m},65 de long; à un des côtés de la longueur, sur la traverse, sont placées à demeure un grand nombre de chevilles. Le côté opposé présente également sur la traverse un nombre double de trous faits avec une grosse vrille, de manière que quand la cheville y est placée, la corde qui la tire ne la fasse pas sortir. Les boyaux sont choisis selon leur grosseur, et les bouts placés par ordre sur le rebord de la terrine de façon à les distinguer, pour les faire servir à telle ou telle grosseur de corde. Alors on prend deux, trois bouts de boyaux, ou plus, qu'on attache à une petite cheville; elle est ensuite placée dans un des trous, et les boyaux sont portés sur la grosse cheville opposée. On fait deux tours pour les empêcher de glisser, et on vient avec les boyaux trouver le côté d'où on est parti : ils sont attachés à une autre cheville, qu'on fiche dans son trou, et l'excédant est coupé; ils sont très peu tendus, parce que la corde diminue en longueur par le tordage, et que pour la ramener au trou pour placer la cheville, on risquerait de la casser; ce qui arrive souvent. S'il y a un ou plusieurs intestins qui ne soient pas assez longs, alors on les remplace par des bouts qui le sont davantage, et on fait la ligature près de la grosse cheville, pour que la corde n'offre pas d'inégalités; car dans ce cas elle serait fausse.

Tout le *métier* étant garni comme nous venons de le dire, une ou deux petites chevilles sont mises aux crochets, si le rouet en porte plusieurs, et on donne quelques tours de roue en promenant les doigts sur la corde à partir du rouet jusqu'à la grosse cheville. On passe successivement toutes les cordes, et une fois ce premier tordage opéré, le métier est mis au soufroir avec plusieurs autres, attendu qu'on fait rarement cette opération pour un seul.

Le soufroir est établi dans un endroit humide où

l'eau ruisselle pour ainsi dire de tous les côtés; une terrine contenant de la fleur de soufre en quantité suffisante y est placée dans l'intérieur, on l'allume et on calfeutre les ouvertures; après deux ou trois heures, on ouvre le soufroir. Les métiers se trouvent dans une espèce de buée aqueuse et acide : les cordes ont conservé leur grosseur et leur humidité; on enlève les métiers les uns après les autres; ils sont placés sur le *rafratchi* : là on entrelace une corde de crin entre chaque corde de boyau. L'ouvrier en prend ordinairement 8 ou 10 de cette manière, les frotte avec force, en promenant la corde de crin. Quand un côté du métier est ainsi frotté, on *étriché*, on donne un second tors aux cordes et on retourne le métier pour faire subir pareille manœuvre aux cordes qu'il contient : on remet les métiers au soufroir, et, cela opéré, on les tord de nouveau pour les soufrer encore, ensuite on les laisse sécher; ce qui demande plus ou moins longtemps selon la température de l'air.

On connaît que les cordes sont assez sèches lorsqu'après avoir enlevé les petites chevilles, elles ne reviennent pas sur elles-mêmes, et qu'en les tenant droites quelques pouces au-dessous, elles restent ferme sans se pencher. Si elles possèdent ces qualités, on les huile avec de bonne huile d'olives, et enfin on les coupe près des chevilles pour les mettre en rond et en paquets. Dans cet état, elles sont propres à être livrées au commerce. Elles sont meilleures quelque temps après leur fabrication, aussi ne vend-on que les plus anciennement faites.

Pour faire la quatrième de violon, ou toute autre grosseur de corde à boyau entourée de fil métallique, on prend une longueur d'environ 1 mèt., qu'on adapte par un bout au crochet du rouet; l'autre bout est attaché à la boucle d'un émérillon tournant, lequel fait tendre la corde par le moyen d'un poids suspendu à une ficelle, qui passe sur une poulie pour venir se lier à l'émérillon. L'ouvrier prend le bout de son fil et le passe au bout de la corde près de l'émérillon. Un ouvrier tourne le rouet d'une manière égale, la corde fait tourner l'émérillon; l'ouvrier la soutient de la main gauche, et de la main droite dirige le fil métallique sur la corde, de façon à ce qu'il soit légèrement pressé et qu'il s'applique d'une manière égale. Ce travail se fait avec promptitude et avec la plus grande facilité; cependant on pourrait le rendre encore plus simple au moyen d'une mécanique qu'il nous semble facile d'établir. Pour couvrir une corde à boyau de fil métallique, il faut prendre la corde non soufrée et avant d'être huilée.

Le secret des plus habiles ouvriers consiste dans leur habitude du travail, dans l'observation journalière de l'état du boyau pour lui donner la lessive plus ou moins forte, un tordage et retordage plus ou moins considérables, et d'arrêter le soufrage à point; enfin de diriger la corde dans toutes ses préparations d'une manière convenable. Ce sont autant de moyens que l'expérience donne, mais qui ne comportent pas une description.

Si l'on consulte ces ouvriers sur la fabrication des chanterelles, ils répondent : C'est une chose impossible; nous avons essayé souvent et toujours en vain; l'espèce de moutons qui se consomment à Paris ne permettra jamais de faire des chanterelles aussi fines que celles qu'on fabrique à Naples, où les boyaudiers ont les intestins des moutons du pays, qui sont très petits.

Malgré ces assurances désespérantes, nous avons cru devoir entreprendre les expériences suivantes :

Nous avons pris un morceau de véritable chanterelle de Naples, et l'avons mis tremper dans de l'eau de potasse très faible, afin de pouvoir l'analyser, vu que cette corde était très huilée. Au bout de quelques heures, elle avait gonflé, et nous sommes parvenus à séparer les trois intestins dont elle était formée; après plusieurs tentatives nous avons pu, au moyen d'un tuyau de plume, souffler un de ces morceaux de boyau, et nous avons observé qu'en effet la capacité est bien moindre que celle de l'intestin de nos moutons, et qu'il est extrêmement fin et propre. Au premier aspect, on serait presque porté à croire que c'est l'intestin de tout autre animal que le mouton. Cette sorte d'analyse mécanique a fait naître en nous une foule d'idées pour tenter divers procédés pour la fabrication des cordes à instruments, nous en relaterons la partie que nous croirons devoir intéresser les savants. Nous avons pensé surtout qu'outre la petitesse des boyaux, les Napolitains pouvaient bien aussi avoir des manipulations particulières ou des agents chimiques, au moyen desquels ils font rentrer pour ainsi dire le boyau en lui-même : nous avons cherché à les deviner ou à y suppléer.

Nous avons pris des boyaux de nos moutons et à l'époque de l'année où on tue les plus gros, c'est-à-dire en mars et avril. Après les avoir ratissés au couteau comme il a été dit, nous les avons placés dans trois terrines par égale quantité.

La première terrine a été traitée par des eaux de potasse seule, à force progressive, comme nous l'avons déjà décrit. La seconde avec de l'eau de potasse et des cendres gravelées, selon la méthode usitée. La troisième avec de la potasse unie avec d'autres sels, que nous ne nommons pas.

On a observé que les boyaux des deux premières terrines ont constamment été de plus en plus blancs, qu'ils se sont gonflés, qu'ils étaient de peu de consistance en les touchant, et qu'en passant au dé ils faisaient peu de bruit : tandis que ceux traités par la potasse combinée faisaient un bruit beaucoup plus fort pendant cette opération. Du reste ils présentaient le même aspect que ceux des autres terrines, seulement ils se tenaient plus au fond du liquide et gonflaient moins; ils étaient aussi blancs.

Les boyaux arrivés à point pour filer la corde, le métier a été garni; la corde convenablement tendue et tordue, avec une foule de minutieuses attentions peu intéressantes à décrire, peut-être utiles néanmoins pour la réussite, et que nous devons à notre première idée de souffler le boyau de la corde de Naples.

Dans cet état, le métier a été mis au soufroir, que nous avons fait construire comme suit : quatre montants en bois de chêne de la hauteur $1^{m},50$, avec des traverses de $1^{m},83$ de long, et $0^{m},65$ de large. Le fond en planches bien assemblées, le haut couvert par un châssis tenu par des charnières : le tout a été enveloppé par de la toile, qui a été recouverte par du fort papier y adhérant par de la colle d'amidon. Sur un des côtés a été ménagée une petite porte, pour introduire la terrine contenant le soufre. Quand la terrine est placée, elle se trouve recouverte par une plaque en tôle de $0^{m},40$ à $0^{m},50$ en tous sens, et qui est placée de telle manière que la flamme du soufre vient la frapper dans son milieu à environ $0^{m},20$ d'élévation. Elle est destinée à empêcher que la chaleur ne se porte en majeure partie sur le milieu des cordes du métier, et à faire éparpiller la vapeur de soufre en même temps. Toute la vapeur d'acide sulfureux est concentrée dans cette espèce de caisse et ne peut s'échapper, le couvercle et la porte étant entourés de bandelettes de papier collé.

Au bout de quelque temps, nous avons entendu plusieurs cordes casser : cet accident n'est pas dû à la vapeur du soufre, mais bien à la chaleur trop vive.

Après deux heures d'exposition à la vapeur du soufre le métier a été retiré; les cordes avaient peu blanchi, elles avaient séché trop vite. Dans les soufroirs ordinaires, comme nous l'avons déjà observé, l'humidité est extrême, et ce non succès pour le soufrage nous prouve que dans les arts ce qui paraît le plus insignifiant, peut quelquefois n'être pas à négliger. Notre soufroir était placé au milieu d'un laboratoire sec et aéré. Dans les opérations suivantes, nous l'avons chargé d'humidité, et nous avons réussi à faire des cordes très blanches.

Jusqu'ici nous sommes, à très peu de chose près, arrivés à résoudre le problème que nous nous étions proposé; savoir, de faire avec de gros boyaux de petites cordes. Celles que nous avons obtenues contiennent trois intestins, et sont infiniment moins grosses que par le procédé usité jusqu'à ce jour : elles ne sont pourtant pas aussi fines que celles de Naples; malgré cela, nous trouvons en elles un motif qui nous encourage à tenter de nouvelles expériences. Nous sommes intimement convaincus qu'en choisissant les intestins des petites espèces de moutons qu'on tue à Paris, nous parviendrons à obtenir des chanterelles au moins aussi bonnes que celles de Naples, et qui conserveront mieux la note.

Une des cordes de notre premier essai a été remise à un musicien, il a dit : C'est une petite seconde que vous me donnez, elle ne pourra servir de chanterelle; mais lui ayant assuré qu'au violon elle monterait au ton convenable avec facilité, il l'a placée à l'instrument, et il a observé en effet que cette corde, tendue pour la première fois baissait moins vite de ton, une fois arrivée au diapazon de l'Opéra. Sur notre prière, et encore après l'avoir maniée entre ses mains humides, il l'a tendue de manière à arriver à quatre tons au-dessus du diapazon : alors elle a cassé. La partie restante, remontée sur l'instrument, a été tendue à un ton de moins, c'est-à-dire à trois tons au-dessus du diapazon de l'Opéra; arrivée là, elle a cassé : l'humidité ou la sueur des mains influe donc sur la ténacité des cordes. Une corde a été placée sur le violon, et montée rapidement au diapazon de l'Opéra; l'artiste a exécuté un assez long morceau, la corde a baissé de deux sixièmes de ton. Il nous a assuré qu'une chanterelle de Naples neuve aurait baissé bien davantage. Le violon étant accordé a été déposé dans un appartement clos, et examiné deux jours après il a trouvé que la corde avait baissé d'un demi-ton. Le temps était sec lorsque le violon a été accordé; le lendemain il a plu assez abondamment; le jour de l'examen, l'air était chargé de plus d'humidité que deux jours avant; vingt-quatre heures après cet examen, l'instrument a été examiné de nouveau et la trop grosse chanterelle s'est trouvée juste. Voy. CORDES D'INSTRUMENTS.

Les intestins de chien et de chat ne présentent rien de remarquable dans leur préparation particulière, pour en faire des cordes. Celui de chat n'a guère qu'une longueur de 1m,50 à 2m, il est d'inégale grosseur. Aussi, en ayant fait une corde avec un seul boyau, un bout se trouve assez mince pour faire chanterelle, et l'autre moitié peut servir de seconde. La corde est très cassante et très sèche. En faisant la corde avec deux boyaux, de façon à mettre un gros bout avec un mince, on l'obtient égale, mais elle est trop grosse.

L'intestin du chien est un peu plus égal; il a une longueur d'environ 5 mètres, du moins ceux que nous nous sommes procurés; nous en avons fait des cordes à deux et trois boyaux, elles paraissent solides et nous croyons qu'elles doivent être justes.

Nous nous sommes procuré aux abattoirs les boyaux de trente moutons, dont nous n'avons pu connaître le poids : environ les deux tiers étaient moyens, les autres assez gros; nous les avons traités de trois manières différentes, avec des modifications de détail que l'étude nous a suggérées, et ces expériences ont été faites avec le soin dont nous pouvons être capables; elles peuvent être exécutées par un ouvrier soigneux; en obtiendra les mêmes résultats, et toujours avec succès. Tous ces boyaux n'ont fourni que des chanterelles, la plus grande partie aussi fines que celles de Naples.

Nous avons aussi traité des intestins de moutons qui nous sont parvenus d'Avranches, département du Calvados, et du département des Ardennes : ils étaient très bien conservés au moyen de la saumure, après les avoir laissés dégorger dans l'eau pendant deux jours, en renouvelant matin et soir ce liquide; nous leur

BOYAUDERIE.

avons fait subir les autres opérations et nous en avons fait des cordes très fines, mais qui sont ternes, sèches, et qui se cassent très facilement : on ne peut point, d'après cela, espérer de faire des cordes à instruments avec des boyaux qui auront été salés.

Nous croyons superflu de donner plus de détails sur nos expériences. Nous nous bornerons donc à donner le tableau du poids que nos chanterelles peuvent porter sans se casser, en prenant une chanterelle de Naples de même dimension, pour juger comparativement leurs forces; et ce tableau prouvera jusqu'à quel point nous avons réussi.

Force comparative de nos chanterelles avec celles de Naples.

Hauteur du mercure dans le baromètre : 0m,755.
Hygromètre de Saussure : 77 degrés d'humidité.
Thermomètre de Réaumur : 12 degrés et demi.

DÉTAIL des CORDES.	POIDS qu'ont porté, avant de casser, nos Cordes.	POIDS qu'ont porté, avant de casser, celles de Naples.	OBSERVATIONS.
3 intestins entrant au n° 3 de la filière.	—	13k,034	Les poids ont été mis sur le plateau sans secousse, et avant de voir casser la corde, il s'est écoulé cinq minutes trente secondes.
3 intestins entrant au n° 3 de la filière.	14k,844	—	Les poids ont été mis doucement; il s'est écoulé, depuis le premier poids jusqu'au moment où la corde a cassé, sept minutes quinze secondes.
3 intestins entrant au n° 3 de la filière.	12k,719	—	Trop soufrée. Elle a supporté les poids cinq minutes.
3 intestins entrant au n° 3 de la filière.	14k,250	—	Non soufrée
2 intestins entrant au n° 4 de la filière.	9k,031	9k,062	
3 intestins entrant au n° 4 de la filière.	16k,375	—	Peu soufrée. Elle est de même grosseur que celle qui, avant de casser, a monté au violon, comme chanterelle, quatre tons au-dessus du diapazon de l'Opéra.
3 intestins entrant au n° 5 de la filière.	19k,000	—	Peu soufrée.

Nota. On a pris, dans toutes les expériences, même longueur de corde, c'est-à-dire 0m,55; les nœuds faits au plateau et à la corde supérieure, il s'est trouvé dans toutes les expériences 0m,57 à partir des nœuds. Le plateau pesait 4 kil., et fait partie des poids que nous rapportons.

Si l'on veut examiner les cordes à instruments, il faudra, suivant nous, à finesse égale et au même nombre d'intestins, mettre la corde sur l'instrument, savoir combien de tours il faudra donner à la cheville pour arriver au diapazon de l'Opéra. On se servira alors de l'instrument, ou on laissera la corde tendue pendant un temps donné ; on examinera la qualité du son, et on notera de combien la corde a baissé. On la mettra au ton, et on laissera ensuite l'instrument pour l'examiner de nouveau un ou plusieurs jours après. Pendant cet espace de temps, les variations de l'atmosphère devront être notées.

Ensuite ou avant il faut examiner, sur une longueur donnée, quelle est celle des cordes de même dimension qui porte le plus de poids avant de casser : car celle qui porte davantage sera celle qui monte le plus haut ; et si elle monte, par exemple, un ou deux tons de plus, nécessairement étant fixée au ton juste, elle résistera plus facilement et plus longtemps sous l'archet.

La corde la meilleure et qui doit faire le plus long usage, est celle qui change le moins d'aspect quand on la monte sur l'instrument : celles qui se ternissent et perdent leur transparence ne doivent pas résister. Les musiciens, s'ils y ont fait attention, doivent avoir observé ce fait.

La corde qui arrivera le plus vite au ton, qui variera moins, et qui aura le son le plus plein, le plus sonore, et qui pour ainsi dire fera la cloche, sera la meilleure. Il faut que le son ne soit ni maigre, ni criard, ni faux.

Peut-être les musiciens ont-ils d'autres moyens pour apprécier la bonté des cordes ; mais ceux qui viennent d'être indiqués paraissent essentiels.

III. — BAUDRUCHE. Pour compléter la description de l'art du boyaudier, il ne nous reste qu'à faire connaître la manière de préparer la baudruche dont se servent les batteurs d'or.

Les bouchers, boyaudiers et charcutiers entendent par le mot *baudruche* l'intestin cœcum du bœuf ou du mouton ; mais ce mot ne doit être consacré que pour la double membrane que les batteurs d'or emploient de temps immémorial. Elle est retirée du cœcum du bœuf, et les seuls charcutiers font cette opération. On ne peut jamais la retirer entière, le tiers environ de cette pellicule se trouvant faire partie commune avec le suif, dont on ne peut la débarrasser sans qu'elle se déchire.

Une fois que l'ouvrier a décollé la portion de membrane péritonéale qui entoure la partie fermée du cœcum, il la tire, et elle suit de la longueur de 0m,60 à 0m,80. Elle revient sur elle-même, on la met à sécher. Étant sèche, elle ressemble à une ficelle. L'ouvrier qui prépare la baudruche prend cette membrane desséchée, la met tremper dans une solution de potasse très faible. Suffisamment humectée, il la place sur une planche pour la ratisser avec le couteau. Quand ces pellicules sont bien propres et suffisamment dégorgées dans l'eau, il les étend sur une espèce de châssis en bois de 1m à 1m,20 de long sur 0m,27 de large ; il est formé de deux montants assemblés par deux traverses : ces quatre morceaux de bois offrent dans leur longueur une rainure de 5 à 8 millimètres de large.

Pour étendre cette membrane, l'ouvrier la prend dans ses mains et place sur le haut du châssis un des bouts, ayant soin que la partie de cette membrane qui était extérieure étant sur l'intestin de l'animal, soit la portion qui s'applique sur le châssis ; il la tire en tous sens et la fait adhérer sur le bord dudit châssis ; une fois cela fait, il prend une autre membrane, qu'il applique sur celle qui est déjà tendue, ayant soin de laisser à l'extérieur ce qu'il nomme la *fleur du boyau*, c'est-à-dire plaçant les deux membranes, de façon que les parties qui adhéraient à la membrane musculeuse se trouvent l'une contre l'autre. De cette manière, elles se collent parfaitement et ne font qu'un seul corps.

Ces deux membranes sèchent promptement, excepté les extrémités, qui sont collées sur les traverses du châssis. Quand le tout est bien sec, l'ouvrier coupe la baudruche avec un bon couteau et en suivant la rainure dont nous avons parlé.

Les bandes de baudruches sont ensuite livrées à un autre ouvrier pour les recouvrir de ce qu'on nomme le *fond*, leur donner le dernier apprêt et les couper de grandeur convenable.

Quand l'ouvrier veut terminer la baudruche, il prend chaque bande, les colle sur un châssis comme celui dont nous avons parlé, mais qui ne porte point de rainures, il enduit de colle les bords de ce châssis et y place la bande de baudruche. Une fois sèche, cette membrane est lavée avec une dissolution contenant, par litre d'eau, 15 à 20 grammes d'alun, et on laisse encore sécher ; ensuite on enduit la baudruche, au moyen d'une éponge, d'une solution concentrée de colle de poisson faite avec du vin blanc, dans lequel on a fait macérer des substances âcres et aromatiques, telles que girofle, muscade, gingembre, camphre, etc. Ces derniers ingrédients sont ajoutés pour empêcher les insectes d'attaquer la baudruche : suffisamment enduite de ce que les ouvriers nomment le *fond*, on la recouvre d'une couche de blanc d'œufs. La baudruche est ensuite coupée en morceaux carrés de 0m,13 de côté. On les soumet à la presse pour les aplatir ; on les met en tas ou livrets, et on les livre au batteur d'or.

Ce dernier travail se rapproche beaucoup de celui de la préparation du taffetas d'Angleterre.

IV. — CRIN A PÊCHER. Le crin à pêcher n'est pas le produit de l'art du boyaudier. Nous croyons, sans pouvoir l'affirmer, que cette substance provient du ver à soie. Nous pensons qu'elle est retirée des cocons les plus beaux, lesquels sont réservés pour la propagation de l'espèce. Quand le papillon s'est fait jour, ces cocons sont pris et jetés dans une chaudière pleine d'eau bien chaude, on prend une foule de brins avec un balai de bruyère ; ils s'agglutinent et ne suivent au rouet que très peu, en raison du trou dont le cocon est percé ; on soufre ces brins pour les blanchir, et on les met en paquets. La matière animale résineuse qui entoure ce fil le rend imperméable à l'eau.

Quelques personnes croient que le crin à pêcher se fait en prenant le ver à soie, le brisant en deux, tirant en sens inverse, et tenant chaque moitié d'une main ; ce qui lui a mérité le nom que les marchands lui donnent, de boyau de ver à soie.

Selon M. *Regnart*, le fil connu dans le commerce sous les dénominations de fil de Valence, de crin marin, de fil de boyau de ver à soie, etc., se prépare comme il suit : Lorsque le ver à soie est sur le point de filer, on le plonge dans le vinaigre ; après une macération de 24 heures, on l'en retire et on lui rompt la tête. Un fil se présente ; en tirant sur la tête, ce fil s'allonge et se déploie sous la forme que vous lui connaissez. On expose ce fil à l'air pendant quelques heures, tendu entre deux petits bâtons ; il prend alors une grande consistance. Si on rompt la tête au ver à soie avant de le faire macérer dans le vinaigre, le fil suit, mais en offrant l'image d'un mucus qui ne prend pas de consistance.

BRASER (*angl.* brazing, *all.* messing lœthung). C'est souder ensemble les bords des pièces de fer, de cuivre, de laiton, etc., avec un alliage composé de laiton et de zinc, auquel on ajoute quelquefois un peu d'étain ou d'argent. Les surfaces qui doivent être ainsi soudées doivent être limées très proprement, et n'être souillées ni par le contact des doigts, ni de toute autre manière. On humecte ordinairement l'alliage en copeaux et presque pulvérulent, avec une pâte formée de borax en poudre et d'eau ; on applique le mélange dans cet état, on le fait sécher, et on chauffe ensuite le tout à la chaleur

nécessaire pour fondre l'alliage et opérer la réunion des parties Quelques ouvriers recouvrent d'un lut d'argile les parties qui doivent être soudées, mais d'autres préfèrent les laisser à découvert, afin de voir quand la soudure coule librement et qu'elle a pénétré dans les joints.

Le borax sert à dissoudre les oxydes formés et à décaper les parties qui doivent être réunies ensemble.

On brase souvent le fer sans métal intermédiaire, en donnant une chaude suante aux parties à réunir, y projetant un peu de sable qui fond et forme un silicate qui dissout l'oxyde formé, et forgeant ensuite les deux pièces réunies; le silicate ferreux est expulsé sous la forme de scories, et les parties bien décapées qu'il recouvrait se soudent ensemble.

BRASSERIE (*angl.* brew-house, *all.* brauerei). Voyez BIÈRE.

BRETELLES (*ang.* braces, *all.* hosentræger). On les fait avec des ressorts élastiques à boudin, en fil de laiton ou de fer, assemblés parallèlement entre deux bandes d'étoffes froncées, pour donner libre jeu à l'élasticité des ressorts; on en attache les bouts à des lanières de peau qui portent les boutonnières. Pour froncer l'étoffe qui recouvre la bretelle, on commence par étendre suffisamment les ressorts; on coud l'étoffe en dessus et en dessous par des points qui les séparent les uns des autres; et quand ensuite on rend aux élastiques leur liberté, l'étoffe suit les réductions des ressorts et se plisse d'elle-même, parce que les bouts en sont arrêtés sur les lanières de peau des boutonnières. On fait de la même manière des jarretières élastiques.

MM. Rattier et Guibal ont imaginé de filer le caoutchouc et d'en composer d'excellents élastiques qui sont d'un beaucoup meilleur service que les ressorts à boudin. (Voyez CAOUTCHOUC).

BREVET D'INVENTION. Nous donnerons ici le texte de la loi qui établit la nature du privilége que la société actuelle accorde aux inventeurs. Cette loi, intéressant au plus haut point toutes les personnes qui s'occupent d'industrie, est susceptible de bien des améliorations. Nous traiterons dans le précis d'Économie industrielle qui termine cet ouvrage, la question capitale pour l'industrie, du rôle des brevets d'invention dans l'organisation industrielle, de leur validité, et surtout de l'importance des réformes que nécessite l'organisation des tribunaux industriels chargés de les faire respecter.

LOI SUR LES BREVETS D'INVENTION.

TITRE Ier. DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Art. 1er. Toute nouvelle découverte ou invention, dans tous les genres d'industrie, confère à son auteur, sous les conditions et pour le temps ci-après déterminés, le droit exclusif d'exploiter à son profit ladite découverte ou invention.

Ce droit est constaté par des titres délivrés par le gouvernement, sous le nom de brevets d'invention.

Art. 2. Seront considérées comme inventions ou découvertes nouvelles :

L'invention de nouveaux produits industriels.

L'invention de nouveaux moyens ou l'application nouvelle de moyens connus, pour l'obtention d'un résultat ou d'un produit industriel.

Art. 3. Ne sont pas susceptibles d'être brevetés :

1° Les compositions pharmaceutiques ou remèdes de toute espèce, lesdits objets demeurant soumis aux lois et règlements spéciaux sur la matière, et notamment au décret du 18 août 1810, relatif aux remèdes secrets ;

2° Les plans et combinaisons de crédit ou de finances.

Art. 4. La durée des brevets sera de cinq, dix ou quinze années.

Chaque brevet donnera lieu au payement d'une taxe qui est fixée ainsi qu'il suit, savoir :

Cinq cents francs pour un brevet de cinq ans;

Mille francs pour un brevet de dix ans;

Quinze cents francs pour un brevet de quinze ans;

Cette taxe sera payée par annuités de cent francs, sous peine de déchéance si le breveté laisse écouler un terme sans l'acquitter.

TITRE II. DES FORMALITÉS RELATIVES A LA DÉLIVRANCE DES BREVETS.

Section I. Des demandes de brevets. — Art. 5. Quiconque voudra prendre un brevet d'invention devra déposer, sous cachet, au secrétariat de la préfecture, dans le département où il est domicilié, ou dans tout autre département en y élisant domicile :

1° Sa demande au ministre de l'agriculture et du commerce;

2° Une description de la découverte, invention ou application faisant l'objet du brevet demandé ;

3° Les dessins ou échantillons qui seraient nécessaires pour l'intelligence de la description ;

Et 4° un bordereau des pièces déposées.

Art. 6. La demande sera limitée à un seul objet principal, avec les objets de détail qui le constituent, et les applications qui auront été indiquées.

Elle mentionnera la durée que les demandeurs entendent assigner à leur brevet dans les limites fixées par l'art. 4, et ne contiendra ni restrictions, ni conditions, ni réserves.

Elle indiquera un titre renfermant la désignation sommaire et précise de l'objet de l'invention.

La description ne pourra être écrite en langue étrangère. Elle devra être sans altération ni surcharges. Les mots rayés comme nuls seront comptés et constatés, les pages et les renvois paraphés. Elle ne devra contenir aucune dénomination de poids ou de mesures autres que celles qui sont portées au tableau annexé à la loi du 4 juillet 1837.

Les dessins seront tracés à l'encre et d'après une échelle métrique.

Un duplicata de la description et des dessins sera joint à la demande.

Toutes les pièces seront signées par le demandeur ou par un mandataire dont le pouvoir restera annexé à la demande.

Art. 7. Aucun dépôt ne sera reçu que sur la production d'un récépissé constatant le versement d'une somme de cent francs, à valoir sur le montant de la taxe du brevet.

Un procès-verbal, dressé sans frais par le secrétaire général de la préfecture, sur un registre à ce destiné, et signé par le demandeur, constatera chaque dépôt, en énonçant le jour et l'heure de la remise des pièces.

Une expédition dudit procès-verbal sera remise au déposant, moyennant le remboursement des frais de timbre.

Art. 8. La durée du brevet courra du jour du dépôt prescrit par l'art. 5.

Section II. De la délivrance des brevets. — Art. 9. Aussitôt après l'enregistrement des demandes, et dans les cinq jours de la date du dépôt, les préfets transmettront les pièces, sous le cachet de l'inventeur, au ministre de l'agriculture et du commerce, en y joignant une copie certifiée du procès-verbal de dépôt, le récépissé constatant le versement de la taxe, et, s'il y a lieu, le pouvoir mentionné dans l'art. 6.

Art. 10. A l'arrivée des pièces au ministère de l'agriculture et du commerce, il sera procédé à l'ouverture, à l'enregistrement des demandes et à l'expédition des brevets, dans l'ordre de la réception desdites demandes.

BREVET D'INVENTION.

Art. 11. Les brevets dont la demande aura été régulièrement formée seront délivrés, sans examen préalable, aux risques et périls des demandeurs, et sans garantie, soit de la réalité, de la nouveauté ou du mérite de l'invention, soit de la fidélité ou de l'exactitude de la description.

Un arrêté du ministre, constatant la régularité de la demande, sera délivré au demandeur, et constituera le brevet d'invention.

A cet arrêté sera joint le duplicata certifié de la description et des dessins, mentionné dans l'art. 6, après que la conformité avec l'expédition originale en aura été reconnue et établie au besoin.

La première expédition des brevets sera délivrée sans frais.

Toute expédition ultérieure, demandée par le breveté ou ses ayants cause, donnera lieu au payement d'une taxe de vingt-cinq francs.

Les frais de dessin, s'il y a lieu, demeureront à la charge de l'impétrant.

Art. 12. Toute demande dans laquelle n'auraient pas été observées les formalités prescrites par les n. 2 et 3 de l'art. 5, et par l'art. 6, sera rejetée. La moitié de la somme versée restera acquise au trésor, mais il sera tenu compte de la totalité de cette somme au demandeur s'il reproduit sa demande dans un délai de trois mois, à compter de la date de la notification du rejet de sa requête.

Art. 13. Lorsque, par application de l'art. 3, il n'y aura pas lieu à délivrer un brevet, la taxe sera restituée.

Art. 14. Une ordonnance royale, insérée au *Bulletin des Lois*, proclamera, tous les trois mois, les brevets délivrés.

Art. 15. La durée des brevets ne pourra être prolongée que par une loi.

Section III. Des certificats d'addition. — Art. 16. Le breveté ou les ayants droit au brevet auront, pendant toute la durée du brevet, le droit d'apporter à l'invention des changements, perfectionnements ou additions, en remplissant, pour le dépôt de la demande, les formalités déterminées par les art. 5, 6 et 7.

Ces changements, perfectionnements ou additions seront constatés par des certificats délivrés dans la même forme que le brevet principal, et qui produiront, à partir des dates respectives des demandes et de leur expédition, les mêmes effets que ledit brevet principal, avec lequel ils prendront fin.

Chaque demande de certificat d'addition donnera lieu au payement d'une taxe de vingt francs.

Les certificats d'addition, pris par un des ayants droit, profiteront à tous les autres.

Art. 17. Tout breveté qui, pour un changement, perfectionnement ou addition, voudra prendre un brevet principal de cinq, dix ou quinze années, au lieu d'un certificat d'addition expirant avec le brevet primitif, devra remplir les formalités prescrites par les art. 5, 6 et 7, et acquitter la taxe mentionnée par l'art. 4.

Art. 18. Nul autre que le breveté ou ses ayants droit, agissant comme il est dit ci-dessus, ne pourra, pendant une année, prendre valablement un brevet pour un changement, perfectionnement ou addition à l'invention qui fait l'objet du brevet primitif

Néanmoins, toute personne qui voudra prendre un brevet pour changement, addition ou perfectionnement à une découverte déjà brevetée, pourra, dans le cours de ladite année, former une demande qui sera transmise, et restera déposée sous cachet, au ministère de l'agriculture et du commerce.

L'année expirée, le cachet sera brisé et le brevet délivré.

Toutefois, le breveté principal aura la préférence pour les changements, perfectionnements et additions pour lesquels il aurait lui-même, pendant l'année, demandé un certificat d'addition ou un brevet.

Art. 19. Quiconque aura pris un brevet pour une découverte, invention ou application se rattachant à l'objet d'un autre brevet, n'aura aucun droit d'exploiter l'invention déjà brevetée, et réciproquement le titulaire du brevet primitif ne pourra exploiter l'invention objet du nouveau brevet.

Section IV. De la transmission de la cession des brevets. — Art. 20. Tout breveté pourra céder la totalité ou partie de la propriété de son brevet.

La cession totale ou partielle d'un brevet, soit à titre gratuit, soit à titre onéreux, ne pourra être faite que par acte notarié, et après le payement de la totalité de la taxe déterminée par l'art. 4.

Aucune cession ne sera valable, à l'égard des tiers, qu'après avoir été enregistrée au secrétariat de la préfecture du département dans lequel l'acte aura été passé.

L'enregistrement des cessions et de tous autres actes emportant mutation sera fait sur la production et le dépôt d'un extrait authentique de l'acte de cession ou de mutation.

Une expédition de chaque procès-verbal d'enregistrement, accompagnée de l'extrait de l'acte ci-dessus mentionné, sera transmise, par les préfets, au ministre de l'agriculture et du commerce, dans les cinq jours de la date du procès-verbal.

Art. 21. Il sera tenu, au ministère de l'agriculture et du commerce, un registre sur lequel seront inscrites les mutations intervenues sur chaque brevet, et, tous les trois mois, une ordonnance royale proclamera, dans la forme déterminée par l'art. 14, les mutations enregistrées pendant le trimestre expiré.

Art. 22. Les cessionnaires d'un brevet, et ceux qui auront acquis d'un breveté ou de ses ayants droit la faculté d'exploiter la découverte ou l'invention, profiteront de plein droit des certificats d'addition qui seront ultérieurement délivrés au breveté ou à ses ayants droit. Réciproquement, le breveté ou ses ayants droit profiteront des certificats d'addition qui seront ultérieurement délivrés aux cessionnaires.

Tous ceux qui auront droit de profiter des certificats d'addition pourront en lever une expédition au ministère de l'agriculture et du commerce, moyennant un droit de vingt francs.

Section V. De la communication et de la publication des descriptions et dessins de brevets. — Art. 23. Les descriptions, dessins, échantillons et modèles des brevets délivrés, resteront, jusqu'à l'expiration des brevets, déposés au ministère de l'agriculture et du commerce, où ils seront communiqués, sans frais, à toute réquisition.

Toute personne pourra obtenir, à ses frais, copie desdites descriptions et dessins, suivant les formes qui seront déterminées dans le règlement rendu en exécution de l'art. 50.

Art. 24. Après le payement de la deuxième annuité, les descriptions et dessins seront publiés, soit textuellement, soit par extrait.

Il sera en outre publié, au commencement de chaque année, un catalogue contenant les titres des brevets délivrés dans le courant de l'année précédente.

Art. 25. Le recueil des descriptions et dessins et le catalogue publiés en exécution de l'article précédent seront déposés au ministère de l'agriculture et du commerce, et au secrétariat de la préfecture de chaque département, où ils pourront être consultés sans frais.

Art. 26. A l'expiration des brevets, les originaux des descriptions et dessins seront déposés au Conservatoire royal des arts et métiers.

BREVET D'INVENTION.

TITRE III. DES DROITS DES ÉTRANGERS.

Art. 27. Les étrangers pourront obtenir en France des brevets d'invention.

Art. 28. Les formalités et conditions déterminées par la présente loi seront applicables aux brevets demandés ou délivrés en exécution de l'article précédent.

Art. 29. L'auteur d'une invention ou découverte déjà brevetée à l'étranger pourra obtenir un brevet en France; mais la durée de ce brevet ne pourra excéder celle des brevets antérieurement pris à l'étranger.

TITRE IV. DES NULLITÉS ET DÉCHÉANCES, ET DES ACTIONS Y RELATIVES.

Section I. Des nullités et déchéances. — Art. 30. Seront nuls, et de nul effet, les brevets délivrés dans les cas suivants, savoir :

1° Si la découverte, invention ou application n'est pas nouvelle;

2° Si la découverte, invention ou application n'est pas, aux termes de l'art. 3, susceptible d'être brevetée;

3° Si les brevets portent sur des principes, méthodes, systèmes, découvertes et conceptions théoriques ou purement scientifiques, dont on n'a pas indiqué les applications industrielles;

4° Si la découverte, invention ou application est reconnue contraire à l'ordre ou à la sûreté publique, aux bonnes mœurs ou aux lois du royaume, sans préjudice, dans ce cas et dans celui du paragraphe précédent, des peines qui pourraient être encourues pour la fabrication ou le débit d'objets prohibés;

5° Si le titre sous lequel le brevet a été demandé indique frauduleusement un objet autre que le véritable objet de l'invention;

6° Si la description jointe au brevet n'est pas suffisante pour l'exécution de l'invention, ou si elle n'indique pas, d'une manière complète et loyale, les véritables moyens de l'inventeur;

7° Si le brevet a été obtenu contrairement aux dispositions de l'art. 18.

Seront également nuls, et de nul effet, les certificats comprenant des changements, perfectionnements ou additions qui ne se rattacheraient pas au brevet principal.

Art. 31. Ne sera pas réputée nouvelle toute découverte, invention ou application qui, en France ou à l'étranger, et antérieurement à la date du dépôt de la demande, aura reçu une publicité suffisante pour pouvoir être exécutée.

Art. 32. Sera déchu de tous ses droits :

1° Le breveté qui n'aura pas acquitté son annuité avant le commencement de chacune des années de la durée de son brevet;

2° Le breveté qui n'aura pas mis en exploitation sa découverte ou invention en France, dans le délai de deux ans, à dater du jour de la signature du brevet, ou qui aura cessé de l'exploiter pendant deux années consécutives, à moins que, dans l'un ou dans l'autre cas, il ne justifie des causes de son inaction;

3° Le breveté qui aura introduit en France des objets fabriqués en pays étranger et semblables à ceux qui sont garantis par son brevet.

Sont exceptés des dispositions du présent paragraphe, les modèles de machines dont le ministre de l'agriculture et du commerce pourra autoriser l'introduction dans le cas prévu par l'art. 29.

Art. 33. Quiconque, dans des enseignes, annonces, prospectus, affiches, marques ou estampilles, prendra la qualité de breveté sans posséder un brevet délivré conformément aux lois, ou après l'expiration d'un brevet antérieur; ou qui, étant breveté, mentionnera sa qualité de breveté ou son brevet sans y ajouter ces mots, *sans garantie du gouvernement*, sera puni d'une amende de cinquante francs à mille francs.

En cas de récidive, l'amende pourra être portée au double.

Section II. Des actions en nullité et en déchéance. — Art. 34. L'action en nullité et l'action en déchéance pourront être exercées par toute personne y ayant intérêt.

Ces actions, ainsi que toutes contestations relatives à la propriété des brevets, seront portées devant les tribunaux civils de première instance.

Art. 35. Si la demande est dirigée en même temps contre le titulaire du brevet et contre un ou plusieurs cessionnaires partiels, elle sera portée devant le tribunal du domicile du titulaire du brevet.

Art. 36. L'affaire sera instruite et jugée dans la forme prescrite pour les matières sommaires, par les art. 405 et suiv. du Code de procédure civile. Elle sera communiquée au procureur du roi.

Art. 37. Dans toute instance tendant à faire prononcer la nullité ou la déchéance d'un brevet, le ministère public pourra se rendre partie intervenante et prendre des réquisitions pour faire prononcer la nullité ou la déchéance absolue du brevet.

Il pourra même se pourvoir directement par action principale pour faire prononcer la nullité, dans les cas prévus aux n^os^ 2°, 4° et 5° de l'art. 30.

Art. 38. Dans les cas prévus par l'art. 37, tous les ayants droit au brevet dont les titres auront été enregistrés au ministère de l'agriculture et du commerce, conformément de l'article 21, devront être mis en cause.

Art. 39. Lorsque la nullité ou la déchéance absolue d'un brevet aura été prononcée par jugement ou arrêt ayant acquis force de chose jugée, il en sera donné avis au ministre de l'agriculture et du commerce, et la nullité ou la déchéance sera publiée dans la forme déterminée par l'art. 14 pour la proclamation des brevets.

TITRE V. DE LA CONTREFAÇON. DES POURSUITES DES PEINES.

Art. 40. Toute atteinte portée aux droits du breveté, soit par la fabrication de produits, soit par l'emploi de moyens faisant l'objet de son brevet, constitue le délit de contrefaçon.

Ce délit sera puni d'une amende de cent à deux mille francs.

Art. 41. Ceux qui auront sciemment recélé, vendu ou exposé en vente, ou introduit sur le territoire français, un ou plusieurs objets contrefaits, seront punis des mêmes peines que les contrefacteurs.

Art. 42. Les peines établies par la présente loi ne pourront être cumulées.

La peine la plus forte sera seule prononcée pour tous les faits antérieurs au premier acte de poursuite.

Art. 43. Dans le cas de récidive, il sera prononcé, outre l'amende portée aux art. 40 et 41, un emprisonnement d'un mois à six mois.

Il y a récidive, lorsqu'il a été rendu contre le prévenu, dans les cinq années antérieures, une première condamnation pour un des délits prévus par la présente loi.

Un emprisonnement d'un mois à six mois pourra aussi être prononcé, si le contrefacteur est un ouvrier ou un employé ayant travaillé dans les ateliers ou dans l'établissement du breveté, ou si le contrefacteur, s'étant associé avec un ouvrier ou un employé du breveté, a eu connaissance, par ce dernier, des procédés décrits au brevet.

Dans ce dernier cas, l'ouvrier ou l'employé pourra être poursuivi comme complice.

Art. 44. L'art. 463 du Code pénal pourra être appliqué aux délits prévus par les dispositions qui précèdent.

Art. 45. L'action correctionnelle pour l'application

des peines ci-dessus, ne pourra être exercée par le ministère que sur la plainte de la partie lésée.

Art. 46. Le tribunal correctionnel, saisi d'une action pour délit de contrefaçon, statuera sur les exceptions qui seraient tirées par le prévenu, soit de la nullité ou de la déchéance du brevet, soit des questions relatives à la propriété dudit brevet.

Art. 47. Les propriétaires de brevets pourront, en vertu d'une ordonnance du président du tribunal de première instance, faire procéder, par tous huissiers, à la désignation et description détaillées, avec ou sans saisie, des objets prétendus contrefaits.

L'ordonnance sera rendue sur simple requête, et sur la représentation du brevet; elle contiendra, s'il y a lieu, la nomination d'un expert pour aider l'huissier dans sa description.

Lorsqu'il y aura lieu à la saisie, ladite ordonnance pourra imposer au requérant un cautionnement qu'il sera tenu de consigner avant d'y procéder.

Le cautionnement sera toujours imposé à l'étranger breveté qui requerra la saisie.

Il sera laissé copie au détenteur des objets décrits ou saisis, tant de l'ordonnance que de l'acte constatant le dépôt du cautionnement, le cas échéant; le tout, à peine de nullité et de dommages-intérêts contre l'huissier.

Art. 48. A défaut par le requérant de s'être pourvu soit par la voie civile, soit par la voie correctionnelle, dans le délai de huitaine, outre un jour par trois myriamètres de distance, entre le lieu où se trouvent les objets saisis et décrits, et le domicile du contrefacteur, recéleur, introducteur ou débitant, la saisie ou description sera nulle de plein droit, sans préjudice des dommages-intérêts qui pourront être réclamés, s'il y a lieu, dans la forme prescrite par l'art. 36.

Art. 49. La confiscation des objets reconnus contrefaits, et, le cas échéant, celle des instruments ou ustensiles destinés spécialement à leur fabrication, seront, même en cas d'acquittement, prononcées contre le contrefacteur, le recéleur, l'introducteur ou le débitant.

Les objets confisqués seront remis au propriétaire du brevet, sans préjudice de plus amples dommages-intérêts et de l'affiche du jugement, s'il y a lieu.

BRIQUE (*angl.*, brick; *all.*, ziegel). Les briques sont des matériaux de construction en terre cuite, ayant en général la forme de parallélipipèdes. Les unes, destinées aux constructions ordinaires, et qui se fabriquent en quantités énormes dans certains pays, privés de pierres et où le combustible abonde, sont faites avec des argiles plus ou moins sableuses et des marnes argileuses, calcaires ou limoneuses; les autres sont plus ou moins réfractaires et destinées à la construction des fours.

Nous ne reviendrons pas sur la classification des argiles donnée très-complètement à l'article ARGILE, ni sur leur composition chimique, donnée à l'article ARGILE du *Complément*.

EXPLOITATION DES ARGILES. Les argiles peuvent être exploitées de deux manières :

1° A ciel ouvert; 2° à ciel couvert, c'est-à-dire souterrainement en galerie.

On exploite à ciel ouvert lorsque le banc d'argile se présente par affleurement, ou bien lorsque, le banc étant peu profondément situé, il est facile de le mettre à découvert sans beaucoup de frais.

Ce mode d'exploitation est excessivement simple et

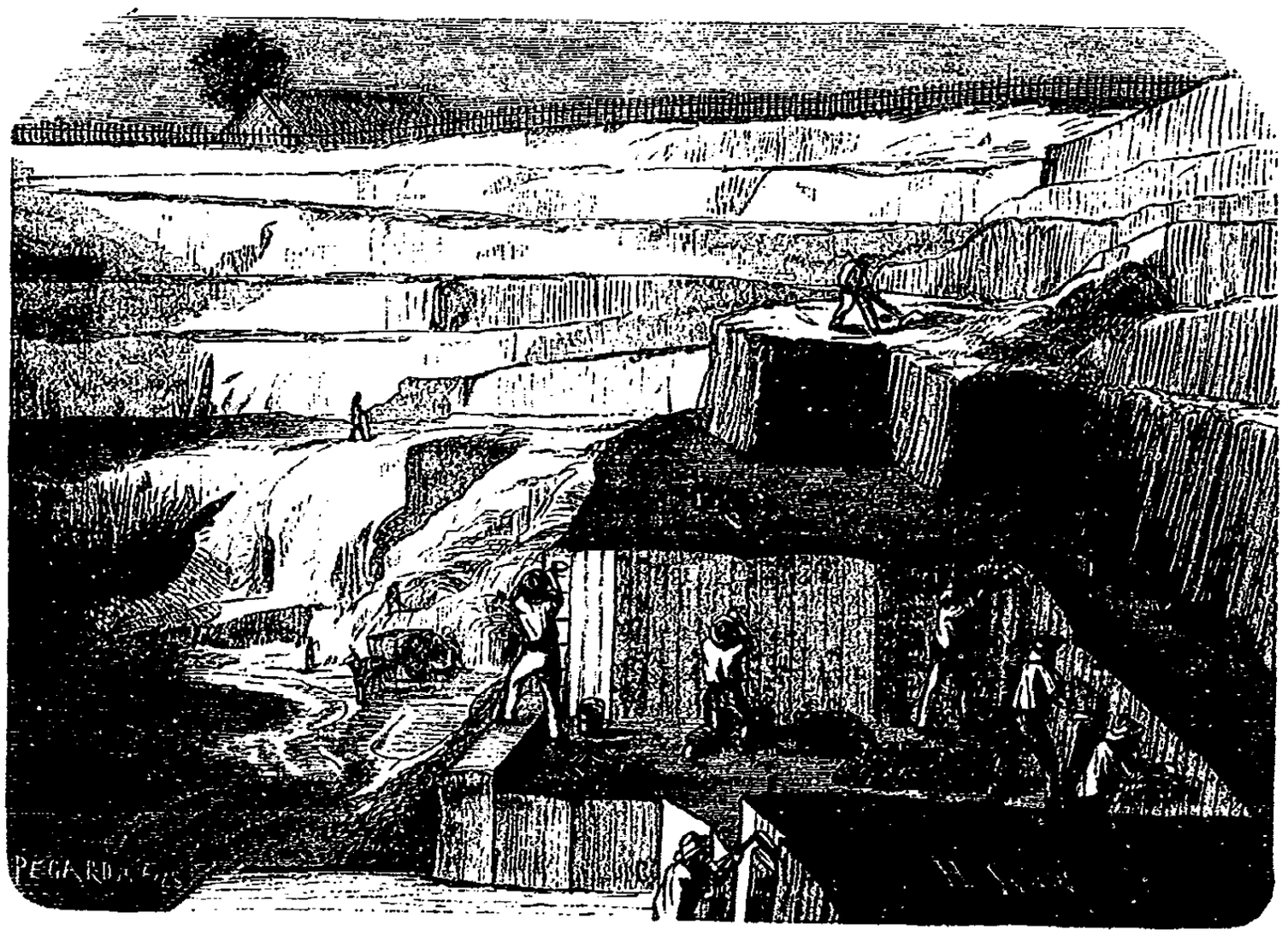


Fig. 1.

s'exécute de la façon suivante: on commence par enlever la terre végétale, ainsi que les autres couches de terrain qui peuvent recouvrir le banc d'argile; puis on attaque ce banc en procédant par gradins, comme le fait voir la figure 1. On extrait l'argile sous forme de pains cubiques, en se servant, à cet effet, de deux outils spéciaux, que

nous représentons dans la fig. 2. Ces deux outils sont identiques de forme; mais l'un est pourvu d'un manche plus court que celui de l'autre.

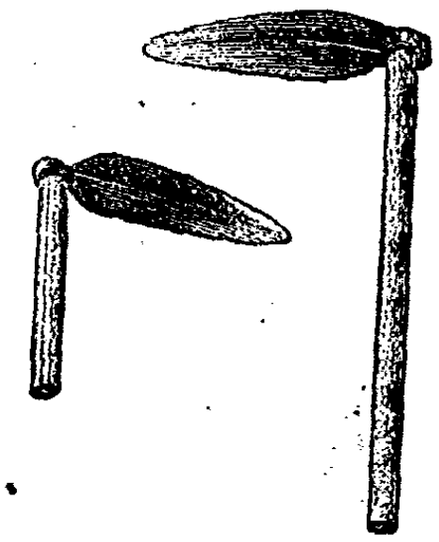


Fig. 2.

L'outil à manche court sert à l'ouvrier pour faire dans le gradin qu'il exploite des incisions verticales et horizontales d'une certaine profondeur, destinées à limiter le contour des pains. Dans la fig. 1, l'ouvrier A est en train de faire des incisions verticales, tandis que l'ouvrier B pratique des entailles horizontales.

Quand il a exécuté un certain nombre de ces incisions, l'ouvrier prend l'outil à long manche, et, ainsi que le fait l'ouvrier C (fig. 1), il l'introduit dans la masse argileuse, de façon à entailler le gradin parallèlement à sa face verticale, et à 0m,15 environ de cette face. Grâce aux incisions précédemment faites, l'argile se détache alors par pains que l'ouvrier place en tas à côté de lui.

Il importe de remarquer que l'ouvrier doit avoir à côté de lui un seau rempli d'eau, dans lequel il plonge *très-fréquemment* la lame de son outil, afin de faciliter ses opérations. L'outil le plus tranchant ne fournirait aucun résultat, si l'on ne prenait soin de le mouiller presque à chaque effort qu'on lui imprime. C'est une des conséquences de la plasticité des argiles.

Lorsqu'on a découvert par le sondage un banc d'argile situé à une profondeur trop considérable pour être mis à découvert, il faut alors creuser un puits et procéder par galeries. On est obligé d'avoir recours à ce même moyen quand le banc, bien que peu profondément situé, est recouvert de matières difficiles à extraire, de roches ou pierres dures.

On opère alors absolument comme pour les mines, par puits et galeries, bien entendu pour des petites profondeurs seulement.

Transport des terres. Quand on se propose de fabriquer les briques en plein air, on s'établit sur l'endroit même où l'on exploite l'argile. Le transport est alors très-simple et peu coûteux.

Il n'en est plus de même lorsque l'on fabrique à couvert ou en usine. Si la minière d'argile est très-proche de la briqueterie, on effectue le transport dans des brouettes. Si la minière est, au contraire, un peu éloignée, on a recours, si cela est possible, à de petits wagons roulant sur des chemins de fer.

Nous avons donné, à la fin de l'article CHEMINS DE FER, la description de petits chemins de fer d'usine applicables à ces exploitations.

Fabrication des pâtes. Les terres à briques communes varient dans chaque localité. Lorsqu'elles sont trop argileuses, elles sont sujettes à se déformer et à se fendiller par la dessiccation et la cuisson. On y remédie en les *dégraissant* par des matières sableuses ou calcaires. Lorsque, au contraire, elles n'ont pas assez de liant, on leur donne cette qualité par un mélange de marne ou de chaux, et rarement d'argile plastique. Les mélanges, ainsi formés, sont assez facilement fusibles, et, par contre, les briques qu'ils servent à fabriquer ne peuvent être que peu cuites, et sont par suite poreuses et friables. Dans quelques fabriques, et surtout en Angleterre, on ajoute assez de chaux dans les pâtes, soit à l'état de marne calcaire, soit à tout autre état, pour augmenter leur fusibilité, à tel point que les briques subissent, par la cuisson, un commencement de vitrification; en outre, lorsqu'on le peut, on incorpore dans la pâte une certaine proportion d'escarbilles ou cendres de houille qui agissent non-seulement comme matière dégraissante pour empêcher la déformation et le retrait pendant la cuisson, mais surtout facilitent considérablement la régularité de la cuisson en augmentant la conductibilité pour la chaleur de la pâte. On remarque, en effet, que les briques ainsi fabriquées sont plus compactes, plus sonores, et résistent beaucoup mieux que les autres à l'action des agents atmosphériques.

Les terres argileuses renferment toujours des grains de calcaire, des petites pierres siliceuses, des fragments de pyrites; de là résulte presque toujours la nécessité de préparer les terres.

Hivernement des terres. C'est une ancienne coutume de laisser les argiles exposées pendant plusieurs mois aux intempéries des saisons. A toute époque, les fabricants ont extrait pendant l'automne les terres qu'ils destinaient aux produits de choix.

L'hiver, en passant sur ces terres, développe leur ductilité. La pluie, la gelée, le dégel, font éclater les noyaux qu'elles renferment, et divisent la masse jusque dans ses parties les plus intérieures, surtout si l'on a le soin de la retourner fréquemment avec une pelle. L'expérience a démontré que, plus une argile est extraite longtemps avant d'être manipulée, plus les qualités utiles s'y développent. Dans quelques localités, on exploite les argiles plusieurs années avant de les façonner.

On a remarqué que les terres, quelle que soit leur nature, abreuvées d'humidité, réunies en masses assez volumineuses pour que l'action de l'air ne s'étende pas jusque vers leur centre, prennent une couleur d'abord grisâtre, puis ensuite entièrement noirâtre; elles répandent une odeur prononcée d'hydrogène sulfuré. Elles conservent ces deux propriétés tant qu'elles contiennent de l'eau et tant qu'elles sont abritées du contact de l'air par une écorce assez épaisse. Cette coloration de la masse, résultat d'une sorte de pourriture, est d'autant plus prononcée que les eaux dont elle est imprégnée se trouvent être moins pures. La coloration noire disparaît à l'air; il se dégage de l'acide carbonique, qui contribue encore à la division de la masse.

Taillage. Lorsque les terres n'ont pas été hivernées, elles sont composées de parties inégalement humides, et n'ayant pas quelquefois la même composition. Le trempage (dont nous parlerons plus loin) se fait alors difficilement et d'une façon irrégulière; il s'exécute avec bien moins de rapidité que si la masse était réduite en fragments petits et de dimensions semblables.

Habituellement, on emploie à Paris pour l'amener à cet état, une tailleuse qui ressemble beaucoup à un coupe-racines (voyez INSTRUMENTS D'AGRICULTURE). Elle se compose d'un plateau vertical monté sur un axe horizontal auquel est adaptée une roue qui engrène avec un pignon fixé sur l'arbre qui reçoit le mouvement. La terre à tailler est jetée dans une rigole en bois dont l'inclinaison est telle que le glissement puisse aisément s'opérer, et que cette terre vienne buter contre le plateau.

Le plateau est pourvu de six lames qui taillent la terre. Au-dessous du plateau se trouve la fosse de

trempage où tombe la terre taillée. Afin de faciliter le glissement de la terre dans la rigole, on la mouille par un petit jet d'eau qui s'échappe d'un robinet situé à côté du plateau.

Trempage. Il est bien rare que les argiles contiennent la quantité d'eau suffisante et nécessaire pour en faire une pâte se prêtant à un travail facile. On est alors forcé de leur ajouter de l'eau, de les *tremper.*

Le trempage doit s'effectuer après que les terres ont été soumises à la première série d'opérations, c'est-à-dire après qu'elles ont été divisées en fragments, soit à la pelle, soit à la tailleuse, soit aux cylindres broyeurs. Pour tremper les terres, on se sert habituellement de fosses creusées dans le sol et garnies de planches. L'argile est déposée dans ces fosses sur une épaisseur qui ne doit pas dépasser 0m,50 environ, et recouverte d'eau. Quand l'eau est absorbée, on en ajoute une quantité nouvelle. On doit avoir soin de remuer la masse de temps en temps.

Le trempage est une opération dont on ne peut pas se dispenser, lorsque les briques doivent être fabriquées à la main.

Corroyage. Le corroyage est, sans contredit, l'opération la plus importante dans la fabrication des briques, tuiles, tuyaux de drainage, etc. Cette importance est mise en relief par une expérience faite autrefois par Gallon, lieutenant-colonel du génie. Gallon fabriqua deux briques avec la même terre. Seulement, la brique n° 1 fut confectionnée avec une pâte qui avait été corroyée deux fois, tandis que la brique n° 2 le fut avec une pâte qui n'avait été corroyée qu'une seule fois. Ces deux briques furent cuites dans les mêmes conditions, puis établies chacune sur un support qui les soutenait par leur milieu et de champ. La brique n° 1 ne rompit que sous une charge de 64k,236, répartie également à chaque bout, tandis que la brique n° 2 rompit sous une charge de 34k,266 répartie aussi également à chaque bout. Cette expérience est plus éloquente que tout ce que l'on pourrait dire.

Autrefois, le corroyage s'effectuait partout avec les pieds. Aujourd'hui, on emploie des machines dans la plupart des fabriques, pour pétrir la terre. Nous allons décrire les plus usitées.

Nous parlerons d'abord des cylindres broyeurs.

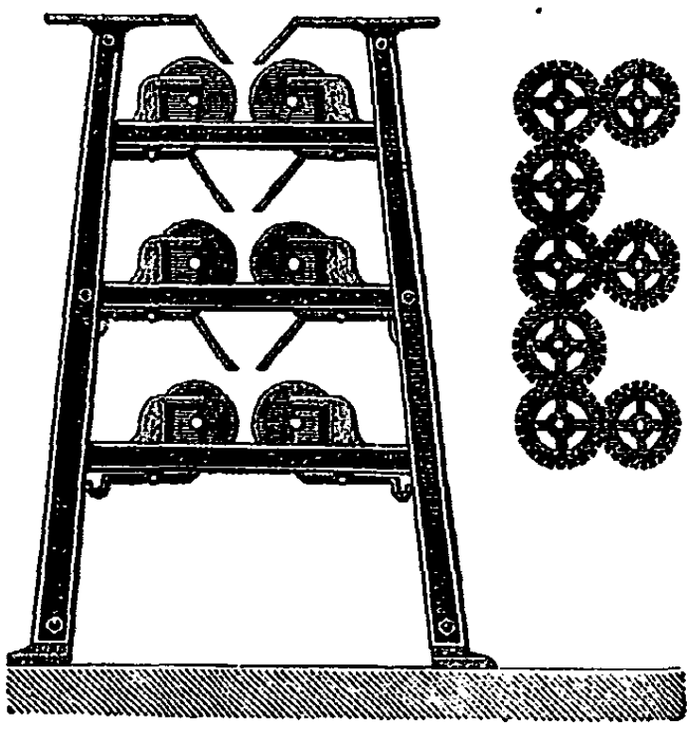


Fig. 3.

La figure 3 représente une machine munie de trois paires de cylindres, qui, dans le Staffordshire, sert à écraser la marne que l'on emploie.

Lorsque l'on soumet une terre à l'action des cylindres, pour y détruire les pierres qu'elle renferme, il est préférable qu'elle soit sèche. Si c'est pour la corroyer, il faut d'abord lui faire subir le trempage.

Le mode de corroyage le plus employé est celui obtenu au moyen de *tonneau malaxeur.*

Il existe diverses sortes de tonneaux malaxeurs (voy. MORTIER). Nous allons décrire celui qui fournit les meilleurs résultats. Il se compose essentiellement d'une boîte cylindrique A (fig. 4), en bois, tôle ou fonte, de

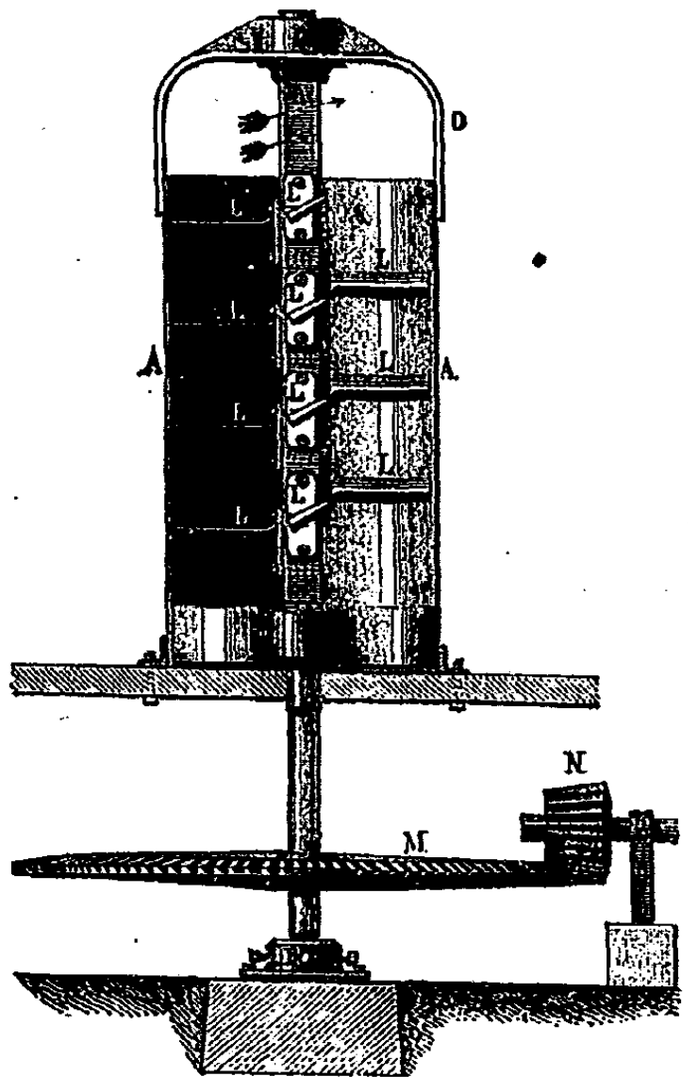


Fig. 4.

0m,50 à 0m,80 de diamètre intérieur, placée verticalement et ouverte à sa partie supérieure. Au milieu de ce tonneau tourne un gros arbre en fer B, également vertical, reposant par sa partie inférieure, et après avoir traversé le fond du tonneau, dans une crapaudine E, et maintenu à sa partie supérieure dans un collet C supporté par un arc D ou par une traverse horizontale. Cet arbre est garni, dans toute sa hauteur, de lames qui servent à diviser et triturer la matière. Ces lames qui, dans quelques appareils, sont disposées horizontalement, sont, dans la machine que nous décrivons, fixées obliquement, c'est-à-dire que, tout en étant perpendiculaires à l'axe, elles sont inclinées de façon à former dans leur ensemble une espèce de surface héliçoïdale.

La terre est apportée des fosses de trempage au moyen de brouettes ou de wagonnets, puis introduite dans le tonneau malaxeur par fractions, et alternativement avec les matières modificatrices (sable, escarbilles, etc.). Un robinet, placé au-dessus du tonneau, fournit l'eau qu'il est nécessaire d'ajouter à la pâte lorsqu'elle est trop ferme. Par suite de l'inclinaison des lames, et grâce au sens de la rotation de l'arbre qui les porte, la terre descend verticalement et est chassée vers le fond, où elle tend naturellement à sortir par une ouverture pratiquée dans les parois de la boîte cylin-

drique. Cette ouverture est généralement garnie d'un ajutage en tôle de 40 à 45 centimètres de longueur, ayant pour but d'empêcher la terre de s'arracher sur les angles en sortant du tonneau.

Afin de faciliter la sortie de la terre du tonneau, l'arbre porte-lames est muni, à sa partie inférieure, d'un couteau ayant la forme d'un S. Ce couteau affecte une autre forme dans les tonneaux où la terre, au lieu de sortir sur le côté, s'échappe par un orifice pratiqué dans le fond. Il est alors à deux ou trois branches et est disposé comme une hélice de bateau, dont l'inclinaison est la même que celle des lames, et dont le pas fait suite à celui de la surface hélicoïdale que forment ces lames. Cette disposition du couteau a pour avantage de ne pas changer la direction des filets de terre, et d'exiger une force motrice moindre que le couteau du premier système qui, par sa disposition, éprouve une résistance normale à sa surface.

Le malaxeur a besoin, pour fonctionner, d'une force variant du simple au double, en raison de la nature de la terre et du nombre de tours que fait l'arbre ; il produit par jour une quantité de terre qui, dans les mêmes circonstances, varie également du simple au double. On peut toutefois dire qu'il emploie en moyenne une force de 4 chevaux et 1/2, et qu'il fournit, en moyenne aussi, 12 mètres cubes de terre malaxée par jour.

Lorsque la terre renferme des rognons très durs ou qu'elle doit être moulée presque sèche, sous une forte pression, on emploie avec avantage de lourdes meules verticales tournant autour d'un axe horizontal, une machine analogue au moulin à écraser employé dans les huileries.

FABRICATION DES BRIQUES. *Moulage à la main.* Le nombre des ouvriers nécessaires pour former un atelier varie suivant les localités. Ainsi, dans l'Artois, une *table de briques* (langage des briquetiers) se compose de six personnes : un mouleur qui est le chef de l'atelier, deux porteurs, deux pétrisseurs, batteurs ou marcheux, et un manœuvre. Dans les environs de Paris, une brigade de briquetiers est formée par quatre ouvriers: l'un pour marcher et préparer la terre; deux mouleurs, dont l'un va de temps à autre chercher la terre préparée nécessaire, et un garçon pour démouler les briques et les ranger sur l'aire.

Tout d'abord, les ouvriers commencent par préparer avec soin le terrain de la briqueterie, c'est-à-dire qu'ils dressent le sol et nivellent sa surface, en ayant soin, lorsque cela est possible, de donner une pente assez douce, mais suffisante pour que les eaux puissent s'écouler dans une fosse que l'on pratique à cet effet. L'eau ainsi recueillie sert aux travaux de la briqueterie.

Le terrain une fois bien régalé, on le divise, au moyen d'un cordeau, en bandes de 2m,50 environ de largeur, comprenant entre elles un espace de 6 mètres destiné au travail. C'est dans ces bandes que, plus tard, on disposera les briques en haies pour le séchage. Il est bon de creuser de petites rigoles autour des bandes, et de maintenir le sol de celles-ci légèrement plus élevé que le restant du terrain. Enfin, dans un coin de la briqueterie, on établit une baraque pour emmagasiner le sable et le maintenir toujours dans un état parfait de sécheresse.

C'est le brouetteur qui ratisse avec le *pousso'r* (râteau) tout le terrain où l'on va travailler, y apporte du sable, qu'il étend partout où l'on déposera des briques, et dont il remplit la *minette* (baquet contenant le sable nécessaire au mouleur). C'est lui également qui apporte de l'eau dans le baquet à laver les moules qui, de même que la minette, doit se trouver à portée du mouleur.

Après que tous ces préparatifs sont faits, l'atelier commence le travail du moulage. Le brouetteur apporte sur sa brouette de la terre préparée en quantité suffisante pour mouler 80 ou 100 briques et la dépose à côté du mouleur, après quoi il la recouvre de paillassons pour l'empêcher de se dessécher.

Le mouleur saupoudre alors, avec du sable qu'il prend dans la minette, le coin de la table ainsi que les parois intérieures du moule; il plonge les mains dans le tas d'argile, en enlève une charge de 6 à 7 kilogrammes et la jette avec force dans le moule, de façon à la faire pénétrer exactement partout. Il rase ensuite le moule avec la main, en y comprimant la matière afin de ne laisser aucun vide, et enlève l'excédant de terre; puis, saisissant avec la main droite un instrument appelé *plane*, ayant des formes diverses mais équivalentes (fig. 5), il le passe sur le moule en appuyant fortement pour faire tomber ce qui déborde.

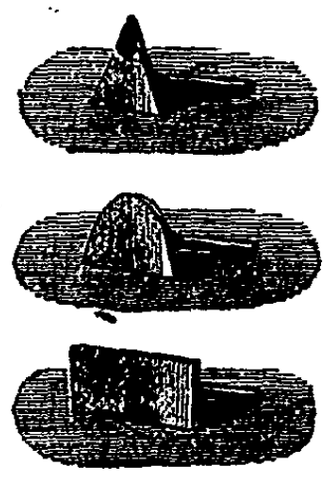


Fig. 5.

A ce moment, le porteur tire à lui le moule, le fait glisser au bord de la table et l'enlève avec les deux mains en le dressant sur le champ, afin d'empêcher que la brique tombe ou se déforme dans le trajet qu'il parcourt pour aller de la table à l'endroit où il doit la déposer. Arrivé à cet endroit, il approche le moule de terre, comme s'il voulait le poser de champ, et le renverse subitement à plat sur le sol de la baie, le long du cordeau qu'il a eu soin de tendre d'abord; puis il relève son moule vers le haut, en le faisant bien carrément pour ne pas déformer la brique, ce qui ne manquerait pas d'arriver s'il opérait obliquement. Il revient ensuite à la table avec le moule, le jette dans la minette, le saupoudre légèrement de sable et l'en frotte

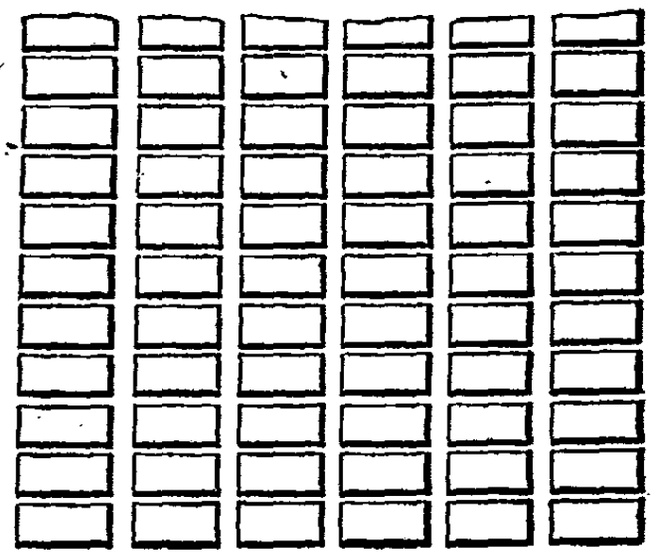


Fig. 6.

tout autour intérieurement. La fig. 6 montre comment le porteur dispose les briques sur l'aire.

Mais, tandis que le porteur a exécuté tous ces mouvements, le mouleur a eu le temps de faire une autre brique que le porteur n'a qu'à enlever, comme précédemment, pour la porter à côté de celles déjà posées le long du cordeau.

Les mêmes manœuvres se répètent pendant toute la durée du moulage.

Les moules (fig. 7) dont on se sert dans le moulage

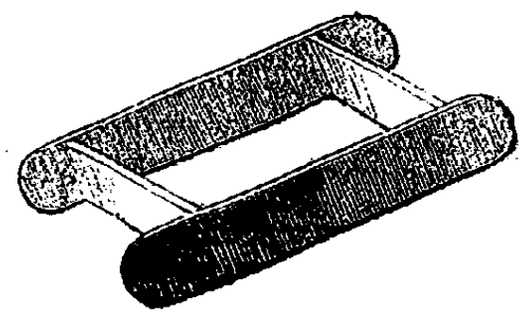


Fig. 7.

sont généralement construits en bois. Quelquefois on les double en métal pour les rendre plus solides, ou même on les établit entièrement en métal.

Dans certaines localités, les moules ont assez de longueur pour que l'on puisse y mouler deux briques à la fois. Dans ce cas, ils sont divisés en deux par une traverse.

Un bon mouleur peut, dans une journée de 12 à 13 heures, confectionner jusqu'à 10 000 briques. Il emploie pour cela 13 à 14 mètres cubes de terre préparée, pesant ensemble 16 000 à 17 000 kilogrammes.

Nous avons dit que le porteur alignait les briques à plat sur les bandes à ce destinées. Lorsque le temps est beau et que le soleil brille d'une façon régulière, il ne faut pas plus de douze heures à ces briques pour se ressuyer et acquérir une consistance suffisante pour être maniées sans se déformer. Si, au contraire, le temps est couvert et que le soleil ne se montre qu'à intervalles en dardant ses rayons avec force, comme cela arrive dans la saison des orages, la dessiccation n'a pas une marche régulière et se trouve activée : il est à craindre alors que les briques se fendent ou cassent. Pour prévenir cet accident, il est bon que le metteur en haie saupoudre les briques de sable, afin de tempérer l'action des coups de soleil un peu vifs, et de modérer l'évaporation précipitée qui en résulte. Il est même nécessaire de les recouvrir de paillassons, si l'on craint une pluie un peu forte. En un mot, le metteur en haie doit veiller à ce que la dessiccation se fasse bien régulièrement. C'est de cette régularité que dépendent en grande partie la solidité et la qualité des briques.

Lorsque les briques ont acquis une fermeté suffisante, ce dont on s'assure en regardant si, en appuyant le doigt dessus, il ne laisse aucune trace, on les *pare*, c'est-à-dire qu'on enlève avec un couteau les bavures et les saletés qui en altèrent la forme.

Pour opérer le parage, le metteur en haie se sert d'un couteau en bois. Au fur et à mesure qu'il a ébarbé une brique, il la relève sur champ sans lui faire quitter terre. Il poursuit ainsi son travail tant qu'il y a des briques à relever. Cependant, si le ciel est menaçant, il se contente de parer une centaine de briques, et il va immédiatement les ranger sur les haies. Il prend cette précaution, parce que l'expérience a démontré qu'une brique crue posée de champ, qui reçoit la pluie, se déforme plus facilement et court davantage le risque de se briser en morceaux que si elle est posée à plat.

Pour confectionner les haies, l'ouvrier transporte avec une brouette les briques ébarbées et les pose de champ les unes sur les autres, de façon qu'elles occupent le moins de place possible, tout en étant suffisamment espacées pour que l'air, en circulant entre elles, les frappe bien de tous les côtés. Les haies ne doivent pas avoir plus de 2 mètres de hauteur. On les construit plus solidement à leurs extrémités qu'au milieu, afin d'éviter qu'elles s'écroulent. En outre, lorsque l'espace le permet, on ne leur donne que quatre briques d'épaisseur. Le premier lit est formé de quatre rangées de briques dont la plus grande dimension est perpendiculaire à la ligne de front. Quant aux briques des lits supérieurs, on leur donne une direction oblique qui, pour chaque lit, est contrariée avec celle du lit immédiatement inférieur. L'arrangement se poursuit ainsi jusqu'au haut, sauf les deux ou trois dernières rangées, auxquelles on donne une disposition telle que les paillassons que l'on place, pour couvrir la haie, aient l'inclinaison d'un toit. Les briques restent ainsi en haies jusqu'au moment de la cuisson, dont nous nous occuperons plus tard.

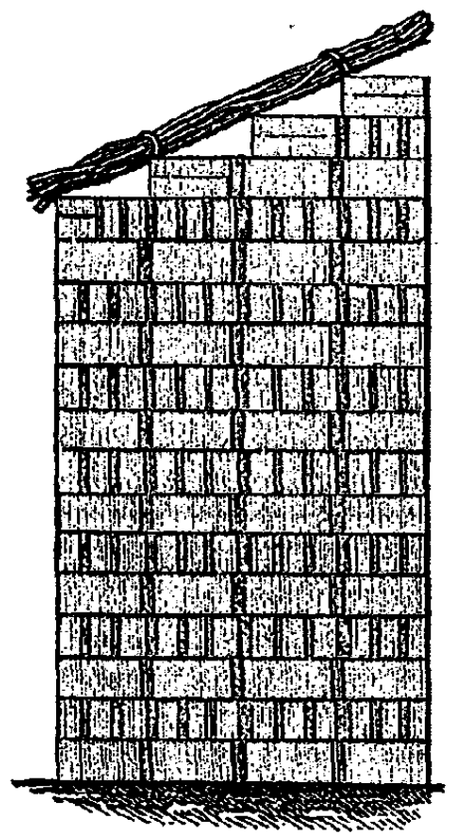


Fig. 8.

Nous représentons, dans la fig. 8, l'élévation latérale d'une haie.

Nous donnons dans la fig. 9 le modèle d'une brouette très-commode pour le transport des briques.

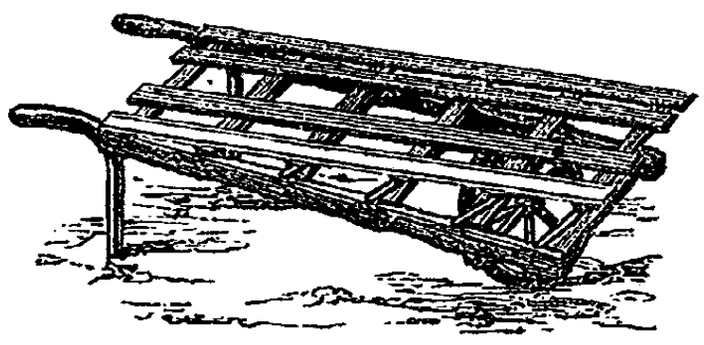


Fig. 9.

Dans les grandes fabriques on dispose de hangars couverts et ce mode de séchage offre un avantage réel. D'abord, les briques ne sont pas sujettes à recevoir des pluies plus ou moins abondantes susceptibles de les détériorer ; ensuite, si l'on a soin de bien orienter les tablettes, elles ne courent pas le risque d'être frappées par des coups de soleil alternant avec un ciel nuageux. En outre, la dessiccation s'opère avec plus de régularité et plus de lenteur, ce qui, d'après l'expérience, communique aux briques une qualité meilleure. Enfin, on peut se livrer à la fabrication bien avant le temps où commence celle en plein air, puisqu'on n'a pas à redouter la gelée blanche ni les gelées tardives du printemps.

Rebattage. Lorsque les briques doivent avoir une forme parfaitement régulière, une homogénéité parfaite

et beaucoup de densité, on doit non-seulement choisir avec soin les terres, les bien malaxer, opérer sous des hangars afin d'être à l'abri des variations atmosphériques pendant le séchage, et surtout surveiller ce dernier pour qu'il se fasse d'une façon uniforme, mais de plus, avant que les briques soient arrivées à une dessiccation complète, il faut les soumettre à une opération que l'on appelle rebattage.

Le rebattage peut s'exécuter de deux façons, soit à la main, soit avec le concours de machines spéciales.

Quand on opère le rebattage à la main, il est bon de le faire en deux fois, pour éviter que les briques ne renferment dans leur intérieur des parties plus molles et plus humides que celles de l'enveloppe extérieure. Le premier rebattage se fait quand la brique commence à prendre une certaine consistance, et le deuxième, lorsqu'elle ne reçoit plus que difficilement l'empreinte du doigt.

L'ouvrier chargé du rebattage, et qu'on appelle *frappeur*, doit être adroit et soigneux, afin d'opérer vivement et de causer le moins de déchet possible.

Pour opérer le premier rebattage, cet ouvrier pose chaque brique sur un banc de 40 à 50 centimètres de haut, qu'il saupoudre de sable et sur lequel il se met à cheval; puis avec une *batte* en bois de hêtre, bien plane (fig. 10), il la frappe sur toutes ses faces, en ayant

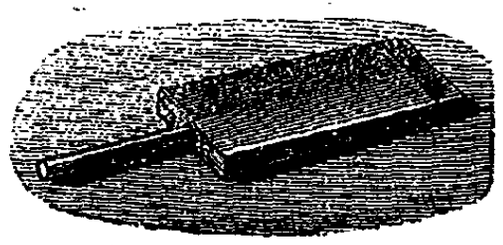


Fig. 10.

soin que chaque coup qu'il donne tombe bien d'aplomb. Il commence par frapper la brique posée de champ sur sa longueur, en la maintenant aussi perpendiculaire que possible sur le banc, d'abord d'un coup léger, puis d'un second un peu plus fort. Il retourne alors la brique sur le côté opposé et frappe de même deux coups; il la relève ensuite debout, la frappe sur l'une de ses petites faces, puis sur l'autre. Les quatre faces latérales étant ainsi rebattues, on comprend aisément que l'argile doit déborder sur les quatre arêtes de chacune des grandes faces. Le rebattage de ces faces doit s'exécuter avec plus de soin que pour les autres, de manière que les bords saillants rentrent bien sur eux-mêmes sans se déverser sur les petites faces. C'est pour arriver à ce résultat que le batteur agit avec plus de lenteur et qu'il donne au moins quatre coups de batte.

Le second rebattage s'exécute de la même manière que le premier. Seulement l'ouvrier n'a plus besoin de prendre autant de précautions, ni de saupoudrer de sable le banc sur lequel il opère, attendu que les briques étant plus sèches se déforment moins facilement et ne courent plus le risque de s'attacher au banc.

Le rebattage est une opération qui offre des avantages réels: il donne à la brique plus de densité, favorise sa dessiccation, accélère sa cuisson et contribue puissamment à lui donner une qualité supérieure.

Mais si le rebattage a ses avantages, il a aussi ses inconvénients. D'abord il occasionne une main-d'œuvre presque aussi coûteuse à elle seule que tout le reste de la fabrication, non-seulement à cause du travail en lui-même, mais encore par les déchets dont il est la source, déchets qui quelquefois peuvent devenir considérables, lorsqu'il est confié à un ouvrier inexpérimenté et manquant de soin. En second lieu, il peut altérer la forme de la brique et les rapports établis par le moule entre

les trois dimensions, en allongeant les parties qui sont restées les plus molles et en n'exerçant aucune action sur les parties déjà dures. En outre, lorsqu'une brique est inégalement sèche et présente des parties plus dures occasionnées par des courants d'air trop vifs ou trop chauds, ces parties éclatent sous la batte ou s'entr'ouvrent en formant des fissures dont l'importance s'accroît à la cuisson. On obvie à ces derniers inconvénients en saisissant le moment précis où le rebattage doit être effectué.

Dans tous les modes de fabrication où l'on vise plutôt au bon marché qu'à obtenir des produits de premier choix, on se dispense habituellement du rebattage qui, du reste, devient complétement inutile lorsque les briques sont moulées au moyen de machines, parce qu'alors on obtient immédiatement une densité suffisante.

Pour activer le rebattage et diminuer les frais dont il est la source, on a imaginé diverses machines: nous décrirons ici seulement la suivante.

Elle se compose d'un moule A (fig. 11), poli intérieu-

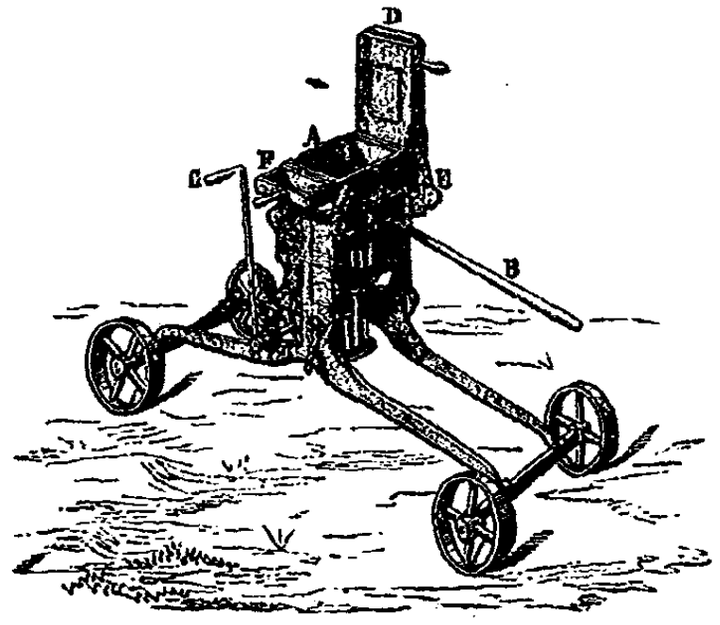


Fig. 11.

rement et fixé à la partie supérieure. Un couvercle D, mobile autour d'une charnière, muni d'une poignée et contre-balancé par un poids E, peut s'abattre sur ce moule et être maintenu solidement au moyen d'un étrier F susceptible de tourner sur des boulons. Le fond du moule glisse intérieurement de haut en bas, ou de bas en haut, et cela d'une façon très-exacte, sous l'action d'un levier B qui met en mouvement une vis, à peu près comme dans une presse d'imprimerie typographique. Un autre levier G, dit levier d'abatage, sert à faire sortir la brique du moule lorsqu'elle a été pressée, en agissant sur le fond au moyen d'un mécanisme fort simple.

Voici comment on se sert de cette machine: la brique est introduite dans le moule, puis on baisse le couvercle que l'on fixe avec l'étrier. Les choses étant dans cet état, on agit sur l'extrémité du levier B, qui exerce sur la brique une pression de 4 à 5 tonnes. On abaisse alors le levier d'abatage qui chasse la brique dont un enfant s'empare. Une fois la brique enlevée, le fond redescend de lui-même en vertu de son propre poids, tout en relevant le levier d'abatage. Il n'y a plus qu'à recommencer la même opération pour une autre brique. Un ouvrier, aidé de deux enfants, peut, avec cette machine, rebattre 2 à 3,000 briques par jour.

Moulage par machines. Quatre ouvriers, dit M. Salvetat de Sèvres, c'est-à-dire un marcheur, deux mouleurs et un petit porteur, peuvent faire en un jour sept mille briques de qualités courantes; n'en supposons que six mille, à la condition qu'elles soient bien faites.

BRIQUES.

Il est difficile que telle machine que l'on voudra, fît-elle cinq fois plus de briques dans le même temps, n'égale pas les frais qu'entraîneraient les vingt ouvriers supposés et même qu'elle ne les surpasse pas bientôt, pour produire dans le même temps une si grande quantité de briques. Ne faut-il pas, en effet, compter le prix considérable d'une machine qui fait tout, et, par conséquent, l'intérêt de ce capital, son entretien annuel, les réparations considérables qu'elle exige de temps à autre, les inconvénients qui résultent de son chômage, les ouvriers nécessaires pour la conduire, enfin le moteur puissant qui doit lui faire faire toutes ces opérations?

Ces réflexions sont parfaitement justes, mais l'impulsion générale qui, par tant de motifs inutiles à répéter ici, conduit dans toutes les directions à produire autant que possible par machines, fait croître aussi dans les briqueteries le nombre de celles-ci.

Nous classerons ces machines en partant de l'outil qui sert à former la brique et les rangerons en deux groupes.

Dans le premier groupe nous comprenons toutes les machines opérant par le moulage, c'est-à-dire les machines composées d'un ou de plusieurs moules recevant d'abord la terre d'un appareil spécial, et dans lesquels cette terre est comprimée.

Le second groupe se compose de machines opérant par laminage, c'est-à-dire des machines qui forcent d'abord la terre à prendre la forme d'un prisme continu, et qui ensuite découpent ce prisme en portions de dimension convenable.

Machine des briqueteries des environs de Paris. Elle se compose (fig. 12) d'un double moule garni de cui-

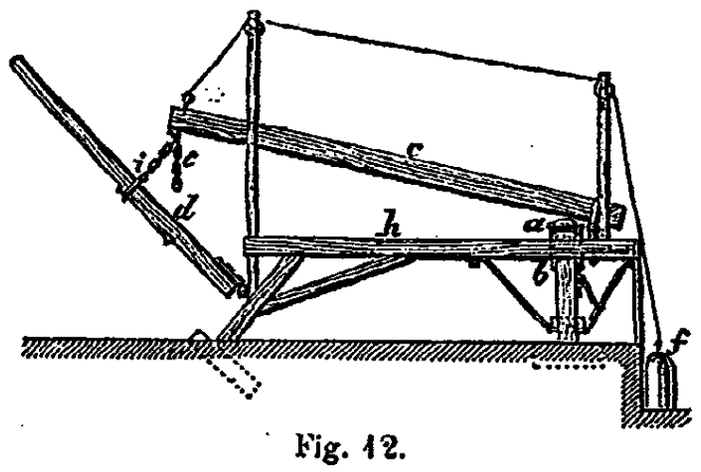


Fig. 12.

vre intérieurement, auquel une pièce *a* sert de couvercle.

Une semelle *b* forme la planche inférieure de ce moule. Un levier de moulage *c*, relié par une chaîne *e* et un collier *i* à un levier de manœuvre *d*, sert à comprimer la terre déposée dans le moule. Un contre-poids *f* a pour effet de maintenir levés les leviers, lorsqu'ils sont abandonnés à eux-mêmes. *h* est la table de moulage sur laquelle on dépose du sable.

La manœuvre de cette machine est excessivement simple.

Un aide enlève le chapeau *a*; le mouleur prend avec une pelle la quantité de terre suffisante pour remplir les deux moules et la jette dans ceux-ci. L'aide régularise au moyen d'une raclette la terre, de façon qu'elle ne dépasse pas l'orifice des moules, puis il replace le chapeau. Le mouleur agit alors sur le levier *d*, jusqu'à ce que son extrémité vienne toucher le sol; le levier *c* s'abaisse et s'appuie sur le chapeau *a*. Ceci fait, le levier *d* est abandonné à lui-même, et le tout reprend sa position première par suite de l'action du contre-poids *f*. Le manœuvre fait sortir la brique du moule, après avoir enlevé le couvercle *a*, en agissant sur une manivelle qui ne se voit pas sur la figure.

On devra régler la longueur de la chaîne de manière à obtenir une course des leviers telle que l'extrémité du levier *d* arrive à toucher le sol, quand la pression sur la terre contenue dans les moules est devenue suffisante. On devra en outre avoir soin de placer le chapeau de façon qu'il soit bien parallèle à la table, afin que les briques ne soient pas plus épaisses à un bout qu'à l'autre.

Il faut pour le service de cette machine quatre personnes: deux pour la faire fonctionner, et deux pour porter les briques. Ces quatre personnes payées ensemble 12 francs environ, dans les environs de Paris, font 3,000 briques par journée de 13 heures de travail.

Machine Carville. Pour cette machine et plusieurs autres dans lesquelles le mouvement est donné mécaniquement à des moules séparés, nous renverrons au GUIDE DU BRIQUETIER.

Machine Craven et Bradley. Nous donnerons ici cette machine parce qu'elle est assez semblable à celle qui sert à la fabrication des agglomérés sous de fortes pressions et qu'elle convient pour opérer à sec, avec des terres peu liantes.

Elle se compose en réalité de deux machines: la première est un puissant moulin à meules verticales; la seconde effectue le moulage.

Cette seconde machine est représentée figures 13 et 14; en voici la description:

La terre, amenée du moulin à meules par une chaîne à godets, tombe dans une trémie G qui, par un canal d'une forme particulière, communique avec deux tines F, F dans lesquelles tourne un arbre vertical armé de lames en spirale. Une poulie U, sur laquelle passe une courroie, reçoit le mouvement d'une machine à vapeur, et le transmet à toute la machine. Elle le communique en particulier aux arbres des tines au moyen de roues coniques que nous n'avons pas représentées dans le dessin.

Les moules, dont la capacité correspond aux dimensions des briques que l'on désire fabriquer, sont creusés dans une table en fonte A, circulaire et très-solide; ils sont disposés suivant des rayons, à égale distance du centre de la table, et également espacés. Ils sont au nombre de quatorze.

Tout autour de la table, et sur la tranche, sont établies des saillies ou cames, au nombre de quatorze: c'est-à-dire qu'il y a autant de cames que de moules. Sur ces cames *o* viennent successivement agir quatre autres cames *o'*, *o'*..., montées de la même façon sur une roue B. Cette roue B est fixée sur un arbre *v* qui, au moyen des roues d'angle *x* et *y*, reçoit un mouvement de rotation de l'arbre principal C. Grâce à ce système de cames, le plateau A peut tourner librement autour de l'arbre sur lequel il est monté, et présenter successivement tous ses moules au-dessous des tines F, F; en outre, il n'avance que de l'épaisseur d'un moule à la fois. Afin d'éviter qu'il tourne de plus d'un moule, lorsqu'une des cames *o'* appuie sur une des cames *o*, une roue à rochets *a*, montée sur l'arbre *v*, relève le bras *b* d'un encliquetage pour ne l'abandonner qu'une fois que la came *o'* a quitté la came *o*. Quand il est libre, l'encliquetage retombe et s'engage dans l'une des quatorze entailles, pratiquées à cet effet sous la table A, et venues de fonte avec elle.

Le fond des moules est formé par une plaque rectangulaire en fer, d'une assez forte épaisseur et portée par des tiges. Ces tiges sont maintenues et glissent dans des boîtes boulonnées sur la face inférieure de la table; de plus, elles se terminent par une fourchette dont chaque branche supporte l'un des tourillons d'un galet large et aciéré. Ces galets courent sur une voie circulaire en fer, et lorsque la table A tourne, les galets roulent sur des plans inclinés; de la sorte les fonds des moules peuvent monter et descendre alternativement.

BRIQUES.

L'arbre principal C porte deux excentriques D, qui impriment un mouvement rectiligne-alternatif, suivant

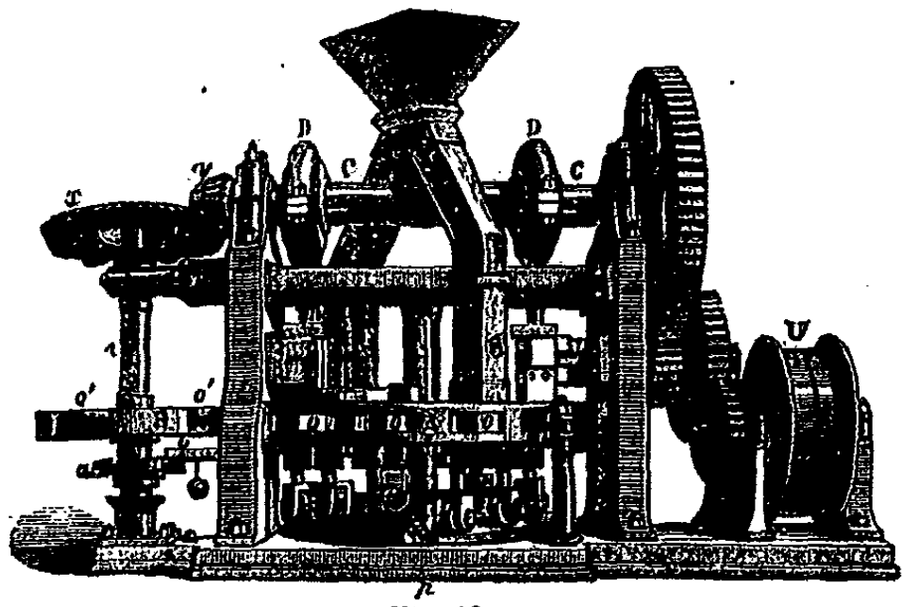


Fig. 13.

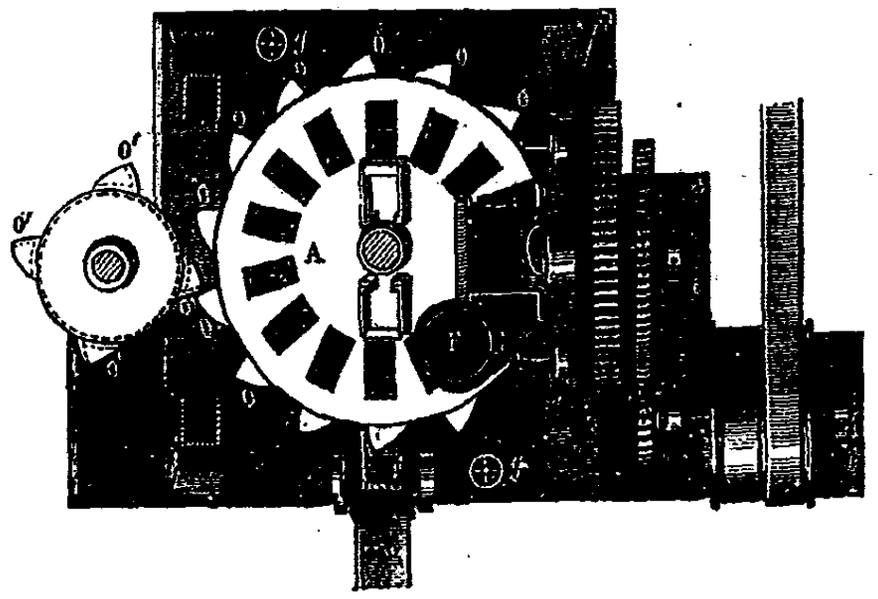


Fig. 14.

la verticale, à des tiges munies de pistons. Sur la face inférieure de ces pistons est boulonnée une pièce de fonte durcie portant deux tampons rectangulaires oblongs qui, à chaque mouvement de la table A, descendent de quelques centimètres dans les deux moules qui se présentent exactement au-dessous d'eux. Ces tampons peuvent être creux et communiquer, au moyen de tubes, avec la chaudière à vapeur.

Voici maintenant le jeu de cette machine qui, ainsi qu'on va le voir, est à double effet.

La terre, après être passée de la trémie G dans les tines F, est refoulée par le bas, à chaque mouvement de la table, dans chacun des moules placés directement au-dessous de chaque tine. A l'instant qui précède cette opération, les galets, supportant les tiges des plaques qui forment les fonds mobiles des quatre moules en question, ont atteint précisément les points les plus bas de la voie sur laquelle ils roulent ; et les moules, par cela même, ont acquis leur plus grande profondeur, et sont disposés pour recevoir la terre.

Une fois les moules remplis, la table tourne, et le premier moule vient se présenter sous le premier tampon du piston voisin, où la terre reçoit une première pression, tandis que le second moule, qui reste sous la tine, reçoit une quantité additionnelle de terre, et qu'un troisième moule est venu se présenter sous cette tine. Aussitôt le piston sorti du premier moule, la table continue son mouvement, et ce moule va se placer sous le second tampon, de façon que la masse de terre reçoive une nouvelle pression.

Il faut remarquer que la voie circulaire commence à s'élever à partir du point situé sous les tines, en sorte que les moules ont déjà diminué de capacité en arrivant sous le premier tampon, et qu'ils en ont encore diminué davantage en se présentant sous le second. Il en résulte que la pression du second tampon est beaucoup plus énergique que celle du premier ; elle suffit généralement pour chasser tout l'air et rendre la masse dure et cohérente.

La table continue à tourner, et, la voie s'élevant toujours, les plaques formant le fond des moules chassent peu à peu et complétement la brique moulée.

Une fois sortie entièrement du moule, la brique est enlevée par un ouvrier. Le plus souvent, et afin d'éviter toute négligence susceptible de provoquer des avaries dans la machine, la brique est chassée sur une courroie sans fin, qui l'emporte au moyen d'un mécanisme spécial.

Cette machine destinée à l'emploi de terre presque sèche, qu'elle moule par une pression considérable, de 40 à 50 000 kilog., est d'un maniement assez facile ; elle est, comme on le voit, à double effet ; cependant, si deux pressions sont insuffisantes, on arrête, en les embrayant, l'une des tines ainsi que l'un des pistons, et l'on fait subir à la brique

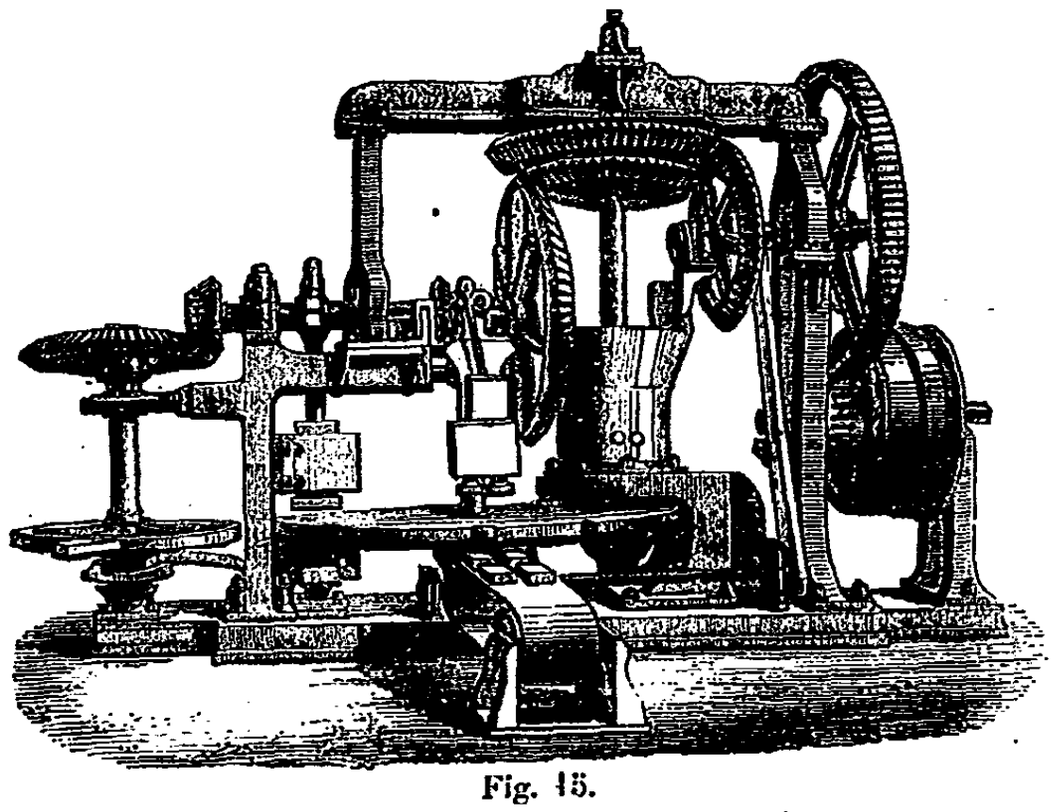


Fig. 15.

quatre pressions au lieu de deux : la machine est alors à simple effet, et les briques n'en sont que plus solides.

MM. Bradley et Craven construisent des machines à simple effet fournissant 15000 briques par jour, établies sur le même principe, et que nous représentons dans la figure 15.

Machine Clayton. La terre, après avoir été convenablement préparée, est introduite dans le malaxeur A (fig. 16), où elle est malaxée à la façon ordinaire par des couteaux implantés dans l'arbre central. Une roue *h*, calée sur cet arbre, engrène avec un pignon *g* qui est monté sur un arbre vertical C. A la partie inférieure

Au sortir de la filière, les prismes argileux Y cheminent sur des systèmes de petits rouleaux mobiles.

Dans le but d'empêcher la terre d'adhérer aux rouleaux, Clayton a imaginé de placer au-dessus d'eux un petit réservoir d'eau *w* qui, au moyen de conduits, laisse échapper un petit filet d'eau qui filtre entre leur surface et une enveloppe de moleskine qui les entoure, pour exsuder ensuite d'une façon continue sur la terre sortant de la filière. De petits robinets servent à régler l'écoulement de cette eau.

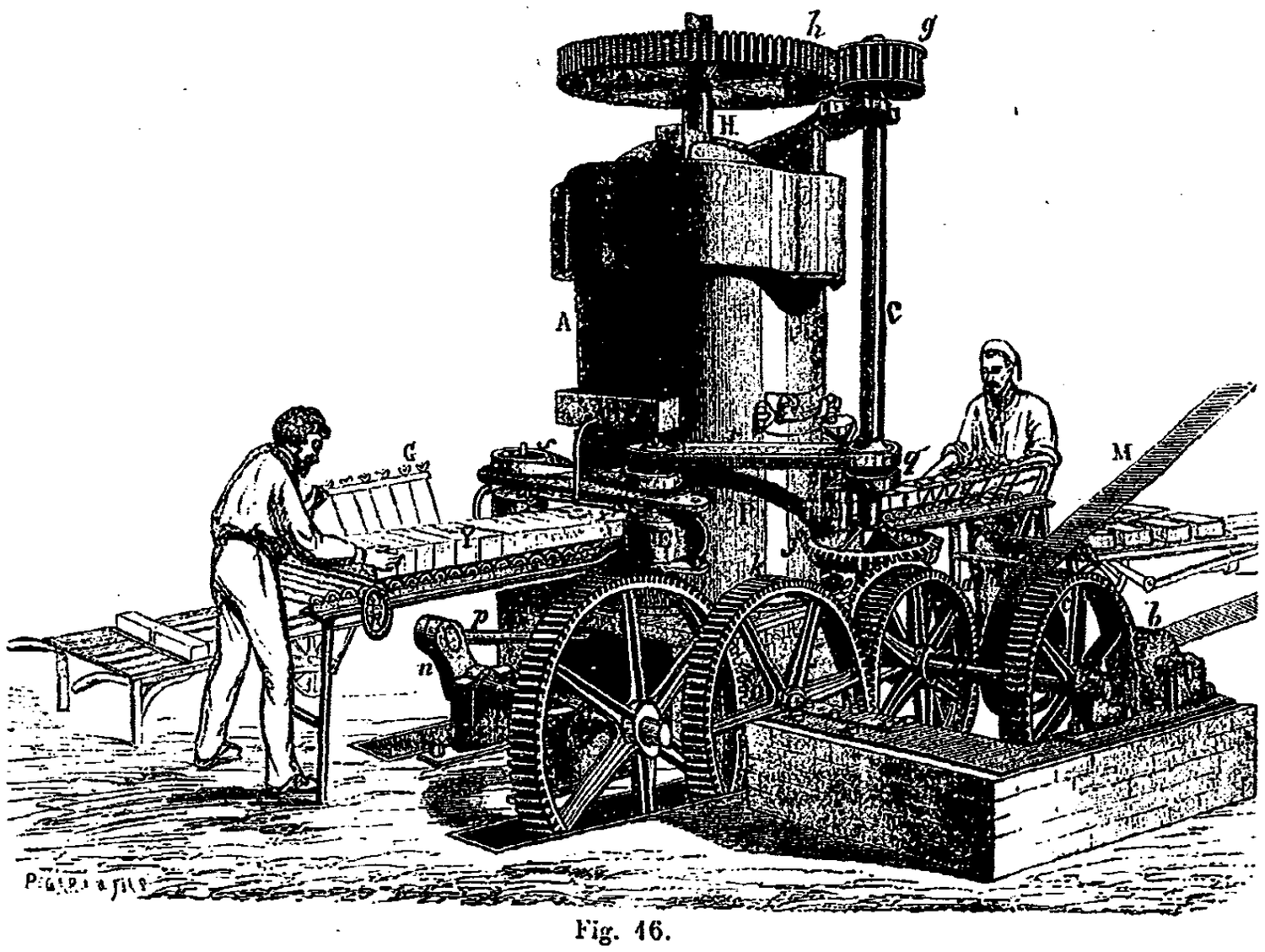


Fig. 16.

de cet arbre se trouve une roue d'angle *f* engrenant avec une autre roue d'angle *e* fixée sur un arbre horizontal B, à côté d'une roue droite *d*. L'arbre B porte, en outre, une roue *c* commandée par un pignon *b* qui est installé sur l'arbre principal. Une courroie M, venant du moteur, passe sur une poulie calée sur ce dernier arbre. C'est cette poulie qui transmet le mouvement à toute la machine.

La roue *d*, au moyen des roues et pignons *k*, *o*, *m*, met en mouvement l'arbre D, ainsi que la manivelle *n* et la bielle *p*.

Une fois dans le malaxeur, la terre est refoulée vers le bas dans une chambre P. Dans cette chambre se trouve un piston rectangulaire horizontal, mû par la bielle *p*. A l'aide de ce piston, la terre est chassée alternativement par la filière *u* et par la filière *u'*.

Afin de prévenir la déformation du prisme de terre, déformation qui, habituellement, se fait surtout sentir sur les arêtes, les filières sont pourvues, de chaque côté, d'un rouleau mobile monté sur un arbre vertical. Ce sont ces rouleaux qui constituent les limites latérales de la filière. Ils tournent sur leur axe, à mesure que la terre sort, avec une vitesse un peu supérieure à celle avec laquelle cette terre s'écoule. Une poulie *q*, fixée sur l'arbre C, transmet par les courroies *r* le mouvement aux rouleaux E', qui, à leur tour, le communiquent aux autres rouleaux par les courroies *s*.

Après que la terre est sortie en un long prisme, comme en Y, elle est découpée par l'action de fils en métal tendus sur un châssis G mobile sur charnières, s'abaissant et se relevant, l'écartement des fils étant en raison de l'épaisseur que l'on veut donner aux briques.

Nous avons dit que le piston est animé d'un mouvement alternatif, et que la terre sort tantôt par une filière et tantôt par l'autre. Il en résulte que l'on a le temps de couper le prisme Y, et de déposer les briques sur des brouettes, tandis que l'autre prisme est en train de se former de l'autre côté de la machine.

La machine Clayton convient pour des terres assez plastiques ; elle peut fabriquer 12000 briques par journée de 10 heures, et coûte 145 livres sterling, soit 3626 fr. Nous renverrons à l'article BRIQUES CREUSES, *Complément*, pour la description de la machine Borie, et à l'article AGRICULTURE pour celles des machines Ainslie, Selosser et autres propres à la fabrication des tuyaux de drainage, fabrication qu'exécute la machine Clayton après un simple changement de filières.

CUISSON DES BRIQUES. Lorsque les briques ont acquis le degré de dessiccation convenable, on procède à leur cuisson.

La cuisson est une des phases les plus importantes de la fabrication des briques ; autrefois on ne connaissait qu'une manière de cuire les briques, qui consistait à opérer en plein air. Cette manière est encore em-

ployée habituellement dans les contrées où l'on emploie la houille.

Cuisson à la volée. En Angleterre, en Belgique et dans le nord de la France, les grandes usines qui, chaque année, confectionnent plusieurs millions de briques, établissent les pieds de leurs fourneaux en maçonnerie très-solide, au moyen de briques cuites et d'argile: ces pieds servent pour tous les fourneaux.

Aussitôt que les cordeaux, déterminant les contours de massif, sont placés, les enfourneurs commencent leur travail; on leur fournit, pour le pied de four, des briques cuites et des meilleures; si l'on en employait de médiocrement cuites, le feu pourrait les faire éclater, ou bien la charge les écraser : le pied du four ne serait point solide. Ils bordent les cordeaux en arrangeant les premières briques avec soin, de façon qu'elles soient jointives et bien assises sur leur plat le long des foyers; ensuite, ils remplissent les intervalles avec un peu moins de précaution.

Toutes les briques du fourneau, depuis la première assise de ces briques cuites jusqu'au sommet, sont placées de champ, pour présenter le maximum de surface au feu, excepté celles qui se trouvent posées aux parements des foyers, aux angles des contreforts, et quelquefois aux parements du corps carré. Toutes celles de l'intérieur n'ont d'autre ordre entre elles que d'être toujours alternativement croisées à angle droit d'un lit à l'autre.

Lorsque toute la base du fourneau a déjà acquis la hauteur de trois briques de champ posées l'une sur l'autre, le cuiseur charge les foyers, dans toute leur longueur, des matières nécessaires pour allumer le fourneau. Il ne doit pas attendre plus tard, car le nouveau tas que l'enfourneur doit poser fera la retombée de la petite voûte des foyers, qui sera totalement fermée par le cinquième.

Lorsque l'enfourneur a recouvert le fourneau du sixième tas, le cuiseur y répand un premier lit de charbon, sur lequel l'enfourneur pose encore une septième et dernière assise de briques cuites, qui couronne et termine le pied du fourneau.

Le plus souvent, on ne se contente pas de sept lits de briques cuites : on en établit neuf.

Pendant l'enfournage, le cuiseur prépare, dans la carrière, quelques brouettées d'argile et en forme un mortier assez liquide. Chaque journée des enfourneurs se termine par crépir tout le parement du fourneau, en appliquant ce mortier contre les tas de la bordure qui ont été posés depuis le matin. Le cuiseur a soin de choisir pour ce mortier l'argile la plus maigre, ou d'y mêler suffisamment du sable. L'argile forte se gerce aussitôt qu'elle sent le feu; elle se détache et laisse les briques à découvert.

Le cuiseur suit l'avancement du travail et établit les couches successives de charbon qui doivent répartir et entretenir la chaleur dans toute la masse.

Il faut en moyenne quatre hectolitres de houille tout-venant par mille briques de dimensions ordinaires.

Le feu allumé, une combustion lente se produit dans tout le massif de briques, sans grand coup de feu, et avec une utilisation assez satisfaisante de la chaleur, les briques étant en contact avec le combustible.

Dans quelques localités et notamment à Rupelmonde, sur les bords de l'Escaut, la chemise d'argile dont on recouvre les parois du fourneau est remplacée en tout ou en partie par une enceinte en maçonnerie, qui forme alors un véritable four auquel on donne le nom de *klamp*.

Cuisson dans les fours. La cuisson des briques dans les fours offre, sur la cuisson à la volée, des avantages qui ont fait adopter ce mode de cuisson dans grand nombre de briqueteries. La cuisson s'y effectue d'une façon plus régulière, et les pertes ou déchets sont moins

considérables; enfin les dépenses de combustible sont moindres.

On divise les fours en deux classes:

1° Fours intermittents;

2° Fours continus.

Fours intermittents. On entend par *four intermittent* celui qui, après chaque cuisson, doit être éteint pour permettre le déchargement.

Ces fours peuvent être découverts ou couverts, simples ou multiples.

Four découvert rectangulaire au bois. Ce four se compose d'un prisme à quatre pans enveloppé souvent d'une double muraille extérieure; l'espace entre les murs est rempli d'un corps peu conducteur, destiné à concentrer la chaleur.

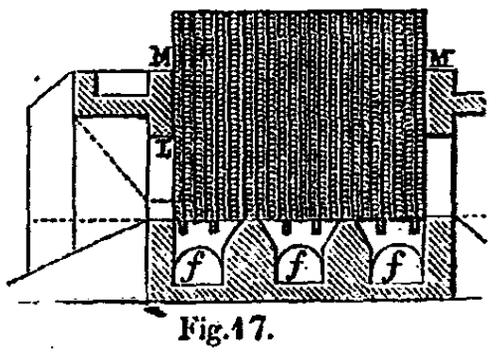


Fig. 17.

La figure 17 est une coupe longitudinale faite suivant la ligne *xy* de la figure 18, qui est le plan du

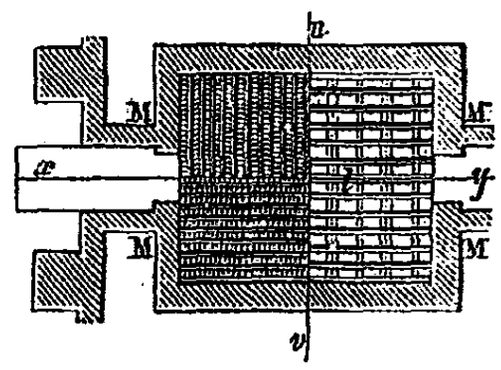


Fig. 18.

four. La figure 19 est une coupe transversale faite suivant la ligne *uv* du plan.

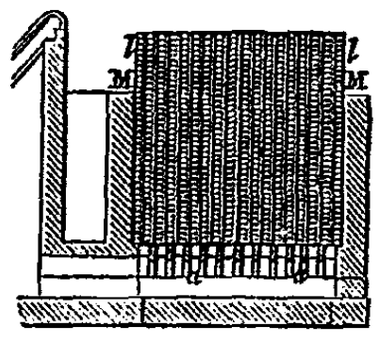


Fig. 19.

Les foyers destinés à recevoir le bois consistent en deux ou trois canaux *f*, *f*, *f* parallèles, dont les voûtes à claire-voie sont formées de neuf à douze arceaux *a* (fig. 19), laissant entre eux des espaces assez larges pour que la flamme du bois puisse aisément pénétrer dans le laboratoire.

Les briques sont introduites dans le four et placées de champ, les briques de chaque assise croisant celles de l'assise inférieure. Le tas de briques s'élève de 1 mètre environ au-dessus de l'orifice du four.

On a coutume de profiter des murs qui entourent le four pour soutenir un toit en tuile fort élevé, qui a pour but de préserver les briques de la pluie et du vent.

Comme on le voit, le four que nous venons de décrire

BRIQUES.

est des plus simples; il n'est autre chose que le klamp dont nous avons parlé à la fin du chapitre précédent, auquel on a donné des foyers fixes en place d'alandiers ménagés dans le massif même des briques à cuire.

Fours continus. Dans les fours continus, le travail, au lieu d'être intermittent comme dans les fours que nous venons de passer en revue, est continu, c'est-à-dire que le feu est toujours en activité et que les briques à cuire en subissent successivement l'action.

Les fours continus sont de deux sortes: dans les uns, le foyer chargé de combustible incandescent se déplace d'une manière continue et cuit les unes après les autres les différentes masses de briques contenues dans le four; dans les autres, au contraire, le foyer est fixe, et ce sont les charges de briques qui se présentent à tour de rôle devant le foyer.

Il est une troisième sorte de fours continus tenant à la fois des deux premières et dans laquelle le foyer est fixe ainsi que les masses à cuire; seulement ce foyer est situé au centre d'une série de chambres disposées en rond autour de lui, et il peut être mis successivement en communication avec chacune d'elles au moyen de registres.

Parmi les fours du premier système, nous citerons le four Barbier, qui a figuré à l'Exposition universelle de 1855, et qui est fondé sur l'emploi d'un foyer locomobile qui porte la chaleur successivement dans chacun des laboratoires, disposés les uns à côté des autres à une même hauteur au-dessus du sol.

Nous renverrons pour sa description au GUIDE DU BRIQUETIER comme pour celle du four si intéressant de M. Demimuid dans lequel ce sont les briques qui se déplacent.

Four circulaire de M. Hoffmann. Ce four, qui figurait à l'Exposition de 1867 et qui a obtenu un grand prix, est sans contredit le four qui, à tous les points de vue, offre les plus grands avantages. Parmi ces avantages nous ne citerons que l'économie qu'il occasionne et la bonne qualité des produits qu'il livre au commerce.

Dans ce four de forme circulaire, l'air qui alimente la combustion passe d'abord sur les produits cuits en s'emparant de leur chaleur, et il vient ajouter cette quantité de chaleur à la masse de calorique développée dans le point en ignition.

Il consiste essentiellement en une galerie annulaire (fig. 20 et 21), dont les dimensions habituelles sont 3 mètres de largeur sur 2 de hauteur, et dans laquelle on pénètre par 12 portes ménagées dans le mur extérieur. Dans l'intérieur de la galerie, et au milieu de la distance qui sépare chaque porte, se trouve une coulisse dans laquelle peut s'engager un registre que l'on introduit par une fente ménagée dans la voûte. Le nombre des coulisses étant égal à celui des portes, la galerie peut être considérée comme divisée en 12 compartiments.

Dans chaque compartiment, et auprès de la coulisse, se trouve, un peu en contre-bas, un canal ou rampant aboutissant dans une seconde galerie circulaire dite chambre à fumée et concentrique à la première. Cette chambre communique par quatre autres canaux à la cheminée qui se trouve au centre de tout le système. En outre, afin de pouvoir interrompre la communication entre cette chambre et chacun des compartiments, MM. Hoffmann et Light ont disposé dans cette chambre 12 cloches qui, se manœuvrant du dehors, peuvent obstruer tel ou tel rampant.

Voyons maintenant comment fonctionne ce four.

Nous supposons le registre placé à un endroit quelconque: d'un côté de ce registre, la cloche qui recouvre le conduit de fumée le plus voisin est levée, toutes les autres étant baissées; de l'autre côté les deux portes extérieures les plus rapprochées sont ouvertes, toutes les autres étant fermées; le feu est en activité dans le compartiment opposé au registre; les briques cuites sont situées entre ce compartiment et les portes ouvertes, et les briques à cuire se trouvent entre ce même compartiment et le registre.

L'air appelé par la cheminée entre dans le four par

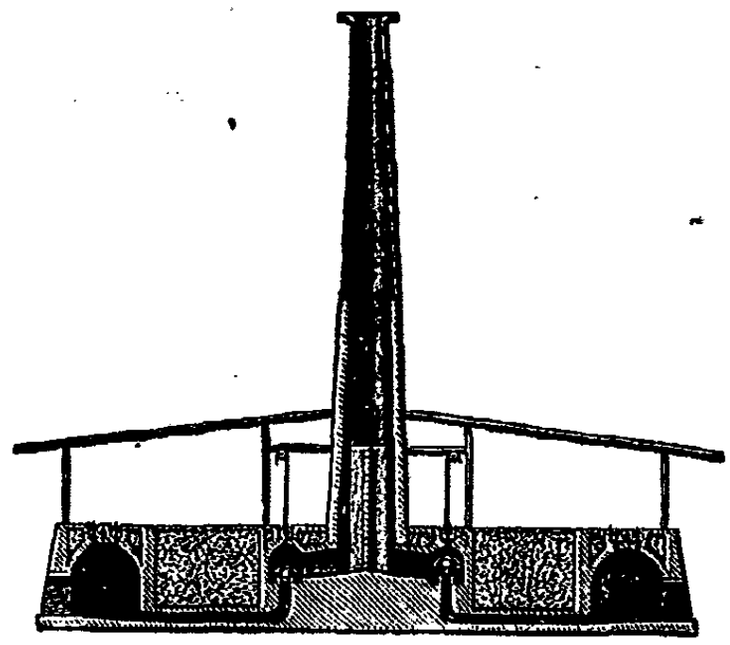


Fig. 20.

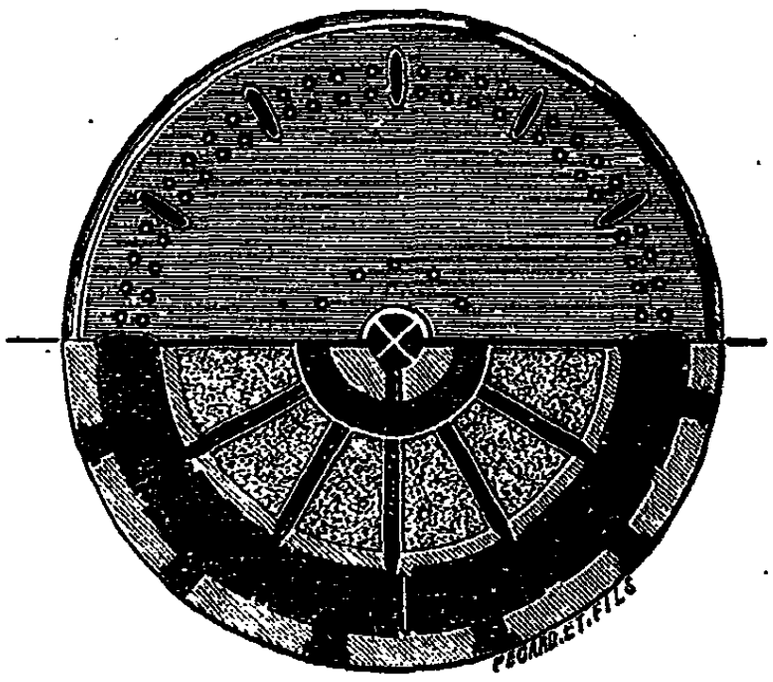


Fig. 21.

les deux portes ouvertes, circule à travers les briques cuites en s'emparant de leur chaleur, arrive au lieu de combustion à une température élevée, active cette combustion, entraîne les gaz qu'elle produit, passe avec ces gaz entre les briques crues qu'ils échauffent *graduellement*, et s'échappe avec ces mêmes gaz dans la cheminée par le rampant ouvert.

Il résulte de ce mécanisme de circulation de l'air et des gaz que les briques cuites, c'est-à-dire celles comprises entre les portes ouvertes et le lieu de la combustion, se refroidissent insensiblement et d'une façon continue, tandis qu'au contraire les briques crues qui sont situées entre le point en ignition et le registre s'échauffent progressivement jusqu'à atteindre la température de cuisson.

Lorsque les briques placées dans le compartiment soumis à l'action directe du feu sont complétement cuites, on fait avancer le feu dans le compartiment voisin; on enlève le registre d'où il était pour le placer dans la rainure suivante. On ajoute ainsi un compartiment nouveau à la série, celui que l'on a chargé de briques à cuire pendant le temps que le feu agissait avant d'être déplacé; on ferme la porte extérieure de ce

BRIQUES.

compartiment et l'on ouvre son conduit de fumée après avoir fermé celui du compartiment qui formait auparavant la fin de la série; enfin on ouvre la porte extérieure du compartiment qui formait le commencement de la série et qui est assez refroidi pour qu'on en puisse enlever les briques. Quant aux ouvertures servant à l'introduction du registre, on les ferme parfaitement avec un couvercle (fig. 22) qu'on lute avec de la terre grasse.

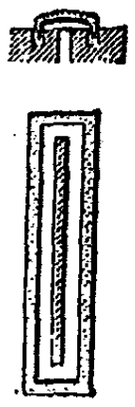


Fig. 22.

On voit, par ce que nous venons de dire, qu'il y a toujours deux compartiments dont les portes sont ouvertes. Dans l'un, celui qui est à côté du registre, on opère le chargement; dans l'autre, on effectue le déchargement.

Fig. 23.

Le combustible se charge dans le four par des trous circulaires ménagés dans la voûte du four, très-rapprochés les uns des autres, et susceptibles d'être fermés hermétiquement au moyen de couvercles (fig. 23) munis d'un verre qui permet de contrôler le feu dans tous les points du canal.

Dans le four, les briques doivent être disposées de façon à ménager trois petites galeries de 0m,35 de hauteur sur 0m,25 de largeur; elles sont ensuite empilées comme dans les fours ordinaires; seulement, sous chaque ouverture de chargement, on pratique dans la masse des briques une cheminée verticale dans laquelle on dispose quelques briques en croix, à deux ou trois hauteurs différentes, de façon à empêcher le charbon de tomber jusqu'au fond de la cheminée et de s'y accumuler au point d'intercepter l'arrivée de l'air.

Sur les trous par lesquels on doit charger, on place des trémies remplies de combustible, dont celui-ci s'échappe pour tomber sur les briques déjà chauffées au rouge par le passage des gaz chauds. Les charges se font par petites quantités, deux ou trois kilogrammes à la fois, et à intervalles très-rapprochés. Si une cheminée se bouche, ce qui arrive quelquefois, on cesse le chargement, la chaleur des cheminées voisines est suffisante, et cet accident est sans inconvénient.

L'avancement du feu se fait graduellement par le contact des gaz chauds et on ne charge le combustible qu'au milieu des briques déjà rouges. La marche peut être accélérée ou retardée, voire même temporairement arrêtée sans qu'il en résulte de dommages.

Le registre qui peut être en tôle mince, puisqu'il est placé dans la partie la plus froide du canal, se manœuvre au moyen d'un léger échafaudage qui se trouve sur le four et qui peut se transporter d'un endroit à l'autre.

Les fours Hoffmann présentent ce grand avantage de pouvoir utiliser les combustibles menus et de qualité inférieure qui, dans d'autres fours, ne pourraient être employés. En outre, il n'y a pas lieu de craindre l'accumulation des cendres dans les cheminées: elles sont toujours éparpillées par le fort courant d'air qui circule à travers la masse.

Quand, dans un four de 12 compartiments, le travail s'effectue d'une façon régulière, on doit avancer d'un compartiment toutes les vingt-quatre heures: d'où il résulte que les briques restent douze jours dans le four.

Les dimensions des fours de M. Hoffmann sont très-variables. Ainsi, il est des fours qui n'ont que huit compartiments, tandis qu'il en est qui en ont douze. En outre, il existe des fours qui n'ont qu'une capacité de huit à neuf mètres cubes par compartiment, quand on en trouve qui, tels que ceux de M. Drasché de Vienne, ont quatre-vingts mètres cubes par compartiment. Les plus grands sont les plus avantageux. La raison en est bien simple; car pour un grand four le volume de la maçonnerie est proportionnellement moindre, et le nombre des chauffeurs est le même que pour un petit. Dans tous les cas, la section du canal annulaire est dépendante des dimensions du four, mais elle ne dépasse jamais trois mètres.

Nous avons dit que la cheminée est située au centre du four; mais elle peut être construite en dehors: dans ce cas, on la relie par un canal à la chambre où aboutissent les rampants de tirage.

La forme du four est indifférente: elle peut être circulaire ou elliptique. Cette dernière forme est quelquefois préférable, lorsqu'on ne dispose pas d'un grand emplacement.

Dans le tableau suivant, nous donnons en volume la quantité approximative de matériaux nécessaires pour la construction d'un four, cheminée comprise, et cela en raison du nombre de briques qui peuvent être cuites en une journée.

Nombre de briques cuites par jour dans le four.	6000	10000	20000
Maçonnerie.....	400mc	500	700
Sable.....	125mc	170	230
Fer et fonte.....	3000kil	3700	5000

On peut, d'après les chiffres donnés dans ce tableau, évaluer approximativement les dépenses nécessaires pour la construction d'un four. A Paris, le prix de façon, pour un mètre cube de maçonnerie, briques et moellons ensemble, varie de 10 à 12 francs.

La quantité de combustible consommé varie nécessairement avec la qualité de celui-ci et la plus ou moins grande facilité avec laquelle les terres cuisent. Dans un four construit en Allemagne pendant l'année 1862 et travaillant régulièrement, on a brûlé, depuis la fin de mars jusqu'en novembre, 40 quintaux métriques de houille de bonne qualité par 27,000 à 28,000 briques de grand format. Dans un autre four fonctionnant à la briqueterie des buttes Chaumont (Paris), on ne dépense pas plus de 100 kilog. de houille par 1,000 briques.

Caractères d'une bonne brique. Le caractère principal des briques bien cuites, et celui auquel on les reconnaît, est le son clair qu'elles rendent lorsqu'on les frappe. Lorsqu'au contraire elles rendent un son fêlé, elles ne sont pas suffisamment cuites, et sont alors ordinairement gélives, c'est-à-dire qu'elles ne résistent pas à la gelée, qui les fait fendiller et tomber par morceaux.

Briques légères. Ces briques, qui surnagent sur l'eau, étaient connues des anciens, car Pline rapporte qu'on en fabriquait de pareilles à Colento, en Espagne, et à Pitane, en Étolie. Le procédé s'en perdit pendant l'invasion des Barbares, et ne fut retrouvé que plus tard, par Fabbroni, qui découvrit aux environs de Castel del Piano, près Sienne, une sorte de magnésite très-légère, poreuse et réfractaire, composée de: silice, 55; magnésie, 15; eau, 14; alumine, 12; chaux, 3, et oxyde de fer, 1, qui, mélangée avec 1/20 d'argile, donne des briques plus légères que l'eau, et qui, avec des dimensions de 0m,19 de long, 0m,12 de large et 0m,05 d'épaisseur, ne pèsent chacune que 0k,45, tandis qu'une brique commune des mêmes dimensions pèse 2k,70. On peut aussi employer, à cet effet, beaucoup de tufs siliceux qui, mêlés avec 1/25 d'argile grasse, donnent les mêmes résultats. Les briques légères, ainsi obtenues, offrent plus de résistance sous le même poids que les briques communes, et s'approprient par suite à la construction des cloisons et des voûtes; elles sont beaucoup moins conductrices de la chaleur que les briques communes; ainsi

on peut porter au rouge vif l'extrémité de l'une de ces briques, sans que l'autre bout s'échauffe d'une manière notable.

BRIQUET, nom donné à tout appareil destiné à produire du feu. Outre le *briquet ordinaire*, qui se compose d'une pierre à fusil et d'un morceau d'acier qui sert à battre la pierre et à en faire jaillir des étincelles, que l'on reçoit sur un morceau d'amadou, nous mentionnerons les suivants :

Le *briquet pneumatique*, servant plutôt comme appareil de physique, pour démontrer la production de la chaleur par la compression de l'air, que comme briquet. Il consiste en un tube de verre cylindrique très-fort, garni d'une armature en cuivre à son extrémité inférieure qui est fermée ; il s'y meut à frottement un piston plein, muni d'une tige servant à le manœuvrer et portant en dessous une cavité où l'on peut fixer un morceau d'amadou. Lorsque l'on comprime brusquement l'air renfermé dans le cylindre en verre à l'aide du piston, de manière à le réduire à une très-petite partie de son volume primitif, il se dégage une quantité de chaleur suffisante pour enflammer l'amadou.

Le *briquet à gaz hydrogène*. Ce briquet, très-ingénieux, est formé d'un réservoir à gaz hydrogène, formé à sa partie supérieure, qui plonge, par sa partie inférieure, dans un bocal renfermant de l'acide sulfurique étendu, dont le niveau s'élève plus ou moins dans le réservoir, selon que ce dernier renferme moins ou plus de gaz. A une certaine hauteur est suspendu, par un fil de cuivre ou de laiton, un morceau de zinc, qui, lorsque l'acide monte dans le réservoir, se trouve y plonger, et donne lieu à un dégagement gazeux qui répare les pertes du réservoir et augmente le volume et la tension du gaz qu'il renferme, de manière à ramener le bain d'acide au-dessous de son niveau, et alors tout dégagement gazeux cesse. On voit donc que, par ce moyen, le réservoir est toujours rempli de gaz hydrogène, qui se renouvelle au besoin par le jeu même de l'appareil. A la partie supérieure du réservoir est un tube effilé muni d'un robinet, qui permet de donner issue à volonté au gaz. Si maintenant on dispose, en avant du jet d'hydrogène, du platine en éponge, sur lequel il arrive, le platine s'échauffe rapidement, rougit, puis enflamme le jet de gaz. On explique ce phénomène par une condensation considérable d'oxygène venant de l'air atmosphérique et d'hydrogène (700 fois environ son volume), qui s'opère à la surface du métal et qui favorise leur combinaison respective, par suite de laquelle il se dégage une quantité de chaleur suffisante pour faire rougir le platine et enflammer le jet d'hydrogène.

Le *briquet phosphorique*, dont l'usage était autrefois très-répandu, se fabrique de plusieurs manières. Le plus ordinairement, on fait liquéfier, à une chaleur très-douce, un peu de phosphore dans un petit flacon de métal long et étroit ; lorsque le phosphore est en fusion, on plonge dans le flacon une petite tige de fer rougie au feu ; le phosphore s'enflamme ; on agite pendant quelques instants, et lorsque la couleur est devenue bien rouge, on retire la tige et l'on bouche le flacon, puis on laisse refroidir. Il ne reste plus qu'à fixer le flacon dans un étui de fer-blanc, disposé de manière à pouvoir contenir en même temps quelques allumettes ordinaires et bien soufrées. Pour faire usage de ce briquet, on introduit une allumette dans le flacon, on lui imprime un mouvement de torsion en appuyant sur le phosphore, dont on détache ainsi quelques parcelles, et on la retire ; l'inflammation a lieu aussitôt et se communique au soufre.

Souvent on projette, dans le flacon renfermant du phosphore que l'on vient d'enflammer, une certaine quantité de magnésie calcinée, qu'on agite ensuite à l'aide d'une tige de fer ; on cesse d'agiter quand la masse est devenue pulvérulente, on bouche et on laisse refroidir. On rend ainsi la division du phosphore beaucoup plus grande, ce qui augmente considérablement son inflammabilité.

Quelquefois on introduit, dans un tube en plomb ou en cristal, fermé par un bout, un bâton de phosphore que l'on y tasse, soit par compression, soit, ce qui est préférable, en le fondant sous l'eau. Les briquets ainsi préparés durent plus longtemps que les autres, parce que le phosphore n'est pas divisé ; mais aussi ils sont moins inflammables. Pour s'en servir, on frotte la surface du phosphore assez fortement, pour que l'allumette en détache quelques portions qui se fixent au soufre ; pour en déterminer l'inflammation, il faut frotter l'extrémité de l'allumette phosphorée sur un corps un peu rugueux, tel que le liége, le feutre, etc. ; le faible dégagement de chaleur qui se produit alors suffit pour faire prendre feu au phosphore et le communiquer au soufre.

BRIQUETTES. Pour utiliser le menu du charbon de terre, on le mélange avec une bouillie claire d'argile grasse ou *terre glaise*, de manière à former une pâte très-épaisse et qui ait assez de consistance pour pouvoir se mouler en briquettes, que l'on fait sécher à l'air.

En façonnant une pareille pâte d'escarbilles, de coke, en forme de bûches, on obtient les *bûches économiques*, employées quelquefois pour former la partie postérieure des feux de cheminées au bois.

L'emploi du GOUDRON au lieu d'argile a permis d'améliorer beaucoup cette fabrication.

BRODERIE. Les peuples de l'antiquité savaient broder les étoffes, et varier les couleurs, soit au moyen de l'aiguille, soit en ajoutant sur un fond uni des fils de différentes teintes, de l'or, des pierreries, soit en faisant entrer ces fils teints dans le tissu des étoffes, lorsqu'on les ourdissait.

Il suffit, pour s'en convaincre, de lire quelques chapitres de la Bible, dans lesquels Moïse parle du modèle du tabernacle et du voile fait de fin lin retors, de pourpre, d'écarlate, de cramoisi, d'*ouvrages de broderie* recouverts d'or et de pierreries (*Exode*, chap. 26, v. 1, 31 ; chap. 39, v. 2, 3, 5, 8, etc.).

Du reste, ce n'est pas seulement chez les Hébreux que l'art de travailler en broderie était en usage. Cette invention était généralement connue de plusieurs autres peuples de l'Asie. Homère, décrivant l'occupation d'Hélène à Troie, dit que cette princesse brodait un long voile de pourpre, et traçait les nombreux combats que supportaient pour elle les valeureux Grecs (*Iliade*, livre III, v. 125). Il cite encore Andromaque qui, retirée dans son riche palais, s'occupait à former un tissu, ample vêtement de pourpre sur lequel sa main *brodait* (*Iliade*, livre XXII, v. 340).

Homère parle de la ceinture d'or de Calypso (*Odyssée*, livre V, v. 232) et de celle de Circé (*Odyssée*, livre X, v. 543) ; mais nous ferons remarquer, à cette occasion, qu'aucun auteur n'a indiqué l'emploi des fils d'argent pour la broderie. Pline lui-même, qui indique longuement l'emploi qu'on faisait de l'or dans les habillements (livre XXIII, sect. 19), et de l'argent pour divers ornements, ne dit pas un mot des *fils d'argent coupés*.

Dans ces temps reculés, le travail de la broderie l'emportait sur la peinture proprement dite par la vérité de l'imitation. Ce qui le prouve, c'est le témoignage d'Ovide, dans sa fable de Minerve et d'Arachné. Tout leur talent, dit-il, consistait à donner les jours et les clairs avec la laine. Du reste, notre opinion est encore appuyée par le témoignage de plusieurs auteurs modernes qui considèrent comme peinture toute espèce de procédé qui consiste à assembler en nuances des couleurs. On lit, dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, une dissertation fort intéressante sur les diverses espèces

de peinture, parmi lesquelles l'auteur cite : la broderie ou tapisserie travaillée à l'aiguille ou au métier, et celle qui se fait sur des étoffes de soie blanche, et sur des toiles de coton en y employant des teintures qui pénétraient les étoffes.

Quant à la pratique de la tapisserie tissée à la navette, il est certain qu'on la travaillait primitivement debout, sur le métier monté perpendiculairement. Homère (Odyssée, livre I, v. 34) et Virgile (Géorgiques, livre I, v. 294) déposent de cet ancien usage, les fils de laine étaient tendus de haut en bas perpendiculairement, comme ils le sont aujourd'hui dans la *haute lisse* (voyez TAPISSERIE), avec cette différence cependant que les lisses n'étaient point arrêtées par le bas sur un cylindre. Sénèque nous apprend qu'on les assujettissait par le moyen d'une pièce de bois à laquelle on attachait des poids très pesants (Epic., 90).

Les Egyptiens furent les premiers, selon Pline, qui changèrent l'ancienne méthode qui était incommode et qui introduisirent l'usage de travailler assis, comme le font aujourd'hui les artistes-ouvriers des manufactures royales des Gobelins, de Beauvais et d'Aubusson, etc., et depuis longtemps nos tisserands et nos drapiers.

De nos jours, M. Jubinal a publié un livre intitulé Recherches sur l'origine et l'usage des tapisseries, et il cite plusieurs passages de la Bible, qui prouvent l'antique usage des étoffes richement brodées à la main et offrant des figures diverses. L'usage, ajoute-t-il, de ce genre de travail était en effet plus ancien que celui des étoffes tissées au métier, et les premières tapisseries consistèrent certainement en broderies à l'aiguille tracées sur le canevas.

Mais nous croyons devoir faire remarquer ici que le canevas lui-même n'a pu être façonné qu'à l'aide de l'aiguille ou de la navette, et avec des fils tendus sur un métier à l'instar des tapisseries des Gobelins ; dès lors le canevas n'était à proprement parler qu'une *broderie, ou étoffe tissée, tissure en broderie*, dénomination générique par laquelle les auteurs de l'antiquité désignaient indifféremment toutes les étoffes façonnées sur un métier, soit à l'aiguille, soit avec un fuseau servant de navette.

M. Jubinal rapporte aussi, d'après Pline (Histoire naturelle, livre XIII, ch. 48), que, lorsque les habits étaient usés, les anciens s'en servaient comme de trame pour couvrir l'étoffe de broderie, ce qui donnait au tissu une nouvelle durée. A cet effet les tissus étaient découpés suivant les contours d'un dessin, puis appliqués, couchés et cousus sur un fond uni d'une couleur différente, fréquemment sur les bords d'une étoffe, d'un vêtement ; et c'est à cause de cette pratique qu'Ovide et Horace appellent les robes que les matrones de Rome portaient comme ornement : robes brodées ou bordées d'une frange de pourpre (Ovide, Ars amat., livre I, 32; livre II, 600. Horace, Satir., 1, 2, 3).

Chez les Romains, une simple bordure ou broderie en couleur, placée sur le vêtement, exprimait la dignité, le sexe, l'âge et le deuil; et cette pratique existe même aujourd'hui dans certaines localités du pays de Bade, où les femmes de la campagne se distinguent par des vêtements bordés ou brodés avec des couleurs différentes, suivant le culte religieux qu'elles professent.

Des diverses sortes de broderie. La première classe de broderie comprend la broderie blanche, ainsi appelée parce qu'on l'exécute sur toute espèce d'étoffe blanche avec du coton blanc, plat, mouliné ou retors, du cordonnet, de la ganse, etc. Ce genre de broderie comprend :

1° La *broderie de feston*, qui consiste ordinairement à broder et à découper la bordure de l'étoffe sans qu'elle s'effile, en suivant les contours d'un dessin à dents, tracé nécessairement soit sur un papier, soit sur l'étoffe elle-même. On emploie aussi les broderies de feston dans le corps de l'étoffe elle-même sans la découper. Ce dessin prend alors des formes et des noms différents : feston droit, uni, ondé, à crête de coq, à feuilles, bourré, plein, d'application, à picot, à imitation de dentelles, à jour et à découpage, etc. ;

2° *Broderie en reprise*, sur étoffes claires, dont les contours et les nervures du dessin sont faits *à points de reprise*, et les milieux ou pleins sont ensuite remplis de ces mêmes points ;

3° *Broderie au plumetis*, sur tissus souples et serrés, mousseline, laine, jaconas, madapolam, batiste, etc., que l'on produit par un point horizontal embrassant autant d'étoffe en dessus qu'en dessous ;

4° *Broderie de dentelle*, sur tulle, fausse blonde, gaze, et autres étoffes façonnées à l'aide du métier à la JACQUART, qui se font en imitation des dentelles et des blondes, par des points à fils tirés dans l'étoffe, soit avec des applications diverses.

La deuxième classe comprend *la broderie de couleur*, qui se divise elle-même en plusieurs genres, savoir :

1° La *broderie appliquée*, dont les figures sont relevées et arrondies par le coton ou le vélin, que l'on met dessous pour les soutenir, et que l'on colle ou que l'on coud ;

2° La *broderie en couchure ou au lancé*, celle dont la ganse, le lacet, ou la passementerie, sont couchés sur le dessin, et cousus avec de la soie de même couleur par des points piqués, coulés ou de surjet.

3° *La broderie d'application*, lorsque le drap, le velours ou tout autre tissu a été découpé suivant la forme du dessin ; puis couché, collé ou cousu sur l'étoffe avec du fil ou de la soie ;

4° *La broderie au passé*, qui s'exécute comme la broderie au plumetis et paraît uniforme des deux côtés de l'étoffe ; cette broderie est appelée plate, lorsque les figures sont plates et mises sans couchures, paillettes, ou autres ornements ;

5° *La broderie au passé épargné*, celle qui présente une surface plate et irrégulière à l'envers ;

6° *La broderie en guipure*, qui est un mélange de broderie appliquée en couchure, et d'application, et qui se fait en or, argent, clinquant et bouillons d'or ou d'argent de plusieurs façons ; on y ajoute aussi de la nacre, des plumes, des perles, des pierreries, etc.

Le plus ordinairement, les diverses broderies prennent les noms des matières qu'on emploie : broderie en laine, en soie, lacet, cordonnet, peluche, chenille, plumes, gaufrures, cheveux, crins, paillettes et lamés d'or, d'argent et d'ivoire, baleine, cannetille, perles, paille, nacre, pierreries, découpures et applications de draps ou de velours, etc.

On dit *broderies par méplats ou à teintes plates*, lorsque les fils ou d'autres matières colorées sont employés par juxtà-position seulement ; *broderies nuancées*, lorsque la brodeuse cherche complétement à représenter la nature en suivant le modèle ou l'objet naturel lui-même, afin d'en imiter toutes les nuances.

On dit aussi : *broderie au crochet, au métier, au tambour*, du nom des outils et ustensiles qui servent à cette fabrication. On peut comprendre dans le nombre des broderies celles qui consistent à former des fleurs sur toutes sortes de tissus avec des rubans dits faveurs, ou des gazes diversement colorées. Voilà, du reste, la manière de procéder : Après avoir arrêté le ruban sur le tissu par un point, on replace l'aiguille beaucoup plus loin, ce qui fait froncer l'étoffe qui se trouve ainsi arrêtée en formant un bouillon ; et on recommence jusqu'à parfaite confection de la fleur.

Points de broderie. Les points de broderie sont au nombre de deux :

1° Celui dit *de passé*, qui embrasse l'étoffe, soit en hauteur, soit en largeur, autant en dessus qu'en dessous, et qui n'a pour toute variation que des

BRODERIE.

nœuds dits *points d'armes*, qui font les étamines, et remplissent quelques fleurs.

2° Celui *de chaînette* qui se fait à l'aiguille ou avec un crochet, en tirant en dessus le fil ou cordonnet à broder, de sorte qu'il forme une longue boucle; puis en renfonçant le crochet ou l'aiguille au milieu de cette boucle, on ramène ensuite une nouvelle boucle.

Du reste, il suffit de voir faire ces deux points une ou deux fois, pour pouvoir les exécuter sans maître.

On distingue encore *la broderie sur canevas* qui comprend la broderie à velours en relief, et les différents points pour marquer le linge et pour faire de petits ouvrages en perles de verre.

La broderie sur canevas est appelée plus communément *broderie en tapisserie*, ou seulement *tapisserie de points*, à cause des points dont elle est formée, lesquels combinés et arrangés diversement représentent les figures que l'on veut, et prennent aussi différentes dénominations suivant les pays d'où ils viennent, où ils se font : *Points de Berlin, de France, de Hongrie, d'Angleterre;* et à la manière dont ils sont faits sur le canevas : *Points de croix de chevalier; petit point, gros point, point des Gobelins*, que nous avons ainsi nommé parce que la tapisserie faite avec ce point imite très bien la texture de la tapisserie, tissée à l'instar des Gobelins.

Broderie en tapisserie. Les éléments de la tapisserie sont au nombre de cinq, savoir :

1° Le dessin que la brodeuse veut imiter;

2° Les fils de laine ou de soie teints diversement et convenablement assortis;

3° Le canevas plus ou moins régulier, dont les fils enlacés carrément reçoivent et dirigent le point;

4° Le métier sur lequel on tend convenablement le canevas;

5° L'aiguille à large tête et à pointe émoussée qui sert à passer librement les fils colorés à travers les carreaux ou mailles des canevas.

C'est avec les fils colorés qu'on reproduit un objet quelconque sur le canevas, et l'art consiste à le reproduire sans peine, dans un état de perfection désirable : or, il faut que l'artiste brodeuse ait sans cesse sous les yeux un dessin de l'objet ou l'objet naturel lui-même qu'elle veut imiter.

Les dessins sont de plusieurs espèces composés par des dessinateurs spéciaux.

Les uns sont gravés, imprimés et coloriés sur un *papier canevas*, de manière que les traits et les couleurs remplissent exactement les carreaux qui répondent chacun à un point de tapisserie.

Les autres sont tracés sur le canevas lui-même, au trait, avec ou sans ombres coloriées; dans ce dernier cas, la brodeuse travaille à l'imitation du coloriste, c'est-à-dire, en plaçant les fils colorés suivant son goût et la nature des objets; et le dessin lui indique les endroits qu'elle doit mettre dans l'ombre et ceux qu'elle doit éclairer.

La tapisserie elle-même qu'on achète toute faite, sert très souvent de modèle, qu'on imite alors sur la partie correspondante du canevas; ce qui se fait en comptant successivement avec une épingle, les points de telle ou telle nuance du modèle, et les carreaux du canevas, qui doivent les recevoir; mais cette manière de faire la tapisserie dite *à points comptés ou à points de compte*, demande plus de temps et plus de soins que la *tapisserie dessinée*, ainsi nommée, parce qu'elle est faite sur *le dessin tracé ou imprimé* sur le canevas.

Tels sont les dessins habituellement employés aujourd'hui; mais ces dessins sont souvent insuffisants pour le but qu'on se propose, et surtout d'un prix d'achat fort élevé. C'est donc pour obvier à ces deux inconvénients que nous proposons une nouvelle *méthode* pour composer et reproduire facilement et économiquement des dessins de tapisserie, sans l'intermédiaire d'un dessinateur dont les services sont toujours fort coûteux (voyez DESSIN INDUSTRIEL).

Il existe encore un autre genre de dessins de broderies, que nous avons proposé il y a six ans, particulièrement pour la fabrication de la tapisserie à l'instar des Gobelins (voyez TAPISSERIE).

On choisit des dessins lithographiés ou gravés et coloriés par les procédés ordinaires, puis on applique et on colle dessus, avec de la cire molle, une feuille de *papier-canevas*, rendue transparente par le vernis, et dont le numéro, c'est-à-dire le nombre des carreaux, comptés sur une mesure de longueur de 27 millim., déterminent la dimension du dessin que l'on veut exécuter sur un morceau de canevas d'un numéro donné.

Ensuite on copie le dessin vu à travers le *papier-canevas transparent*, dont les carreaux indiquent le nombre des points et les couleurs qu'il faut employer.

Ce procédé, du reste, est exploité avec succès aujourd'hui par deux habiles brodeuses en tapisserie, qui ont pris chacune un brevet d'invention non expiré; mais, nous le disons sans crainte à qui veut l'entendre : *Les deux brevets sont nuls conformément à la loi, parce que l'invention ou l'application du procédé n'est pas nouvelle.*

Quant aux règles de l'art pour faire sûrement de beaux dessins en tapisserie, nous les donnerons à l'article DESSINS COLORIÉS. Cependant nous devons dire, de suite, que le goût, l'habitude et le plus ou le moins de connaissance qu'on a du dessin et du contraste simultané des couleurs (voy. *Contraste des* COULEURS), guideront encore mieux que tout ce qu'on pourrait dire.

Mais il est des règles matérielles que nous allons indiquer ici pour bien faire les points de tapisserie, c'est-à-dire pour les exécuter d'une manière complète et économique. Ainsi, il faut toujours exécuter le point en couvrant le bon fil de la chaîne qui existe sur le fil de la trame, et en ayant soin de piquer d'abord l'aiguille de dessous en dessus puis de dessus en dessous, et ainsi de suite.

On compte sur le canevas, pour l'exécution du petit point, soit 1 carreau pour 1 point du dessin.

Pour l'exécution du gros-point, soit 2 carreaux en tous sens pour 1 point du dessin.

Pour l'exécution du point des Gobelins, soit 2 carreaux pris sur la largeur, et 1 carreau sur la hauteur, pour 1 point du dessin.

Broderie en velours. La broderie en velours ou veloutée à plat ou en relief a été inventée en 1805 par *Delorme*. Elle se fait en laine, en soie, ou en coton, sur toutes sortes de tissus, pour habillements et pour meubles.

Le procédé consiste à former sur l'étoffe, nécessairement dessinée, avec une aiguille, par le moyen d'un moule rond ou tranchant, des boucles ou points de chaînette en laine, ou en soie, ou en coton, que l'on coupe ensuite avec des ciseaux pour former, soit le velours, soit des reliefs.

Ces boucles se font de deux manières, à points simples et à points doubles : le premier point se fait en passant le fil à broder dans l'étoffe et sur le moule; pour le point double, on ajoute à chaque boucle un second point arrière; ce second point est plus solide que le premier, parce que son poil ne peut être arraché.

Parlons maintenant *des métiers à broder*.

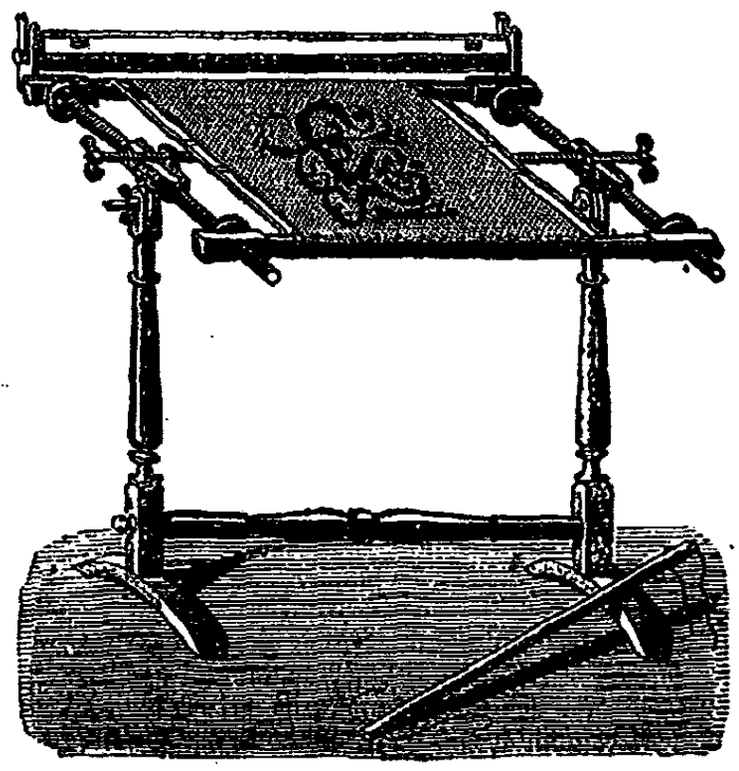
Le meilleur *métier à broder*, ou plutôt le plus facile à manier, est, sans contredit, celui qui est construit sur les principes du métier de tisserand, moins le peigne et le battant, avec un système de plusieurs crochets ou de pinces en fer, fixés sur les *jumelles* ou *traverses* du métier, et servant à tendre le canevas sur les deux côtés opposés; cependant ce métier, qui était déjà connu il y a plus de cent ans, est peu ou point en usage aujourd'hui, à cause de son prix de construction, qui est

BRODERIE.

trop élevé. Aussi les ouvrières brodeuses préfèrent-elles généralement les métiers à vis ou à latte, qui se vendent à meilleur marché, et qui sont d'ailleurs plus faciles à loger et à transporter. Toutefois on monte et démonte l'étoffe sur le *métier à latte*, plus facilement et plus promptement que sur le *métier à vis;* mais on la tend souvent beaucoup trop ou trop peu, et on a beaucoup de peine et de fatigue. Avec le *métier à vis*, au contraire, on tend l'étoffe aussi peu qu'on veut, sans peine et sans fatigue; sous ce dernier rapport, du moins, le métier à vis est bien préférable au métier à latte.

Au résumé, tous les métiers actuellement en usage ont tous le grave inconvénient d'obliger la brodeuse à coudre les deux largeurs du canevas sur les galons cloués sur les deux rouleaux, à enrouler ensuite le canevas en le pressant, et à le tendre sur les côtés, au moyen de ficelles qui le tiraillent et le déchirent toujours. Nous indiquerons donc ici les additions ou perfectionnements que l'expérience et la pratique de la broderie nous ont suggérés, afin de faire cesser tous les inconvénients que présentent les métiers déjà connus. Nous avertirons cependant le lecteur qu'un fabricant de Paris a le droit exclusif d'exploiter à son profit ces perfectionnements pour lesquels *un brevet d'invention* nous a été délivré le 19 juin 1844.

Les perfectionnements comprennent plusieurs parties, qui s'adaptent également à tous les métiers à broder.



306

Ainsi, le périmètre des deux rouleaux ou *ensouples* présente au-dessus une surface plate de 4 centimètre de largeur, sur laquelle sont plantées des *pointes émoussées* et destinées à accrocher les deux largeurs du canevas, ce qui dispense de les coudre sur des galons. Ensuite on recouvre les pointes avec une tringle en bois dite *de recouvrement*, taillée en *demi rond*, et portant dans toute sa longueur une fente ou rainure d'une largeur égale à la grosseur des pointes; les pointes du rouleau de derrière sont recouvertes aussi par une tringle dont la face en dessus est taillée en plan incliné. Les deux tringles sont attachées par leurs extrémités sur les deux rouleaux, à l'aide de deux cordons, pour éviter tout déplacement.

Les deux vis en fer à triples filets, dont les écrous en cuivre sont fixés à demeure sur le milieu des deux vis ou *traverses du métier*, servent à tendre le canevas sur les deux côtés opposés, quand on tourne les deux boutons qui y sont adaptés. A cet effet, chaque vis porte à son extrémité une platine en cuivre, tournant sur son milieu, et dont les bouts sont coudés en équerre et troués. La platine reçoit et supporte une tringle en fer, qui est fixée sur le canevas avec quatre aiguilles à broder, plus ou moins distantes l'une de l'autre.

Le rouleau en bois tourné, qui est placé sur l'*ensouple* de derrière, est destiné à enrouler le canevas brodé ou le modèle à exécuter. Ce rouleau est formé de deux segments ou portions de cylindre joints par leurs extrémités au moyen de deux vis à bois à tête plate, et entre lesquels on engage et *pince* le canevas ou le modèle. L'*axe de droite* du rouleau est en fer rond, et tourne librement dans une platine ou *fourchette* fixée à vis sur l'ensouple; l'*axe de gauche*, qui est à vis, forme pivot; il est fixe dans un écrou, lequel est engagé dans la fourchette de droite, et mobile à volonté de bas en haut, et réciproquement, de haut en bas, suivant la grosseur ou l'épaisseur du canevas ou du modèle enroulé. C'est à l'aide de cette vis qu'on fait reculer à volonté le rouleau de gauche à droite ou de droite à gauche, en tournant le bouton qui y est adapté.

Résumons les avantages que présente le métier à broder ainsi perfectionné.

Avec ce métier d'un prix d'achat aussi bas qu'on peut le désirer, la brodeuse n'a pas l'embarras de coudre les deux largeurs du canevas sur les galons qui sont ainsi supprimés, et de les enrouler ensuite sur les ensouples; elle roule seulement le canevas sur lui-même, sans le presser, jusqu'à ce qu'il n'en reste que la grandeur que peut embrasser commodément la main; elle fixe plus promptement et plus facilement le canevas en l'accrochant sur les pointes; enfin le surplus des canevas est attaché et suspendu au-dehors des ensouples de manière qu'on puisse le voir et le couper au besoin.

La brodeuse peut travailler sur le métier sans gêne, sans fatigue, et sans que son bras quitte la position verticale; et, en effet, elle peut tendre le canevas sur une longueur aussi petite que possible; ce qui lui évite de tendre le bras.

Ce métier, enfin, présente plusieurs avantages incontestables :

1° De dispenser d'enrouler et de presser la broderie faite sur les ensouples, méthode qui aplatit et écrase toujours les points, le relief des figures, et qui fait goder le canevas ou l'étoffe qui n'a pas encore été brodée;

2° De dispenser d'étendre sur le canevas un modèle qu'on froisse sans cesse en travaillant, et qui est très souvent altéré ou perdu après avoir été copié;

3° De laisser voir la tapisserie faite, afin d'en imiter toutes les nuances;

4° De permettre de confectionner une grande longueur de broderie en tapisserie sans enlever les rouleaux, et sans avoir l'embarras de tendre le canevas sur les côtés au moyen de ficelles ou de crochets qui tiraillent et déchirent les mailles du canevas.

De plus, à l'aide de ce métier, on peut compter les carreaux ou points colorés du modèle, sans peine et sans tâtonnement, avec une précision et une rapidité que la brodeuse la plus habile ne pourrait atteindre par les procédés ordinaires. Il suffit, pour cela, de placer une règle dite *guide de compte* (1) sur la tringle de recouvrement de derrière, de manière à ce que les divisions de cette règle, espacées convenablement, correspondent avec les divisions numérotées sur le modèle de dix en dix carreaux ou points.

(1) Cette règle se compose d'un ruban étroit en soie ou en coton sur lequel glissent librement des curseurs en cuivre gratté très mince de 5 millim. de largeur au plus, et numérotés de dix en dix.

L'on place ensuite à angle droit, sur le canevas lui-même, deux autres guides de compte semblables, dont les divisions sont espacées, suivant le numéro du canevas; mais le compte des carreaux du canevas est arrêté nécessairement de dix en dix par un fil coloré lacé sur le canevas, ou simplement par un fil en reprise à la main, cela fait il est facile de fixer de suite, sur le canevas, un point déterminé du dessin, comme s'il s'agissait de trouver un produit quelconque dans la table de multiplication de Pythagore.

Disons aussi que ce métier tel qu'il est construit n'est pas applicable à la broderie des grands ouvrages sur mousseline, gaze ou autres étoffes légères en soie ou coton; car les pointes trouerraient et déchireraient peut-être ces tissus. Cependant on pourrait s'en servir au besoin en supprimant les pointes et en comprimant suffisamment les deux largeurs du tissu sur les ensouples, dont les faces plates seraient recouvertes de papier de verre, par des tringles de bois fort, dont les faces en contact avec l'étoffe seraient légèrement convexes sur le milieu et recouvertes aussi de papier de verre.

Il y a encore un métier à broder assez incommode, du reste, et qui est généralement employé par les brodeuses sur gaze, mousseline, et autres étoffes légères de grandes dimensions; nous voulons parler du *tambour*. C'est un instrument de forme circulaire fait avec du bois d'éclisses, et recouvert d'une lisière de drap ou de flanelle. On tend l'étoffe dessus comme une peau de tambour par le moyen d'une courroie et d'une boucle, ou d'un ou de plusieurs cerceaux recouverts d'une lisière de drap, qui s'emboîtent les uns dans les autres; de là le nom de *tambour* qu'on a donné à ce métier, qui est plutôt un outil qu'un métier proprement dit.

Enfin nous terminerons par la description du *métier mécanique* à broder, inventé par M. Josué Heilmann, de Mulhouse; métier qui présente des combinaisons fort ingénieuses sans doute, mais qui n'offre pas encore toute la perfection désirable dans les produits manufacturés. Du reste, le battant-brocheur inventé par MM. Godemart et Meynier, de Lyon, remplit le même but d'une manière encore plus heureuse et surtout plus économique pour la fabrication des tissus recherchés par les consommateurs. Voyez BATTANT-BROCHEUR.

ROUGET DE LISLE.

MACHINE A BRODER *de M. Josué Heilmann, de Mulhouse*. La machine à broder de M. Heilmann est sans contredit, de toutes les machines de l'exposition de 1834, celle qui a obtenu au plus haut degré la faveur du public : soit qu'elle fût en repos, soit qu'elle fût en mouvement, on était sûr de la trouver environnée d'une foule de curieux, les uns portant leur attention sur les broderies qu'elle avait exécutées, les autres essayant d'en suivre tous les mouvements et d'en deviner le mécanisme; on ne se lassait pas de voir, dans un petit espace, 130 aiguilles brodeuses occupées chacune à copier le même dessin et accomplissant leur tâche avec une régularité parfaite; un seul homme suffisait à mettre en action toutes ces aiguilles, et l'on était surtout émerveillé de voir avec quelle exactitude chacune d'elles venait d'elle-même piquer l'étoffe au point précis où elle aurait été conduite par la main la plus exercée.

On peut dire que M. Heilmann a résolu, dans la construction de sa machine, un problème tellement compliqué et tellement délicat, que de très habiles mécaniciens n'auraient sans doute pas osé se le proposer; mais il n'y a pas seulement dans cette invention une grande difficulté vaincue, il y a de plus une utilité réelle et déjà constatée : en France, en Allemagne, en Suisse et en Angleterre, plusieurs fabricants ont senti l'avantage qu'ils en pouvaient tirer; on compte, dès à présent, six machines à Lyon qui travaillent sans relâche, on en compte quatre en Saxe, quinze à Saint-Gall, et douze ou quinze, je crois, à Manchester, et dans d'autres villes de l'Écosse et de l'Angleterre.

On conçoit aisément qu'un mécanisme qui répète en même temps cent trente fois le même dessin en broderie, ne doive pas être d'une exécution facile, surtout quand il le répète avec toute l'exactitude que ce genre de travail exige pour être très parfait. Cependant la maison Kœchlin de Mulhouse, construit ces machines avec une solidité et une précision qui semblent ne rien laisser à désirer; elle a été imitée à Manchester, où l'on a construit sur les modèles qu'elle avait envoyés, mais il ne paraît pas qu'elle ait été surpassée.

Le prix d'une machine portant 130 aiguilles et par conséquent 260 pinces est de 5,000 francs, et l'on estime qu'elle fait journellement l'ouvrage de vingt brodeuses fort habiles, travaillant sur le métier ordinaire; elle n'exige cependant pour être mise en action pendant toute la journée, qu'un seul ouvrier et deux jeunes filles. L'ouvrier doit être exercé à ce genre de travail, car il remplit à la fois des fonctions nombreuses : d'une main, il suit le dessin avec la pointe du pantographe; de l'autre, il tourne une manivelle pour planter et tirer toutes les aiguilles qui sont tenues dans des pinces, et portées par des chariots qui s'approchent et s'éloignent en roulant sur des chemins de fer; enfin, au moyen de deux pédales sur lesquelles il appuie alternativement d'un pied et de l'autre, il ouvre les 130 pinces du premier chariot qui doivent donner les aiguilles après les avoir plantées dans l'étoffe, et il ferme du même coup les 130 pinces du second chariot, qui doivent les recevoir et les tirer de l'autre côté pour les ramener ensuite. Les jeunes filles n'ont autre chose à faire qu'à changer les aiguilles quand les aiguillées sont finies, et à surveiller les pinces pour qu'aucune aiguille ne s'en échappe.

Nous allons essayer de faire comprendre tous les détails de cette machine, parce qu'elle n'est pas moins remarquable par l'heureuse disposition des parties qui la composent que par les effets qu'elle produit. Nous décrirons successivement :

1° *La disposition du bâti*,
2° *La disposition de l'étoffe*;
3° *La disposition des chariots*;
4° *La disposition des pinces*;

I. — *Disposition du bâti*. Le bâti est en fonte de fer; il doit être solidement assemblé et établi sur un sol assez ferme pour n'éprouver aucun ébranlement sensible, soit par le mouvement de la machine elle-même, soit par le déplacement des ouvrières qui vont d'une pince à l'autre pour changer ou rajuster les aiguilles. La fig. 307 en présente une élévation prise de face. Le bout du bâti forme deux rectangles égaux A B B A, A B B A, symétriquement placés, l'un à droite, l'autre à gauche, et réunis au milieu par un troisième rectangle plus étroit et plus élevé, A D C A. Cet assemblage des trois rectangles est coulé d'une seule pièce. *a*, sont six pieds qui portent chacun un trou destiné à recevoir une vis calante, par laquelle ils reposent sur le sol. L'autre bout du bâti est en tout pareil au premier; nous en désignerons les parties analogues par les mêmes lettres avec un accent : ainsi, A' B' B' A', A' B' B' A', seront les deux rectangles symétriques du second bout du bâti; A' D' C' A', sera le rectangle du milieu analogue à A D C A, et *a'* représentera les 6 pieds correspondants à ceux *a*. Entre chaque pied *a* et son correspondant *a'*, il y a une traverse en fonte A'', dont on voit la forme et l'assemblage dans la figure. Ainsi, à leur partie inférieure, les deux bouts du bâti sont assemblés par six traverses pareilles à la traverse A''; en outre, aux deux extrémités de chacune de ces traverses, il y a des arcs-boutants *a''*, destinés à consolider le système; on voit

BRODERIE.

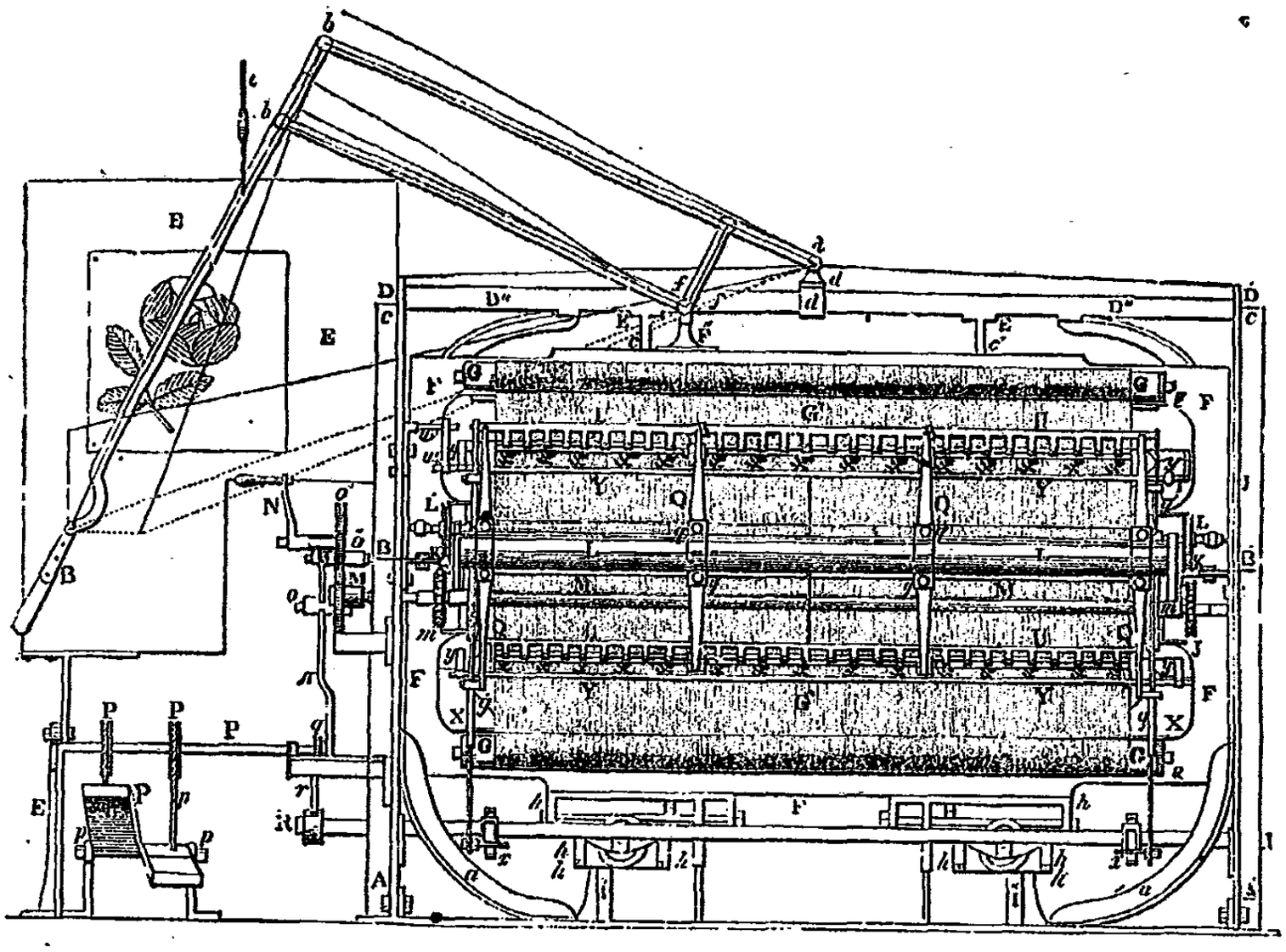
deux de ces arcs-boutants sur la figure : à leur partie supérieure, les deux bouts du bâti sont réunis par une seule traverse D'' qui a la forme d'une gouttière, et qui se trouve boulonnée aux angles correspondants D et D'.

Telle est la disposition légère et solide du bâti qui porte tout le mécanisme de la machine à broder ; il était nécessaire d'en prendre une idée exacte afin de mieux comprendre comment les autres pièces fixes sont soutenues à leur tour, et comment les pièces mobiles, qui sont ici très nombreuses, peuvent exécuter leurs mouvements avec une parfaite régularité.

La longueur de la machine dépend du nombre de pinces que l'on veut faire travailler. Le modèle qui était à l'exposition portait 260 pinces, et avait deux mètres et demi de longueur ; mais, le cadre de nos planches ne nous ayant pas permis de représenter une machine aussi longue, nous l'avons réduite à n'avoir que 120 pinces ; d'où il résulte seulement que nos traverses A'' et D'', au lieu d'avoir deux mètres et demi, n'ont pas tout à fait deux mètres : du reste, tout le mécanisme et toutes les autres dimensions n'ont éprouvé aucun changement.

La largeur du bâti doit être la même pour toutes les machines, qu'elles soient longues ou courtes, car c'est cette largeur qui détermine la longueur du fil que l'on peut mettre après les aiguilles, et il y a toujours de l'avantage à lui donner, comme nous l'avons fait, toute la largeur adoptée par M. Heilmann, c'est-à-dire un peu plus de deux mètres, en sorte que les aiguilles puissent porter un fil d'un mètre de longueur.

II. — *Disposition de l'étoffe.* Nous avons déjà fait remarquer que les pinces qui portent les aiguilles se présentent toujours au même point, et que par conséquent les aiguilles ne feraient que passer et repasser indéfiniment par le même trou, si l'étoffe n'était placée avec une précision suffisante pour venir présenter successivement, vis-à-vis de la pointe de l'aiguille, tous les points par lesquels l'aiguille doit passer pour exécuter la fleur ou le dessin qui se trouve sur le métier. La disposition de l'étoffe et le mécanisme au moyen duquel elle est déplacée de la quantité voulue, après chaque passage de l'aiguille, sont donc d'une



307.

grande importance, et nous allons essayer de les expliquer en détail.

L'étoffe est portée sur un grand châssis rectangulaire dont les quatre côtés sont visibles dans la figure, savoir : les deux verticaux en F, F ; et les deux côtés horizontaux, le supérieur et l'inférieur, en F', F'.

On voit aussi, dans la figure, deux longs rouleaux en bois G, G, dont les extrémités, munies de tourillons en fer, sont portées sur les côtés F du châssis de manière à pouvoir tourner sur eux-mêmes. Ces deux rouleaux forment un *système d'ensouples* sur lesquelles le ruban, l'étoffe ou, en général, le canevas destiné à recevoir la broderie, peut être enroulé et tendu verticalement au degré convenable, car chacune de ces ensouples porte à l'une de ses extrémités une petite roue à rochet *g*, *g* ; les dents de l'une de ces roues étant inclinées en sens contraire des dents de l'autre, il en résulte qu'en soulevant, par exemple, le cliquet de la roue supérieure et en tournant l'ensouple dans un sens, le canevas tire l'ensouple inférieure et tend à la faire tourner, tandis que le cliquet de sa roue à rochet la retient, et l'étoffe G'' se tend de plus en plus : le même effet serait produit en tournant l'ensouple inférieure après avoir soulevé son cliquet. Quand on veut faire passer de l'étoffe de l'une des ensouples sur l'autre, il suffit de soulever à la fois les deux cliquets et de tourner dans le sens convenable l'ensouple sur laquelle on veut enrouler l'étoffe, puis de laisser retomber le cliquet de l'autre en-

souple lorsqu'il ne s'agit plus que de donner la tension.

Outre ce système des ensouples inférieures, il y a un second système de deux ensouples supérieures qui a le même but et qui est disposé exactement de la même manière ; mais il se voit moins complétement dans la figure, où il est en partie caché par d'autres pièces

On conçoit que l'un de ces systèmes présente l'étoffe aux aiguilles supérieures, et l'autre aux aiguilles inférieures : comme les deux ensouples d'un même système n'ont pas leur axe dans le même plan vertical, le plan de l'étoffe G'' serait lui-même incliné et viendrait se présenter obliquement aux aiguilles, si l'on n'avait soin de le redresser et de le ramener au milieu du cadre, au moyen d'une forte règle en bois fixée comme les rouleaux sur les deux côtés verticaux du châssis.

Enfin, l'étoffe doit recevoir aussi une tension latérale dans les deux sens opposés, et, pour la lui donner sans craindre de la déchirer, on commence par coudre sur ses bords de petits rubans de laiton, et ensuite on attache à ces rubans des ficelles g'', qui les tirent latéralement et qui viennent se fixer aux côtés F du châssis.

Il reste à voir maintenant par quel ingénieux moyen le châssis peut être déplacé dans toutes les directions sans sortir toutefois du plan vertical dans lequel il a été primitivement ajusté, et comment l'étoffe qui est fixée sur lui et par conséquent forcée de suivre tous ses mouvements peut venir présenter vis-à-vis de chaque aiguille les points successifs qui doivent être piqués et traversés par le fil.

M. Heilmann, pour obtenir cet effet, a employé le pantographe dont se servent les dessinateurs pour réduire ou pour amplifier dans des proportions déterminées les dessins de toute espèce. Tout le monde connaît les principes sur lesquels repose la théorie de cet instrument, et nous nous contenterons de les rappeler en peu de mots : $bb'fb''$, représente un parallélogramme dont les quatre angles b, b', f, b'', sont à charnière et articulés de telle sorte qu'ils puissent devenir à volonté très aigus ou très obtus, les côtés conservant toujours exactement la même longueur; les côtés bb' et bb'' son prolongés, l'un jusqu'au point d, l'autre jusqu'au point B, et ces points B et d sont choisis sous la condition que, dans l'une des positions du parallélogramme, la ligne Bd qui les joint passe par le point f; cette condition peut être remplie d'une infinité de manières, puisque, la position du parallélogramme restant la même, on voit que si l'on voulait porter le point d plus loin du point b', il suffirait de rapprocher convenablement le point B du point b'', ou *vice versâ* ; mais, une fois que l'on a choisi la distance $b'd$, il est évident que la distance $b''B$ en est une conséquence nécessaire. Or, le principe sur lequel repose la construction du pantographe est celui-ci : il suffit que les trois points d, f et B, soient en ligne droite dans une seule des positions du parallélogramme pour qu'ils restent toujours en ligne droite dans toutes les positions qu'il sera possible de lui donner.

Ce principe étant admis, supposons que l'on déplace le point B, dans un sens quelconque, en faisant tourner tout le système autour du point d; imaginons, par exemple, que le point B vienne en B' : alors, en joignant d à B', il est évident que le point f sera venu se placer quelque part sur cette ligne dB', en f' par exemple, puisqu'il tombe toujours sur la ligne droite qui joint le point d à la position quelconque que peut prendre le point B', et la ligne ff' sera parallèle à BB'.

Si le côté bb'' a été fait égal à la sixième partie de bB, ff' sera aussi $\frac{1}{6}$ de BB', c'est-à-dire qu'en général les contours décrits par le point f seront exactement la sixième partie des contours décrits par le point B.

Cette proportion est celle que M. Heilmann a adoptée. Il a pris en outre . $b'd = b'f$, d'où il résulte : $bc = bd$.

Cela posé, il est facile de comprendre le rôle que joue le pantographe dans la machine à broder.

Pour obtenir plus de précision et plus de solidité, les côtés du pantographe sont assemblés de telle sorte que le milieu de leur épaisseur se trouve exactement dans le plan vertical de l'étoffe, et que les axes des charnières soient bien perpendiculaires à ce plan, dans lequel, par conséquent, tous les déplacements s'accomplissent. On arrive à ce résultat en fixant à la grande traverse supérieure D'', une pièce coudée d, ayant une saillie convenable et sur laquelle s'adapte à son tour la pièce d' qui reçoit à charnière l'extrémité du côté bd; cette pièce d' se fixe sur d'' par un boulon, mais elle porte un trou allongé, et, avant de serrer l'écrou, on la fait avancer ou reculer jusqu'à ce que le point d'appui se trouve exactement dans le plan de l'étoffe. Cette condition étant remplie, il ne s'agit plus que d'attacher le châssis à l'angle f du parallélogramme, ce qui se fait au moyen de la pièce F''.

Il est clair maintenant que, si l'ouvrier brodeur prend en main le manche B'' et fait mouvoir le pantographe d'une manière quelconque, le point f décrira une figure semblable à celle décrite par le point B et 6 fois plus petite; mais comme le point f ne peut pas se mouvoir sans que le châssis et tout ce qu'il porte ne se meuve avec lui, si le châssis est bien maintenu de toutes parts et forcé de se mouvoir dans le même plan, chacun de ses points et de ceux qui sont fixément liés avec lui parcourra exactement le même chemin que le point f. Ainsi, dans le mouvement du pantographe, chaque point de l'étoffe décrit une figure égale à celle que décrit le point f, et par conséquent semblable à celle que décrit le point B et six fois plus petite. Il suffit donc de donner à l'ouvrier brodeur qui tient le manche B'' un dessin six fois plus grand que celui qui doit être exécuté par la machine et de lui donner en même temps un moyen sûr et facile de parcourir avec le point B tous les contours de ce dessin : pour cela on adapte en B, et perpendiculairement au plan du parallélogramme, un petit style terminé par une pointe V, et l'on dispose le dessin sur un tableau vertical E, parallèle au plan de l'étoffe et du parallélogramme et reculé seulement de la longueur du style; ce tableau est porté par une tige en fer, fixée elle-même sur un pied en fonte E', qui sert encore à d'autres usages, comme nous le verrons plus loin; le châssis chargé de ses ensouples et de son étoffe forme un ensemble assez lourd, et l'on conçoit que s'il est nécessaire, comme nous l'avons dit, de le diriger pour qu'il ne sorte pas de son plan, il est nécessaire aussi de l'alléger pour que le brodeur puisse promener la pointe du pantographe sur le tableau sans effort et sans incertitude dans ses mouvements.

M. Heilmann a rempli ces conditions de la manière suivante :

1. Une corde c, attachée au côté lB du pantographe, va passer sur une poulie de renvoi et porte à son extrémité un poids que l'ouvrier peut graduer à volonté : ce poids équilibre le pantographe et tend à soulever un peu le châssis ;

2° Le côté supérieur F' du châssis porte deux règles saillantes : elles ont l'une et l'autre une fente longitudinale et horizontale dans laquelle peut glisser avec un léger frottement la cheville c'', qui sert ainsi de guide pour maintenir dans son plan toute la partie supérieure du châssis, car les chevilles c'' sont fixées à la grande traverse D'' ; on comprend que la longueur de la fente que porte chacune des règles E'' doit être égale à l'amplitude du mouvement latéral que le châssis peut prendre ;

3° Le côté inférieur du châssis porte deux tringles horizontales H, H, attachées chacune par deux pat-

BRODERIE.

tes *h*, *h*, un peu recourbées à gauche : chacune de ces tringles est engagée dans la gorge d'une poulie, dont la chape de forme ovale est portée par deux couteaux triangulaires sur les deux branches d'un levier fourchu ; les deux leviers doivent être solidaires l'un de l'autre, afin que les deux côtés du châssis soient également soulevés ; c'est pourquoi on les unit par un arbre, dont les deux extrémités sont portées par des pieds en fonte ; un contre-poids qui glisse sur la queue des leviers et qui peut être éloigné ou rapproché de la ligne des points d'appui, permet d'exercer sur le châssis une pression de bas en haut qui se gradue à volonté, et qui, sans empêcher le châssis de se mouvoir dans tous les sens, l'empêche cependant de sortir du plan primitif pour lequel le pantographe a été réglé ; la longueur des tringles doit être égale à l'amplitude du mouvement latéral du châssis, et les bras des leviers fourchus doivent être assez longs pour que l'arc qu'ils font décrire aux couteaux de la chape de la poulie se confonde sensiblement avec une ligne droite dans la plus grande excursion de haut en bas ou de bas en haut que puisse faire le châssis ;

4° Enfin, deux guides I, I', portés sur des pieds en fonte, présentent des fentes verticales dans lesquelles reste engagé le côté inférieur F' du châssis.

III. — *Disposition des chariots.* Avant de décrire l'arrangement et le jeu des pinces qui portent des aiguilles, nous essaierons de bien faire comprendre la disposition et le mouvement des deux chariots qui portent ces pinces et tout leur mécanisme.

Ces chariots tout à fait pareils, sont disposés l'un à droite et l'autre à gauche du châssis, nous désignerons par les mêmes lettres les pièces qui les composent.

Chacun d'eux exécute ses mouvements sur un chemin de fer composé de deux règles bien dressées et ajustées horizontalement, l'une à l'un des bouts de la machine et l'autre au bout opposé. L'une de ces règles se voit à sa place en K, les deux portions saillantes *k*, *k*, viennent se poser et se boulonner sur deux consoles boulonnées elles mêmes contre les deux montants verticaux AC et AB du bâti : l'une de ces consoles se voit à gauche ; la console correspondante de l'autre règle se voit pareillement à droite, contre le montant A'B'. Le chariot lui-même se compose seulement d'un long cylindre creux en fonte L, portant à chacune de ses extrémités un système de deux galets à gorge L' qui roulent sur les règles K ; les galets L' sont montés sur une pièce *l'*, fourchue aux deux bouts pour recevoir les axes des galets, et la pièce *l'* est elle-même boulonnée sur une pièce ou appendice *l* fondu avec le cylindre L.

Cet assemblage, qui, à proprement parler, constitue le chariot, se trouve donc en équilibre parfaitement stable sur les règles K, et l'on conçoit qu'il puisse avec la plus grande facilité s'éloigner ou s'approcher de l'étoffe pour planter ou tirer les aiguilles.

Mais, pour n'être pas obligé d'employer une personne à produire ces mouvements alternatifs du chariot, M. Heilmann y adapte un mécanisme au moyen duquel l'ouvrier brodeur qui mène le pantographe peut de sa place, sans se déranger, conduire lui-même les chariots et régler à volonté l'étendue de leur course et la rapidité de leurs mouvements. Ce mécanisme pourra paraître au premier abord un peu compliqué ; mais, en réalité, il est simple, très ingénieux, et, ce qui est un point essentiel, il est solide et fonctionne avec une précision remarquable. Nous allons essayer d'en faire comprendre la disposition.

Une poulie J est adaptée contre le montant de droite AB du bâti, au moyen de deux pièces J' et J" : une poulie pareille est adaptée à l'autre bout du bâti contre le montant correspondant A'B' ; dans la figure on les a supprimées pour laisser voir les roues *m*, *m*, sur lesquelles elles se projetteraient. A la hauteur des poulies J est ajusté un axe en fer M" soutenu par des coussinets qui sont fixés contre les grands montants AC et A'C' du bâti ; cet axe porte vers ses extrémités, mais en dedans du bâti, deux roues dentées *m* ; son extrémité de gauche se prolonge au dehors du bâti pour porter encore une roue dentée M. Sur la poulie J et sur la roue dentée correspondante *m* passe une chaîne sans fin : la partie de cette chaîne qui doit parcourir la circonférence de la roue *m* est une chaîne de Vaucanson ; l'autre, qui doit parcourir la circonférence de la poulie J, est une simple courroie, les deux extrémités de la chaîne, prise dans son ensemble, viennent se fixer sur une pièce qui est portée par l'extrémité d'un boulon fixé lui-même dans la pièce *l* de l'extrémité de l'arbre L ; ce même boulon porte encore un galet qui court sous la règle K.

Il résulte de cette disposition qu'en faisant tourner l'axe M" ou la roue M dans un sens, on forcera le chariot à se rapprocher de l'étoffe, et qu'il s'éloignera, au contraire, en faisant tourner la roue M dans le sens opposé.

Le chariot de gauche, mû par la roue M', est disposé exactement comme le chariot de droite, que nous venons de décrire.

Quand l'un des chariots s'est avancé pour piquer les aiguilles dans l'étoffe, l'autre est là pour les recevoir, il les pince, les tire, fait sa course en s'écartant pour allonger l'aiguillée et serrer le point, puis il revient et rapporte les aiguilles pour les piquer à son tour ; pendant son mouvement, le premier chariot est resté en place pour l'attendre ; ainsi, les deux chariots font successivement une allée et un retour, et jamais ils ne se meuvent ensemble.

Pour remplir cette condition, M. Heilmann a disposé sur la pièce O, fixée sur les deux montants AC et AD du bâti, un levier coudé *n o n' n"* mobile autour du point *o* ; le coude *n'* porte une roue dentée O', et l'extrémité *n"* une roue dentée O" ; les quatre roues M, M', O' et O", ont une même denture et un même diamètre ; les deux roues O' et O" sont fixes l'une par rapport à l'autre, en sorte qu'il suffit de tourner la manivelle N pour faire tourner la roue O" et par conséquent la roue O' : quand le levier *no* est vertical, la roue O' ne touche ni la roue M ni la roue M', mais, si on l'incline d'un côté ou de l'autre, on fait engrener la roue O' successivement avec la roue M ou avec la roue M'. De sorte qu'on produira l'effet désiré en tournant alternativement la manivelle N dans un sens et dans l'autre.

Cependant, l'ouvrier brodeur ayant ses deux mains occupées, l'une au pantographe et l'autre à la manivelle, il ne lui reste que ses pieds pour agir sur le levier *no*, et, comme il a encore bien d'autres choses à faire, M. Heilmann a adapté devant lui un système de deux pédales, au moyen desquelles il exécute avec ses pieds une série d'opérations non moins délicates que celles qu'il exécute avec ses mains.

Pour le moment, nous n'allons considérer ces pédales que comme un moyen de mettre en mouvement, à point nommé, le levier *no*.

Les pédales P sont mobiles autour de l'axe *p*, et portent des cordes *p'* enroulées en sens contraire sur les poulies P' ; ces poulies sont fixées sur un arbre mobile P", soutenu d'un côté dans le support E' et de l'autre dans une pièce attachée aux deux grands montants du bâti A C et A D, l'arbre P" porte à son extrémité une pièce dentée sur une portion de son contour (nous verrons plus loin à quoi servent ces dents, mais, pour l'instant, nous n'avons à considérer que sa partie non dentée) ; on voit qu'elle est armée d'une cheville qui vient s'engager dans l'extrémité fourchue du levier *no* : alors, il est évident qu'en baissant la pédale P, qui est maintenant relevée, la partie supérieure de l'arbre P" tournera de gauche à droite, et le levier *no* s'inclinera pour apporter la roue O' sur la roue M', mais, en même temps, la pédale qui est maintenant baissée

se relèvera, parce que sa corde sera forcée de s'enrouler sur sa poulie autant que l'autre corde se déroulera, de telle sorte que l'appareil sera tout près pour agir en sens contraire quand il le faudra.

IV. *Disposition des pinces.* L'arbre L' porte de distance en distance, à peu près de demi-mètre en demi mètre, des appendices q,q, qui sont venus à la fonte avec lui ; c'est contre ces appendices que viennent se fixer, par deux boulons, les branches courbes Q qui sont destinées à porter tout le mécanisme des pinces ; une règle en fer, formant un prisme triangulaire bien dressé, s'étend entre deux branches consécutives Q, Q, et elle se trouve fixée contre chacune de ces branches au moyen d'une oreille dans laquelle passe un bouton qui traverse l'épaisseur de la branche, mais, au lieu d'un simple trou, l'oreille porte une fente qui permet de l'avancer ou de la reculer. On arrive donc aisément à mettre à la suite l'une de l'autre, en ligne bien droite, les trois règles qui doivent se trouver dans les trois intervalles des branches Q ; chacune d'elles est même un peu prolongée au-delà de ses deux oreilles, afin que l'assemblage étant fait, les trois règles consécutives semblent ne former qu'un seul prisme triangulaire s'étendant d'un bout à l'autre du chariot. Ce prisme est destiné à recevoir et à porter toutes les pinces qui se trouvent dans une rangée.

Lorsqu'une pince est ouverte et qu'une moitié de l'aiguille vient s'y engager, elle se trouve logée dans une rainure angulaire qui a moins de profondeur que l'aiguille n'a d'épaisseur, et, quand la pince se ferme, la mâchoire supérieure vient la presser dans la rainure ; ainsi, l'aiguille est parfaitement tenue, bien qu'elle ne soit prise que par trois points de son contour.

Supposons maintenant que toutes les pinces soient montées et ajustées à une distance convenable sur la règle prismatique S pour former la rangée supérieure du chariot de droite, comme on le voit dans la figure, et essayons d'expliquer par quel mécanisme l'ouvrier brodeur parvient à ouvrir à la fois toutes les pinces de cette rangée lorsqu'elles doivent donner les aiguilles à celles du chariot opposé après les avoir plantées dans l'étoffe.

Il y a pour cela un axe méplat en fer U qui peut tourner sur lui-même et qui s'étend d'un bout à l'autre du chariot. Cet axe est porté par des espèces de fourchettes u qui se boulonnent à l'extrémité des branches Q, et il y est arrêté par une goupille ; l'axe est rond dans les parties par lesquelles il repose dans les fourchettes, et celles-ci sont à une hauteur telle, que, quand sa portion plate est tournée en dessous, elle ne fait que toucher les queues de toutes les mâchoires supérieures des pinces, sans les presser, en sorte que celles-ci restent fermées : mais, quand on le tourne un peu sur lui-même, il appuie sur les queues de ces pinces, et les ouvre en forçant l'élasticité de leurs ressorts.

Il faut donc donner à l'ouvrier brodeur le moyen de faire tourner à propos l'axe U, soit pour ouvrir les pinces, soit pour les fermer, car elles se fermeront d'elles-mêmes par l'effet des ressorts aussitôt qu'on aura ramené la portion méplate en dessous.

Pour produire cet effet, M. Heilmann adapte aux deux extrémités de l'axe U, deux secteurs dentés x, x; chacun de ces secteurs engrène sans cesse avec une règle verticale X qui peut glisser contre la branche Q, où elle est maintenue par des brides, et la règle X porte elle-même à sa partie inférieure une cheville horizontale x', perpendiculaire à son plan ; c'est au moyen de ces chevilles que l'on imprime le mouvement à la règle X, au secteur x, et par conséquent à l'axe U, pour ouvrir et fermer les pinces.

Mais, pour voir comment l'ouvrier brodeur fait cette opération avec ses pieds, reportons-nous au système des pédales P.

Nous avons déjà indiqué que l'arbre P'', qui est mis en mouvement par ces pédales, porte à son extrémité de droite une pièce destinée à faire jouer le levier no ; cette pièce est dentée dans les deux tiers de sa circonférence et fait l'office de pignon ; par sa partie dentée elle engrène avec un secteur r monté à l'extrémité de l'arbre R, qui peut tourner sur lui-même et qui se trouve supporté par des coussinets fixés au milieu des traverses horizontales et inférieures du bâti. L'axe R porte en même temps deux branches Z, Z, mises en croix sur lui et terminées par des couples de fourchettes correspondant à chacun des chariots ; elles sont destinées à recevoir les chevilles x' des règles à crémaillères X, et il est très facile d'en comprendre le jeu. En effet, supposons que l'ouvrier brodeur rappelle le chariot de droite en tournant la manivelle N : alors le chariot revient, il engage les chevilles x' dans les fourchettes, il plante dans l'étoffe la moitié saillante des aiguilles qu'il porte, et ces moitiés pénètrent dans les pinces du chariot de gauche qui sont ouvertes pour les recevoir ; il faut donc en ce moment fermer les pinces de gauche pour qu'elles prennent les aiguilles et ouvrir celles de droite pour qu'elles les donnent. C'est ce que l'ouvrier fait avec son pied, d'un seul et même coup : il presse sur la pédale qui est levée pour tirer la corde qui la porte : alors le mouvement de rotation qui en résulte dans la poulie correspondante se communique à l'arbre P''', au pignon p''', au secteur r, à l'arbre R, et simultanément aux deux branches Z, Z, dont les extrémités se relèvent et emportent les chevilles x' dans leur mouvement ascensionnel ; par conséquent les règles à crémaillère X remontent en glissant dans leurs coulisses, font tourner les secteurs x et l'arbre méplat U, qui exerce en tournant une pression sur la queue de toutes les mâchoires supérieures des pinces, qu'il ouvre toutes à l'instant ; par le même mouvement des branches Z, Z, les fourchettes qui les terminent à gauche, descendent, entraînent les chevilles des règles à crémaillère X du chariot de gauche, font tourner les secteurs correspondants et l'arbre méplat sur lequel ils sont montés pour amener son côté plat sur les queues des mâchoires supérieures des pinces, et toutes les pinces de ce côté se ferment par l'effet de leurs ressorts. Voilà comment, du même coup, l'ouvrier ferme les pinces de gauche et ouvre celles de droite, qui resteront ouvertes jusqu'à l'instant où elles auront reçu les aiguilles après le retour du chariot de gauche. Le même mouvement de pédale qui a produit ce double effet a aussi changé la position du levier no et amené la roue O' sur la roue M' ; en sorte que l'ouvrier n'a plus qu'à tourner la manivelle N pour donner le mouvement au chariot de gauche, qui tire les aiguilles et serre le point.

Les fils sont tendus à mesure que le chariot s'éloigne, mais, cette tension n'offrant aucune élasticité, il en pourrait résulter des inconvénients, que M. Heilmann a prévenus en adaptant aux chariots un mécanisme au moyen duquel tous les fils sont pressés en même temps par un poids qui se règle à volonté ; c'est ce qui nous reste à expliquer.

On voit dans la figure, un peu au-dessous de la règle prismatique qui porte les pinces, un arbre Y qui va d'un bout à l'autre du chariot et qui même le dépasse un peu à chaque bout ; cet arbre est porté par des pièces y qui sont fixées sur les branches Q et dans lesquelles il peut tourner ; à son extrémité de gauche, il porte deux barrettes y' et w, et à son extrémité de droite une seule barrette y', et un contre-poids y'', que l'on ne voit pas dans la figure ; les extrémités des deux barrettes y' sont jointes par un fil de fer un peu gros et très droit. Quand le chariot approche de l'étoffe et avant que le fil de fer ne puisse la toucher, la barrette w vient rencontrer une cheville w', qui s'appuie contre elle et qui la relève de plus en plus ; les barrettes y', y' et le fil de fer

sont relevés en même temps : au contraire, quand le chariot, en partant de cette position, s'éloigne de l'étoffe, la barrette *w* glisse en descendant sur la cheville *w'*, puis s'échappe à une certaine distance, et alors le contre-poids *y''* fait tomber les barrettes *y'* et rabat le fil de fer qui les joint sur tous les fils qui portent les aiguilles.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons considéré que la rangée supérieure des pinces et des aiguilles, pour simplifier les raisonnements ; mais, en jetant les yeux sur la figure on voit, sur le chariot de droite et sur celui de gauche, une rangée inférieure de pinces et d'aiguilles qui se trouve montée, à l'extrémité inférieure des branches Q, exactement comme les rangées d'en haut ; le mécanisme qui ouvre et qui ferme les pinces est aussi le même et agit en même temps, puisqu'il y a pour cette rangée un arbre méplat, un secteur denté, et une crémaillère correspondante dans les règles glissantes X, X. Les fils sont aussi pressés par un système tout à fait semblable à celui qui est désigné en haut par les lettres Y, *y*, *y'*, *w* et *w'*.

V.— *Remarques sur le jeu de la machine.* La grandeur des dessins que la machine peut exécuter n'est pas seulement limitée par l'étendue des mouvements que l'on peut donner au châssis qui porte l'étoffe, elle l'est encore par le nombre des aiguilles que l'on peut faire travailler, car, toutes les aiguilles exécutant le même dessin et sur la même ligne horizontale, il est évident que leur distance doit être un peu plus grande que la largeur du dessin, sans quoi le mouvement du châssis amènerait devant une aiguille une portion de l'étoffe qui aurait été brodée par une autre aiguille et chacune d'elles achèverait son ouvrage sur l'ouvrage de sa voisine.

Si l'on voulait, par conséquent, travailler avec 130 aiguilles, ce qui fait 65 en haut et 65 en bas, et que chaque dessin brodé dût avoir, par exemple, 2 décimètres de largeur horizontale, on voit que la distance de deux aiguilles voisines devrait être alors plus grande que 2 décimètres, et il faudrait une machine ayant plus de 65 fois 2 décimètres, ou plus de 13 mètres de longueur : mais la disposition du mécanisme ne permet pas de donner à la machine une aussi grande longueur, et jusqu'à présent on s'est arrêté à 2 mètres et demi environ pour la partie travaillante : or, pour loger dans cet espace 130 aiguilles, c'est-à-dire 65 en haut et 65 en bas, il faut les mettre à la distance de 4 centimètres ; tel est donc le *maximum* des broderies que l'on peut exécuter.

Pour atteindre à des largeurs plus grandes, il faut diminuer le nombre des aiguilles et les espacer davantage : il faudrait, par exemple, les réduire à moitié et les mettre à une distance double, si l'on voulait faire des dessins de 8 centimètres.

Mais, en diminuant ainsi le nombre des aiguilles, on diminue les avantages de la machine, puisqu'il faut autant de temps à l'ouvrier pour mener un chariot de 50 aiguilles que pour mener celui de 130, c'est-à-dire pour faire 50 points en broderie large que pour en faire 130 en broderie étroite.

Cependant, si la machine a l'inconvénient d'être un peu limitée dans le sens de la largeur, elle a l'avantage de n'avoir aucune limite dans le sens de la longueur ou de la hauteur ; elle peut, par exemple, broder à la fois 130 rubans aussi longs que l'on voudra : il suffit, en effet, de disposer ces rubans sur les deux systèmes d'ensouples et de broder d'abord toute la hauteur que le mouvement vertical du châssis peut permettre ; alors l'ouvrier brodeur marque d'un signe ou d'un repère le point auquel il s'est arrêté sur le tableau, puis il arrête un instant la machine pour enrouler sur l'une des ensouples la partie brodée et ramener devant les aiguilles la partie suivante ; il fait remonter ou descendre la pointe du pantographe suivant qu'il a terminé en haut ou en bas, et fait remonter ou descendre de la même manière le dessin qu'il suit sur le tableau, et, avec un peu d'adresse, il a bientôt retrouvé son repère pour continuer le travail.

On conçoit que l'ouvrier brodeur ne doit pas suivre avec le pantographe la trace du dessin qui est sur le tableau, mais qu'il doit arrêter la pointe de cet instrument sur le point du dessin par lequel doit entrer l'aiguille, la reporter, et l'arrêter de nouveau sur le point par lequel l'aiguille doit ressortir, ou rentrer en revenant de l'autre côté et ainsi de suite.

Pour faciliter cette espèce de lecture, le dessin qui est sur le tableau est composé de lignes droites terminées par les points d'entrée et de retour de l'aiguille, de telle sorte que l'ouvrier a sans cesse sous les yeux la série des lignes brisées qu'il doit suivre avec la pointe du pantographe, et que, s'il lui arrive de quitter cette route un instant sans avoir laissé de repère pour marquer le point où il était arrivé, il est obligé de regarder sur le métier ce qui est déjà fait et de retrouver par cette comparaison le point où il doit reprendre son ouvrage pour ne pas faire de lacune et pour ne pas répéter deux fois la même chose.

BROME. Corps simple, que l'on rencontre en petite quantité dans quelques eaux minérales, dans les plantes marines, etc. Il est liquide à la température ordinaire, rouge-brun, et exhale une odeur forte et désagréable analogue à celle du chlore caustique ; appliqué sur la peau il la colore en jaune foncé et la corrode ; il est très vénéneux. Sa densité est de 2,966 ; il bout à 47° C, et se solidifie à 25°, en donnant une masse d'un gris de plomb presque métallique. Il a peu d'affinité pour l'oxygène avec lequel il forme l'acide bromique, composé peu stable. Avec l'hydrogène il forme un acide énergique, l'acide hydrobromique. Il est peu soluble dans l'eau, mais il l'est beaucoup dans l'alcool et surtout l'éther. A cause de sa rareté, il a été jusqu'ici peu employé dans les arts, mais on le regarde comme possédant à un haut degré la propriété de résoudre les tumeurs scrofuleuses et glandulaires ; aussi prescrit-on aux personnes affectées de ces maladies, l'usage tant externe qu'interne des eaux qui en contiennent.

Le brome a été découvert en 1826, par M. Balard, dans les eaux-mères des marais salins, à l'état de bromure de magnésium. Pour l'en retirer, on ajoute de la chaux qui déplace la magnésie, on filtre, on précipite la chaux à l'état de sulfate en ajoutant du sulfate de soude ; on filtre ; la liqueur ne renferme plus que du bromure, un peu d'iodure et du chlorure de sodium ; on sépare la presque totalité de ce dernier sel par cristallisation, en concentrant la liqueur ; enfin, on distille dans une cornue en verre avec du peroxyde de manganèse et de l'acide sulfurique ; le brome se dégage le premier, et on arrête la distillation dès que l'on voit s'élever des vapeurs d'iode dans la cornue.

BRONZAGE. C'est l'art de donner à des objets de bois, de plâtre, etc., une surface telle qu'ils aient l'apparence du bronze ; ce terme exprime quelquefois aussi l'art de recouvrir d'un enduit métallique quelconque, des objets qui ne le sont pas. Ces objets doivent être d'abord, partout recouverts d'une couche uniforme de colle ou de vernis, et lorsque cette couche est sur le point de sécher, on les saupoudre, à l'aide d'un petit sachet, avec la poudre à bronzer que l'on prépare avec des feuilles d'étain, d'or, de l'or mussif (voyez ÉTAIN) ou du cuivre métallique précipité par une lame de fer ; on frotte ensuite la surface avec un linge humide. On peut mêler d'avance la poudre à bronzer avec de l'huile siccative, et puis appliquer le mélange avec une brosse ; quelquefois encore on mélange le cuivre en poudre, la limaille de laiton, ou l'or mussif avec une certaine proportion de cendres d'os pulvérisés, et on en

fait l'application par l'un ou l'autre des procédés ci-dessus.

On se sert d'un mélange de ces poudres avec de la gomme arabique et de l'eau pour donner au papier ou au bois, l'apparence du bronze ; on doit ensuite en brunir la surface. On emploie de cette manière, soit seule, soit mêlée avec de la cendre d'os pulvérisés, de la poudre de cuivre précipitée d'une solution de nitrate de cuivre, au moyen de plaques de fer décapées, on lave ensuite le précipité et on fait sécher. On termine le bronzage en passant une couche de vernis à l'esprit de vin.

Pour recouvrir les statuettes et autres objets moulés en plâtre, d'un enduit vert très durable qui imite le bronze antique et qui protége beaucoup mieux le plâtre, contre l'action des agents atmosphériques, que le vernis à l'huile de lin ordinaire ; on prépare d'abord un savon avec de l'huile de lin et une lessive de soude caustique, on ajoute ensuite une dissolution concentrée de sel marin, et on fait évaporer jusqu'à ce que le savon vienne nager en petits grains à la surface. On filtre alors à travers une chausse en toile ; on dissout le savon obtenu dans l'eau bouillante, et on passe à travers un linge. D'un autre côté on dissout dans de l'eau chaude quatre parties de sulfate de cuivre et une partie de sulfate de fer, puis on verse la liqueur dans la dissolution de savon, lentement et en agitant constamment, jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité. Ce précipité est un mélange de savon ferrugineux et cuivreux, c'est-à-dire d'oléates de fer et de cuivre; le premier étant rouge-brunâtre, et le second vert, leur mélange présente la teinte vert-brunâtre du bronze antique. On le recueille sur un filtre, on le fait bouillir quelques instants, dans une chaudière de cuivre, avec une partie de la dissolution vitriolique ci-dessus (renfermant un mélange de sulfates de fer et de cuivre), on décante, et on met de l'eau chaude; enfin, après une courte ébullition, on décante de nouveau, on lave le précipité à l'eau froide, on le passe dans un linge, on essuie, et on le dessèche le plus possible.

On fait cuire 1 kilogr. d'huile de lin pure avec 250 gram. de litharge finement pulvérisée, on passe à travers un linge et on laisse déposer à l'étuve; l'huile se clarifie mieux. On fond ensuite ensemble, dans un vase de faïence, sur un feu très doux, et mieux au bain marie : Huile de lin cuite, 300 gram. ; savon de fer et de cuivre, 160 gram.; cire blanche pure, 100 gram.; et on tient le mélange fondu, jusqu'à ce que toute l'humidité se soit dégagée. On fait alors chauffer les plâtres dans un étuve jusqu'à 90° C. environ, et on y applique au pinceau le mélange fondu. On répète, au besoin, cette opération, et on termine en remettant à l'étuve, pendant quelques instants pour qu'il ne reste pas de couleur à la surface.

Lorsque le travail est fait avec soin, et surtout lorsqu'on observe bien la température convenable, le mélange pénètre uniformément le plâtre et le recouvre d'un enduit extrêmement mince, sans en altérer en rien les contours les plus délicats. Au bout de plusieurs jours, lorsque le plâtre n'a plus d'odeur, on en frotte légèrement la surface avec un tampon de coton, et on bronze les parties saillantes avec un peu d'or mussif. Les petites pièces, peuvent être simplement plongées dans le mélange fondu, égouttées, puis exposées devant le feu jusqu'à ce que la composition ait entièrement pénétré dans le plâtre.

On argente quelquefois les figurines de plâtre, en les frottant avec un amalgame composé de parties égales de mercure, de bismuth et d'étain, puis les recouvrant d'une couche de vernis. On leur donne une couleur gris de plomb métallique en les frottant avec de la plombagine porphyrisée. En plongeant des statuettes ou autres objets en fonte bien décapée dans une dissolution de sulfate de cuivre, à laquelle on ajoute un peu d'acide sulfurique, la fonte se recouvre d'une pellicule métallique de cuivre rouge, que l'on peut ensuite brunir.

Sous le nom de *bronzage du cuivre*, on comprend une opération particulière, qui consiste à produire à la surface de ce métal une pellicule extrêmement mince d'oxydule, qui lui donne une teinte matte brun rougeâtre, très agréable à l'œil. Les monnaies et médailles se laissent très bien bronzer de la manière qui suit : On dissout 2 parties de vert de gris et 1 partie de sel ammoniac dans du vinaigre; on fait bouillir la dissolution, on l'écume, et on l'étend d'eau, jusqu'à ce qu'elle n'ait plus qu'une saveur faiblement métallique et qu'il ne se forme plus de précipité blanchâtre en ajoutant l'eau. On la fait alors bouillir de nouveau dans un vase en faïence ou en porcelaine, puis on la verse bouillante dans un autre vase ou l'on a mis les médailles bien décapées et que l'on met sur le feu. Aussitôt que les médailles ont atteint la teinte désirée, on les retire et on les lave immédiatement avec soin à l'eau pure. Si dans le but d'obtenir un bronzage très solide, on laissait trop longtemps les médailles sur le feu dans le bain acide, il se formerait bientôt une couche d'oxydule assez épaisse pour se séparer aisément par plaques, du cuivre métallique, tandis que dans un bronzage bien exécuté, l'enduit d'oxydule est tellement adhérent au métal qu'on ne peut pas même le séparer en rîclant. Ce n'est que par expérience que l'on devient à même d'apprécier le moment précis où l'on doit retirer les médailles du bain ; il est très important que ce dernier ne soit pas trop concentré, car alors, l'oxydule formé a d'autant moins d'adhérence, et d'un autre côté, il se dépose sur les médailles une poudre blanchâtre qui verdit à l'air, et altère la beauté du bronzage.

On peut aussi recouvrir le cuivre d'un enduit brun de sulfure, en le plongeant dans une dissolution de sulfure de potassium, mais cet enduit n'a ni beauté ni durée.

Les Chinois bronzent le cuivre, en pulvérisant et mélangeant 2 parties de vert de gris, 2 p. de cinabre, 5 p. de sel ammoniac, 5 p. d'alun, et 2 p. de bec et de foie de canard ; puis en formant avec du vinaigre une pâte, qu'ils répandent sur le cuivre bien décapé, ils l'exposent un instant sur le feu, laissent refroidir, essuient et recommencent cette opération autant de fois qu'il est nécessaire pour obtenir la teinte désirée. En ajoutant au mélange du sulfate de cuivre, on obtient une teinte plus brune, et plus jaune par l'addition du borax. Le cuivre ainsi traité prend une belle apparence, et une telle durée, qu'il ne perd rien de sa beauté par l'action de l'air et de la pluie.

Le *bronzage des canons de fusil* et autres objets en fer se fait par un grand nombre de procédés : tantôt on les expose à l'action de l'acide hydrochlorique en vapeur, tantôt on les traite par de l'eau régale très étendue. Le plus souvent on échauffe légèrement le canon et on le frotte vivement avec un mélange d'huile d'olives et de *beurre d'antimoine* (chlorure d'antimoine fondu), dont on renouvelle l'action à plusieurs reprises. Quelquefois on frotte ensuite avec un linge imbibé d'eau seconde. Enfin, on lave avec soin le canon avec de l'eau pure, on l'essuie et on le sèche, et enfin on le polit avec un brunissoir d'acier, ou bien, on le frotte avec de la cire blanche, ou on le recouvre d'un vernis formé en dissolvant dans l'esprit de vin, 16 parties de gomme laque et 3 parties de sang-dragon.

D'après *Storch*, on obtient une liqueur à bronzer le fer très convenable en dissolvant dans 8 p. d'eau distillées, 2 p. de sulfate de cuivre cristallisé, et 1 p. d'éther sulfurique dans lequel on a dissous du chlorure de fer.

BRONZE (*angl.* brass, *all.* bronze). Alliage formé de cuivre et d'étain, auquel on ajoute quelquefois un peu de zinc et de plomb. Cet alliage est beaucoup plus dur

que le cuivre; il était employé chez les anciens pour faire des épées, des haches, etc., avant que la manière de travailler le fer fût généralement répandue. L'art de fondre des statues de bronze remonte à la plus haute antiquité, mais il n'a reçu un certain degré de perfection qu'environ 700 ans avant J.-C. Ce fut à Theodoros et à Rœcus, de Samos, que l'on dut ce premier progrès; c'est à eux que Pline attribue l'invention de l'art de modeler. Les anciens avaient bien remarqué, qu'en alliant le cuivre avec l'étain, on obtenait un métal plus fusible, que la fonte devenait par cela même plus facile, et que les statues étaient plus dures et plus durables; néanmoins celles-ci se trouvaient fréquemment de cuivre presque pur, parce qu'ils ne possédaient aucun moyen de déterminer les proportions de leurs alliages, et que, par leur manière de conduire le feu, le cuivre s'affinait pendant la fusion, ainsi que cela arrive encore quelquefois de nos jours à des fondeurs sans expérience. Ce fut pendant le règne d'Alexandre que les fonderies de bronze acquirent leur plus grand développement. A cette époque le célèbre Lysippe parvint, par de nouveaux procédés de moulage et de fusion, à des résultats remarquables que nous a transmis l'histoire. Bientôt après on coula d'énormes colosses en bronze, aussi élevés que des tours, et dont l'île de Rhodes seule ne possédait pas moins d'une centaine. Le consul romain Mutionus trouve 3,000 statues de bronze à Athènes, 3,000 à Rhodes, autant à Olympie et à Delphes, quoique dans cette dernière ville on en eût déjà enlevé un grand nombre.

Pour de pareilles statues, l'alliage doit être assez fusible pour couler promptement dans toutes les parties du moule, quelque délicates qu'elles soient; il doit être dur, afin de pouvoir résister aux chocs que les statues peuvent recevoir par accident; il doit être à l'épreuve de l'influence des saisons et de nature à pouvoir acquérir à l'extérieur, avec le temps, cette teinte verdâtre ou *patine*, qu'on admire tant dans les bronzes antiques. La composition chimique de l'alliage qui fait le bronze est donc un objet de la première importance.

Les frères *Keller*, fondeurs célèbres du temps de Louis XV, dont les chefs-d'œuvre sont si connus, dirigeaient toute leur attention sur ce point, auquel on attache si peu d'importance aujourd'hui. La statue de Desaix, sur la place Dauphine, et la colonne de la place Vendôme sont des exemples de tout ce qu'on peut faire de plus mauvais dans ce genre de travaux, par la combinaison des alliages dont ils sont formés. En analysant séparément des échantillons pris dans les bas-reliefs du piédestal de cette colonne, dans le fût, et au chapiteau, on a trouvé que le premier ne contenait que 6 parties p. 100 d'alliage de cuivre, le second encore moins, et le troisième seulement 0,24 p. 100; ce qui démontre clairement que le fondeur n'a pas su prévenir l'oxydation de l'étain et son passage progressif dans les scories, pendant la fusion du bronze, et qu'à mesure que la quantité d'étain diminuait dans ce dernier, ce qui le rendait moins fusible et moins propre au moulage, il l'employait pour les parties supérieures de la colonne, où, vu l'élévation, les défauts de fonte devenaient moins sensibles.

Les canons que le gouvernement avait fournis pour la fonte du monument contenaient :

Cuivre.	89,360
Etain.	10,040
Plomb.	0,102
Argent, zinc, fer et perte. . . .	0,498
	100,000

Le moulage de la plupart des bas-reliefs a été si mal exécuté, que les ciseleurs, employés pour en réparer les fautes, n'enlevèrent pas moins de 70,000 kilogr. de

bronze qui leur furent abandonnés, outre une somme de 300,000 fr. qu'ils reçurent pour leur travail.

Les statues qui ont été coulées par les frères Keller, à Versailles, ont donné à l'analyse :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	Moyenne.
Cuivre. . .	91,30	91,68	91,22	91,40
Etain. .	1,00	2,32	1,78	1,70
Zinc. . .	6,09	4,93	5,57	5,53
Plomb . .	1,61	1,07	1,43	1,37
	100,00	100,00	100,00	100,00

L'analyse du bronze de la statue de Louis XV, dont la densité était de 8,482, a donné pour sa composition :

Cuivre.	82,45
Zinc.	10,30
Etain.	4,10
Plomb.	3,15
	100,00

L'alliage le plus convenable pour les médailles de bronze qu'on doit frapper ensuite, se compose de 8 à 12 parties d'étain, et de 92 à 88 parties de cuivre, ou en moyenne de 1 d'étain pour 9 de cuivre. Si on y ajoute 2 ou 3 p. 100 de zinc, l'alliage prend alors une *patine* plus belle. L'alliage des frères Keller est célèbre à cet égard: La médaille doit être frappée au balancier à trois ou quatre reprises, en l'adoucissant chaque fois en la chauffant au rouge, puis en la trempant dans l'eau froide.

Le bronze ou métal des cloches est composé, sur 100 parties, de 78 de cuivre et de 22 d'étain. Il présente un beau grain compacte, est très fusible et très sonore. Les autres métaux qu'on y ajoute quelquefois sont plutôt préjudiciables qu'avantageux, et ne servent qu'à augmenter les profits des fondeurs. Il y a des cloches anglaises qui contiennent 80 de cuivre, 10,1 d'étain, 5,6 de zinc, et 4,3 de plomb; ce dernier métal, surtout, lorsqu'il est en aussi grande quantité, se sépare souvent en parties presque pures, qui détruisent l'uniformité de l'alliage.

Les *tam-tams*, ou cymbales de bronze, inventés par les Chinois, sont forgés au marteau, très minces, et s'appellent aussi *gongs-gongs*, du mot chinois *tshoung*, qui signifie cloche. Klaproth a démontré qu'ils ne sont composés que de cuivre et d'étain, dans les proportions de 78 de cuivre et de 22 d'étain. Leur densité est de 8,815. Lorsque cet alliage vient d'être coulé, il est aussi fragile que du verre, mais en le plongeant à la chaleur rouge-cerise dans de l'eau froide; et en le mettant entre deux disques de fer pour empêcher qu'il ne se déforme, il devient ductile et malléable. Au moyen de ce procédé découvert par feu M. d'*Arcet*, on peut rendre ductiles tous les objets en bronze, ce qui est très important, par exemple, pour les mortiers en bronze qui présentent des avantages sous le rapport de la dureté, mais qui avaient l'inconvénient assez grave d'être cassants sur leurs bords; comme cette partie est plus mince, plus sujette à casser, et qu'il est d'ailleurs inutile qu'elle présente la même dureté que le fond, on remédie à tous les inconvénients, en *trempant* dans l'eau cette partie seulement.

Les armes offensives de bronze (airain) des anciens variaient dans leur composition; les épées étaient formées de 87,5 de cuivre, et de 12,5 d'étain; les ressorts des balistes, de 97 de cuivre, et de 3 d'étain.

Le *métal des canons* se compose d'environ 90 à 94 de cuivre, et de 10 ou de 9 parties d'étain. D'après les expériences de Papacino-d'Antony, faites à Turin en 1770, il paraît que l'alliage le plus convenable pour les gros canons est de 12 à 14 parties d'étain sur 100 de cuivre; mais le comte Lamartillière a conclu de ses expériences, faites à Douai en 1786, qu'on ne doit jamais

employer moins de 8, ni plus de 11 parties d'étain sur 100 parties de bronze.

Bronze pour la dorure. Cette qualité de bronze doit se fondre facilement, devenir très fluide, prendre parfaitement la forme du moule, et posséder en outre un certain degré de compacité, qui diminue la quantité d'or nécessaire pour obtenir la teinte voulue. L'alliage de cuivre et de zinc seulement a une consistance trop pâteuse. Il est susceptible d'absorber trop d'amalgame et sujet à se crevasser en se refroidissant; enfin il est ou trop dur ou trop tendre pour le ciseleur ou le tourneur. Si l'on augmente la quantité de zinc pour rendre le métal plus dur, il perd cette couleur jaune qui convient au doreur. Une composition quaternaire de cuivre, de zinc, d'étain et de plomb, est préférable pour ces sortes d'ornements en bronze, et les proportions suivantes sont probablement les plus convenables, car elles réunissent la texture serrée du grain aux autres qualités requises : cuivre, 82 ; zinc, 18; étain, 3 ou 4 ; plomb, 1, 5 ou 3. Dans l'alliage qui contient plus de plomb, la ténacité se trouve diminuée et la densité augmentée, ce qui est préférable pour des pièces de petites dimensions. Un autre alliage qu'on dit n'exiger, pour être doré, que les deux tiers de la quantité ordinaire d'or, se compose ainsi qu'il suit : cuivre, 82,257; zinc, 17,481 ; étain, 0,238 ; plomb, 0,024.

On donne la couleur du bronze antique aux figures et autres objets faits de ces alliages, par les procédés suivants : on fait dissoudre 4 parties de sel ammoniac et 1 p. de bioxalate de potasse dans 448 p. de vinaigre incolore, on trempe un pinceau dans cette dissolution, et, après l'avoir légèrement exprimé entre les doigts, on le passe également sur la surface bien décapée de l'objet, qu'on a le soin de chauffer légèrement, soit au soleil, soit dans un fourneau. L'on répète l'opération jusqu'à ce qu'on ait obtenu la nuance désirée.

Un procédé quelque peu différent du précédent, consiste à dissoudre 1 partie de sel ammoniac, 3 p. de crème de tartre et 6 p. de sel marin, dans 12 p. d'eau bouillante, à laquelle on ajoute ensuite 8 p. d'une dissolution de nitrate de cuivre ayant une densité de 1,460, puis passant à plusieurs reprises le mélange sur la pièce à bronzer, en laissant reposer entre chaque fois quelque temps dans un endroit humide. On ne tarde pas à obtenir ainsi un enduit vert et durable, dont la beauté augmente encore avec le temps. Plus on met de sel marin dans le mélange, plus la teinte verte obtenue tire sur le jaune; moins on en met, plus elle tire sur le bleu. Plus on ajoute de sel ammoniac, plus l'opération marche vite; mais ce procédé n'est pas à recommander, parce que plus la patine est longue à se produire, plus elle est belle et solide.

Le fondeur en bronze doit faire fondre ses métaux rapidement, afin de prévenir les pertes d'étain, de zinc et de plomb qui résultent de leur oxydation. On emploie ordinairement pour la fonte, des fourneaux à réverbère à sole elliptique. Les fondeurs de cloches font usage de fourneaux circulaires sans cheminées, dont la voûte est simplement percée d'ouvertures qui donnent issue à la fumée et déterminent un tirage suffisant, parce que leur alliage, étant plus fusible, n'exige pas une chaleur aussi intense. Toutefois, ils trouveraient aussi leur avantage à employer le mode de fusion le plus rapide. La surface des métaux fondus doit être recouverte avec du menu de houille ou de coke, et lorsqu'on ajoute le zinc, on doit le pousser adroitement au fond du cuivre fondu. On ne doit verser dans les moules qu'après avoir brassé la masse fondue, de manière à en bien mélanger les divers éléments. En général, on doit ajouter en dernier les métaux qui s'altèrent le plus facilement au feu, comme l'étain. Le refroidissement doit être aussi prompt que possible dans les moules, afin d'empêcher que les métaux ne se séparent entre eux dans l'ordre de leur densité, ce qui est un inconvénient dont ils sont très susceptibles. On a reconnu qu'il était avantageux d'ajouter au bronze une petite quantité de fer sous la forme d'une feuille de fer-blanc, pour augmenter sa dureté et sa ténacité.

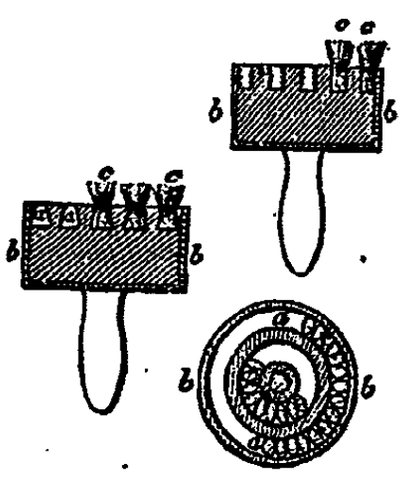
Une partie d'étain et deux parties de cuivre (à peu près un atome d'étain et quatre de cuivre), constituent le métal ordinaire des miroirs des télescopes à réflexion, lequel est, de tous les alliages de cuivre et d'étain, le plus blanc, le plus brillant, le plus dur et le plus cassant. Celui formé de 1 partie d'étain et de 10 de cuivre (ou à peu près 1 atome du premier et 18 atomes du second), est le plus tenace de toute la série de ces alliages.

Lorsque les ornements en bronze destinés à la dorure ont été coulés, on les met ordinairement sur des charbons incandescents jusqu'à ce qu'ils aient acquis la température du rouge obscur, et on les expose alors pendant quelque temps à l'air. Leur surface se trouve délivrée par ce moyen de toute matière grasse ; une certaine portion de zinc s'en sépare, et l'alliage prend alors une couleur de cuivre plus prononcée, ce qui le rend apte à recevoir la dorure. La teinte noire que le feu communique quelquefois aux pièces s'enlève au moyen d'un lavage fait avec un acide affaibli. On peut très bien les décaper au moyen de l'acide nitrique à la densité de 1,324, auquel on ajoute une petite quantité de sel commun et de suie; toutefois, cette dernière substance est d'une utilité douteuse. Après cela on doit bien laver à l'eau pure, et sécher avec de la sciure de bois ou un linge propre. (BRONZES D'ART. Voy. *Compl.*)

BROSSES (*angl.* brushes, *all.* bürsten). Les brosses à peinture se font en serrant fortement, avec un fil de fer ou une cordelette, des bottes de crin au bout d'un manche en bois. On coupe ensuite de niveau les crins aux deux bouts, et l'on enduit à chaud d'un mélange de cire et de résine le haut de la botte.

Les brosses ordinaires se font avec des soies de sanglier et de porc. La *patte* est un morceau de bois plus ou moins épais, percé de part en part au foret, de trous ronds, égaux, disposés en quinconce et convenablement espacés. On passe dans un de ces trous une ficelle doublée en boucle dans laquelle on engage, par son milieu, un faisceau de poils d'à peu près la même longueur, et l'on tire la ficelle pour forcer le faisceau à se doubler en entrant dans le trou et à se plier en ses deux moitiés. On passe ensuite la même ficelle en boucle dans le trou suivant, pour saisir un autre faisceau de poils, et ainsi de suite; la ficelle reste ainsi engagée dans tous les plis des faisceaux. On coule par dessus la patte de la colle-forte chaude et liquide, ou quelquefois du goudron, afin de maintenir le tout solidement. Enfin, l'on coupe avec des ciseaux appelés *forces*, tous les bouts des poils pour les niveler parallèlement à la patte. Celle-ci est ordinairement en hêtre, en noyer ou en tout autre bois dur, et pour les brosses à habits, recouverte d'une feuille de placage.

309.



308. 310.

Quand on fait la patte en os ou en ivoire, on remplace la ficelle par un fil de laiton. C'est ainsi que sont construites les brosses à dents et à mains, les brosses de blaireau pour la barbe, etc.

M. Mason a pris en 1830, en Angleterre, un brevet pour un nouveau procédé pour faire les faisceaux de poils sur la patte, qui consiste à pratiquer dans celle-ci,

au lieu de trous isolés, des rainures *a*, *a*, en queue d'aronde (*fig.* 308 et 340), dans lesquelles on juxta-pose les faisceaux de poils *c*, *c*, préalablement plongés par le bout dans de la colle de menuisier, ou de la poix, qu'on presse à mesure avec les doigts ou de toute autre manière, pour leur faire prendre une forme ovale (*fig.* 340), de telle sorte qu'ils s'élargissent par le bas et remplissent la rainure où ils se trouvent (*fig.* 308), et s'y trouvent solidement fixés. Il emploie également des rainures cylindriques (*fig.* 309), dentelées, de manière à retenir avec force les faisceaux de poils.

BROU DE NOIX (*angl.* walnut husks ou peels). Est très employé en France, par les teinturiers, pour donner plus de fixité à certaines couleurs sombres.

BROYER (art de). C'est en général l'art de réduire un corps solide en particules plus menues de quelque manière et avec quelque instrument que ce soit.

L'art de broyer constitue, dans son ensemble, dans ses moyens de travail, et dans la diversité des matières employées, une industrie à part et bien distincte, qui exige de la part de celui qui l'exploite, de justes notions sur les propriétés et les qualités des diverses matières soumises au broiement, sur les conditions du meilleur choix des instruments de travail, et sur la meilleure manière d'agir sur les corps, suivant le but qu'on se propose.

Quoi qu'il en soit, il est bon nombre de principes généraux sur lesquels les constructeurs et les fabricants les plus éclairés ne sont point d'accord entre eux, principalement sur les avantages et les inconvénients des machines cylindriques, employées dans la fabrication du chocolat, des encres pour l'imprimerie et pour la peinture (voyez CHOCOLAT, ENCRES, COULEURS) : beaucoup de constructeurs ne tiennent pas assez de compte de la nature et de la qualité des produits eu égard à l'emploi qu'on doit en faire.

En un mot, ingénieurs, constructeurs et fabricants flottent incertains entre les systèmes et les doctrines de broiement les plus différents et les plus opposés ; de là cette foule de machines plus ou moins ingénieuses qui prennent des noms analogues à l'objet qu'on se propose : machines à moudre les plantes alimentaires, à décortiquer, concasser, pulvériser et couper les graines sèches et grasses, à battre les grains, à piler, à écraser les corps durs et résistants, et à broyer les écorces à tan, le plâtre, les épices, les couleurs, les émaux, etc.

Nous croyons donc faire une chose bonne et utile d'indiquer ici, sinon les propriétés physico-chimiques des matières dont l'étude appartient exclusivement à la science, au moins les principes généraux qui peuvent éclairer la pratique par de justes notions sur la condition du meilleur mode de broiement, suivant le but qu'on se propose, ou égard à la nature de la matière employée.

Nous comprenons sous le titre de *principes généraux*, savoir :

1° *Les caractères généraux des matières à l'état inerte et solide.*

2° *La ténacité des matières brutes*, c'est-à-dire la résistance que ces matières opposent à être brisées ou broyées d'une manière quelconque.

3° *Le choc ou la force mécanique nécessaire pour briser, écraser, piler, concasser et pulvériser les matières.*

4° *Les précautions à prendre et les défauts à éviter dans le broiement de certains corps*, eu égard à l'économie publique et à l'hygiène.

I. — *Caractères généraux des corps.* Les corps susceptibles d'être broyés et réduits en poussière fine sont ceux qui sont solides à la température ordinaire, et qui présentent au toucher une résistance très sensible. Ces corps sont des produits naturels ou des produits d'opérations artificielles, mécaniques ou chimiques : de là plusieurs catégories de matières que nous classerons sous la forme de *tableau des matières susceptibles d'être broyées et pulvérisées d'une manière quelconque.*

1re catégorie. Substances minérales dures et très résistantes.		Métaux et leurs composés métalliques, émeri, émaux, etc.
2e catégorie. Substances dures et peu résistantes.		Verre, pierre, marbre, craie, gypse, plâtre, talc, etc.
3e catégorie. Substances végétales servant à la pharmacie, aux arts et à l'industrie.	Dures et très résistantes.	Kina, noix vomique, fève de saint Ignace, etc.
	Moins résistantes.	Indigo, houille, charbon de bois, curcuma, sumac, noix de galle, café, cacao, poivre, piment, etc.
	Filandreuses.	Salsepareille, réglisse, écorce de garou, rhubarbe, iris, etc.
	Molles ou élastiques.	Gomme adraganto, coloquinte, agaric, baumes concrets, etc.
	Oléagineuses.	Moutarde, graines de lin, de colza, d'anis, cubèbes, etc.
	Résineuses.	Gommes-résines concrètes, bitume, ambre, benjoin, copal, etc.
4e catégorie. Substances végétales alimentaires.		Céréales, fruits et légumes secs, riz, noix, amandes, etc.
5e catégorie. Substances animales.	Dures.	Yeux d'écrevisses, écailles d'huîtres, ivoire, écaille, etc.
	Élastiques.	Cochenille, mouches cantharides, gélatine, albumine, etc.
	Peu résistantes.	Charbon animal, noir, etc.
6e catégorie. Substances ou produits chimiques.		Fleurs de soufre, précipités terreux, et divers produits de la sublimation.
7e catégorie. Substances que le fer et certains alliages métalliques altèrent.		Sels, couleurs diverses, vanille, etc.
8e catégorie. Substances vénéneuses ou nuisibles à la santé.		Arsenic, couleurs extraites du plomb, vermillon, vert de gris, etc.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer nous paraissant suffisants pour notre objet, nous renvoyons, pour la connaissance complète des matières, aux divers articles de ce dictionnaire, et aux ouvrages de physique, minéralogie, de chimie et de pharmacie.

II. — *De la ténacité et de la résistance du corps au choc ou broiement.* En théorie, la ténacité du corps dépend simplement de l'arrangement et du degré d'adhérence des molécules qui le constituent, ce qui revient à dire que les corps qui sont susceptibles d'être broyés le plus facilement, sont ceux dont les molécules sont tellement disposées qu'elles peuvent être brisées ou séparées par une moindre force. Or, cette définition, suivant le témoignage des physiciens, est précisément celle qui s'applique aux corps les plus élastiques. Donc, théoriquement parlant, ce sont les corps les plus élastiques qui se brisent et se rompent le plus facilement par l'effet d'un choc. Ainsi, le verre qui est très élastique se brise avec une plus grande facilité que les matières pierreuses, comme le marbre, la porcelaine, qui le sont beaucoup moins. Les corps peu élastiques, comme la craie, les grès tendres, les gypses, l'albâtre, le plâtre, etc., dont les molécules constituantes peuvent être facilement ébranlées et désunies, sont plutôt *écrasés, aplatis* par l'effort que *brisés*. Cependant il faut, dans la pratique, faire attention à une multitude de circonstances qui modifient les résultats.

Ces circonstances sont au nombre de cinq, savoir :

1° *La masse du corps à broyer;* car, plus elle est considérable, plus la résistance du corps est grande.

2° *La manière dont le corps est appuyé et retenu;* en effet le corps se brise d'autant plus facilement que son adhérence avec le point d'appui est plus grande.

3° *La forme du corps;* un corps rond est plus résistant que s'il avait la forme rectangulaire qu'on pourrait lui donner en le coupant et en l'aplatissant, et sa résistance augmente avec sa grosseur ou son épaisseur.

4° *L'influence de l'arrangement des particules du corps;* un corps composé de molécules lamellaires, parallèles, et appliquées les unes sur les autres, offre moins de résistance, que lorsqu'il est composé de petites lames entremêlées de fibres droites ou courbes, divergentes ou entrelacées.

Les corps très peu celluleux, très filandreux, présentent aussi une plus grande résistance; mais en général le corps, dont la structure présente des *agrégations granulaires*, est peu résistant, et sa résistance diminue encore suivant la grosseur, l'inégalité de ses molécules et leur degré d'écartement.

5° *Influence de la température.* La température en augmentant l'élasticité du corps, augmente sa ductilité et sa résistance au broiement. Le verre, la cire à cacheter, les résines sont des exemples que nous avons sans cesse sous les yeux. Il y a aussi des corps qui, au contraire, deviennent plus faciles à briser, lorsqu'on élève leur température à un certain point; tels sont certains alliages métalliques.

Les argiles et les terres à poteries, les pierres dures, comme le silex, le tripoli, le quarz, sont aussi plus faciles à briser et à pulvériser, lorsqu'ils ont été chauffés au rouge, et refroidis brusquement dans l'eau froide, le vinaigre, etc. Cette trempe a pour résultat d'*étonner* les corps pierreux, c'est-à-dire de diminuer l'adhérence de leurs molécules.

Nous ne parlons pas des corps qui sont susceptibles de se décomposer en partie par la chaleur, qui s'enflent ou se carbonisent et qui deviennent dès lors plus ou moins friables.

L'humidité produit aussi sur certains corps le même effet que la chaleur sur d'autres : aussi la terre glaise, la gomme arabique et la chaux vive, humectées d'eau, sont plus tenaces et plus résistantes. On utilise même cette propriété pour obtenir des poudres très fines de diverses matières dures, et voici comment : on broie la matière plus ou moins ténue, sous une molette ou sous une meule tournant circulairement avec de l'eau gommée, ou de la dextrine humectée d'eau. L'eau gommée a pour double effet de diviser les molécules et de les retenir pendant longtemps sous l'instrument de broyage, de sorte qu'on peut pousser l'écrasement jusqu'à la dernière limite.

III. — *Du choc et de la force mécanique nécessaire pour briser, écraser, piler, concasser et pulvériser les corps.* Nous ne détaillerons pas ici les principes du choc, étude qui appartient à la mécanique et à la physique; nous étudierons seulement *les effets utiles et pratiques*, que fournissent à l'industrie du broyeur les machines généralement connues aujourd'hui.

Nous citerons en première ligne, suivant l'ordre chronologique de l'invention, le marteau proprement dit qui servit sans doute aux premiers hommes pour *briser* les pierres, *écraser* les grains, et qui sert encore aujourd'hui pour *battre les métaux*, l'or, l'argent, le platine, le cuivre, etc. (voyez BATTEUR D'OR), et les étendre en feuilles très minces, afin de les réduire ensuite plus facilement en poudre fine par le frottement d'une meule et d'une molette, en fonte dure ou en acier. Le marteau, ou toute autre force contondante, qui agit perpendiculairement à la plus grande dimension du corps, doit être convexe; le coup aplatit les molécules sans les écraser et sans les volatiliser.

Le pilon, employé seul, agit comme le marteau sur les corps durs placés dans un mortier, mais par l'action d'un courant d'air à une température constante, dirigé dans le foyer de pulvérisation, on parvient à diviser et à classer en poudres de tous degrés de finesse, d'après le transport produit par la volatilisation, les matières les plus dures et les plus résistantes.

On *écrase et brise* aussi les corps peu résistants, placés sur un plan horizontal, par l'action d'un cylindre plus ou moins lourd qui roule sur eux, en leur présentant successivement les différents points de sa surface; mais cette action, qui est beaucoup moins considérable que celle produite par le pilon ou par le marteau, n'est employée utilement et économiquement que pour *comprimer* et *aplatir* certaines matières sans les déchirer. On emploie cependant ce moyen depuis un temps immémorial pour broyer le chocolat, sur une pierre horizontale ou concave, au moyen d'un rouleau auquel on imprime un mouvement de *va* et *vient* horizontal parallèle à la pierre. Quant à l'application nouvelle de la mécanique à de pareilles machines à chocolat, elle n'a pas eu encore pour effet d'obtenir l'entière perfection de l'opération, mais l'économie des forces et de la main d'œuvre. Il y a encore des machines à chocolat composées (voyez CHOCOLAT, HUILE), ainsi que celles antérieurement employées à Barcelone, de quatre ou six cônes, en fer ou en granit, liés par leurs sommets, et conduits circulairement par un agent mécanique sur un plan horizontal. Ces cônes font l'office de rouleaux, mais, comme l'explique un savant technologue : le développement de leurs surfaces étant différent de celui du plan sur lequel ils roulent, l'action propre des rouleaux n'a lieu, dans sa pureté, que suivant une zone très étroite, située généralement vers le milieu de leur longueur, tandis que cette action se combine aux deux extrémités avec celle de porphyrisation.

Le système de deux ou trois cylindres en fer ou en granit, agissant comme laminoirs, ne fait que comprimer inégalement la matière sans la déchirer; mais ce système augmente la cohésion, c'est-à-dire la force avec laquelle les particules des corps adhèrent entre elles, de manière à opposer plus ou moins de résistance à leur séparation. C'est ainsi que les fondeurs préparent leurs sables à mouler, afin de les aplatir et de les rendre plus adhérents.

On moud certaines plantes alimentaires entre deux meules d'un petit diamètre, dont l'une est immobile, et dont l'autre fait sa rotation autour d'un pignon placé au centre et construit en forme d'entonnoir; on place la matière dans l'entonnoir pour alimenter la machine sans le secours de l'homme. Un récipient permanent adapté au bas de la meule fixe reçoit le grain pulvérisé, qui s'échappe plus ou moins fin par suite du mouvement et de la force centrifuge. C'est à proprement parler le moulin à moudre le blé, construit comme dans son origine et avec tous ses inconvénients; mais plusieurs fabricants habiles, par des additions ingénieuses, ont rendu ce moulin apte à moudre du verre de bouteille, de la porcelaine, des oxydes métalliques, de la graine de colza, du cacao, etc., avec toute la perfection désirable. Tel est le moulin inventé par M. Pelletier (voir Bulletin de la Société d'Encouragement, année 1839, pages 144, 203, 259).

« Ce moulin, dit l'inventeur, se compose de deux meules de 52 centimètres de diamètre. La meule supérieure est armée extérieurement de fonte pour augmenter son poids, et porte sur sa surface broyante un disque en acier ou en fonte d'environ 27 centimètres de diamètre, rayonné dans le sens des tangentes au petit cercle de l'œil de la meule, de manière à faciliter l'expulsion à la circonférence des parties broyées. La meule gisante porte un disque semblable; mais les tangentes y sont en sens inverse de celles du disque supérieur, de manière à favoriser le broiement.

« Ces disques reposent sur des disques en bois, parallèles à la surface inférieure de la meule courante, logés dans l'épaisseur de cette meule et fixés par trois boulons à écrous. Entre le disque en bois et celui en acier, on place un disque en papier d'égale épaisseur, de manière qu'en desserrant les trois boulons à vis en bois à tête fraisée, qui fixent le disque en acier au disque en bois, on peut en quelques minutes enfoncer le disque, au fur et à mesure que la surface des meules, qui n'est pas recouverte, et qui reste unie et sans taille, s'use par le broiement.

« Par ce moyen, on peut remplacer assez promptement les disques hors de service, dont le prix est modique quand ils sont fondus :

Les avantages généraux de ce système sont :

1° D'agir par le seul poids des meules, comme les moulins ordinaires, en réunissant l'avantage des moulins en fonte à pression, qui depuis quelques années avaient été proposés;

2° D'avoir le même avantage qu'eux pour la précision, la dureté, et, par conséquent, la durée de la taille;

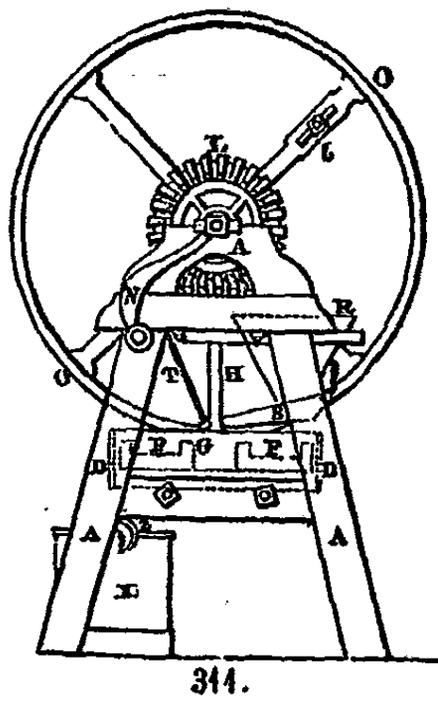
3° Enfin de pouvoir, en quelques minutes, remplacer ces disques avec facilité, comme de pouvoir les enfoncer dans les meules au fur et à mesure que la surface de ces meules, non recouverte de disques, s'use par l'effet du broiement. »

Les meilleures machines actuellement en usage en Angleterre pour broyer les couleurs sèches, sont principalement de deux espèces; ce sont des molettes agissant par le frottement circulaire et alternatif, ou des meules opérant par le mouvement circulaire et continu. Nous pouvons même citer plusieurs établissements où se trouvent réunies plusieurs machines différentes, des *meules*, des *cylindres broyeurs*, des *bluteirs*, etc., qui marchent par la transmission des mouvements incessants partant d'un centre d'action unique, de l'impulsion que donne une machine à vapeur, à laquelle la volonté d'un seul homme imprime en un instant une force motrice accélérée ou une modération de vitesse, suivant que les besoins l'exigent.

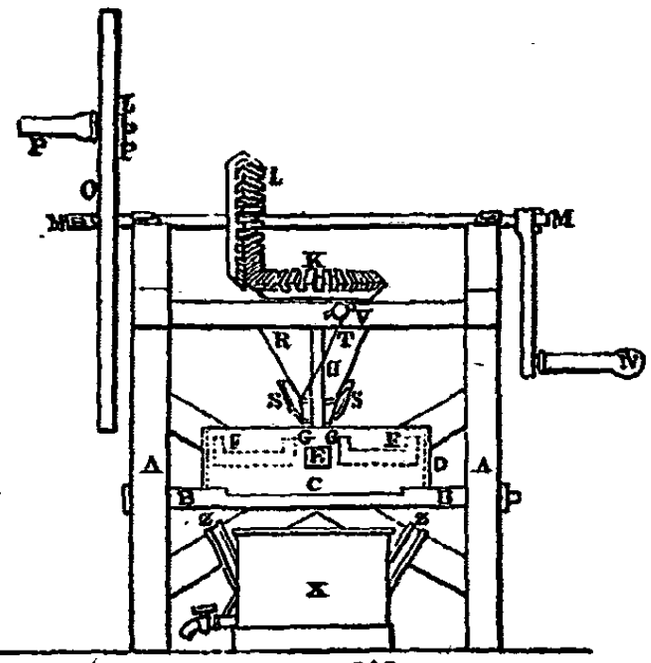
Nous donnons ici le dessin et la description d'un moulin à broyer les couleurs ou autres matières sèches, analogue à celui décrit ci-dessus, qui, par l'effet de la plus ou moins grande quantité d'humidité de l'air, ou de la chaleur produite par le frottement ne sont pas susceptibles de s'agglomérer et d'empâter les meules.

Les fig. 341, 342, 343 et 344, montrent cette machine vue sous plusieurs faces.

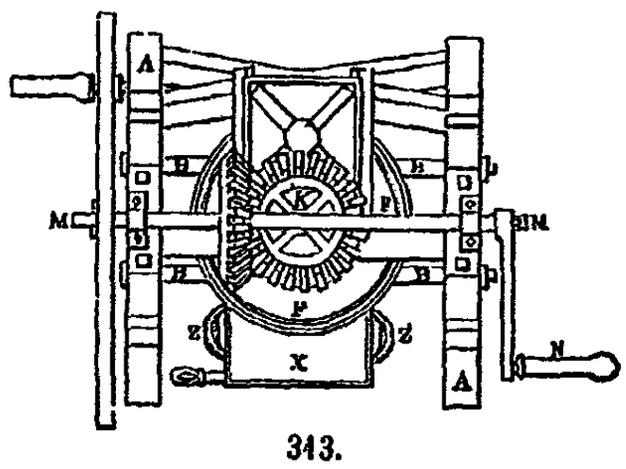
Le bâti A A du moulin est fait en bois ou en fonte, et est fortifié par les deux barres de fer B, B, qui le traversent. La meule inférieure C, qui sert de base



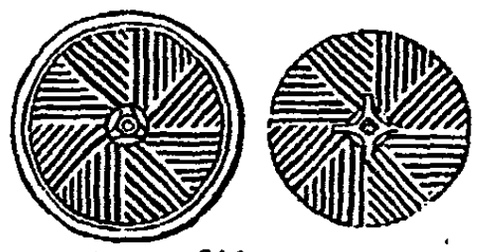
341.



342.



343.



344.

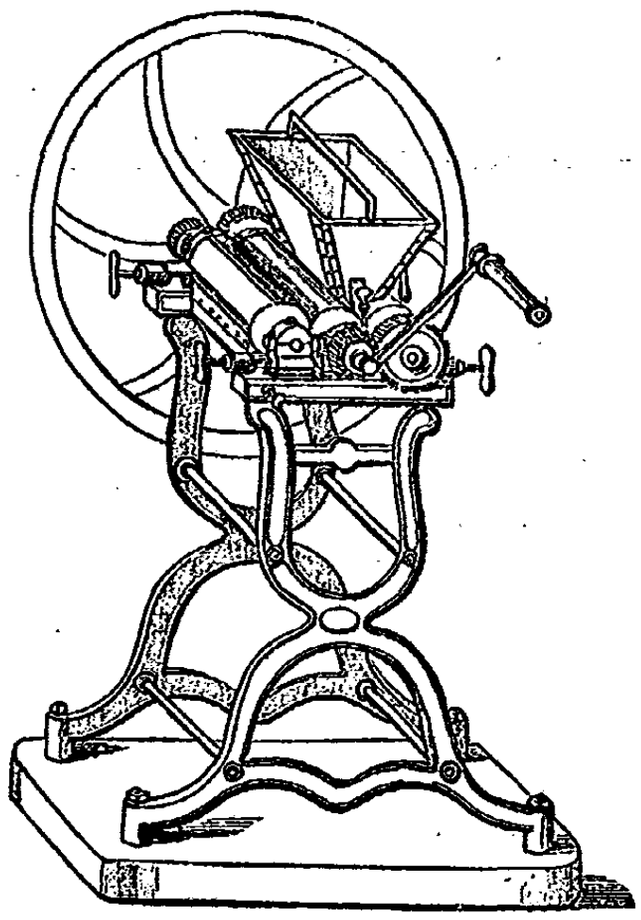
(fig. 342), est faite en fonte, et se trouve cannelée à sa surface supérieure comme les meules à farine. Elle est fixée sur les deux barres de fer B, B; mais il serait mieux de la soutenir par trois vis qui peuvent y être ajustées, en passant en haut à travers les barres de support. La meule est entourée d'un grand cercle de fer D, pour empêcher la couleur de consistance pâteuse de déborder par dessus le bord. Elle ne peut s'échapper que par l'ouverture de l'écluse E (fig. 342), formée dans la circonférence, elle est ensuite reçue dans le tube X placé en dessous.

La meule supérieure F, est aussi en fonte. Les lignes ponctuées en indiquent la forme. Il y a une ouverture au centre avec des bords G, G; il y a aussi un bord sur sa circonférence extérieure, ce bord est assez haut

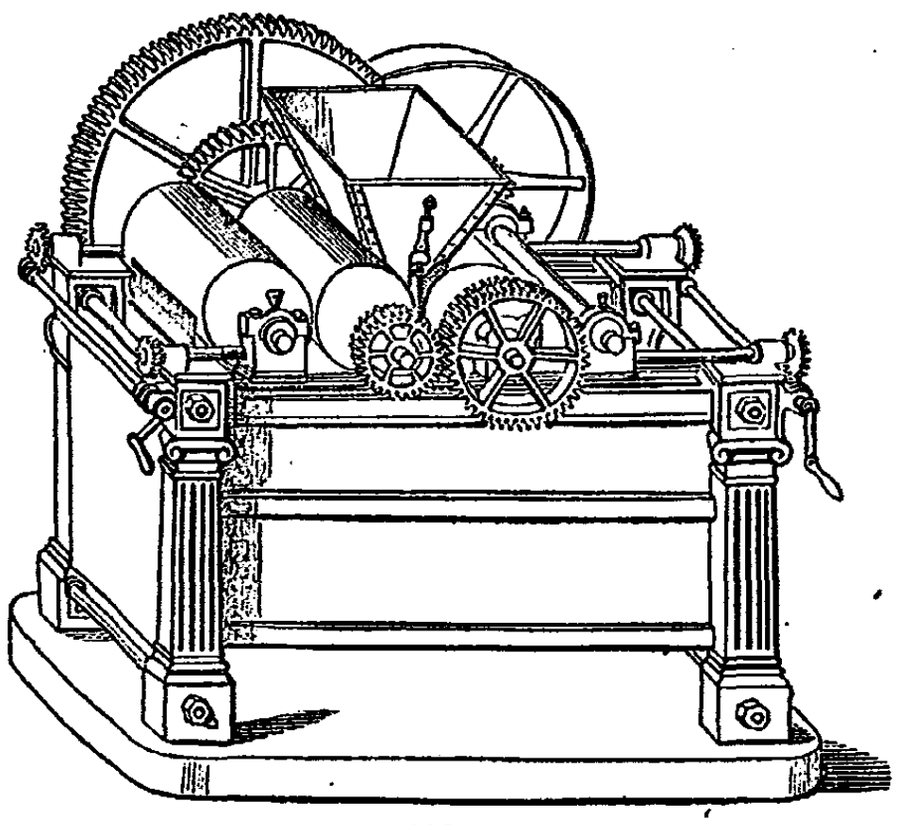
pour arrêter la couleur qui pourrait quelquefois s'accumuler sur la surface. Un axe de fer N passe dans la pierre à tourner, et la fait aller. Une roue d'angle horizontale K, (fig. 312 et 313), pourvue de 27 dents en bois, est attachée à l'extrémité supérieure de la flèche perpendiculaire H. Une autre roue d'angle L, pourvue, comme la première, de 27 dents en bois, est placée verticalement sur l'axe horizontal en fer M, M, et entre dans la roue K. L'axe horizontal M, M, supporte à une de ses extrémités une manivelle N, par laquelle l'ouvrier peut faire tourner la meule P, et à l'autre extrémité du même axe est attaché un volant O, qui sert à régulariser les mouvements de la machine. Sur un des rais du volant, il y a, de la même manière, une manivelle P, dont on peut se servir au besoin pour faire tourner le moulin. Cette manivelle peut s'attacher à la distance convenable du centre, au moyen de la vis J.

La couleur à broyer est mise dans la trémie R, à laquelle se trouve suspendu le seau S, mais toujours à une hauteur convenable pour faire passer la couleur très régulièrement à travers l'orifice G dans la meule F. Une corde ou une chaîne T, au moyen de laquelle le seau se trouve suspendu à une hauteur convenable pour verser la quantité de couleur nécessaire entre les pierres, tire le seau dans une direction oblique, et fait appuyer le bec contre la flèche droite H. Par ce moyen le seau est entretenu dans une agitation continuelle, de manière à décharger plus ou moins de couleur selon qu'il est penché plus ou moins considérablement. Le vase de cuivre X, reçoit la couleur à mesure qu'elle est broyée; une fois rempli, il peut se transporter par les deux manivelles Z, Z; ou être vidé par le robinet Y sans éloigner le tube.

BROYER.



345.



346.

Une observation importante à faire, c'est que toute machine cylindrique, agissant par le frottement continuel et périodique, produit toujours une matière composée de lames parallèles susceptibles de contracter entre elles une adhérence plus ou moins forte, suivant qu'elles sont plus minces, plus égales et plus homogènes, après avoir été triturées plus longtemps. Or, on sait que les corps les plus résistants sont les plus difficiles à briser et à diviser; c'est là le défaut à éviter dans les chocolats, les couleurs préparées pour la peinture, les encres d'imprimerie qui ne doivent manifester qu'une faible résistance, qui permette toujours d'isoler et de séparer facilement leurs molécules.

Les cylindres ou laminoirs en granit et en fonte sont utiles, pour mélanger avec facilité et économie de travail surtout, l'eau ou l'huile avec les couleurs déjà broyées, séchées et tamisées en poudre fine. Pourtant, il faut employer préférablement les cylindres en granit, en porphyre ou en pierre lithographique très durs; et, en effet, le blanc de céruse, broyé avec un cylindre en fer, jaunit au bout d'un certain temps. Le bleu de Prusse, trituré par le même moyen, verdit, les ocres piquent la fonte et mettent les cylindres hors de service; le chocolat contracte une odeur ferrugineuse; la vanille perd son parfum, quand le broyage est trop prolongé.

Dans les anciennes machines cylindriques, les paliers supportant les cylindres étaient fixés par des boulons contre une plate-bande du bâti; ces paliers s'éloignaient et se rapprochaient par une vis à double filet et à écrou, qu'il fallait tourner à l'aide d'une clef (fig. 315); ces machines exigeant beaucoup de temps pour être réglées, même imparfaitement. Pour obvier à cet inconvénient, M. Hermann a rendu dans les machines à trois cylindres (fig. 316) le palier du milieu fixe, les deux autres glissent dans des coulisses et se rapprochent ou s'éloignent simultanément par des vis commandées par une vis sans fin, de manière que tout en tournant la manivelle de la main droite, on peut régler en même temps l'écartement des cylindres de la main gauche.

Mais, nous le répétons, les laminoirs ne sont réellement utiles et efficaces que pour mélanger les couleurs avec de l'eau ou de l'huile. Il faut ensuite les broyer à la molette ou à la meule, agissant par le frottement circulaire et alternatif, afin d'opérer tout à la fois *le mé-*

lange intime, de la matière colorante avec le liquide, et de la diviser en particules extrêmement fines, plus arrondies et par conséquent moins adhérentes entre elles. Voyez COULEURS, ENCRES D'IMPRIMERIE.

Il est encore possible de réduire en poudre ou de broyer différentes substances peu résistantes par le moyen d'une ou de plusieurs boules qui roulent sur des surfaces cylindriques ou sphériques.

Cette invention date, du reste, d'une époque fort reculée, sa simplicité et l'efficacité de son action portent à le supposer : ainsi on a longtemps fait tourner les boules dans une bassine ou tout autre vaisseau de cuivre, en imprimant à ce dernier un mouvement de bascule, tel que cela se pratique encore aujourd'hui dans les petits ateliers de teinture. Ce système a l'avantage de produire un mouvement circulaire continu qui est toujours préférable au mouvement alternatif lorsqu'on veut broyer vite et à bon marché, et possède la propriété de rassembler par la loi de la pesanteur et par la disposition des pièces, toute la matière à broyer sur les points de contact des boules et du réservoir. Cette machine doit parfaitement convenir pour broyer de la houille et du charbon de bois.

Elle ne serait pas d'une application générale dans les fabriques d'indiennes, parce qu'elle ne pourrait servir pour les substances sèches qui ont la propriété de se tasser, telles que les gommes, et différents sels etc., dont la plus grande partie resterait collée aux parois intérieures du vaisseau, sans venir se présenter au point où se fait l'action de la boule.

Pour broyer les substances qu'on mêle avec l'eau, telles que l'indigo ou le bleu de Prusse, il faudrait disposer la porte de manière à pouvoir être bien formée et à ne pas laisser échapper le liquide. Par ce changement très facile à exécuter, cette machine deviendrait très propre à broyer les couleurs bleues mentionnées ci-dessus ; aussi plusieurs fabriques d'indiennes se sont-elles déjà servies d'appareils analogues.

Description de la machine à concasser les substances dures et sèches, de MM. Barratte et Bouvet. Toute cette machine se compose simplement de trois pièces principales, savoir :

1° D'une trémie en fonte contenant les substances à moudre ou à broyer ;

2° D'une grille fixe en fonte, percée de trous rectangulaires très étroits ;

3° D'un cylindre évidé et à arêtes héliçoïdes, ayant un mouvement de rotation sur son axe.

De la grille fixe. La grille à travers laquelle doit passer toute la substance, après qu'elle a été broyée, est d'une forme circulaire et fondue d'une même pièce ; elle est composée de plusieurs barreaux fort épais, réunis entre eux par de petites nervures qui forment en même temps les séparations des évidements rectangulaires et très étroits, par lesquels la matière est forcée de passer. On conçoit sans peine que, par la forme donnée aux barreaux de cette grille, elle puisse présenter une grande résistance et ne pas céder à l'énorme pression qui s'exerce contre elle, lorsque la machine fonctionne. La seule difficulté était de la fondre d'une pièce, en laissant entre les barreaux des interstices qui n'aient pas quelquefois plus de 2 à 3 millim. de largeur du côté de la surface concave qui se présente à l'action du cylindre. Mais on conçoit qu'un fondeur habile, avec un modèle bien fait, et en employant pour le moulage du sable très fin, peut toujours parvenir à fondre une telle pièce.

Cette grille repose par ses deux extrémités sur les feuillures qui ont été ménagées à l'intérieur de la trémie ; elle touche aussi ses parois latérales par des parties étroites et peu saillantes, qui ont été ménagées sur ses côtés. On peut encore la rendre tout à fait solidaire avec le fond de la trémie en la liant par des brides en fer. Ainsi, lorsqu'on élève ou lorsqu'on descend la trémie, on élève ou on baisse la grille en même temps. Celle-ci n'est pas exactement concentrique à la surface extérieure du cylindre : elle est d'un diamètre plus grand, afin de présenter de l'entrée, c'est-à-dire un passage un peu plus large vers les bords qu'au milieu.

Du cylindre mobile et de son mouvement. Le cylindre qui doit opérer la trituration de la substance renfermée dans la trémie, présente une forme toute particulière et qui n'a pas, que nous sachions, été appliquée jusqu'ici. Qu'on s'imagine, à la surface extérieure du cylindre, deux filets de vis, l'un à droite, l'autre à gauche, à pas très allongés, et se rencontrant à chaque moitié de circonférence, où ils forment des angles très prononcés ; que l'on suppose ensuite des cavités très profondes pratiquées entre chacun de ces filets, de manière à présenter des espèces de creux prismatiques, et l'on pourra se faire une idée de la construction de ce cylindre évidé. A son centre et dans toute sa longueur il existe d'ailleurs assez de matière pour qu'il ne puisse fléchir, mais, au contraire, tourner exactement.

Il est aisé de concevoir maintenant que si, après avoir rempli la trémie d'os carbonisés, par exemple, l'on imprime au cylindre un mouvement de rotation, soit dans un sens, soit dans l'autre, ces os seront successivement entraînés par les arêtes extérieures du cylindre, et bientôt amenés jusque sur la grille. Il est évident que tous ceux qui ne pourront se loger dans les différentes cavités pratiquées entre les filets héliçoïdes, seront d'abord pressés par ces derniers contre la partie inférieure de la trémie, puis bientôt contre la paroi intérieure de la grille. Ils commenceront donc à être déchirés et concassés ; puis, au fur et à mesure qu'ils approcheront du milieu de la surface de la grille, comme alors l'écartement qui existe entre elle et la surface extérieure du cylindre est très petit, ils seront considérablement réduits, et de plus forcés en grande partie de passer à travers les ouvertures de la grille. Il y a donc ainsi dans ce travail un double effet : le cylindre déchire, brise ou concasse, et il comprime, disposition qui est extrêmement favorable à l'opération. Tous les os qui ont pu se loger dans les cavités du cylindre sont remontés par lui, mais pour retomber bientôt sur le fond de la grille et être rencontrés par les filets saillants qui les broient et les forcent également à traverser les ouvertures.

Cependant, toutes les parties qui passent à travers la grille ne sont pas complétement réduites en poudre ; il y en a qui sont encore en grains d'une grosseur plus ou moins considérable, mais qui, dans tous les cas, ne peut être au-dessus de la largeur des ouvertures. Ainsi, si ces derniers ont 2 millim. de large, les grains les plus forts ne peuvent avoir, en sortant de la grille, plus de 2 millim. de diamètre. Avec une grille plus fine on obtiendra nécessairement plus de noir en poudre et moins de noir en grains ; mais on peut encore jusqu'à un certain point régler la grosseur du grain ou la finesse de la poudre, en rapprochant plus ou moins la grille du cylindre. (Voy. ENGRAIS.)

On se sert aussi, pour triturer les matières peu résistantes, et les réduire en poudre grossière, tels que l'écorce à tan et le plâtre, d'un moulin à noix, composé d'un cône en fonte armé de nervures saillantes et mobiles dans une boîte garnie aussi de saillies, entre les quelles les matières sont concassées. C'est du reste avec une machine à peu près semblable qu'on mout le poivre.

Il nous reste maintenant à parler des machines à découper et à réduire en copeaux toutes espèces de bois destinés à la teinture, machines spéciales et toutes d'invention moderne, à l'exception toutefois de la scie, de la râpe et du rabot de menuisier, employés depuis un temps immémorial pour user et raboter le bois.

Pour bien comprendre les avantages des machines à triturer les bois de teinture, il faut se rappeler quelques-uns des principes de l'art du teinturier, principes qui ont été si habilement établis par l'un de nos illustres savants français, M. *Chevreul*. Certes, nous ne pouvons mieux faire que de citer ses propres paroles :

« Plusieurs matières colorantes propres à la teinture étant déposées par la végétation sur les parties ligneuses, et ces parties insolubles dans l'eau pouvant avoir une ténacité très forte, il en résulte que, si un bois de teinture n'est pas divisé suffisamment, l'eau dans laquelle on le mettra, afin de préparer un bain colorant, ne pourra agir que très difficilement sur la matière qu'elle doit dissoudre, pour la céder ensuite à l'étoffe qu'on veut teindre. Dès lors, si l'on veut enlever à la partie ligneuse toute la matière tinctoriale, on se trouvera dans la nécessité de prolonger beaucoup l'action du liquide. On voit donc qu'une division mécanique, qui a pour effet de donner à la matière soluble la plus grande surface possible, est extrêmement favorable aux opérations de teinture par l'économie qu'elle apporte dans la durée de la main-d'œuvre et dans la dépense du combustible, car c'est presque toujours à chaud qu'on traite les bois de teinture. »

Feu *Vallery* avait pris un brevet en France, aujourd'hui expiré, pour une machine fort ingénieuse qui effectue cette division avec une grande perfection. (Voyez EXTRAITS).

Les bois triturés par ce procédé fournissent plus complétement et plus promptement leur matière colorante, qui se trouve par cela même moins altérée ; il y a donc économie de temps et de matière pour le teinturier, et amélioration dans la qualité du produit.

Cette extrême division, à laquelle est parvenu M. Vallery, a permis d'employer, dans la teinture, certains bois qui jusqu'alors n'avaient pu l'être en raison de la difficulté d'en extraire la matière colorante. C'est ainsi qu'aujourd'hui on consomme une immense quantité de bois de *santal*, resté jusqu'à ce jour sans usage.

Quelques teinturiers prétendent au contraire que les poudres de M. Vallery offrent de graves inconvénients : qu'elles s'attachent et se fixent aux tissus, de sorte qu'il est difficile, quelquefois même impossible de les enlever par les procédés mécaniques ordinaires Le fait est vrai lorsqu'on opère sur certaines étoffes de laine avec certains mordants et un excès de poudre, afin de monter la couleur, mais les cas sont rares ; et d'ailleurs les industriels habiles ne doivent plus s'effrayer de pareils accidents, faciles à prévoir ou à réparer, quand le savoir et l'adresse viennent à leur secours.

Du reste ces accidents se reproduisent encore plus souvent avec les bois triturés par les procédés ordinaires, particulièrement avec les bois réduits en poudre par le moyen des pilons, ou affilés sous une meule en pierre. Cela se conçoit d'autant plus facilement que ces poudres, composées de fragments aplatis irrégulièrement, allongés, fibreux, et très inégaux dans leur grosseur, *s'enchevêtrent* dans la laine, et *crillent* avec elle par l'action de la chaleur du bain de teinture, et par l'affinité chimique elle-même.

Les bois réduits en minces copeaux, soit au moyen de la hache, soit à l'aide de mécaniques circulaires ou horizontales, qui agissent à la manière d'une varlope, n'ont peut-être pas les mêmes inconvénients, mais il en faut un poids plus grand de ceux-ci que des poudres pour porter les étoffes au même ton de couleur.

M. Chevreul fait remarquer avec justesse que, si l'on ne doit se servir des poudres de M. Vallery que longtemps après leur préparation, il faut les soustraire au contact de la lumière et de l'atmosphère, parce qu'elles s'altéreraient bien plus vite, à cause de leur division même, par l'action simultanée de ces agents, que les bois non divisés.

BROYER.

Il faut ajouter de plus que les bois réduits en poudre par le procédé Vallery sont difficiles à falsifier, du moins d'une manière avantageuse pour le vendeur, et c'est là un avantage qui n'est pas à dédaigner pour la sûreté des opérations de teinture.

IV. — *Des précautions à prendre et des défauts à éviter dans le broiement de certaines matières, eu égard à l'économie publique et à l'hygiène.* Afin de prévenir l'action délétère des poussières amilacées et autres, qui compromet au plus haut degré la santé des ouvriers, et de rendre impossible toute volatisation de poudres, telles que celles provenant de la pulvérisation du blanc de plomb, du jaune de chrôme, du vermillon, du vert-de-gris, qui pourraient occasionner la mort, il faut triturer les corps vénéneux et nuisibles à la santé dans un moulin ou dans un bocard dit *volatisateur*, lequel sera établi dans un bâtiment bien aéré, construit selon les règles de l'art et de l'hygiène, et soumis à l'action d'un ventilateur.

V. — Nous terminerons en citant, comme un bon modèle à imiter sous tous les rapports, l'établissement fondé par MM. Mesnier et C^e^, à Noisiel près Paris, et destiné à la pulvérisation en général, ainsi qu'à la fabrication en grand des chocolats, gruaux d'avoine et orges perlés (voir le Rapport fait à la Société d'encouragement, juillet 1832, page 243).

Cet établissement, suivant l'expression du rapporteur, M. Amédée Durand, *réunit l'application des principes hors desquels il ne peut y avoir de succès en industrie, puissance d'action et simplicité de moyens.*

L'usine se divise en trois étages ; celui par lequel on entre renferme :

1° Un jeu de moules verticales en grès, agissant sur un bassin en fonte de fer non tourné, mais suffisamment poli pour que le lavage en soit facile et complet. Cette opération se renouvelle à chaque changement de substance. Les commissaires y ont vu préparer de la farine de riz d'une blancheur éblouissante et supérieure, de leur avis unanime, à celles qu'ils avaient vue jusqu'à ce jour.

2° Un autre jeu de moules verticales en pierres, dont la circonférence est garnie en fonte et qui opèrent dans un bassin en fonte comme le précédent. Cet appareil est employé pour les substances minérales et résistantes.

3° Tous les appareils à piler, que des convenances de localité ont forcé de concentrer dans cet étage. La forme et l'action des pilons sont et devaient être variés comme les différents genres de matières sur lesquelles ils opèrent ; mais une disposition leur est commune à tous, et elle a pour objet de rendre toute volatisation impossible. De là résulte une économie dans la fabrication, et ce qui est bien plus important, une garantie positive contre tout mélange ou altération des substances les unes par les autres.

Voici le nombre et la nature de ces appareils que dans l'usine on appelle *pilerie* :

1° Pilerie à poudre impalpable, composée de six pilons ;

2° Pilerie à couteaux pour les matières filamenteuses, telles que la réglisse et la salsepareille, etc. ;

3° Pilerie à poudre commune, composée de douze pilons qui sont réunis par quatre dans chaque mortier ;

4° Pilerie ayant sept pilons à base rétrécie pour la farine de moutarde ;

5° Pilerie à pilons de bois et mortiers de marbre pour les substances que le fer altère ;

6° Pilerie à gomme, comprenant deux pilons ;

7° Dans un cabinet entièrement séparé et hermétiquement fermé, trois pilons sont exclusivement destinés aux substances vénéneuses qui sont traitées de manière à ne faire courir aucun danger aux ouvriers ;

8° Dans un cabinet placé dans la partie opposée des

bâtiments et également séparé, se trouvent trois pilons d'une forme appropriée, et destinés au travail préparatoire des chocolats communs, qui seuls sont soumis à l'action de cet agent.

9° Tamisoirs mécaniques. Ces appareils méritent à eux seuls une attention très grande. L'opération du tamisage joue un si grand rôle dans les arts qu'on peut regarder comme un progrès important tout perfectionnement qui s'y rapporte. L'état où cette opération se trouve dans l'établissement de Noisiel est extrêmement remarquable.

Les moyens employés ici sont d'une simplicité extrême; les appareils tellement réduits, qu'ils peuvent être variés suivant la nature ou les propriétés des différentes substances, pour éviter toute possibilité de mélange. Leur action reçoit d'un moteur mécanique l'avantage immense de modifications graduées à l'infini, et d'une uniformité que la main de l'homme ne peut lui procurer. De ces circonstances résulte une identité parfaite entre les produits de même espèce.

L'ensemble des coups frappés par les différents pilons renfermés dans cet étage est d'environ deux mille, et le travail de chacun peut être considéré comme 7 fois plus grand que celui qu'on obtiendrait du travail d'un homme.

En montant au deuxième étage, on trouve :

1° Deux moulins à orge et gruau d'avoine;

2° Des tamisoirs;

3° Un moulin à blé à meules ordinaires;

4° Un moulin à drogues, même disposition;

5° Un blutoir à gomme;

6° Un tamisoir;

7° Un jeu de cylindres pour écraser les graines oléagineuses.

Passant au troisième étage, on rencontre les appareils à chocolat; ils sont au nombre de deux, et composés, ainsi que celui anciennement employé chez M. Auger, l'un de quatre et l'autre de six cônes liés par leurs sommets et conduits circulairement sur un plan horizontal..... »

La fabrique de M. Mesnier, fondée sur d'excellents principes, et exploitée avec une grande habileté commerciale, a pris d'immenses développements; elle est aujourd'hui peut-être la plus importante du monde entier. ROUGET DE LISLE.

BRUNISSOIR. Le brunissoir est un instrument en acier ou en pierre dure qui sert à polir un corps, en frottant les inégalités ou aspérités qui sont sur sa surface.

On comprend aussi sous le nom de *brunissoirs* les pierres à brunir à l'usage des doreurs sur bois, des relieurs, des porcelainiers, les pierres à lisser et les molettes des lisseurs d'étoffes, de papiers peints, de cartes à jouer, etc. (Voyez PAPIERS PEINTS, CARTES A JOUER, IMPRESSION SUR ÉTOFFES).

Comme l'a dit M. Héricart de Thury dans un rapport fait à la Société d'Encouragement, les brunissoirs et les molettes sont des instruments essentiels à différentes branches de l'industrie et considérés comme tellement essentiels qu'on a vu souvent des ouvriers estimer 50, 60 francs et au-delà, des brunissoirs que leurs pères avaient payé 2 et 3 fr., et que d'autres estimaient 40, 50 et 60 francs des molettes payées 5 à 6 francs au plus, mais dont ils avaient apprécié la qualité par une longue pratique.

Cette fabrication est d'une haute importance pour nos diverses industries qui ne peuvent se passer de brunissoirs, et qui ont souvent beaucoup de peine à se procurer les différentes formes qui leur sont nécessaires pour leurs opérations.

Ainsi : 1° les bijoutiers, les orfèvres, les doreurs sur métaux se servent de huit formes, ou forces de brunissoirs en pied de biche, d'agate, de silex ou d'hématite rouge (voyez ORFÈVRERIE);

2° Les doreurs sur bois ont quatre formes de brunissoirs d'agate, jaspe et silex; savoir la pierre à gorge, la pierre à bande, la pierre moyenne, et la pierre à meule. (Voy. DORURE SUR BOIS).

3° Les relieurs et doreurs sur tranches emploient trois formes de brunissoirs à dent, la forte, la moyenne et la petite.

4° Les porcelainiers ont quatre brunissoirs d'agate et de silex en pied de biche pour dégrossir, et quatre d'hématite pour finir.

5° Les lisseurs emploient plusieurs molettes d'agate et de silex de diverses dimensions.

6° Le brunissoir des doreurs sur cuir est un caillou dur et poli, monté sur un manche de bois.

Les brunissoirs en acier à l'usage des orfèvres, serruriers, couteliers, graveurs, horlogers et de la plupart des ouvriers en or, argent, en cuivre, en fer et en acier sont courbés ou droits, arrondis ou en pointe pour s'approprier aux saillies ou creux de la pièce.

Le brunissoir du graveur est une lame d'acier qui est amincie pour entrer dans les manches à poignée qui servent à le tenir; la partie du milieu, qui est plate, est arrondie du côté convexe, et aussi un peu courbe; la partie arrondie doit être bien polie, et l'outil trempé dur.

On se sert de ce brunissoir pour donner le dernier poli aux planches de cuivre, en les frottant et en ayant soin de mettre de l'huile pour les lubrifier.

Les brunissoirs en usage dans l'horlogerie sont de diverses formes et grandeurs, ils sont tous d'acier fondu, trempé dur et bien poli : les uns sont taillés en limes à feuille de sauge, d'autres comme des limes ordinaires; les premiers servent à brunir des vis, des pièces de cuivre, les autres servent pour des pièces plates. Les horlogers en ont aussi de petits de cette dernière espèce, pour brunir les pivots; ils les appellent brunissoirs à pivots.

Les brunissoirs habituellement employés pour le brunissage de la poterie d'étain, sont en acier. Les uns pour brunir la vaisselle, les autres pour la poterie, et les derniers pour ce qui est réparé à la main; on les repasse sur la potée d'étain, et on les mouille à l'eau de savon.

Le brunissage de la coutellerie s'exécute à l'aide de brunissoirs à main et de brunissoirs à étau; ils sont tous d'acier fin trempé et bien poli.

Les premiers n'ont rien de particulier, mais les brunissoirs à étau sont formés et montés d'une manière toute différente; sur une longue pièce de bois prise horizontalement dans l'étau, est posée une autre pièce aussi longue, mais en forme d'arc dont la concavité est tournée en bas. Ces deux pièces sont réunies à une de leurs extrémités par le moyen d'un piton et d'un crochet qui permettent à la pièce de dessus de se mouvoir librement autour de ce point comme centre. Cette pièce courbe porte vers le milieu de sa concavité le brunissoir, qu'on rend plus ou moins saillant par le plus ou moins de longueur qu'on peut donner à son pied. La pièce de bois mobile à l'extrémité opposée au crochet, est armée d'un manche qui sert à la manœuvrer comme un levier. Cette disposition permet d'appuyer avec plus de force le brunissoir sur la pièce à brunir, qui est posée sur le morceau de bois fixe. On donne au brunissoir, soit la forme du fer d'un marteau à tête arrondie et polie, pour brunir les pièces planes et convexes, soit la forme de deux cônes opposés par leur sommet et à bases arrondies, pour brunir les pièces concaves et les surfaces annulaires.

Détails sur les procédés de fabrication des brunissoirs en pierres dures. 1° Après avoir fait choix des écailles de silex qu'on distingue par leur beauté, l'homogénéité de la pâte, leur couleur et leur translucidité, qualité à laquelle les doreurs tiennent particulièrement, on dessine sur l'écaille, à l'aide d'un patron de cuivre, la forme du brunissoir; 2° on ébauche avec le marteau, opération délicate qui se fait rapidement, mais qui de-

mande beaucoup d'adresse, et un tour de main qu'on n'acquiert que par une longue pratique; 3° par l'effet de différentes meules, on les dégrossit, puis on les adoucit, et enfin on les termine en leur donnant le dernier poli, à l'aide de divers apprêts.

L'agate étant plus pure que le silex pyromaque, quelques personnes ont pensé que les brunissoirs et les molettes d'agate devaient être préférés à ceux de silex; mais l'expérience, le premier de tous les maîtres, disait Bernard de Palissy, qui était le premier praticien de sa fabrique, l'expérience a prouvé la supériorité des brunissoirs à silex sur ceux d'agate; c'est par les mêmes raisons que les pierres à fusils de silex sont supérieures à celles d'agate à cause de leur plus grande résistance, que les silex sont moins cassants et moins sujets à éclater par le plus léger choc en porte à faux, et qu'enfin l'agate est trop coulante.

Le travail des matières siliceuses dures se fait très avantageusement au moyen de scieries mécaniques convenablement disposées; nous donnons ci-dessous l'idée d'un établissement de ce genre,

Description de la scierie mécanique établie par M. Hutin, sur le canal Saint-Martin, boulevard Beaumarchais. 1° Une scierie mécanique horizontale pour scier les pierres dures en plaques de 0m,50 de longueur sur 0m,30 de largeur; son porte-lame descend seul, suivant un poids déterminé par le nombre de lames et la dureté de la pierre à scier. Une bricole met en mouvement une vis d'Archimède, qui élève à 0m,50, et verse sur toutes les lames, au moyen d'un excentrique, l'émeri, sans cesse agité, délayé dans l'eau, et mêlé en parties égales, avec du grès fin, qui, reçu dans un bassin inférieur, est repris et élevé de nouveau par la vis d'Archimède. Ce procédé qui aura certainement d'utiles et nombreuses applications, nous paraît mériter de fixer l'attention.

Cette scierie, qui peut comporter jusqu'à vingt lames au besoin, débite des tranches d'agate, de jaspe et de bois agatisés, de palmiers pétrifiés, etc., de toutes les épaisseurs, ainsi qu'on peut le voir dans les galeries de minéralogie du Muséum d'histoire naturelle.

2° Une scierie à lames circulaires pour couper et détailler en plaques de moins d'un demi-millimètre d'épaisseur les agates, les jaspes, les jades et autres pierres d'ornement.

Comme dans la précédente, l'émeri est élevé par une vis d'Archimède *barboteuse*, de 0m,50 de longueur, sur la pierre, qui, au fur et à mesure de l'*entrure* des lames, avance sur un chariot au moyen d'un poids d'appel. Cette scierie est d'autant plus avantageuse et plus économique que, une fois l'appareil monté, la scie marche toute seule pendant cinq à six heures, et même davantage, sans avoir besoin de personne pour la diriger, jusqu'à ce que tous les traits de scie soient entièrement terminés. Ces scies ont l'immense avantage d'éviter le grave inconvénient que présentaient les sciottes à la main, dont les traits se rencontraient rarement, au point qu'il en résultait presque toujours un noyau ou une saillie sur l'une des surfaces, et sur l'autre, au contraire, un creux ou une cavité qui exigeaient un long travail de planissage et de perte de matière pour les faire disparaître entièrement.

BURIN. Outil servant à graver, qui se compose simplement d'un petit barreau carré d'acier affûté par une de ses diagonales, de telle sorte que la face usée soit un losange, et emmanché dans un manche en bois. Les burins doivent être faits avec le meilleur acier possible, lors même qu'ils ne sont destinés qu'à travailler le bois, sauf alors à leur donner une trempe moins dure; mais leur usage le plus habituel étant de couper le cuivre et même l'acier, ils doivent être généralement trempés durs. Le burin *grain d'orge*, moins employé et plus cassant que le burin *carré*, est taillé plus ou moins obliquement, de manière à présenter un losange beaucoup plus allongé, dont la pointe est très *friande* et sujette à casser. Ce burin sert à faire des tailles fines et profondes, tandis que le burin carré les fait plus larges et moins creuses. Le graveur a encore d'autres burins; car ce nom s'applique à toute une série de petits outils, tels que échoppes, burins elliptiques formant ogive du côté de la pointe, etc. Le graveur sur bois fait plus particulièrement usage du burin losange, et des *burins échoppes*, qu'il nomme *langue de chat*.

On emploie aussi des burins carrés, ronds, elliptiques, et de formes très-variées pour tourner le fer et l'acier; dans ce cas, on emploie plus souvent le côté que la pointe même.

Il semblerait, à voir un burin, que rien n'est plus facile que de le rendre pointu et coupant, et cependant cette opération est extrêmement difficile à bien exécuter. Communément, l'inclinaison du biseau d'un burin doit être de 40°, et ce biseau doit être parfaitement droit, tant dans le sens de la longue diagonale du losange, que dans celui de la plus courte diagonale qui la croise à angle droit.

C

CABESTAN (*angl.* capstan, *all.* spille, ankerwinde). Le cabestan est un treuil vertical qui se manœuvre au moyen de barres horizontales, qui permettent aux hommes qui le manœuvrent d'agir sans retirer et remettre les barres comme pour le treuil.

Un des emplois les plus importants du cabestan est celui qu'on en fait à bord des navires pour *dérâper*, c'est-à-dire pour détacher l'ancre du fond dans lequel elle est fixée. Nous suivrons pour cette analyse détaillée du cabestan le livre classique de M. de Fréminville (*Guide du Marin*).

Cabestan pour câbles en chanvre. — L'axe en fer du cabestan (*a b*, fig. 347), nommé *la mèche*, traverse le pont de la deuxième batterie dans un massif *ou étambrai* disposé à cet effet, et repose par son extrémité inférieure sur une *crapaudine*, ajustée dans une carlingue supportée par les baux de la batterie basse. Dans chaque batterie, la mèche en fer reçoit une *mèche en bois* c, renforcée par des taquets et entremises *d*, *d'*, qui constituent par leur ensemble *la cloche* du cabestan; enfin le cabestan lui-même est complété par le *chapeau g*, consistant en un disque en bois, ajusté à tenon sur la mèche et ses taquets et solidement chevillé avec ces différentes pièces; il est percé, à son pourtour, d'ouvertures rectangulaires dans lesquelles on introduit les leviers horizontaux aux *barres* qui reçoivent l'effort des hommes.

La mèche en fer, disposée comme nous venons de l'indiquer, porte donc deux cabestans, situés dans deux batteries différentes; la cloche inférieure est clavetée à demeure, mais la cloche supérieure est *folle*, et n'est que suspendue sur la mèche par une crapaudine fixée au chapeau; des clavettes longitudinales *f*, ajustées dans des mortaises pratiquées moitié par moitié dans la mèche et dans la crapaudine, permettent à volonté de fixer la cloche à cette mèche, ou de l'en rendre indé-

CABESTAN.

pendante, suivant qu'on les met en place ou qu'on les retire. Dans le premier cas, on peut réunir sur un seul

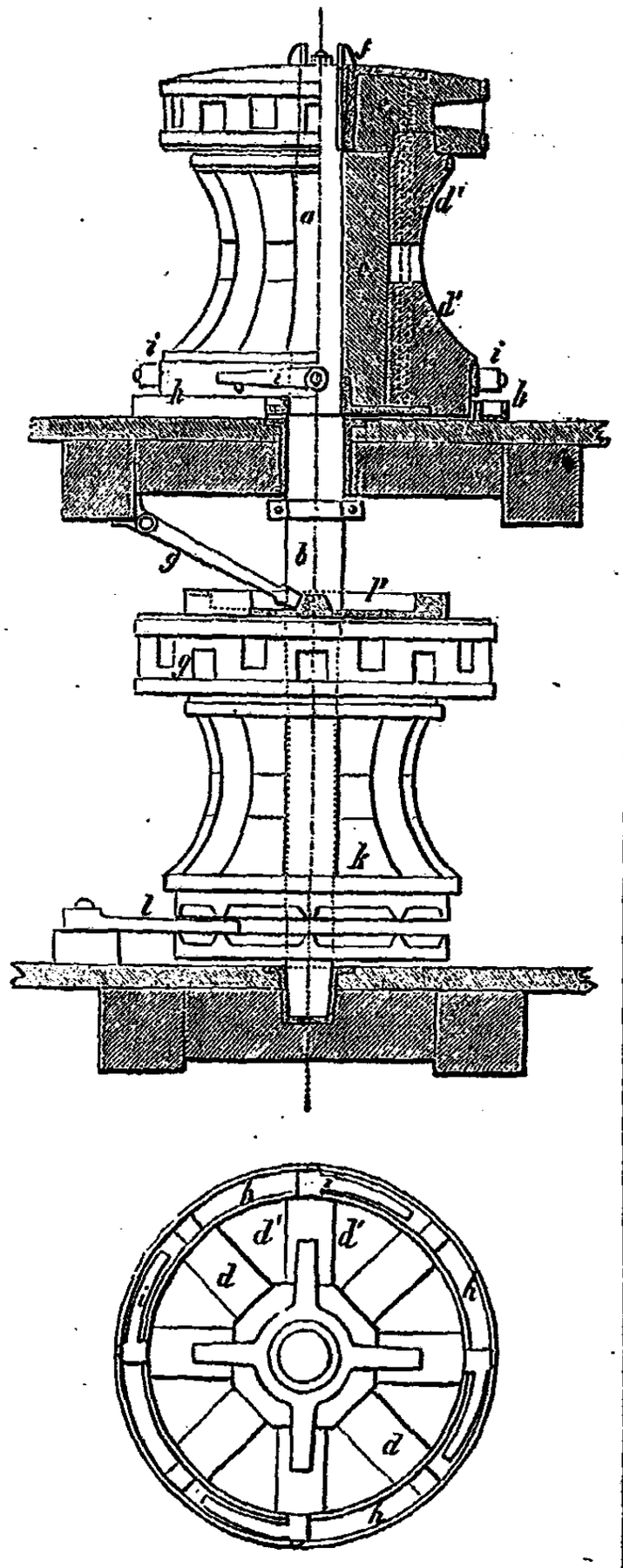


Fig. 317.

des cabestans, sur celui de la batterie basse, par exemple, l'effort des hommes agissant à la fois sur les deux cloches; dans le second cas, au contraire, les deux cabestans sont indépendants et peuvent être employés simultanément à des manœuvres différentes.

Les cloches reçoivent une forme évasée vers le haut et vers le bas, dans le but de faciliter l'opération qui consiste à ramener vers la partie centrale les tours de cordages garnis au cabestan, lorsqu'ils sont arrivés aux extrémités de la cloche, ou, suivant l'expression consacrée, lorsqu'il y a lieu de *choquer;* quelquefois l'inclinaison des surfaces est assez prononcée pour que cette manœuvre s'opère, d'un mouvement continu, et simplement par les effets combinés de la tension et du frottement que le cordage éprouve sur la cloche; lorsque cette condition est remplie, le cabestan est dit à *choc continu.*

Le cabestan de la batterie basse est spécialement affecté à la manœuvre des câbles, mais ceux-ci sont trop gros et trop roides pour pouvoir y être enroulés directement, et l'effort de traction leur est transmis par l'intermédiaire d'un cordage de moyenne grosseur nommé *la tournevire.* La tournevire est garnie au cabestan et amarrée sur le câble, à l'aide de garcettes, tout le long de la portion qui s'étend depuis l'écubier jusqu'au grand panneau, par lequel il pénètre dans la cale; la liaison du câble et de la tournevire étant ainsi établie, on vire au cabestan, et à mesure que le câble est entraîné, des hommes détachent les garcettes qui se présentent au panneau, tandis que d'autres en attachent de nouvelles sur le brin libre de la tournevire, que l'on ramène constamment à l'écubier. La tournevire est confectionnée en chanvre de premier choix, en sorte qu'à section égale elle présenterait une résistance supérieure à celle d'un câble ordinaire; en outre, n'étant jamais mouillée, elle n'est pas exposée aux causes d'altération que subit le câble; c'est pourquoi malgré son diamètre réduit, elle peut suffire à rentrer celui-ci, alors même qu'il est quelquefois chargé à la limite de ce qu'il peut supporter.

Pour soulager les hommes qui virent au cabestan, et leur permettre de se reposer sans attendre que l'on ait bossé les câbles, les cabestans sont munis de *linguets* qui les empêchent de dévirer; ceux du cabestan supérieur sont fixés à la base de la cloche (fig. 317 *i*) et tombent par leur propre poids dans une couronne creuse *h*, ou *saucier*, fixée sur le pont, et présentant de distance en distance des arrêts saillants qui n'opposent aucun obstacle lorsque l'on tourne dans une certaine direction, mais qui, dans la direction contraire, arc-boutent les linguets et rendent tout mouvement impossible; les linguets du cabestan de la batterie basse *g* sont articulés sur les baux du pont supérieur, et agissent sur un saucier *p*, boulonné sur le chapeau.

Cabestans à couronne, pour câbles-chaînes. — Primitivement les câbles en chaînes ont été manœuvrés comme les câbles en chanvre, à l'aide de la tournevire; mais on n'a pas tardé à se dispenser de cet intermédiaire en adoptant les *couronnes à empreintes,* imaginées par M. Barbotin, officier de vaisseau; cet appareil consiste, ainsi que l'indique son nom, en une couronne en fonte *k* (fig. 318) adaptée à la partie inférieure de la cloche du cabestan, et dont le pourtour présente l'empreinte d'un nombre exact de maillons, ordinairement 8; la chaîne convenablement dirigée s'emboîte et engrène avec cette couronne, et se trouve entraînée avec elle dans son mouvement de rotation. Lorsque l'on vire au cabestan, les maillons engagés dans les empreintes viendraient bientôt rencontrer ceux qui s'enroulent, et le fonctionnement du cabestan se trouverait entravé; pour éviter cet embarras, on engage dans la cannelure horizontale de la couronne deux espèces de couteaux *l. l.* (fig. 318), nommés les *désengreneurs*, qui repoussent les maillons engagés, après une demi-révolution à peu près et les font retomber sur le pont. Après avoir quitté la couronne, les chaînes doivent redescendre dans la cale par une ouverture percée dans le pont, du même bord que leur écubier, et par conséquent du même bord que le brin qui s'enroule au cabestan; mais le brin qui se déroule se trouve naturellement reporté du bord opposé, et pour le ramener à la position voulue, on se sert de rouleaux en fonte *m, m, m,* dont les axes verticaux sont fixés sur le pont, et qui lui font décrire le circuit nécessaire pour revenir au manchon de descente.

Le système des cabestans avec couronne à empreinte est exclusivement employé dans notre marine

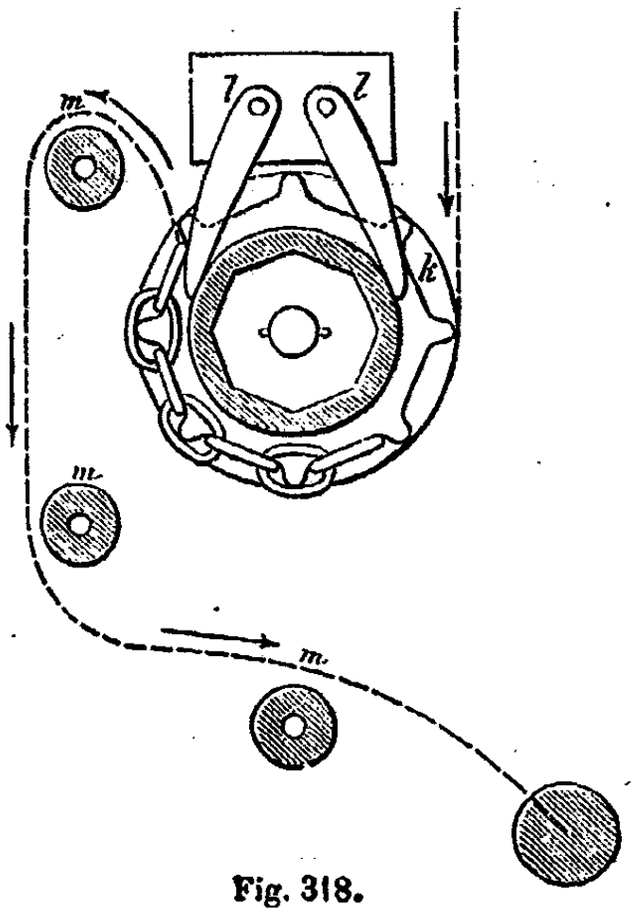


Fig. 318.

militaire; on le considère, en général, comme très-satisfaisant, mais il exige que les chaînes soient *régulières;* cette condition est remplie depuis longtemps pour celles fabriquées à la Chaussade, et en outre les maillons extrêmes et les manilles de jonction sont combinés de manière à s'accorder avec les empreintes; cependant cette concordance n'a lieu que si le maillon de jonction sans étai se présente horizontalement; lorsque l'on placera la chaîne sur la couronne, on devra donc veiller à lui donner cette direction, mais pour obtenir ce résultat, on n'aura pas besoin d'aller chercher un maillon de jonction, ce qui pourrait quelquefois être assez difficile, et il suffira de placer verticalement sur la couronne un maillon marqué sur l'étai d'un *repère pyramidal;* des repères semblables sont placés sur les maillons de 8 en 8, en sorte que l'on n'a jamais de peine à en trouver un et à le présenter convenablement sur la couronne. Faute de cette précaution, la chaîne serait exposée à décapeler, et il pourrait en résulter de sérieux accidents.

Cabestans à gorge pour chaînes irrégulières. — En Angleterre, on ne fait pas usage de la couronne Barbotin, les chaînes ne sont pas *régulières* et ne sauraient fonctionner avec cet appareil; on manœuvre les câbles avec la tournevire, ou l'on emploie des cabestans, munis à la partie inférieure d'une sorte de poulie à gorge très-creuse (fig. 319), présentant de distance en distance quelques cannelures saillantes; les chaînes qui s'y engagent sont coincées entre ses faces obliques, et le frottement, ainsi que la résistance des arrêts saillants suffisent pour les entraîner.

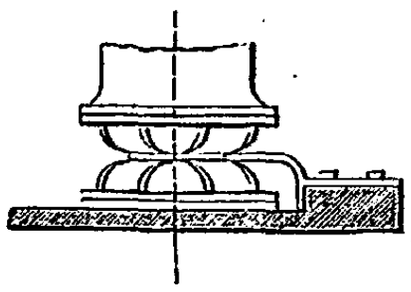


Fig. 319.

Ce système convient à des chaînes irrégulières, et peut même fonctionner avec des calibres très-différents; cependant il ne présente pas autant de sécurité

CABESTAN.

que la couronne Barbotin, qui commence d'ailleurs à être employée également en Angleterre.

Cabestans multiples. — Pour les bâtiments de fort tonnage, armés commercialement, comme les paquebots ou les grands transports à hélice de la marine militaire, l'équipage ne serait pas assez nombreux pour le service des deux cloches d'un cabestan ordinaire, car leurs ancres sont de la plus forte dimension. On emploie alors des cabestans à une seule cloche munis de mécanismes à engrenage propres à multiplier l'effort produit par les hommes; il a été imaginé un grand nombre de ces mécanismes; le plus simple, quoique déjà assez ancien, est celui du capitaine Philipps, de la marine anglaise, il a été appliqué en France sur les paquebots transatlantiques construits en 1840, et, plus récemment, à quelques variantes près, sur les transports à hélices; nous le représentons dans la figure ci-jointe (fig. 320). La couronne à empreinte est fixée à la cloche, qui est *folle* sur la mèche, celle-ci est à long pivot, et maintenue en direction par son passage dans l'étambrai *a*, et par son ajustement avec une crapaudine *b*, encastrée dans le pont inférieur; le chapeau est fixé à la mèche au moyen de clavettes mobiles *f f;* la mèche porte un pignon *c* de rayon *r*, engrenant avec trois roues *d*, *d*, *d*, du même rayon *r*, dont les axes sont fixés sur le pont, et qui engrènent

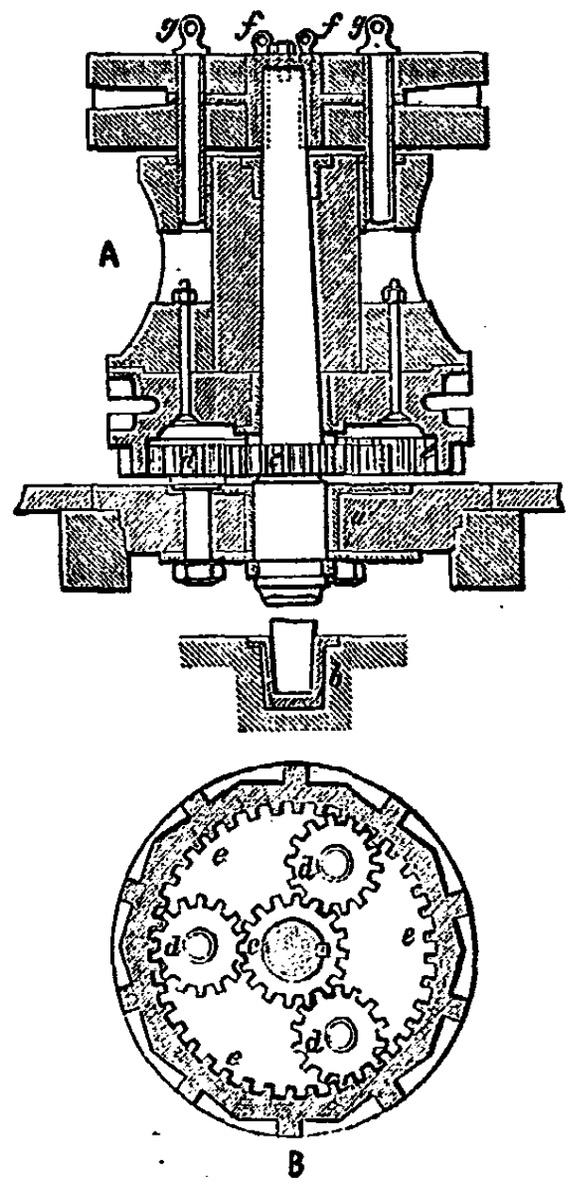


Fig. 320.

elles-mêmes avec une roue dentée intérieurement *s*, de rayon *R*, formée par un rebord de la couronne à empreinte, qui recouvre et renferme tout ce mécanisme.

Pour un tour complet de la mèche, l'angle décrit par la cloche est égal à la circonférence entière divisée par rapport $\frac{R}{r}$, et l'effort des hommes est multiplié par le même rapport.

Lorsque l'on n'a pas besoin de développer une grande puissance, on réunit le chapeau à la cloche à l'aide de boulons de jonction *g g* : on enlève les clavettes *f f*, et le cabestan agit à la manière ordinaire, en tournant autour de la mèche, avec cette différence cependant que celle-ci reçoit un mouvement de rotation spécial qui lui est transmis par les engrenages.

Des guindeaux. — Dans les bâtiments de commerce de 3 à 600 tonneaux, on préfère les *guindeaux* aux cabestans. Les guindeaux sont des treuils sous leur forme primitive, disposés horizontalement à l'avant du navire; les câbles ou les chaînes y sont enroulés à plusieurs reprises, et les hommes les manœuvrent au moyen de barres implantées perpendiculairement à leur axe. Leur encombrement est peu considérable; ils laissent le pont entièrement dégagé, et les hommes y développent beaucoup plus de travail que sur le cabestan. Sur les grands bâtiments, on fait beaucoup usage de *guindeaux-pompes*, dans lesquels la transmission de mouvement a été perfectionnée avec un soin tout particulier; les barres ordinaires sont remplacées par une brimballe, articulée au sommet du bitton qui forme le point d'appui des linguets : cette brimballe agit, par l'intermédiaire de deux bielles, sur des encliquetages à rochets, qui communiquent finalement au guindeau le mouvement de rotation : dans ce système, les leviers s'équilibrent, et les hommes n'ont à dépenser aucun travail pour les ramener à leur position initiale.

Sur les bâtiments à vapeur, on commence à faire usage de guindeaux mécaniques, ou plutôt de treuils à engrenages, mis en mouvement par deux petites machines à vapeur spéciales, conjuguées sur des manivelles à angle droit, et alimentées par les chaudières du moteur principal; ces appareils sont d'un grand soulagement pour l'équipage toutes les fois que les feux sont allumés; mais ils ne dispensent pas de l'établissement des cabestans ou des guindeaux ordinaires, qui doivent servir lorsque l'appareil moteur n'est pas sous vapeur.

CABLES ET CORDES (*fabrication des*) (*angl.* rope-machines, *all.* kettentaue und seil fabrication). La fabrication des cordes se divise en deux parties : *filer* et *commettre*. La première opération a pour objet de réunir les fibres filamenteuses, aussi également que possible, en les faisant adhérer par une torsion suffisante, pour que les fibres rompent plutôt que de glisser les unes sur les autres. Le *fil de caret* ainsi préparé a donc la même résistance que si les fibres étaient de toute la longueur du fil. Le commettage consiste dans la réunion des fils de caret, pour en former les cordes et câbles ayant une résistance convenable pour l'emploi auquel on les destine.

I. *Filature*. Les procédés mécaniques de filature pour les fils destinés à former les tissus, que nous indiquerons à l'article FILATURE du lin et du chanvre, ou au moins des procédés analogues pourraient sans doute s'appliquer à la filature du fil de caret. Des recherches faites en Écosse, par M. Buchanan, paraissant avoir eu du succès, néanmoins nous n'avons pas eu connaissance qu'il en soit résulté une exploitation sérieuse, pas plus que du brevet qui avait été pris en France par M. C. Demarçay, pour l'exploitation de ces procédés. C'est qu'outre les difficultés qu'on rencontre à obtenir des fils aussi lisses que ceux que procure le travail à la main, et à employer les fibres dans toute leur longueur, la façon qu'il s'agit ici de donner au chanvre n'est pas d'assez grande valeur pour pouvoir permettre des frais de transport considérables, et ce ne serait pourtant que par une fabrication importante qu'on pourrait recouvrer l'intérêt de machines coûteuses. Jusqu'à ce jour, et longtemps encore probablement, la fabrication du fil de caret se fera manuellement par les procédés bien simples que nous allons décrire. Il n'en est pas de même du commettage pour lequel les machines ont été adoptées avec avantage, plutôt cependant pour obtenir des produits plus parfaits que par raison d'économie.

Les outils nécessaires au cordier consistent : en un rouet faisant tourner plusieurs crochets coudés; en râteliers destinés à supporter le fil pour l'empêcher de tomber à terre; enfin, en dévidoirs ou *tourets* servant à enrouler le fil quand il est fabriqué.

Le cordier s'étant mis autour de la ceinture une quantité convenable de chanvre bien peigné ou *filasse*, en accroche l'extrémité à un crochet que le rouet met en mouvement; puis marchant en arrière il cède de la main droite la quantité de chanvre suffisante, qui se tord par l'action du rouet; tandis que de la main gauche, il serre ce fil, un peu en avant, au moyen d'une lisière de drap dite *paumelle*. Le tortillement étant arrêté par cette pression, il étend la filasse entre ses deux mains et ne fait glisser la main gauche qu'à mesure qu'il l'a disposée convenablement.

Les fileurs réunissent successivement leurs fils à l'extrémité des fils des ouvriers voisins, au moyen des bouts non tordus et continuent ainsi jusqu'à ce que le touret sur lequel on enroule ces fils soit rempli. On le porte alors au magasin.

Un bon fileur peut faire dans sa journée 30 à 35 kilogr. de fil de caret. Le déchet ne doit pas dépasser 4 p. 100 pour les chanvres de bonne qualité, ni 10 p. 100 sur ceux de qualité inférieure. C'est le plus souvent sur les fils que se fait l'opération de goudronnage nécessaire pour les préserver de l'action destructive de l'humidité, quand ils doivent être employés dans la marine. Cette opération s'exécute pour le mieux en faisant passer le fil d'un touret sur un autre en le forçant, par le moyen d'un rouleau de pression, à traverser une chaudière remplie de goudron chaud. Pour que le fil n'en prenne pas trop, on le fait tourner en hélice, à sa sortie de la chaudière, sur une corde de crin inclinée, et renfermée dans un tube chauffé par le passage de la vapeur provenant du bain marie qui sert à chauffer le goudron. De cette manière l'excédant de ce dernier retourne à la chaudière.

Quelquefois on fait passer le fil à la sortie de la chaudière à travers une espèce de pince chargée d'un poids, qui enlève le goudron excédant.

On a trouvé avantage à débarrasser le goudron de tout principe soluble en le faisant chauffer avec de l'eau avant de l'employer, et de tout principe acide en le chauffant, jusqu'à ce qu'il prenne la consistance de la poix et lui rendant sa fusibilité par l'addition de substances grasses, telles que le suif, ou des huiles animales.

Les cordes goudronnées offrent un peu moins de résistance que les cordes blanches, mais durent plus longtemps. Le goudronnage par fils est bien préférable à celui du câble entier, puisque l'eau pénètre bientôt ce dernier, qui n'est recouvert de goudron qu'à la surface. On se contente néanmoins de cette opération pour les cordages servant aux manœuvres dormantes.

II. *Commettage des fils*. Les fils de caret étant fabriqués, il faut les commettre, c'est-à-dire les tordre ensemble pour obtenir les cordes et cordages. Ces derniers seront d'autant plus réguliers et par suite offriront d'autant plus de résistance que les fils de caret employés seront plus fins, mais l'économie oblige à en employer de diverses grosseurs, habituellement de trois numéros dans les arsenaux de la marine.

Une observation assez importante c'est qu'il est bon de garder les fils de caret quelque temps en magasin avant de les commettre; les fibres longtemps tordues ne tendent plus que très faiblement à se redresser.

Décrivons d'abord le commettage de deux fils, ou de la ficelle, qui se fait aussi quelquefois à trois fils. Le procédé est le même que pour les gros cordages, mais

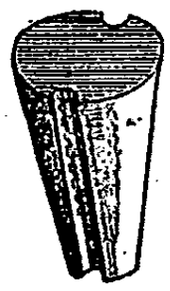
CABLES ET CORDES.

pour ceux-ci nous décrirons les procédés mécaniques du capitaine Huddart (de la marine anglaise), adoptés dans les arsenaux anglais et avec quelques légères modifications dans les arsenaux français.

Le cordier dévidant le fil des tourets et le plaçant sur les chevalets, va l'attacher à un poteau situé à une distance égale à la longueur qu'il veut donner à la ficelle. Il en place un second parallèlement au premier, ou mieux, c'est le même fil qu'il passe sur un crochet ou une petite poulie que porte le poteau de manière que le second fil n'est que le prolongement du premier, ce qui permet de donner plus facilement une égale longueur aux deux fils. Il prend ensuite les fils à leur point de réunion au poteau et les accroche à un *émérillon*. Celui-ci (fig. 321) se compose d'un crochet, dont l'axe tourne librement dans une douille, laquelle porte un anneau qu'on attache à un chariot, qui peut avancer ou reculer, et qu'on charge plus ou moins de pierres, suivant qu'on veut obtenir un commettage plus ou moins dur. Pour les forts cordages on établit un peu en avant des tourets le *chantier à commettre*. Celui-ci se compose de pièces de bois solidement fixées dans le sol, destinées à porter des manivelles, à l'extrémité desquelles on adapte les extrémités des fils à commettre. Pour la ficelle le rouet du cordier suffit parfaitement.

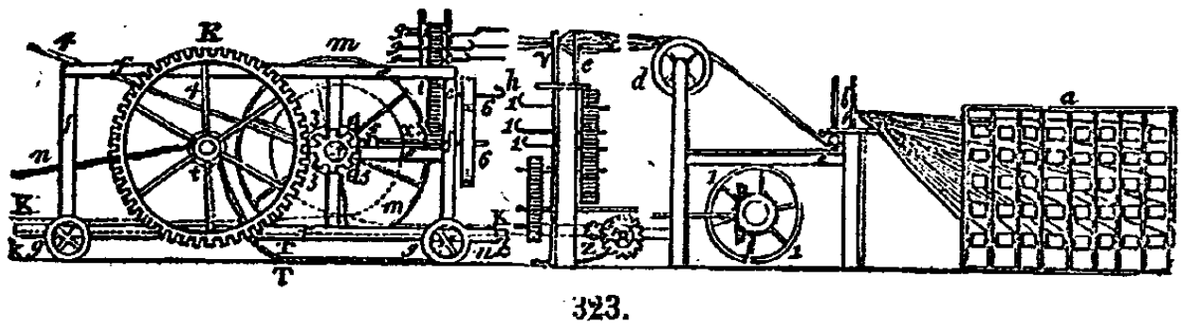
321.

Il est clair qu'en faisant tourner le rouet, les deux fils s'enrouleront l'un autour de l'autre, de manière à produire une corde. Pour que cet enroulement soit régulier le cordier se sert du *toupin* (fig. 322). C'est un morceau de bois en forme de cône tronqué de grosseur proportionnée à la corde qu'on veut faire; il est sillonné de rainures en nombre égal à celui des fils qu'il s'agit de commettre.



322.

Le toupin étant placé près de l'émérillon, on fait tourner le rouet. Chacun des fils se tord également puisqu'ils sont parfaitement égaux en grosseur. Quand la torsion est suffisante, l'ouvrier éloigne le toupin de l'émérillon et le fait glisser entre les fils jusqu'auprès du rouet. Les fils se réunissent en roulant l'un sur l'autre et forment une corde qui ne tend plus à se détordre par son élasticité, comme le fait le fil de caret abandonné à lui-même.



323.

Ceci demande à être bien compris. Nous empruntons à M. Boitard (*Manuel du cordier*) le passage suivant qui fait parfaitement apprécier pourquoi il en est ainsi.

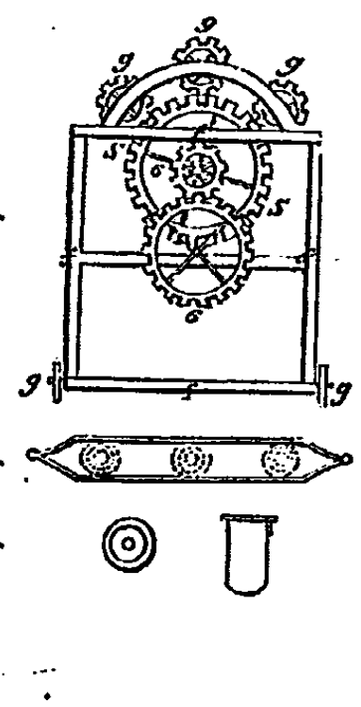
« Pendant que le toupin était contre l'émérillon, les deux fils ont été tors chacun en particulier, et ont acquis chacun un certain degré de force élastique qui tend à les détordre ou à les faire tourner dans un sens opposé à celui dans lequel ils avaient été tortillés, dès qu'on leur en aura donné la liberté, ce qui se fait sentir par l'effort que le toupin fait pour tourner dans la main du cordier. Aussitôt que le cordier aura écarté le toupin de l'émérillon, la partie du premier fil qui se trouve entre le toupin et l'émérillon, étant en liberté, tendra par la force élastique qu'elle a acquise par le tortillement, à tourner dans un sens opposé à ce tortillement; c'est-à-dire, que si les fils ont été tors de droite à gauche, la partie du premier fil comprise entre le toupin et l'émérillon, qui sera en liberté, tendra à tourner de gauche à droite, et elle tournera effectivement en ce sens par la seule élasticité, en faisant tourner avec elle le crochet de l'émérillon. De même, le second fil ayant été tors de droite à gauche, la partie de ce fil comprise entre le toupin et l'émérillon tendra aussi à se détortiller, et à tourner de gauche à droite, et effectivement, elle tournera dans ce sens, et fera tourner le crochet mobile de l'émérillon.

« Il en résulte, que les deux fils, tournant dans le même sens, s'ils n'étaient pas réunis, et qu'ils fussent attachés à deux émérillons séparés, ne feraient que se détordre. Mais, comme ils sont attachés au même crochet, et qu'ils ne peuvent pas tourner autour d'un même axe sans se rouler l'un sur l'autre, les deux fils, par leur seule élasticité et par l'effort qu'ils font pour se détordre, se roulent l'un sur l'autre, mais dans un sens opposé à celui dans lequel ils avaient été tortillés séparément, de sorte que la ficelle ou le bitord se trouve entortillé dans un sens opposé à celui des fils qui le composent.

« On voit : 1° que la portion des fils qui est entre le toupin et la roue, perdrait tout son tortillement, si le cordier n'avait pas soin de faire tourner la roue à mesure qu'il en approche le toupin; 2° qu'une corde ainsi commise reste sans perdre son tortillement.

« Le tortillement des fils augmente nécessairement leur élasticité, et l'effet qui résulte de cette élasticité est de détordre les fils, parce que les fibres, ainsi que nous l'avons dit, font ressort et s'efforcent de reprendre leur première position. Cet effet ne peut s'opérer sans que les fils se roulent les uns sur les autres, c'est-à-dire sans qu'ils se commettent, sans qu'ils forment une corde; mais comme le tortillement des fils diminue à proportion que la pièce se commet, et qu'il faut plus de force pour tordre beaucoup deux fils l'un sur l'autre, que pour les tordre peu; il s'ensuit que la puissance d'élasticité des fils diminue, que la résistance, qui est l'effort qu'il faut pour rouler les fils l'un sur l'autre, augmente; quand cette résistance est égale à la force d'élasticité, tout reste en équilibre. »

Il va sans dire que le fil se raccourcit pendant le commettage, c'est pour cela que l'émérillon est, soit tenu à la main quand on fait de la ficelle, soit attaché à une partie qui peut se mouvoir par de plus grosses cordes. C'est par cette diminution de longueur qu'on évalue le degré de torsion. Elle ne doit pas dépasser le quart de la longueur. Une torsion trop forte mettant les fibres du chanvre dans un état de torsion exagéré, les rend susceptibles de se rompre avec



324.

325.

326.

CABLES ET CORDES.

la plus grande facilité. On appelle *aussière* le cordage fait de plusieurs fils commis et tordus ensemble; l'assemblage de deux brins s'appelle *bitord*, de trois, *merlin*. Le commettage de plusieurs aussières forme le *grelin*, qui prend le nom de *câble* quand il est de forte dimension.

Passons maintenant à la description de la machine à commettre du capitaine Huddart, qui a permis de fabriquer des cordages bien plus parfaits et bien plus réguliers que ceux obtenus par les anciennes méthodes.

Machine pour la fabrication des aussières. La fig. 323 est l'élévation longitudinale de cette machine et du dévidoir placé en tête de la corderie. La fig. 324 est une élévation de face du chariot. La fig. 325 représente le guide-fils, plateau percé de trous servant à guider les fils avant leur entrée dans la pince. La fig. 326 donne une élévation de face et une élévation latérale de la pince qui comprime la corde.

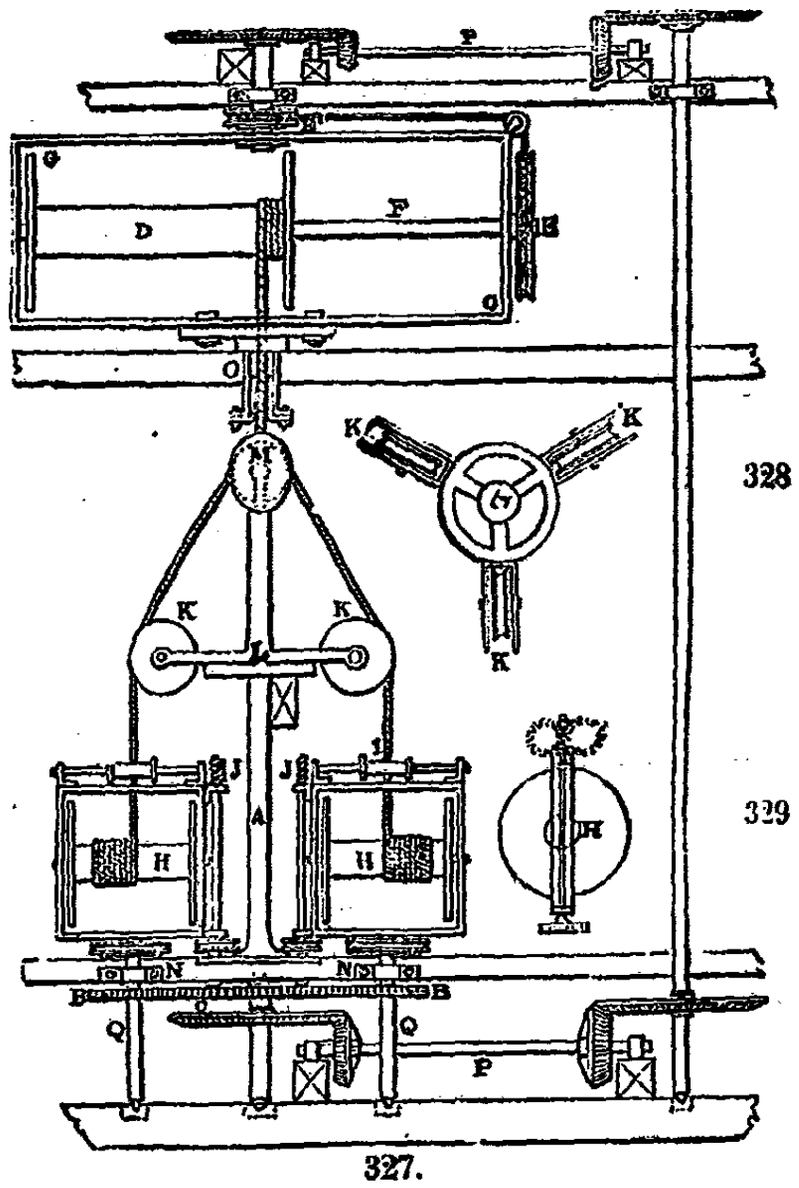
a, est un châssis sur lequel reposent les bobines qui portent les fils. Ceux-ci traversent un guide-fils *b*; *c*, est un petit rouleau sous lequel passent les fils de caret; de là ils passent sur la poulie *d*, puis à travers un autre guide-fils *e*, et se réunissent dans la pince *v*, tandis qu'ils s'enroulent et se tordent par l'action du chariot; les mouvements du rouleau et de la poulie sont disposés de manière à faire varier la vitesse d'arrivée du fil.

Le chariot est porté sur un chemin de fer; *ff*, est le châssis du chariot; *g*, *g*, de petites roues sur lesquelles il est porté; *k k*, une corde sans fin s'étendant d'une extrémité à l'autre du chemin de fer, et mue par une machine à vapeur; *m m*, est une roue assemblée à une poulie sur laquelle passe la corde sans fin, qui met le chariot en mouvement.

Vers l'axe de *m m*, sont deux roues dentées 3, 3, folles sur leurs axes, mais que l'on peut en rendre solidaires au moyen de clefs. L'une fait tourner les fils dans un sens, l'autre dans le sens opposé. 44, est un levier qui sert à mouvoir les clefs dont nous venons de parler; 55, est une roue d'angle qui reçoit son mouvement des deux roues, et le communique dans un sens ou dans l'autre aux deux roues dentées 6, 6, au moyen de l'arbre *x*. On peut remplacer ces roues à volonté par deux autres de diamètres différents de manière à faire varier la vitesse de torsion. La roue supérieure met en mouvement l'axe o, sur lequel est monté la roue S, qui met en mouvement les pignons *g*, *g*, *g*, auxquels les fils sont attachés. Nous avons déjà vu comment le mouvement de la roue 3 se communiquait au chariot, le long du chemin de fer, par l'enroulement d'une corde autour d'un tambour monté sur le même axe. Le mécanisme représenté en Z, composé d'un rouleau portant une roue dentée et d'un pignon, sert à tendre la corde au degré convenable. Quand, par le mouvement du chariot, on a tordu les fils au degré voulu, et qu'on les a étirés à la longueur désirée, on les coupe, et on les attache aux crochets 4, 4, 4, puis on fait agir l'autre roue 3, et on les tord par les deux bouts. On réunit alors les extrémités au grand crochet *h*, on place le toupin et on termine la corde par les procédés ordinaires.

Machines à commettre les cordages C'est surtout dans le commettage des forts cordages, des gros câbles que l'emploi des machines est avantageux. Nous allons donner la description de la machine la plus perfectionnée qui ait été adoptée pour ce genre de travail.

Elle est représentée dans les fig. 327, 328 et 329. A est une forte colonne verticale en fer, supportée par les poutres horizontales N, N, et portant à sa partie supérieure le toupin à 3 rainures M. H, H, H, sont de grandes bobines autour desquelles sont enroulés les torons élémentaires; ils sont emportés par la rotation de celles-ci en passant toujours sur les poulies K, K, K,



327.

328

329

qui les guident, et de là sur le toupin. Enfin ils passent à travers le tube O, pour s'enrouler ensuite sur la bobine D. Les bobines H, H, H, tournent sur leurs axes Q, Q, Q, qui portent des roues dentées B, B, B, engrenant avec une roue centrale C. De cette manière, chaque toron est tordu au point convenable, tandis que le cordage est tordu en sens inverse pour le commettage par la rotation de la bobine D, qui a lieu en sens inverse autour de l'axe passant par O E.

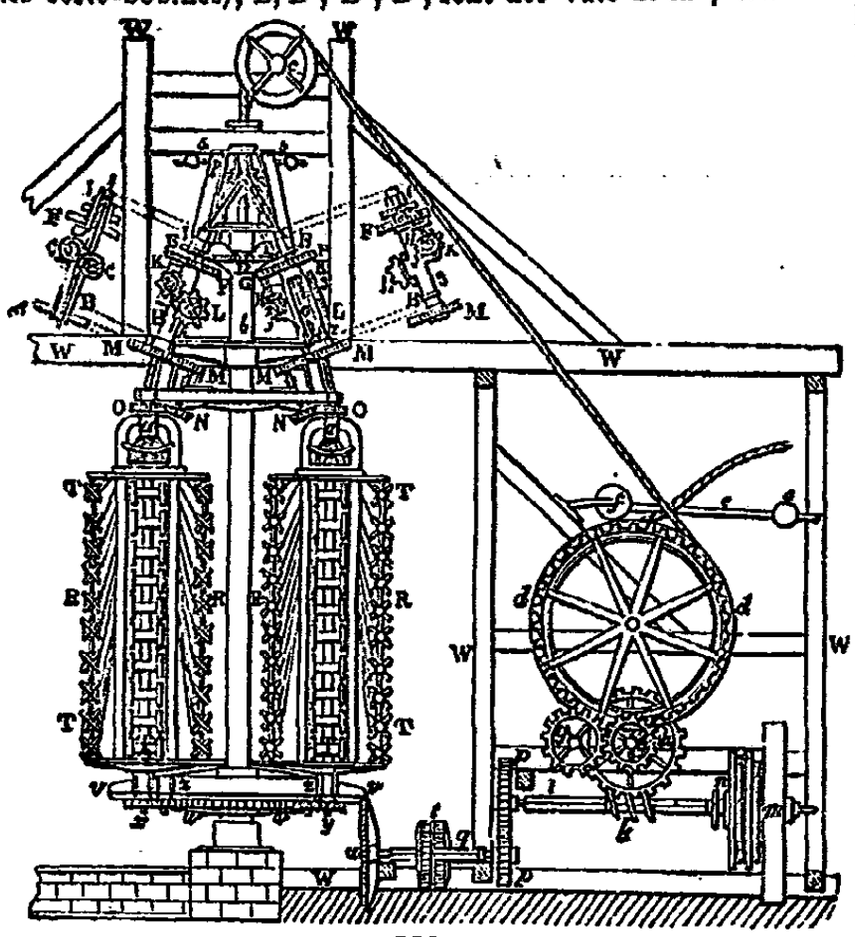
Le dévidoir D se meut pour enrouler le cordage au moyen d'une courroie passant sur les deux poulies E, E.

La fig. 328 représente l'anneau portant les 3 poulies conductrices K, K, K, qui font entre elles des angles de 120°. La fig. 329 est une vue de profil de la bobine H, représentant les vis sans fin J, J, J, qu'on voit fig. 327, et qui agissent sur 2 petites roues dentées placées sur les extrémités de deux rouleaux I, I, qu'elles font tourner. L'axe de ces vis est mis en mouvement par des poulies et des courroies placées à la partie inférieure. Au lieu de courroies on peut employer des roues dentées pour éviter tout glissement.

M. *William Norwell*, de Newcastle, a pris en 1833 un brevet pour une machine représentée dans la fig. 330, qui a pour but de faire en une seule opération le commettage des torons et celui des cordages. Nous allons en donner une description succincte, bien que sa complication nous paraisse en rendre les résultats moins certains que ceux des machines que nous venons de décrire. Elle est du reste fondée sur les mêmes principes.

Les fils du caret sont enroulés sur des bobines montées sur des axes, qu'on dispose ainsi que le représente la figure. 3 tubes ou plus reçoivent les torons autour

des toupins *a*, *a* (ces torons se forment par la rotation des sorte-bobines); B, B^1, B^2, B^3, sont des vues de la



330.

disposition des parties de la machine après le commettage des torons.

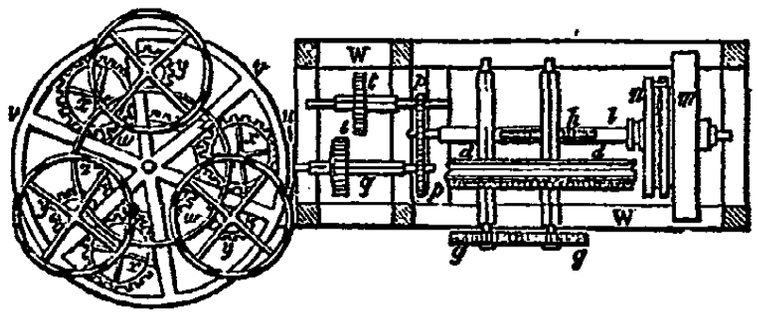
Des rouleaux portant des roues dentées ou des courroies, comme on le voit en B, empêchent le toron de glisser, et font qu'il fait corps avec le tube à travers lequel il passe. Ces tubes servent à donner une égale tension aux torons, au moyen des roues F, G, H, mues par l'axe, et qui égalisent le mouvement et la tension du toron.

M, M, sont des roues qui peuvent être changées à volonté, et qui servent à donner au toron une tension initiale convenable.

Le toupin qui sert au commettage du cordage est en métal et de deux pièces; les torons passant à l'intérieur, il ne peut passer de partie irrégulière. Sous cette pression, la corde est lissée en même temps qu'étirée par la bobine d'envidage, ce qui assure la résistance des cordes ainsi fabriquées.

Nous avons décrit les différences principales de cette machine avec celle précédemment décrite. Il est inutile de la décrire plus en détail, l'examen de sa figure la faisant aisément comprendre. Nous nous contenterons d'indiquer la modification qu'on doit y apporter pour tordre les cordes en sens inverse, ce qui est quelquefois désirable :

On remplace la roue *v* qui imprime le mouvement à la partie inférieure, par le système représenté fig. 331.



331.

Le pignon d'angle *u* entraîne la roue *v*, qui porte les tambours R, R, et les met en mouvement; *w* est une roue immobile placée au centre, et le mouvement deviendra rétrograde par l'introduction des roues auxiliaires *x*, *x*, qui agiront sur les roues *y*, *y*, solidaires avec les tambours.

III. — *Des substances qui peuvent servir à fabriquer les cordes.* Il est clair que toutes les substances filamenteuses peuvent servir à fabriquer des cordes, et que la résistance sera en proportion de la force et de l'élasticité des filaments. Le *phormium tenax*, l'*aloës*, les filaments de coco, le coton, etc., ont été employés et peuvent être avantageuses pour certains pays et certains usages, mais pour ne pays, où la culture du chanvre réussit si bien, l'étude de ces divers matériaux est sans importance. Les procédés de fabrication resteraient au reste tout à fait les mêmes.

Nous devons seulement citer le lin comme susceptible d'être employé avec avantage pour la fabrication de cordes très fines d'une grande résistance.

CABLES PLATS. La roideur des cordes étant une résistance passive fort importante quand la corde doit être enroulée sur des tambours, on emploie avec avantage, dans ce cas, des câbles plats, c'est-à-dire formés d'aussières juxtà-posées et cousues ensemble par du fil retors.

On peut voir dans le Dictionnaire de l'Industrie la description du mécanisme employé pour percer, avec une régularité parfaite, les trous qui doivent livrer passage aux fils.

CABLES EN FIL DE FER. L'usage du fil de fer pour la fabrication des cordages et des câbles date déjà de plusieurs années, mais la difficulté de la fabrication ayant obligé les auteurs des premiers essais à employer des fils de fer soumis préalablement au recuit, opération qui diminue de $\frac{2}{3}$ au moins la ténacité des fils, les résultats ne furent pas complétement satisfaisants, et l'on éprouva même, dans quelques mines, des ruptures de câbles.

Peu de temps après, on parvint à se servir de fil de fer non recuit; les câbles ne furent plus exposés aux ruptures, firent un service de plus longue durée, et se trouvèrent, à résistance égale, être d'un poids beaucoup moindre que ceux de chanvre; aussi l'usage s'en est-il déjà propagé dans un grand nombre de houillères et de mines allemandes.

On a, en outre, trouvé depuis le moyen de diminuer la roideur de ces câbles, en plaçant, à leur centre, une *âme de chanvre goudronné* qui les rend presque aussi flexibles que ceux de chanvre et les préserve de l'oxydation à l'intérieur. Cette dernière modification a été, en France, l'objet d'un brevet d'importation, délivré à MM. *Végni* et compagnie, rue Grange-aux-Belles, et mis à exécution dans l'usine de Toutes-Voies, appartenant à MM. *Colliau* et compagnie, passage des Petites-Écuries, à Paris.

Ces câbles, exécutés par des procédés mécaniques, sont à la fois solides et réguliers, et peuvent être établis en fils de fer beaucoup plus gros que ceux dont on s'était servi jusqu'à présent, ce qui les rend beaucoup moins sujets à l'oxydation. Leur force étant au moins trois fois plus grande que celle des câbles en chanvre, tandis que leur prix au kilogramme est à peu près égal, il en résulte, sur le prix d'achat, une économie considérable, augmentée encore par leur plus longue durée et par la valeur qu'ils conservent lorsqu'ils sont usés.

Ces cordes, avec ou sans âme en chanvre, ont été l'objet de plusieurs expériences publiées en Angleterre, et nous pouvons citer, en premier lieu, des résultats d'épreuves faites par ordre de l'amirauté sur des cordages qui, destinés aux manœuvres dormantes des

bâtiments et n'ayant pas besoin d'être très flexibles, n'étaient vraisemblablement composés que de fil de fer.

1° Un cordage de 3m,660 de longueur, d'aussières en fer, ayant 0m,069 de circonférence, s'est allongé de 0m,406, et s'est cassé sous une charge de 9,325 kilogr.

2° Un morceau de câble pour estrope, de 0m,034 de circonférence, a été rompu par un poids de 3,633 kilogr. Un autre morceau de câble semblable, dont la circonférence était de 0m,076, n'a cédé qu'à la force de 15,854 kilogr. On a ensuite noué et épissé de différentes manières plusieurs morceaux, et reconnu que, sous ce rapport, l'emploi des cordages en fil de fer ne pouvait donner lieu à aucune objection.

L'amirauté a fait dresser le tableau suivant qui résulte d'expériences faites à l'arsenal de Wolwich.

Charge de rupture,	nature du cordage.	Circonférence.
8,120 kil.	fil de fer.	0m,051
	chanvre.	0m,127
24,360	fil de fer.	0m,102
	chanvre.	0m,254
54,810	fil de fer.	0m,152
	chanvre.	0m,384

Cette table ne s'applique qu'aux câbles pour estrope, destinés aux manœuvres dormantes des bâtiments, et qui doivent être d'un quart plus forts que les aussières.

Depuis M. *Smith* a trouvé, par expérience, que les manœuvres d'un navire, lorsqu'elles sont en fil de fer et possèdent la même force, n'occupent que le tiers de l'espace réclamé par les cordes de chanvre, pèsent moitié moins, et ne coûtent que les deux tiers du prix de ces dernières. Il a reconnu ensuite que 1 mètre de corde de chanvre ayant 0m,076 de circonférence, absorbe environ 0l,120 d'eau, et se raccourcit de 0m,013. L'ensemble des cordages d'un vaisseau de premier rang atteint approximativement une longueur de 54,870 mèt., et doit, par conséquent, éprouver un raccourcissement total de plus de 700 mèt., dû à l'absorption de près de 6,600 litres d'eau, qui nuit beaucoup à la conservation des agrès. Il a fait aussi observer que les manœuvres étant moins pesantes, lorsque les cordages sont en fer, le vaisseau tire moins d'eau, est plus stable, et réclame moins de lest. Le premier navire qui ait été ainsi gréé, *le Marshall*, a conservé pendant sept ans les mêmes cordages dont l'état a été trouvé alors presque aussi bon que quand le bâtiment avait été équipé. La légèreté de ces cordages en eût rendu l'emploi plus fréquent si on n'avait redouté des ruptures brusques plus à craindre qu'avec des câbles en chanvre.

Ce système convient surtout aux navires à vapeur, dont les cordages sont exposés à l'action des charbons enflammés qui peuvent sortir de la cheminée.

MM. *Colliau* et comp. ont fourni au chemin de fer de Saint-Étienne à Roanne un câble en fil de fer, d'un seul bout et de 900 mèt. de longueur, qui fonctionne à la satisfaction de la compagnie.

Il est à remarquer que la machine qui a fabriqué cet immense câble, et qui aurait pu le confectionner avec une longueur beaucoup plus grande, est également propre à la fabrication des cordages en chanvre et n'occupe pas un espace de plus de 8 à 9 mèt. en carré. Cette ingénieuse invention est donc d'une haute portée pour l'art de la corderie, puisque, si elle était universellement adoptée, elle dispenserait les fabricants et l'administration de la marine, de la construction fort dispendieuse de vastes bâtiments, en permettant de donner une autre destination à ceux qui existent déjà. L'emploi de cette machine assure d'ailleurs une grande régularité dans la fabrication, en sorte que le fil n'est jamais fatigué par la torsion, ce qui en conserve toute la force.

MM *Colliau* et comp. ont soumis les câbles qu'ils fabriquent à des expériences dont nous mettons les principaux résultats sous les yeux de nos lecteurs, en les prévenant que la force indiquée pour l'emploi a été calculée au sixième seulement de la tension d'épreuve.

Câbles pour tous les usages.

Numéro de grosseur.	Diamètre approximatif.	Poids approximatif du mètre.	Force à l'emploi.
1	30 millim.	2 kil.	3,000 kil.
2	28 —	2,50	2,750 —
3	26 —	2,00	2,500 —
4	24 —	1,60	2,250 —
5	22 —	1,40	2,000 —
6	20 —	1,20	1,750 —
7	18 —	1,00	1,500 —
8	16 —	0,80	1,250 —
9	14 —	0,70	1,000 —
10	12 —	0,60	750 —

Câbles pour les mines.

Numéro de grosseur.	Diamètre approximatif.	Poids approximatif du mètre.	Force à l'emploi.
31	26 millim.	2 kil.	2,500 kil.
32	24 —	1,65	2,250 —
33	20 —	1,20	1,750 —
34	18 —	1,00	1,500 —
35	16 —	0,75	1,000 —

CABLES EN FER (*angl.* cables, *all.* kettentaue). Ces câbles, employés dans la marine pour tenir les vaisseaux au mouillage, tendent chaque jour à remplacer de plus en plus complétement les anciens câbles en chanvre autrefois en usage. Ils ont l'avantage d'offrir une beaucoup plus grande durée; en outre, lorsqu'un vaisseau est amarré au moyen d'un câble en chanvre, ce dernier, dont la densité est peu supérieure à celle de l'eau, se trouve tendu presqu'en ligne droite, et par suite, s'il arrive qu'un coup de vent subit ou une violente lame d'eau vienne se ruer sur le vaisseau, le câble, n'offrant aucune élasticité, il en résultera un choc qui pourra endommager l'ancre, et en déformer ou même en briser le bras ou la patte; un câble en fer, au contraire, formera dans l'eau, par suite de la grande densité du métal qui le compose, une chaînette dont la flèche sera considérable, et par conséquent formera une liaison élastique entre l'ancre et le vaisseau, laquelle amortira le contre-coup qui résulte de toute impulsion brusque que peut recevoir le navire.

La première idée de l'emploi des câbles en fer dans la marine est due à M. *Slater*, qui prit à ce sujet, en 1808, un brevet qui expira faute de fonds pour l'exploiter en grand. Le premier qui employa ces câbles fut le capitaine *Brown*, qui s'en servit sur *la Pénélope* en 1811. Leur usage s'est depuis répandu de plus en plus; leur forme a aussi été modifiée, et on a aujourd'hui adopté partout le mode de construction inventé par M. Brunton, qui prit à ce sujet des brevets d'invention en Angleterre et en France; mais comme il ne mit pas son brevet à exécution, dans ce dernier pays, dans le délai de deux ans fixé par la loi, il est rentré dans le domaine public.

La première condition pour fabriquer de bons câbles en fer est naturellement d'employer du fer fort doux d'excellente qualité, et ensuite de le travailler de manière à ce que l'effort qu'il doit supporter s'exerce dans le sens même des fibres. On peut déterminer, par les considérations qui suivent, la forme la plus convenable à donner aux mailles dont l'assemblage forme le câble : si l'on a une maille annulaire AB, fig 332 et qu'on y applique en C et D deux forces agissant en sens contraires, suffisantes pour l'étirer et lui faire

prendre la forme indiquée fig. 333, la résistance de la maille se trouvera considérablement affaiblie par suite du changement moléculaire forcé qui résultera du changement de forme. Ainsi la partie M N de l'anneau se redressant, le métal sera refoulé à l'intérieur de l'anneau, tandis que le contraire aura précisément lieu aux points E et F. On doit donc rejeter la forme circulaire pour les mailles. Si on introduit dans la maille un étai G, qui empêche les deux points A, B, de se rapprocher, cette circonstance change singulièrement les résultats. La maille, tirée comme tout à l'heure, prend la forme quadrilatère qu'on voit fig. 334;

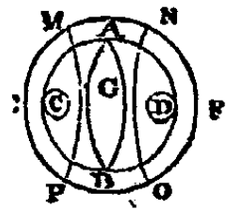


Fig. 332.

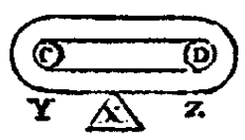


Fig. 333.

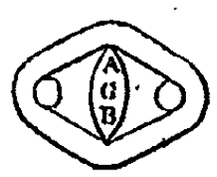


Fig. 334.

elle offre plus de résistance à la déformation que dans le premier cas, mais par la seule raison qu'elle peut encore se déformer, elle perd de sa force et ne saurait être admise dans des constructions qui exigent une résistance excessive. On ne peut non plus employer des mailles de la forme représentée fig. 333, parce qu'elles auraient trop peu de jeu entre elles, ce qui rendrait la manœuvre des câbles plus difficile, et qu'en outre une maille de cette forme, soumise par hasard à une tension transversale contre un obstacle X, se courberait pour prendre la forme indiquée fig. 335, qu'il y eût ou non un étai au milieu, la résistance transversale serait minime, ce qui tendrait à détruire en partie la cohésion des fibres métalliques et à déterminer leur rupture subséquente sous de faibles efforts.

En rejetant toutes ces formes vicieuses, nous sommes naturellement amenés à la forme adoptée par M. Brunton et représentée fig. 337. Cette maille a un étai en fonte à bout large; elle offre en tous sens une

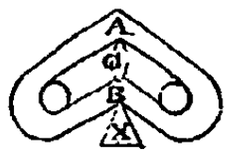


Fig. 335.

Fig. 336.

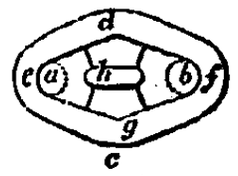


Fig. 337.

grande résistance à tout changement de forme; et, grâce à l'étai (fig. 336), les maillons ne peuvent s'embrouiller, se rassembler en paquets.

Quand on a commencé à employer les câbles en fer, on s'est préoccupé avec raison de leur durée. On sait avec quelle rapidité le fer est oxydé par un séjour prolongé dans l'eau de mer, et il était à craindre que les chaînes n'y fussent promptement détruites; mais l'expérience a bientôt démontré que la détérioration des chaînes était beaucoup moins rapide qu'on ne le craignait, pourvu toutefois qu'elles fussent fabriquées avec des fers de bonne qualité. Les chaînes s'usent néanmoins avec le temps, par l'action combinée de l'oxydation et du frottement des parties en contact, et leur force diminue en conséquence de cette usure; mais en tout cas, elles conservent une résistance proportionnelle à leur section réduite, et l'on sait sur quoi l'on peut compter, tandis qu'avec un câble en chanvre, un peu ancien de date, on ne connaissait jamais la résistance dont il était susceptible. La durée des câbles en chaînes peut d'ailleurs être prolongée en ayant soin de les enduire de coltar toutes les fois que l'oxydation s'y manifeste d'une manière sensible.

Dimensions réglementaires des différentes parties des chaînes pour la marine militaire française. —Les dimensions des maillons, ainsi que de toutes les parties des chaînes, ont été fixées, en 1837, par une décision ministérielle à laquelle on n'a pas cessé de se conformer depuis cette époque. Les chaînes sont exécutées avec du fer au bois d'une qualité supérieure, fabriqué spécialement pour cet usage, et aucune d'elles n'est mise en service avant d'avoir été essayée à la presse hydraulique. Les maillons sont de longueur constante, avec une tolérance de 1/40 en plus ou en moins, mais huit maillons étendus en ligne droite doivent présenter une longueur exactement constante. Pour parer aux circonstances d'appareillages forcés, dans lesquels les câbles en chanvre étaient coupés à coups de haches, les chaînes sont fractionnées par bouts de 30 mètres, réunis par des manilles d'assemblage avec boulon de jonction transversal; c'est en chassant ce boulon que l'on opère au besoin la section de la chaîne. Pour que le boulon se dégage sans difficulté, il faut qu'il entre librement dans l'ouverture de la manille et il est nécessaire de l'y maintenir en place par une goupille qui doit, elle aussi, être facile à retirer. Il a fallu plusieurs tâtonnements pour arriver à la disposition la meilleure de cette goupille : une décision récente du 4 avril 1859 a adopté définitivement une goupille conique en acier étamé, maintenue en place par un petit bouchon en plomb matté dans une ouverture tronc conique, pratiquée à la partie supérieure de l'ouverture qu'elle traverse.

Les maillons qui terminent chaque bout de chaîne et qui s'ajustent avec la manille, ont des formes et des dimensions un peu différentes de celles des maillons ordinaires; celui qui reçoit le boulon de jonction est sans étai; quant à l'autre, il en est pourvu.

Les dimensions de toutes les parties des chaînes sont déterminées en fonction du calibre ou du diamètre du fer; nous nous bornerons à donner ici les dimensions principales que l'on a besoin de connaître pour construire les différents organes employés à la manœuvre des chaînes.

Maillons ordinaires.	Diamètre du fer.....	1,00
	Long. intérieure du maillon.	3,85
	Largeur.....	1,75
Manille.	Diamètre du fer.....	1,10
	Longueur intérieure.....	3,10
	Largeur.....	1,25
Boulon de jonction.	Grand diamètre.....	1,83
	Petit diamètre.	1,04
Maillon de jonction, sans étai.	Diamètre du fer.....	1 + 6m/m
	Longueur intérieure.....	5,19
	Largeur.	1,96
Maillon de jonction, avec étai.....	Diamètre du fer.....	1 + 4m/m
	Longueur intérieure.....	4,11
	Largeur.	1,42

Il est utile de connaître le poids et l'encombrement de l'unité de longueur d'une chaîne; nous l'inscrivons au tableau suivant :

Calibre des chaînes en millimètr.	54	52	48	46	38	34	32
Poids de 100 mètres	kx. 6,576	5,863	5,043	4,700	3,187	2,592	2,379
Volume de 100 mètres.	m3 2,500	2,338	2,033	1,888	1,366	1,100	0,960

On calcule encore assez commodément le volume du câble-chaîne, en se servant des coefficients établis par des expériences directes, d'où il résulte que le volume de la soute qui le contient est donné par le

produit de son poids P, exprimé en tonneaux, multiplié par 0,43, quand la chaîne est arrimée avec soin et par 0,45 quand elle ne l'est pas.

En Angleterre, le calibre des chaînes est déterminé par la formule suivante :

$$d = 3{,}2\sqrt[3]{D}$$

dans laquelle d est le diamètre du fer en millimètre, et D le déplacement en mètres cubes. Elle est applicable aux bâtiments de nouveau modèle, et les résultats qu'elle fournit s'accordent sensiblement avec les prescriptions du règlement adopté en France.

Fabrication des câbles en fer par le procédé Brunton. On choisit du fer rond de la meilleure qualité possible et de grosseur proportionnée à la force du câble que l'on veut fabriquer; on le porte au rouge dans un fourneau à réverbère, puis on le coupe à la cisaille en bouts égaux, de longueur convenable, terminés par des biseaux parallèles pour le croisement et l'amorce de la soudure; ces bouts de barre encore rouges sont portés rapidement sous une machine qui les courbe et leur donne la forme que doivent avoir les mailles.

La *fig.* 340 donne le plan de la machine à courber le fer en mailles de forme elliptique. Elle est représentée au moment où une maille vient d'être ployée dessus; A est un mandrin elliptique en fonte; il se fixe sur le haut d'un poteau en bois B, solidement maintenu en terre; C, mâchoire d'étau qu'une vis à filet carré serre contre le mandrin A. E E, coulisses rectangulaires passant par le centre du noyau du mandrin, dans lesquelles glissent librement les tasseaux F, fixés au levier horizontal en fer G, qui a 2 mètres de long, et qui porte en H une poulie ou galet en acier, qu'on peut faire changer de place suivant le diamètre des mailles. On conçoit aisément qu'il faut un mandrin différent pour chaque sorte de mailles.

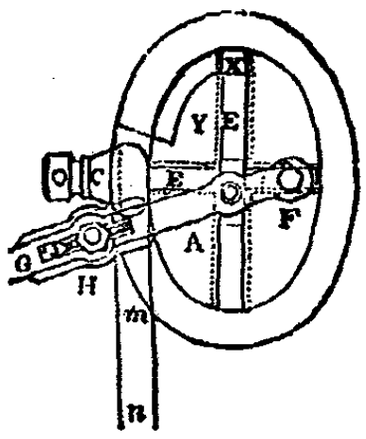


Fig. 340.

Le morceau de fer *mn* destiné à faire une maille étant coupé, on l'apporte pendant qu'il est encore rouge à la machine ci-dessus; on le saisit avec la mâchoire d'étau C, par un des bouts, en tournant le biseau oblique en dessus; on fait tourner le levier G, dont chacun des points décrira une ellipse dont la différence des axes sera égale à la distance des tasseaux F, de sorte que le galet H forcera successivement *mn* à s'appliquer dans la rainure elliptique du mandrin, et que finalement les deux biseaux qui doivent être soudés seront vis-à-vis l'un de l'autre. La longueur du petit diamètre de l'ellipse doit toujours excéder un peu celle de l'étai, afin de rendre libre et facile le placement de celui-ci.

On réunit ensuite les mailles entre elles, puis on les soude successivement dans des feux de forge ordinaires convenablement outillés.

Enfin, on place les étais et on donne la dernière forme aux mailles au moyen de la machine représentée *fig.* 341 : Cette machine consiste en une forte pièce de fonte A, ayant la forme d'une équerre dont une des branches est posée horizontalement et fixée sur un massif par le moyen de boulons; l'autre branche, composée de deux joues laissant entre elles un espace de 0m,05, s'élève verticalement; ces deux joues sont réunies par le haut et en arrière de leur plan par une traverse B; deux poupées à lunettes C, placées à

droite et à gauche des joues, soutiennent un mandrin D, qui représente et tient lieu de la maille suivante; l'étai est placé convenablement entre l'étampe et la contre-étampe F, F, fixées l'une à la pièce A, l'autre au levier E de 2 mètres de long. On a de ces

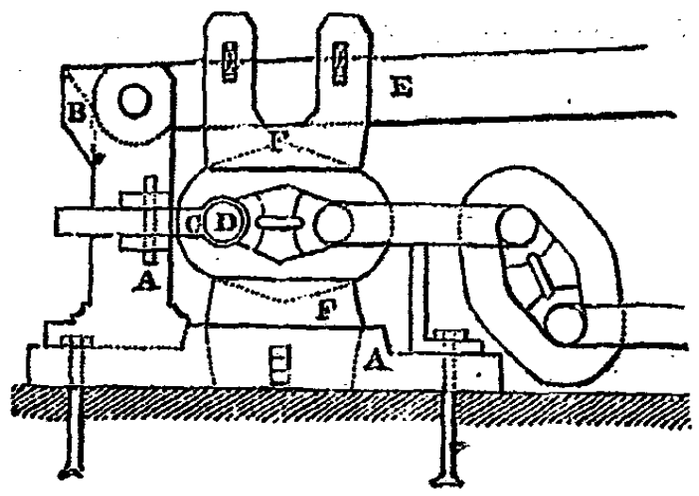


Fig. 341.

étampes, ainsi que des poupées à lunettes C, de rechange, pour chaque grosseur de mailles.

Les mailles ployées, comme nous l'avons dit, sont apportées aux forgerons pour les souder et y mettre l'étai, deux opérations qui se font d'une seule chaude. Aussitôt que la soudure est terminée, et pendant que le fer est encore rouge, on place verticalement la maille entre les étampes F, comme l'indique la figure; un ouvrier introduit alors dans les poupées à lunettes le mandrin D, et présente ensuite l'étai avec une tenaille, tandis qu'un autre ouvrier abat fortement dessus le levier E. Cette compression mécanique fait d'abord parfaitement joindre les côtés de la maille entre les bouts concaves de l'étai; et ensuite le refroidissement du fer augmente encore cette compression.

Chaque maille étant faite avec le même soin, on est sûr de la solidité du câble; néanmoins on ne les livre qu'après les avoir essayées avec une forte PRESSE HYDRAULIQUE horizontale; sur un banc à tirer, construit à cet effet.

Forces comparées des câbles de fer et de chanvre.

CABLES EN FER. Diamètre du fer qui forme les mailles en millimètres.	CABLES EN CHANVRE. Diamètre en millimètres.	SUPPORTENT en kilogrammes.
21,34	65,55	12188
25,40	80,30	18282
28,45	89,90	26407
31,50	97,50	32501
33,03	105,70	35548
34,55	115,95	38595
38,10	129,05	44689
41,15	137,25	52814
44,25	148,30	60939
47,30	160,60	71095
50,40	186,00	81252

Résistance des chaînes. Il serait imprudent de vouloir faire supporter à des câbles en chanvre des tensions plus fortes que celles qui sont indiquées dans le tableau ci-dessus, dressé d'après des expériences faites par Brunton; mais les câbles en fer sont susceptibles d'en supporter plus du double avant de rompre. Cependant on ne doit pas les exposer à une tension plus forte.

C'est pour cette raison qu'un câble préparé pour telle force de navire ne doit jamais être employé pour un navire d'un tonnage supérieur.

Ce que nous venons de dire, établit suffisamment la grande supériorité des câbles en fer sur ceux en chanvre; outre leur qualité bien précieuse de résister aux efforts latéraux aussi bien que dans le sens de la longueur, nous citerons, comme exemple des services qu'ils peuvent rendre, le vaisseau anglais *le Henri*, qui, envoyé en Espagne chargé de munitions de guerre, pendant la guerre de la Péninsule, fut surpris sur la côte nord d'Espagne, par un ouragan terrible et forcé de chercher asile dans la baie de Biscaye, sur un fond semé d'écueils, au milieu desquels il jeta l'ancre; il était pourvu, heureusement pour lui, d'un câble à la Brunton, de 140 mètres de longueur, qui tint bon pendant les trois jours que dura la tempête. On remarqua plus tard que les anneaux inférieurs du câble s'étaient polis dans tous les sens par le frottement sur les rochers. Évidemment, dans cette circonstance, tout câble en chanvre eût été rapidement coupé.

CACAO (voyez CHOCOLAT).

CACHEMIRE (*châles de*). Nous sommes redevables à l'Orient de plusieurs de nos plus brillantes industries manufacturières, et parmi les plus heureux emprunts que nous lui ayons faits, la fabrication des châles peut être placée en première ligne. Avant la campagne d'Égypte, le châle-cachemire n'était connu chez nous que de quelques privilégiés qui avaient entretenu des relations avec l'Inde : il fut révélé au monde commercial par l'envoi que fit à Paris, d'un châle oriental, le général en chef de l'armée d'Égypte. La sensation qu'il produisit fut immense; la nouveauté du travail, la douceur de la matière, l'harmonie des couleurs, l'étrangeté même du dessin furent l'objet de l'admiration générale. Un de ces hommes qui savent deviner et préparer l'avenir d'une industrie, M. Bellanger, conçut de suite tout ce que l'imitation d'un si beau produit pouvait offrir de développement au travail, et de prospérité pour son pays. Il se mit à l'œuvre avec ardeur, s'appliqua avec une activité infatigable à décomposer le tissu oriental, et parvint à créer, par le procédé même employé dans l'Inde, un châle parfaitement semblable à son modèle. Et pourtant, métiers, matière, ouvriers, tout lui manquait; la machine de l'immortel Jacquart n'existait pas encore. M. Bellanger eut le mérite de faire monter le premier métier à la tire; il inventa un harnais à grandes coulisses, et composa son armure en établissant la lisse de rabat et de liage. Le châle-cachemire français fut donc créé, et il faut se reporter à cette époque pour se faire une idée du mouvement industriel qui se manifesta tout d'un coup. La filature de la laine ne fut point sourde à l'appel qui lui était fait; bientôt, elle put livrer à 34 et 36 fr. une qualité qui s'était payée jusque-là 72 et 80 fr. le kilogr.

Accordons ici un juste tribut d'éloges à M. Ternaux, dont le nom se rattache aux découvertes les plus utiles, et qui contribua puissamment au développement et au progrès de cette nouvelle industrie. Il importa de l'étranger la matière même du cachemire, qui consiste dans le duvet cotonneux qui entoure la racine du poil de la chèvre du Thibet. Cette précieuse matière vient en Europe par la voie de Casan, capitale d'un gouvernement de l'empire russe, sur les bords du Volga. Elle est naturellement grise, mais elle se blanchit aisément au soleil. Son prix, dans ces dernières années, était de 17 fr. le kilogr. La perte dans le nettoyage, le cardage et le filage, est d'environ un tiers de son poids. Il est des cachemires fabriqués en France dont les fils sont du n° 130 pour la chaîne, et du n° 228 pour la trame.

M. Ternaux fit venir à grands frais des chèvres du Thibet; il essaya de les acclimater et de les propager sur notre sol. Si ses efforts ne furent pas couronnés d'un plein succès, le commerce et la France entière ne lui en tinrent pas moins compte, et la reconnaissance publique donna aux nouveaux châles le nom de châles Ternaux, sous lequel ils ont été longtemps connus.

Dès 1782, un fabricant de Paris avait formé, à Bohain et à Fresnoy, des établissements pour le travail des gazes de soie. C'est dans ce pays que la fabrication vint d'abord recruter ses ouvriers, et elle s'étendit bientôt dans le département du Nord, de l'Ain et du Pas-de-Calais. Il nous est impossible de constater le nombre immense de bras que Paris, que Lyon, que Nîmes, et d'autres villes encore, occupent aujourd'hui dans cette branche d'industrie; car l'usage du châle est universel en France, et depuis la grande dame jusqu'à la grisette, il est le complément obligé de toute toilette féminine. Pour répondre à un besoin si général et offrir à toutes les fortunes les moyens de le satisfaire, nos fabriques se sont évertuées à employer de mille manières les duvets indiens, la laine, la soie, le coton, à varier les nuances et les formes du dessin, à rechercher toutes les combinaisons possibles du tissage Puis, l'impression est venue, avec l'enluminage de ses brillantes couleurs, offrir aux fortunes modestes une imitation séduisante et économique des genres les plus riches.

Ce n'est pas qu'on ne puisse réussir complétement dans l'imitation du travail indien; mais c'est la question économique qui reste encore à résoudre. Les châles de l'Inde, en effet, sont fabriqués par des procédés extrêmement lents et coûteux. En ne considérant que la nature du travail, une distinction se présente de suite à faire entre le châle fait au fuseau, à la manière indienne, dit *épouliné*, et le châle broché au lancé, tel qu'on le fabrique en France. Cette distinction, du reste, est plutôt théorique que pratique; le procédé oriental ne constitue pas une fabrication régulière chez nous. Chaque fabricant a fait sa pièce d'épreuve, mais il ne continue pas.

Dans les deux modes de fabrication, on monte la chaîne de la pièce, ainsi que cela se pratique généralement pour le métier à la Jacquart. Le tissage en imitation s'exécute avec autant de navettes qu'il y a de couleurs dans le dessin. Les navettes sont passées à travers la chaîne, dans l'ordre convenable. Tous ces fils n'étant introduits que par intervalles dans la trame, lorsque la composition du modèle l'exige, ils restent flottants sur le dos de la pièce, et sont ensuite coupés, ce qui n'altère en rien la qualité du tissu, le feutrage empêchant les fils de s'échapper. Mais il y a une perte considérable d'étoffe, laquelle est toute employée dans les tapis.

Le tissage en imitation des véritables cachemires diffère du précédent. Les fils destinés à former la trame sont non seulement égaux en nombre à celui des couleurs du modèle; mais, en outre, il y a autant de petites navettes (semblables à celles dont se servent les brodeuses), remplies de ces fils, qu'il doit y avoir de couleurs répétées dans la largeur de la pièce; on conçoit sans peine que ce nombre soit très considérable, quand le modèle est un peu compliqué ou chargé de couleurs. Chacune de ces navettes passe seulement à travers la partie de la fleur sur laquelle la couleur de son fil doit paraître, et elle revient ensuite sur elle-même après avoir traversé le fil de la navette contiguë. De cet entrelacement réciproque de tous les fils des navettes, il résulte que, quoique la trame soit composée d'un grand nombre de fils différents, ils n'en constituent pas moins une ligne continue dans toute la largeur du tissu sur lequel le battant agit de la manière ordinaire. Ce qu'il y a de plus difficile dans la fabrication des cachemires, c'est d'éviter la confusion des navettes et de ne pas frapper le battant avant que toutes n'aient rempli leurs fonctions. Une femme et deux aides suffisent pour la fabrication de châles de 1m,20 à 1m,50 de large, lesquels deman-

dent environ cent jours de travail. (Pour la construction du métier à la Jacquart, voyez TISSAGE.)

Dans le procédé oriental, toutes les figures en relief sont faites avec un mince fuseau, sans la navette employée dans le tissage européen. La fleur et son fond s'exécutent avec le fuseau au moyen d'un entrelacement qui les rend en quelque sorte indépendants de la chaîne. Dans l'imitation des châles orientaux, qui se fait à Lyon, la fleur est unie à la chaîne par la trame qui traverse la pièce, ce qui épargne beaucoup de travail, mais ne laisse pas d'augmenter un peu le prix des châles. D'ailleurs, le fabricant indien lui-même, malgré toutes les conditions de bon marché dans lesquelles il est placé, sous les rapports de la main d'œuvre et de la matière, ne travaille pas avec moins de dépense de temps et d'argent que nous.

Un châle long, à grandes palmes, à larges bordures, de première qualité, et recherché dans le commerce, peut s'établir dans l'Inde sur le pied suivant :

Une paire de châles longs, montée sur douze métiers, peut être confectionnée dans l'espace de six à sept mois. Dans le corps d'une paire de châles longs semblables l'un à l'autre pour le dessin et les couleurs, il y a vingt coutures ou rentrayures. Les nœuds de rattachement pour le rentrayage des diverses pièces de rapport dont se compose cette paire de châles sont alors placés sur l'endroit et l'envers du tissu.

Pour établir un châle long, unique, c'est-à-dire sans pair et sans aucune rentrayure, sur deux métiers ou dans deux ateliers, il faut que la chaîne et les fils soient d'une qualité très supérieure à ce qu'on emploie dans la confection des châles ordinaires, et que les dessins et le mélange des couleurs soient, en tout point, d'une rare perfection. Dans ces conditions, un châle long, sans couture, exigerait un travail de trois années ; mais, pendant cet intervalle, il y aurait à craindre pour la chaîne en laine, l'évent, l'altération des couleurs et la piqûre des vers, circonstances qui ne permettent guère d'opérer le tissage. Le prix d'un châle de qualité marchande, fabriqué sur douze métiers, et qui demande six à sept mois de travail, varie entre 1,200 et 2,000 roupies, monnaie courante de Cachemire, c'est-à-dire entre 2,400 et 4,000 fr. environ. Dans le milieu d'un châle unique, c'est-à-dire sans pair, il y a toujours deux coutures, c'est l'affaire des rentrayeurs qui font ce travail d'assemblage avec une telle perfection qu'il est impossible de s'en apercevoir. Dans ces conditions, un châle long exigeait un travail de douze mois complets.

Un carré à palmes, fond uni, à large bordure ou encadrement, s'établit sur quatre métiers, selon l'antique usage. Pour exécuter un semblable carré sur un seul métier, il faudrait à peu près onze mois entiers de travail. D'après cela, on peut conclure qu'il n'y a d'avenir chez nous pour le châle *épouliné*, qu'autant qu'on parviendra, à l'aide de la mécanique, à simplifier le travail, comme par exemple, à passer plusieurs *époulins* ou fuseaux à la fois. Et cette espérance, nous pouvons la concevoir en présence des résultats déjà obtenus par quelques-unes de nos nouvelles machines. (Voyez BATTANT-BROCHEUR.)

Mais jusqu'à présent, les châles de fabrique française ne peuvent être considérés que comme tissés et brochés au lancé, et prenant en considération la matière employée, nous les diviserons en :

Châles de Paris ;
Châles de Lyon ;
Châles de Nîmes.

La fabrique de Paris exploite trois sortes de châles, genre et imitation de cachemire. 1° le cachemire pur, dont la chaîne et toutes les matières tissées et lancées sont en duvet de cachemire. La majeure partie sont carrés et ont 1m,80 à 1m,95 de côté ; leur prix varie de 220 à 500 francs. Le nombre des couleurs employées est

rarement au-dessous de 8 ; il est d'ordinaire de 10 à 11, et il s'élève quelquefois jusqu'à 14 et 15. Les châles longs en cachemire pur doivent avoir de 1m,50 à 1m,60 de large sur 3m,60 à 3m,80 de long, et leur prix varie entre 300 et 700 francs.

2° Le châle indou cachemire, qui se fabrique avec les mêmes matières que le cachemire pur, à l'exception de la chaîne qui est en soie de fantaisie. Afin d'obtenir encore une réduction sur le prix de revient, on économise une ou deux couleurs, et l'on peut alors vendre ce châle au prix de 180 à 220 francs.

3° Le châle indou laine, dont la chaîne est la même que celle de l'indou cachemire, mais dont la trame et le lancé sont en laine plus ou moins fine. C'est l'article de la plus grande consommation du châle parisien, et on peut l'évaluer annuellement à la somme de 12 ou 15 millions. La fabrique de Lyon abandonne à Paris le cachemire pur, mais elle lui dispute avec succès l'exploitation du cachemire indou pure laine. Elle emploie dans le tramé et le lancé une laine fine et douce qui rivalise, pour la souplesse du toucher, avec le cachemire. Mais l'article le plus important de la fabrique de Lyon est le châle thibet. Ce châle se fabrique avec un mélange de laine et de bourre de soie ; il se conforme, pour les dessins et les qualités, aux exigences de la consommation, soit intérieure, soit extérieure, et peut descendre à la portée des plus petites fortunes.

Au-dessous du châle thibet, arrive le châle tissé, chaîne et trame en bourre de soie, long ou carré. Ce châle a été longtemps l'unique objet de la fabrication lyonnaise ; aujourd'hui cet article est bien réduit, et il est presque entièrement remplacé par le châle thibet.

Lyon fabrique, en outre, une grande variété de châles fantaisie carrés pour l'été, en cachemire, en laine douce, en thibet, en laine, en soie damasquinée, et en soie pure de différentes étoffes et armures qu'il serait trop long d'énumérer en détail. On compte à Lyon environ quatre mille métiers de châles occupant chacun trois personnes ; tous ne battent pas constamment ; un quart à peu près éprouve un chômage obligé par le changement d'articles, le montage et autres causes. Le châle broché de Lyon, qui, jusqu'à ces dernières années, ne s'exportait que pour l'Allemagne, la Russie, la Hollande et l'Angleterre, vient de trouver, par la modicité de ses prix, un immense débouché dans l'Amérique du Nord, surtout depuis 1838 : tout fait espérer qu'il s'accroîtra encore.

La fabrique de Nîmes met toute son industrie à imiter les dispositions en vogue à Paris et à Lyon, et aucune ne paraît avoir mieux rempli le problème économique, car elle trouve à l'étranger un débouché considérable de ses produits.

Mentionnons encore la fabrique de Reims qui, la première, a monté ses châles sur des chaînes simples, ce qui lui a permis d'en réduire considérablement les prix.

Aujourd'hui le filateur de laine produit mieux et à meilleur marché ; le teinturier est devenu plus sûr de ses procédés et plus exact dans ses nuances, le fabricant, le contre-maître, l'ouvrier lui-même ont acquis, par une plus longue pratique, une intelligence plus profonde des procédés de fabrication et des ressources que peut offrir la machine à la Jacquart à l'aide d'ingénieuses combinaisons ; aussi l'industrie des châles se perfectionne-t-elle chaque jour, et tout fait présager que bientôt elle n'aura plus rien à envier à l'Orient.

CADENAS. Voyez SERRURERIE.

CADMIUM (*angl.* et *all.* cadmium). Métal découvert en 1817 par Stromeyer, dans les minerais de zinc de la haute Silésie, qui en renferment 1, 2, et même quelquefois, quoique très rarement, jusqu'à 10 pour 100. On reconnaît aisément sa présence dans un minerai de zinc, par un essai au chalumeau, à l'auréole rougeâtre d'oxyde

de cadmium qui se dépose sur le charbon, tandis que cette auréole est d'un beau blanc si le minerai ne renferme que du zinc.

Le cadmium a beaucoup d'analogie avec l'étain, dont il présente la couleur et l'éclat. Il est assez mou, un peu plus dur cependant que l'étain, est susceptible de prendre un très beau poli, et laisse sur le papier des traces gris de plomb ; il se laisse aisément limer, ciseler et plier ; dans ce dernier cas, il fait entendre un cri particulier qui rappelle celui de l'étain. Il est assez ductible, et peut être étiré en fils assez fins, ainsi que réduit sous le marteau en feuilles d'une très grande ténuité. Fondu, sa densité est de 8,604 ; écroui sous le marteau, elle est de 8,6944. Il fond, selon Daniell, à 360°, et se volatilise peu au-dessus ; il est par conséquent beaucoup plus volatil que le zinc.

Le cadmium s'altère peu à la température ordinaire dans l'air, même humide ; il se recouvre seulement à la longue d'une mince pellicule grisâtre d'oxyde, qui forme vernis à la surface et préserve presque entièrement l'intérieur de toute altération subséquente. Chauffé au contact de l'air, un peu au-dessus de son point de fusion, il s'enflamme et brûle aussi facilement que le zinc, en produisant une fumée épaisse inodore d'un brun jaunâtre. Il se dissout aisément dans les acides nitrique, sulfurique et hydrochlorique, quoique moins rapidement que le zinc, en donnant de même lieu avec les deux derniers à un dégagement de gaz hydrogène.

Le cadmium ne forme qu'un seul oxyde, qui s'obtient soit en chauffant le métal au contact de l'air soit en calcinant le nitrate ou le carbonate de cadmium. Il est d'un brun jaunâtre plus ou moins clair, suivant les circonstances dans lesquelles il a été obtenu ; il n'est ni fusible ni volatil ; le charbon et un grand nombre de métaux, entre autres le zinc, le réduisent au-dessous du rouge avec la plus grande facilité. C'est une base assez énergique. Il se compose de 87,45 de cadmium et de 12,55 d'oxygène pour 100. Il forme un hydrate blanc, qu'on obtient en précipitant un sel soluble de cadmium par une dissolution de potasse ou de soude caustique.

Les sels de cadmium sont incolores, leur saveur est acerbe et métallique ; ils sont en général solubles et cristallisables. L'hydrogène sulfuré et les hydrosulfates alcalins en précipitent du sulfure de cadmium d'un jaune rouge très beau et très éclatant, employé dans la peinture. Parmi les autres sels nous ne citerons que le sulfate, qui est employé en médecine dans les maladies des yeux pour faire disparaître les taies.

Pour retirer le cadmium des minerais ou autres produits qui le renferment, on les grille s'ils contiennent du soufre, et on dissout ensuite dans l'acide sulfurique ou hydrochlorique, puis dans la dissolution rendue fortement acide, on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré qui précipite, à l'état de sulfure, le cadmium un peu de zinc, et le cuivre s'il y en a dans la dissolution. On redissout les sulfures dans l'eau régale, on précipite les métaux par du carbonate de potasse ou de soude, et on fait digérer le précipité avec du carbonate d'ammoniaque, qui redissout tout le cuivre et le zinc ; on lave ensuite d'abord avec de l'eau chargée de carbonate d'ammoniaque, puis avec de l'eau pure ; on calcine le dépôt ; enfin on réduit l'oxyde en le mélangeant avec du noir de fumée et le chauffant avec ménagement.

On peut aussi précipiter le cadmium de la dissolution, par une lame de zinc ou de fer ; mais il est toujours nécessaire de le redissoudre et de le purifier, comme nous l'avons dit, pour l'avoir tout à fait exempt de cuivre et de zinc.

Depuis quelque temps on retire environ 500 kilos de cadmium dans les grandes usines à zinc de la haute Silésie, de la manière suivante :

On a remarqué que dans le traitement du minerai de zinc par le procédé suivi en Silésie (voyez ZINC), le cadmium plus volatil que le zinc se dégage complétement pendant les quatre premières heures de la distillation, s'oxyde à la sortie de l'allonge, et forme un oxyde brun jaunâtre qui se trouve mêlé à l'oxyde blanc de zinc qui se forme toujours dans le travail des mouffles, surtout au commencement de l'opération. On recueille donc les oxydes formés pendant ce temps, en choisissant de préférence les parties brunâtres, et on les mélange avec 1/3 de leur poids d'escarbilles de coke, et on les introduit dans une moufle semblable à celles employées pour la distillation du zinc, mais que l'on place dans les fours servant au grillage de la calamine, chauffés par les flammes perdues, où par conséquent la température est moins élevée que dans les fours de distillation proprements dits. Cette moufle se termine par une allonge extérieure conique et légèrement inclinée, en tôle, qui se trouve constamment refroidie par le courant d'air extérieur, de sorte que le zinc qui distille, se condense et se prend en gouttelettes qui adhèrent à la partie supérieure de l'allonge, tandis que le cadmium plus volatil, s'oxyde et se dépose sous forme d'une poudre jaunâtre à sa partie inférieure. Comme le cadmium est très volatil, on fait en sorte qu'il ne puisse être entraîné à l'état de vapeur, en adaptant à l'extrémité de l'allonge de tôle un bouchon en bois, dans l'axe duquel on a seulement percé une petite ouverture pour permettre aux gaz de s'échapper. Chaque charge ne dure que douze heures. Il va sans dire qu'on fait tomber l'oxyde de cadmium qui se dépose à la partie inférieure de l'allonge, et que l'on détache les gouttelettes de zinc collées à la partie supérieure, toutes les fois que cela est nécessaire. Enfin on réduit l'oxyde de cadmium ainsi obtenu dans une cornue cylindrique en fonte munie d'une allonge en tôle, en le mélangeant avec du charbon de bois pulvérisé, et chauffant la cornue à une chaleur modérée, ce qui se fait en l'introduisant dans la cheminée qui surmonte le four de grillage. La température à laquelle on opère est assez basse, et l'allonge suffisamment refroidie par le courant d'air extérieur, pour que le cadmium s'y condense et coule en gouttelettes au dehors. On le refond avec un peu de résine et on le coule en petites barres cylindriques dans des moules en sable. Ce cadmium se vend au profit du maître fondeur qui a dirigé l'opération, et il se paye quelquefois jusqu'à 70 francs le kilogramme. Ainsi obtenu le cadmium renferme encore une faible proportion de zinc, que l'on peut séparer par voie humide, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Si ce n'était sa rareté et son prix élevé, le cadmium pourrait aisément remplacer l'étain dans la plupart de ses applications.

P. DEBETTE.

CAFÉ (*angl.* coffee, *all.* kaffee). L'arbre qui produit le café, le *coffea arabica*, appartient à la famille des rubiacées, et est originaire de la haute Égypte et de l'Arabie-Heureuse ; il y atteint 5 à 6 mèt. de hauteur ; les feuilles ont de la ressemblance avec celles du laurier, mais elles sont moins sèches et moins épaisses. De petits bouquets de fleurs blanches, semblables à celles du jasmin, naissent à l'insertion des feuilles ; elles se fanent très vite, et sont remplacées par des fruits qui ressemblent assez aux cerises, et qui contiennent un mucilage jaune glaireux renfermant deux grains de café, qui, dans leur état naturel, sont accolés suivant leur face plate et enveloppés d'une seule et même pellicule, de manière à présenter la forme d'un sphéroïde un peu allongé.

Ce ne fut que vers la fin du XV^e^ siècle que l'on commença à cultiver le café en Arabie. La chronique attribue la découverte du café, comme breuvage, au supérieur d'un monastère, qui, voulant empêcher les moines de s'endormir pendant les offices de nuit, leur fit prendre

CAFÉ.

une infusion de café, sur le rapport de bergers qui prétendaient que leurs troupeaux étaient plus vifs et plus éveillés lorsqu'ils avaient brouté des fruits de cette plante. L'usage du café se répandit rapidement, quoiqu'il rencontrât beaucoup d'opposition de la part du gouvernement turc. Sous le règne d'Amurath III, le mufti fit fermer par une loi tous les cafés, et cette même loi fut remise en vigueur pendant la minorité de Mahomet IV. Ce ne fut qu'en 1554, sous le grand Soliman, que l'usage du café devint permis à Constantinople, et plus d'un siècle s'écoula encore avant qu'il fût connu en France et en Angleterre. L'aga Soliman en introduisit l'usage à Paris, et en 1672 un Arménien établit le premier café à la foire de Saint-Germain.

A mesure que l'usage du café se répandit, toutes les puissances qui possédaient des colonies sous les tropiques cherchèrent à y transplanter et acclimater l'arbre à café. Les Hollandais furent les premiers qui transplantèrent cette plante de Moka à Batavia, et de là à Amsterdam; en 1714 les magistrats de cette dernière ville envoyèrent à Louis XIV un plant de café qui fut placé au Jardin-des-Plantes, et duquel sont provenues toutes les plantations de la Martinique.

Le principal centre de production du café est encore l'Arabie-Heureuse, surtout aux environs d'Aden et de Moka. On le cultive sur des collines qui l'abritent en partie contre la chaleur des rayons solaires. On le récolte en étendant des draps sous les arbres, puis secouant ceux-ci. On laisse ensuite sécher les fruits au soleil, sur des nattes, puis on les passe sous un rouleau très pesant pour briser l'enveloppe qui recouvre les grains de café, que l'on sépare ensuite par le vannage. On sèche encore ces grains au soleil avant de les mettre en magasin.

Le café le plus estimé est celui de *Moka*; il est en grains presque jaunes, petits et arrondis, et possède un goût et un parfum plus agréables que tout autre. Viennent ensuite les cafés de la *Martinique* et de l'île *Bourbon*; le premier est en grains plus gros et plus allongés que ceux du café moka; ces grains sont arrondis à leur extrémité, ont une couleur verdâtre, et conservent presque toujours une pellicule grise-argentée, qui tombe lorsqu'on les torréfie; le café Bourbon se rapproche davantage du moka, dont il provient plus directement. Le café de Saint-Domingue est effilé en pointe aux deux bouts, et est beaucoup moins estimé que les deux précédents.

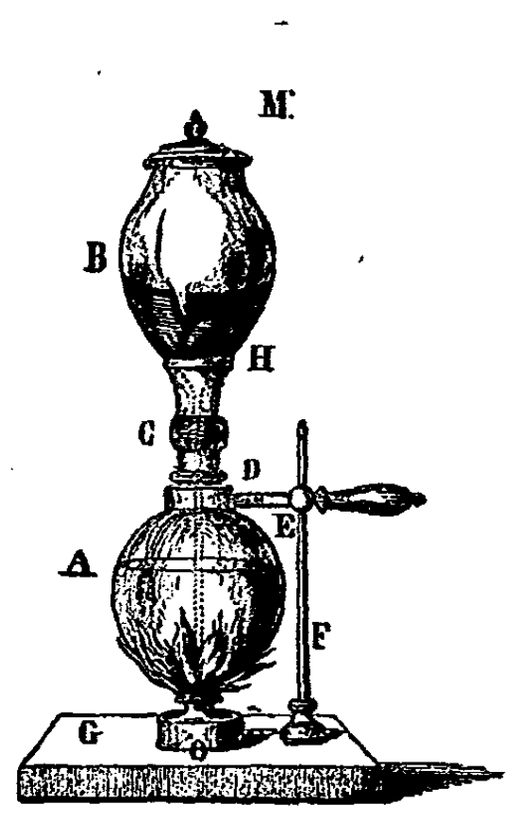
Malgré les travaux d'un grand nombre de chimistes, nous ne possédons que peu de documents certains sur la vraie composition chimique du café, et nous sommes encore assez éloignés de savoir à quels principes on peut attribuer son action sur l'économie animale. En 1820, Runge a découvert, dans la solution aqueuse du café, une substance cristalline, à laquelle il a donné le nom de *caféine*, mais qui ne paraît jouer qu'un rôle tout à fait secondaire dans les propriétés de l'infusion du café. Pour préparer la caféine, on traite le café vert ou torréfié par l'eau bouillante, on précipite la dissolution par l'acétate de plomb, on filtre, on sépare l'excès de plomb en faisant passer dans la liqueur un courant d'hydrogène sulfuré, on filtre, et on fait cristalliser par évaporation. La caféine ainsi obtenue est un corps très indifférent, qui est identique ou au moins isomère avec la *théine*, découverte dans le thé, et est une des substances végétales les plus azotées; elle renferme : carbone 8 at., hydrogène 10 at., oxygène 2 at., et azote 4 at.

Le café vert est une substance dure, cornée et élastique, qu'il serait fort difficile de pulvériser sans une torréfaction préalable. Non seulement cette opération remplit parfaitement son but sous ce rapport, mais elle a en outre l'avantage de développer l'arôme, ou, comme on dit, le *bouquet* du café. Le grain bien torréfié doit avoir une teinte chocolat bien égale; ce point est facile à reconnaître pour celui qui a quelque habitude de cette opération; il n'a même pas besoin de voir le café, l'odeur lui suffit; il est atteint lorsque le parfum se développe, et que toute l'atmosphère environnante s'en trouve embaumée; par une torréfaction trop prolongée, il se produit de l'huile empyreumatique et amère, qui donne au café un goût détestable; si l'on donne dans l'excès contraire, la verdeur du grain s'y conserve et masque en partie le bouquet qui ne se manifeste qu'à une température plus élevée Un café bien conservé perd, par un bon grillage, 16 à 20 p. 100; au-delà, il a été trop fortement torréfié.

Il convient de garder le café torréfié dans des boîtes exactement closes, à l'abri de l'humidité, et de ne le broyer qu'au moment de l'employer; autrement il s'évente, et son bouquet se dissipe

Pour broyer le café, on se sert de moulins qui portent une noix tranchante, qui permettent d'obtenir une poudre égale et à grains que l'on gradue à volonté en faisant varier la position de la noix au moyen d'une vis.

Parmi les nombreux appareils employés pour préparer l'infusion du café, nous mentionnerons seulement la cafetière la plus élégante, la plus commode, et en même temps celle qui remplit le mieux le but qu'on se propose d'obtenir de ne rien perdre de l'arôme, et en agissant à une température qui atteint à peine 100° d'éviter la dissolution de produits âcres et empyreumatiques.



346.

Cette cafetière se compose : d'un ballon en verre A, supporté par une fourchette D, qui se fixe sur la tringle F, faisant corps avec le pied ou plateau G, au moyen de la vis de pression E; c'est dans le ballon A qu'on introduit l'eau destinée à faire l'infusion de café; on y réunit ensuite le ballon B, terminé à sa partie inférieure par un bouchon C; le ballon B porte en H un filtre sur lequel on verse le café en poudre en enlevant le couvercle M; au-dessous de ce filtre est un entonnoir très plat, qui se termine par un tube en cristal qui traverse le bouchon C, et qui, lorsque l'appareil est monté comme la figure l'indique, vient déboucher tout près du fond du ballon A; ce dernier renfermant une quantité d'eau suffisante, on la porte en peu de temps à l'ébullition en allumant la lampe à esprit-de-vin O; dès que le liquide bout, la vapeur qui occupe la partie supérieure du ballon A acquiert une tension suffisante pour faire remonter l'eau bouillante du ballon A, par le tube de cristal dans le ballon B, en traversant le filtre et soulevant le café situé

dessous, ce qui le met dans une agitation continuelle, et augmente la rapidité et l'uniformité de l'infusion. Lorsqu'on éteint la lampe à esprit-de-vin, la tension de la vapeur diminuant dans le ballon, l'infusion repasse à travers le filtre, et retombe parfaitement claire, par le tube en cristal, dans le ballon A; on enlève alors le vase B, on le remplace par un syphon en cristal, et on verse le café dans les tasses par la pression de la vapeur.

CAGNARDELLE. Voyez MACHINES SOUFFLANTES.

CALAMINE (*angl.* calamine, *all.* gallmei). Minerai de zinc carbonaté. Voyez ZINC.

CALANDRE (*angl.* calender, *all.* kalender). Nom donné à une machine qui sert à lisser et lustrer les tissus, et particulièrement les étoffes de coton. Cette machine se compose de deux ou plusieurs laminoirs qui se touchent, et dont la pression respective est réglée par des poids convenables, de manière à lisser et même lustrer l'étoffe qui les traverse. La calandre sert soit à donner le dernier apprêt aux tissus avant de les mettre en vente, soit à donner à leur surface l'uniformité et la consistance nécessaires à l'impression. Le degré de consistance et de lissage à produire varient suivant le but que l'on veut atteindre. Les tissus de coton blancs, qui doivent être imprimés, doivent être très fortement comprimés au calandrage, parce que la beauté et la netteté de l'impression dépendent de l'égalité et de la finesse du lissage antérieur; aussi, dans beaucoup de fabriques, passe-t-on toujours les tissus à la calandre, à deux reprises différentes, avant de les livrer à l'impression. Les tissus, au contraire, qui ont déjà été teints dans la cuve à garance ou de toute autre manière, et sur lesquels on doit imprimer encore d'autres couleurs, doivent subir un calandrage beaucoup plus faible, parce que les contours de la première impression ayant un peu varié par le lavage, etc., l'imprimeur doit tirer l'étoffe tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, pour faire coïncider ces contours avec ceux de la forme qui sert à l'impression suivante, ce qui ne pourrait avoir lieu si le tissu avait acquis trop de corps par le calandrage. Enfin, dans le calandrage qui sert à donner le dernier apprêt aux indiennes, la pression doit être moins considérable que dans les cas que nous avons énumérés, et dépend tant de la nature même du tissu que du lustre qu'on veut lui donner.

Une calandre se compose de 2, 3, 4 ou 5 cylindres horizontaux, de 1m,25 environ de table, dont les coussinets sont échelonnés les uns au-dessus des autres, dans deux fortes coulisses verticales en fonte. Lorsqu'il y a, par exemple, 3 cylindres, l'étoffe passant d'abord entre le premier et le second, puis entre le second et le troisième, éprouve un double calandrage. Ordinairement les calandres à 5 cylindres servent à calandrer à la fois deux pièces d'étoffe qui passent elles-mêmes chacune deux fois entre les cylindres. Il y a toujours au moins un des cylindres en métal, soit en bronze, soit en fonte; ce cylindre, extérieurement tourné et parfaitement poli, est creux et est échauffé soit par une plaque de fer rouge qu'on y introduit à l'intérieur, soit, ce qui est bien préférable, en y faisant passer un courant de vapeur, comme on le pratique pour les cylindres de la machine à apprêter (voy. cette machine, article BLANCHIMENT). On donne à ces cylindres une épaisseur de 4 à 5 centim., afin qu'ils présentent la rigidité nécessaire et qu'ils concentrent dans leur masse une certaine quantité de chaleur. Les autres cylindres sont faits en carton de la manière qui suit : l'axe est une forte barre de fer carrée; on fixe à peu de distance de l'une des extrémités un disque en fonte, de diamètre un peu moindre que celui que doit avoir le cylindre, percé de quatre ou six trous également espacés, dans lesquels on introduit de longs boulons de fer parallèles à l'axe, munis à l'un des bouts d'une tête et à l'autre d'un écrou; on découpe ensuite un grand nombre de disques en carton épais et fort, ayant un diamètre plus grand de 5 à 6 centim. que celui à donner au cylindre, et on les perce d'une ouverture carrée pour laisser passer l'axe au centre, et de quatre à six ouvertures équidistantes pour laisser passer les boulons; on les enfile ensuite sur l'axe et les boulons, jusqu'à ce qu'on arrive presque à l'extrémité de ces derniers; on met par-dessus un second disque en fonte semblable au premier; on adapte les écrous aux boulons et on les serre autant que possible; on dessèche le cylindre ainsi obtenu dans une étuve à une forte chaleur; les disques de carton se retirent; on resserre de nouveau les écrous, et enfin on dresse et on termine le cylindre sur le tour; le carton ainsi comprimé offre une masse d'une dureté étonnante, qui prend parfaitement le poli, et qui émousse si rapidement l'acier, qu'il faut deux remouleurs pour affûter les outils qu'emploie dans le même temps un tourneur. Un cylindre de 0m,50 de diamètre doit faire au plus quarante tours par minute, et l'on doit se servir d'outils très petits qui n'enlèvent que fort peu de matière à la fois. On peut employer avec avantage, pour donner le dernier fini, des burins en diamant qui n'enlèvent qu'extrêmement peu de matière à la fois, mais qui ne s'émoussent point.

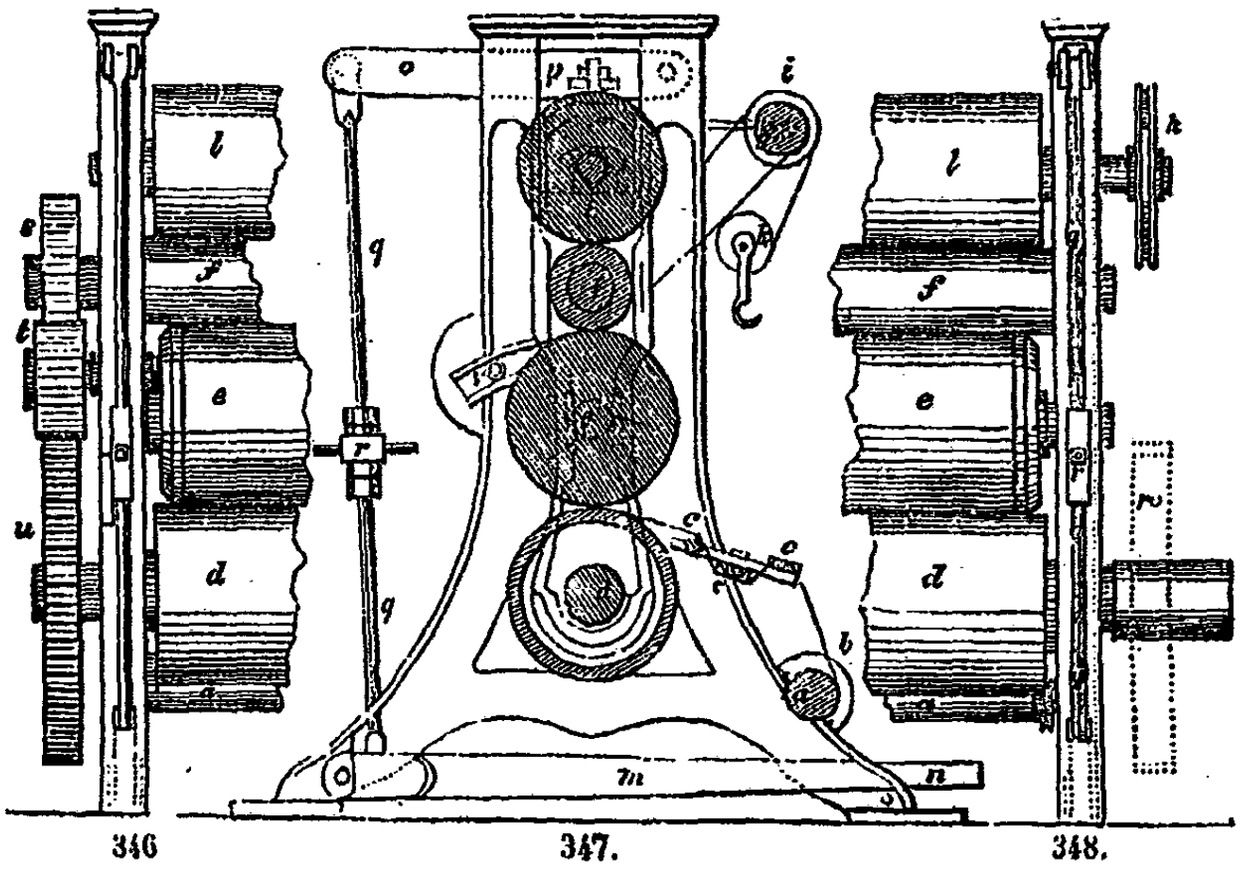
On avait d'abord essayé d'employer des cylindres en bois massif, mais on dut y renoncer parce qu'ils se déformaient et se gerçaient rapidement. On a imaginé depuis peu en Angleterre de prendre des planures de bois de sapin, de les dessécher fortement à l'étuve, puis de les comprimer aussi fortement que possible, au moyen d'une puissante presse hydraulique, dans un moule cylindrique en fonte, de manière à en former des disques de 6 à 7 centim. d'épaisseur. Ces disques sont enfilés sur un axe carré en fer et pressé d'abord entre deux disques en bois massif, puis entre deux disques en fonte, comme ci-dessus. On obtient ainsi des cylindres très durables, qui se laissent dresser beaucoup plus facilement sur le tour, et qui reviennent à un prix bien moins élevé que les cylindres en carton.

Lorsque la calandre n'a que deux cylindres, l'un deux est ordinairement métallique et l'autre en carton; rarement ils sont tous les deux en carton. Le plus souvent on emploie trois cylindres, dont l'intermédiaire est métallique et les deux autres en carton; quelquefois cependant c'est le contraire. Lorsqu'il y a quatre cylindres, il y a, en allant de haut en bas, un cylindre en carton, un cylindre métallique, et enfin deux cylindres en carton entre lesquels l'étoffe passe d'abord. Lorsqu'on emploie cinq cylindres, les 1er, 3e et 5e sont en carton, et les 2e et 4e sont métalliques.

Les cylindres sont mis en mouvement au moyen de courroies sans fin ou de roues dentées. Le plus souvent le cylindre métallique communique seul directement avec la force motrice, et les autres cylindres se meuvent seulement en vertu de leur pression respective, de sorte que leur vitesse à la circonférence se trouve la même (elle est d'environ 0m,50 par seconde), et le lissage de l'étoffe n'a lieu que par la compression qu'elle éprouve en passant entre les cylindres. Lorsqu'au contraire, on communique au moyen de roues d'engrenages des vitesses à la circonférence différentes à deux cylindres consécutifs, de telle sorte que la surface du cylindre en métal soit supérieure à celle du cylindre en papier, il y aura glissement du cylindre métallique sur l'étoffe, ce qui en augmentera considérablement le lustre, aussi nomme-t-on souvent les calandres ainsi disposées, *calandres à lustrer*. On donne à l'étoffe un moiré particulier en l'aspergeant d'eau, immédiatement avant son passage entre les cylindres; on augmente la beauté de ce moiré, en communiquant à l'étoffe, pendant son passage entre les cylindres, un léger mouvement de va-et-vient dans le sens de sa largeur, au moyen d'un mécanisme particulier. Pour obtenir à la calandre un lissage complétement mat, on emploie deux cylindres dont le

supérieur à coussinets mobiles presse sur l'inférieur par l'action de son propre poids, et au besoin, de poids additionnels; après avoir passé entre les cylindres, l'étoffe s'enroule sur le cylindre supérieur, de sorte que la compression au lieu de s'exercer entre deux surfaces dures et polies, s'exerce entre une surface de ce genre et une surface élastique et peu dure.

La fig. 347 représente une coupe transversale, et les fig. 346 et 348 une élévation de la calandre habituelle-



346 347. 348.

ment employée en Angleterre : on enroule d'abord l'étoffe sur le cylindre en bois *a*, sur l'axe duquel est montée une poulie *b*, qui porte un contre-poids servant à régler la tension de l'étoffe; celle-ci passe ensuite sur les barres *c*, *c*, *c*, qui servent à l'étendre, puis entre le cylindre creux en fonte *d*, et le cylindre en papier *e*, chacun de 0m,40 de diamètre; elle repasse ensuite entre le cylindre en papier *e*, et le cylindre plein en fonte *f*, de 0m,20 de diamètre, et vient enfin s'enrouler sur le cylindre en bois *g*; ce dernier est mis en mouvement par une courroie sans fin qui passe sur les gorges des poulies *h* (fig. 348) et *i* (fig. 347); le rouleau de pression *k*, sert à donner la tension convenable à l'étoffe. *l*, est un cylindre de pression, en bois de platane, de 0m,35 de diamètre, qui sert à répartir uniformément la pression sur les cylindres de la calandre. Celle-ci est produite par des poids suspendus en *n*, à l'extrémité d'un système de tiges et leviers articulés *m*, *q*, *o*, s'appuyant en *p* sur les coussinets du cylindre de pression *l*; les deux pièces *q*, *q*, sont jointes au manchon *r* au moyen d'écrous, se vissant les uns à gauche, les autres à droite, de sorte que l'on augmente ou que l'on diminue la pression exercée par le cylindre *l*, en tournant dans un sens ou dans l'autre le manchon *r*, ce qui diminue ou augmente la longueur de la tige *q q*. En tournant suffisamment le manchon, on peut séparer les bouts de tige *q*, *q*, et enlever s'il est nécessaire le cylindre de pression *l*.

On communique le mouvement aux cylindres, avec une vitesse plus ou moins différente à la surface, au moyen des roues d'engrenage *s*, *t*, *u*, (fig. 346); la roue *u* a 69 dents, la roue *s* en a 20, et la roue *t* en a 33, 32 ou 20 suivant la différence de vitesse que l'on veut obtenir; l'axe de la roue intermédiaire *t*, que l'on peut changer à volonté, est mobile dans deux coulisses *v*, où on le fixe d'une manière convenable; la force motrice est appliquée directement sur l'axe de la roue *u*. Si l'on veut opérer avec l'action de la chaleur on introduit des barres de fer rouges dans le cylindre creux en fonte *d*, ou mieux on y fait passer un courant de vapeur d'eau.

On dispose les calandres d'une infinité d'autres manières que celle que nous venons de décrire. La disposition qui paraît la plus parfaite est celle inventée par *Karl Dolfuss*, et qui est employée dans les meilleures fabriques d'indiennes de l'Alsace (voyez pour la description complète de cette calandre, le n° 48 du Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse). On passe deux pièces d'étoffe à la fois dans cette calandre; celles-ci s'enroulent ensuite sur un rouleau, ou sont pliées au sortir de la machine, au moyen d'un mécanisme très ingénieux que nous décrirons au mot PLIAGE *des étoffes*. Enfin une disposition très simple s'oppose complétement à ce que, par accident, en présentant l'étoffe, les doigts de l'ouvrier ne puissent être pris et écrasés entre les cylindres.

CALCAIRE (voyez CARBONATE DE CHAUX).

CALCÉDOINE (voyez QUARTZ).

CALCINATION. Autrefois, *calciner* signifiait changer en chaux, c'est-à-dire oxyder une substance métallique par le contact de l'air; mais aujourd'hui l'acception de ce mot a totalement changé. L'opération que l'on appelle maintenant *calcination* a pour objet, soit de séparer d'une substance minérale ou organique une substance volatile quelconque, par l'effet seul de la chaleur et sans le concours de l'air, soit de lui faire éprouver des changements brusques de température, pour la rendre plus fragile, soit enfin de lui donner plus de cohésion, et de la rendre moins facilement attaquable par les agents atmosphériques et chimiques.

On calcine, pour en séparer l'eau, les hydrates de fer, de zinc, et tous les minerais à gangue argileuse; pour en séparer l'acide carbonique, les carbonates de chaux, de fer, de zinc; pour en séparer à la fois l'eau et l'acide carbonique, les carbonates hydratés de fer, de zinc (voyez MÉTALLURGIE, CHAUX, FER, ZINC, etc.); pour en séparer une portion du soufre et de l'arsenic, plusieurs sulfures et arsénio-sulfures; mais dans ce cas il y a presque toujours fusion; enfin, on calcine pour expulser le bitume, etc., les bois, houilles et autres combustibles minéraux (voyez CARBONISATION). On calcine pour les étonner et les rendre fragiles, le quartz et toutes

les pierres très-dures (voyez POTERIE, VERRERIE); dans ce cas, après les avoir fait chauffer jusqu'au blanc, on les *étonne* en les projetant brusquement dans une grande masse d'eau froide. On calcine, pour leur faire prendre de la cohésion et leur assurer une durée pour ainsi dire indéfinie, les argiles (voyez BRIQUE, POTERIE).

Quant aux appareils de calcination, ils varient suivant le résultat à obtenir et la nature de la matière que l'on traite ; aussi en renvoyons-nous la description aux articles spéciaux.

CALCULER (MACHINES A) (ang., *calculating machine;* all., *reichnung maschine*). La possibilité d'exécuter des calculs à l'aide de mouvements mécaniques a été entrevue, pour la première fois, par le génie de Blaise Pascal. C'est à l'âge de dix-neuf ans qu'il conçut sa machine arithmétique, ayant vu que les rouages des roues d'engrenage pouvaient représenter des nombres, et les passages de dents en un point indiquer le nombre de ces dents. Cette conception mériterait d'illustrer seule ce grand esprit, célèbre à tant de titres, bien plus toutefois que la machine même qui, malgré les efforts de plusieurs géomètres et mécaniciens, de Leibnitz notamment, n'a jamais pu réaliser qu'un compteur additionnant les nombres inscrits les uns à la suite des autres. Nous chercherons à en donner une idée, d'après la description donnée par Diderot dans l'Encyclopédie et la figure 348, empruntée au même ouvrage.

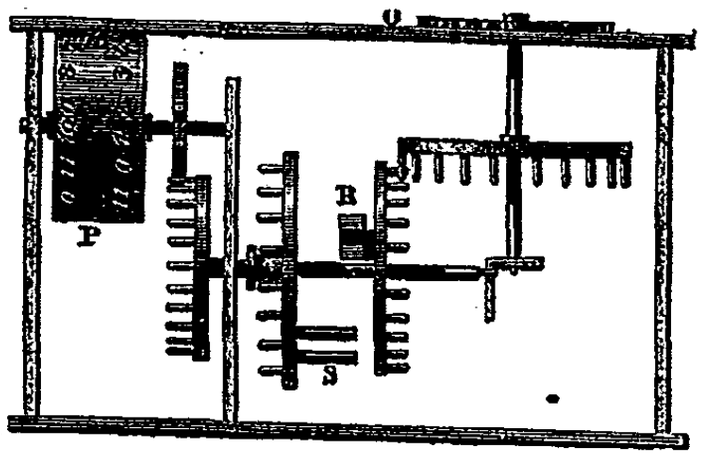


Fig. 348.

Machine arithmétique de Pascal. La base de la machine est la pièce dite *sautoir*, au moyen de laquelle la roue des dizaines tourne d'une dent lorsque la roue des unités a fait un tour entier. Les dispositions plus simples de griffes, d'ergots saillants des compteurs modernes ôtent tout intérêt à l'étude de cet organe compliqué que représente la figure 348. La plaque de cuivre qui forme la face antérieure de la machine porte une rangée de cercles mobiles QQ servant à écrire les nombres, et les résultats sont fournis par les chiffres placés à la partie antérieure des cylindres PP, placés d'équerre avec les premiers. La fourchette R accroche les chevilles S et passe entre elles par suite de son tracé, elle fait avancer la roue qui les porte d'une division par chaque tour de la première du mouvement circulaire des deux pièces. C'est bien un organe de compteur.

La seconde idée fort ingénieuse, que l'on doit remarquer dans cette machine, c'est d'avoir ramené la soustraction à l'addition, en graduant doublement les cylindres du résultat, tant suivant la suite naturelle des nombres, qu'en rétrogradant en sens inverse de leur mouvement; la seconde ligne, ainsi tracée, étant située sur une ligne différente de celle servant pour l'addition, au-dessous de celle-ci. Ainsi, sur le barillet représentant les unités des livres, sont tracées les deux rangées :

0, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.
9, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Il est évident que le chiffre supérieur, retranché de 9, donnera celui qui lui correspond dans la rangée inférieure, et de même pour toute espèce d'opération. Pour les deniers, par exemple, on écrira :

0, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.
11, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

L'emploi de cette graduation va devenir clair par l'explication du fonctionnement de la machine, pour laquelle nous rendons la parole à Diderot.

Usage de la machine arithmétique pour l'addition. Commencez par couvrir de la bande mobile la rangée supérieure d'ouvertures où se lisent les chiffres gravés sur les cylindres P, P; mettez ensuite les roues de la rangée inférieure à zéro. Soient les sommes à ajouter en livres, sous et deniers (les dentures des roues étant taillées dans le rapport voulu) :

69	7	8
584	15	6
342	12	9

Prenez le conducteur; portez sa pointe dans la huitième denture du cercle Q, le plus à la droite ; faites tourner ce cercle jusqu'à ce que l'arrêt vous empêche d'avancer.

Passez à la roue des sous ou au cercle Q, qui suit immédiatement celui sur lequel vous avez opéré en allant de la droite à la gauche ; portez la pointe du conducteur dans la septième denture, à compter depuis la potence; faites tourner ce cercle jusqu'à ce que la potence S vous arrête; passez aux livres, aux dizaines, et faites la même opération sur leur cercle Q.

En vous y prenant ainsi, votre première somme sera évidemment écrite : opérez sur la seconde, précisément comme vous avez fait sur la première, sans vous embarrasser des chiffres qui se présentent aux ouvertures, puis sur la troisième. Après votre troisième opération, remarquez les chiffres qui paraîtront aux ouvertures des cylindres; ils marqueront la somme totale de vos trois sommes partielles.

Démonstration. Il est évident que, si vous faites tourner le cercle Q des deniers de huit parties, vous aurez 8 à l'ouverture correspondante à ce cercle; il est encore évident que, si vous faites tourner le même cercle de six autres parties, comme il est divisé en douze, c'est la même chose que si vous l'aviez fait tourner de douze parties, plus deux ; mais, en le faisant tourner de douze, vous auriez remis à zéro le barillet des deniers correspondant à ce cercle des deniers, puisqu'il eût fait un tour exact sur lui-même : mais il n'a pu faire un tour sur lui-même que le second barillet, ou celui des sous, n'ait tourné d'un vingtième, et, par conséquent, mis le chiffre 1 à l'ouverture des sous. Mais le chiffre des deniers n'a pu rester à zéro; car ce n'est pas seulement de douze parties que vous l'avez fait tourner, mais de douze parties plus deux. Vous avez donc fait en sus comme si le barillet des deniers, étant à zéro, celui des sous à 1, vous eussiez fait tourner le cercle Q des deniers de deux dentures ; mais, en faisant tourner le cercle Q des deniers de deux dentures, on met le barillet des deniers à 2, ou ce barillet présente 2 à son ouverture. Donc, le barillet des deniers offrira 2 à son ouverture, et celui des sous 1 ; mais 8 deniers et 6 deniers font 14 deniers, ou un sou, plus 2 deniers, ce qu'il fallait en effet ajouter, et ce que la machine a donné. La démonstration sera la même pour tout le reste de l'opération.

Exemple de la soustraction. Commencez par baisser la bande sur la ligne d'ouvertures inférieures; écrivez la plus grande somme sur les ouvertures de la ligne supérieure, comme nous l'avons prescrit pour l'addition par le moyen du conducteur; faites l'addition de la somme à soustraire, ou de la plus petite avec la plus grande, comme nous l'avons prescrit à l'exemple de l'addition ; cette addition faite, la soustraction le sera aussi. Les chiffres qui paraîtront aux ouvertures mar-

queront la différence des deux sommes ou l'excès de la grande sur la petite, ce que l'on cherchait.

Soit	9,121	9	2
dont il faut soustraire	8,989	16	11

Si vous exécutez ce que nous avons prescrit, vous trouverez, aux ouvertures, 131 9 3.

Démonstration. Quand j'écris le nombre 9,121 l. 9 s. 2 d., pour faire paraître 2 à l'ouverture des deniers, je suis obligé de faire passer avec le directeur onze dentures du cercle Q des deniers ; car il y a, à la rangée supérieure du barillet des deniers, onze termes, depuis 0 jusqu'à 2 : si à ce 2 j'ajoute encore 11, je tomberai sur 3 ; car il faut encore que je fasse faire onze dentures au cercle Q : or comptant 11, depuis 2, on tombe sur 3. La démonstration est la même pour le reste. Mais remarquez que le barillet des deniers n'a pu tourner de 22, sans que le barillet des sous n'ait tourné d'un vingtième ou de douze deniers. Mais comme, à la rangée d'en haut, les chiffres vont en rétrogradant dans le sens que les barillets tournent ; à chaque tour du barillet des deniers, les chiffres du barillet des sous diminuent d'une unité, c'est-à-dire que l'emprunt que l'on fait sur un barillet est acquitté sur l'autre, ou que la soustraction s'exécute comme à l'ordinaire.

Exemple de la multiplication. Revenez aux ouvertures inférieures ; faites remonter la bande sur les ouvertures supérieures ; mettez toutes les roues à zéro, par le moyen du conducteur, comme nous l'avons dit plus haut. Ou le multiplicateur n'a qu'un caractère, ou il en a plusieurs ; s'il n'a qu'un caractère, on écrit, comme pour l'addition, autant de fois le multiplicande qu'il y a d'unités dans ce chiffre du multiplicateur : ainsi, la somme 4,245 étant à multiplier par 3, j'écris ou pose trois fois cette somme à l'aide de mes roues et des cercles Q, après la dernière fois, il paraît aux ouvertures 3,735, qui est en effet le produit de 4,245 par 3.

Si le multiplicateur a plusieurs caractères, il faut multiplier tous les chiffres du multiplicande par chacun de ceux du multiplicateur, les écrire de la même manière que pour l'addition ; mais il faut observer, au second multiplicateur, de prendre pour première roue celle des dizaines.

La multiplication n'étant qu'une espèce d'addition, et cette règle se faisant évidemment ici par voie d'addition, l'opération n'a pas besoin de démonstration.

Exemple de division. Pour faire la division, il faut se servir des ouvertures supérieures ; faites donc descendre la bande sur les inférieures ; mettez à zéro toutes les roues fixées sur cette bande, et qu'on appelle *roues de quotient* ; faites paraître aux ouvertures votre nombre à diviser, et opérez comme nous allons dire.

Soit la somme 65 à diviser par 5 ; vous dites : en 6, 5 y est, et vous ferez tourner votre roue comme si vous vouliez additionner 5 et 6 ; cela fait, les chiffres des roues supérieures allant toujours en rétrogradant, il est évident qu'il ne paraîtra plus que 1 à l'ouverture où il paraissait 6 ; car, dans 0, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 1 est le cinquième terme après 6.

Mais le diviseur 5 n'est plus dans 1 ; marquez donc 1 sur la roue des quotients, qui répond à l'ouverture des dizaines ; passez ensuite à l'ouverture des unités, ôtez-en 5 autant de fois qu'il sera possible, en ajoutant 5 au caractère qui paraît à travers cette ouverture, jusqu'à ce qu'il vienne à cette ouverture ou zéro ou un nombre plus petit que 5, et qu'il n'y ait que des zéros aux ouvertures qui précèdent ; à chaque addition, faites passer l'aiguille de la roue des quotients, qui est au-dessous de l'ouverture des unités, du chiffre 1 sur le chiffre 2, sur le chiffre 3 ; en un mot, sur un chiffre qui ait autant d'unités que vous ferez de soustractions : ici, après avoir ôté trois fois 5 du chiffre qui paraissait à l'ouverture des unités, il est venu zéro ; donc 5 est 13 fois en 65.

Il faut observer ici qu'en ôtant une fois 5 du chiffre qui paraît aux unités, il vient tout de suite zéro à cette ouverture ; mais que, pour cela, l'opération n'est pas achevée, parce qu'il reste une unité à l'ouverture des dizaines, qui fait, avec le zéro qui suit, 10, qu'il faut épuiser ; or, il est évident que, 5 ôté deux fois de 10, il ne restera plus rien, c'est-à-dire que, pour exhaustion totale, ou pour avoir zéro à toutes les ouvertures, il faut encore soustraire 5 deux fois.

Il ne faut pas oublier que la soustraction se fait exactement comme l'addition, et que la seule différence qu'il y ait, c'est que l'une se fait sur les nombres d'en bas et l'autre sur les nombres d'en haut.

Mais, si le diviseur a plusieurs caractères, voici comment on opérera : soit 9,989 à diviser par 124 ; on ôtera 1 de 9, chiffre qui paraît à l'ouverture des mille, 2 du chiffre qui paraît à l'ouverture des centaines, 4 du chiffre qui paraît à l'ouverture des dizaines, et l'on mettra l'aiguille des cercles du quotient, qui répond à l'ouverture des dizaines, sur le chiffre 1. Si le diviseur 124 peut s'ôter encore une fois de ce qui paraîtra, après la première soustraction, aux ouvertures des mille, des centaines et des dizaines, on l'ôtera et on tournera l'aiguille du même cercle du quotient sur 2, et on continuera jusqu'à l'exhaustion la plus complète qu'il sera possible ; pour cet effet, il faudra réitérer ici la soustraction huit fois sur les trois mêmes ouvertures ; l'aiguille du cercle du quotient, qui répond aux dizaines, sera donc sur 8 et il ne se trouvera plus aux ouvertures que 69, qui ne peut plus se diviser par 124 ; on mettra donc l'aiguille du cercle du quotient, qui répond à l'ouverture des unités, sur 9, ce qui marquera que, 124 ôté 80 fois de 9,989, il reste ensuite 69.

Nous en resterons là de cette description ; nous répéterons seulement qu'on ne saurait évidemment pas dire que cette machine fait autre chose que l'addition, et, grâce à une graduation convenable, la soustraction ; nous donnerons plus loin la description de machines faisant réellement la multiplication, grâce à un organe spécial.

Nous décrirons maintenant la machine du docteur Roth, qui, bien plus simple que celle de Pascal, donne les mêmes résultats et peut être considérée comme une simplification de cette machine.

Machine à calculer, addition et soustraction, du docteur Roth. Cette ingénieuse machine consiste en une boîte longue et étroite, dont la surface supérieure est recouverte d'une plaque sur laquelle on a gravé des chiffres. A l'une des extrémités de la boîte est placé un style à pointe mobile destiné à *écrire* les nombres. La plaque est divisée en huit cadrans ou anneaux demi-circulaires ; les six premiers, en allant de gauche à droite, servent à poser les nombres depuis les centaines de mille jusqu'à l'unité ; les deux derniers sont consacrés aux fractions décimales du nombre à écrire. Autour de chaque cadran sont gravées deux séries de 10 chiffres de 0 à 10 ; les *noirs* servent pour l'addition, les *rouges* pour la soustraction, et dans les entailles demi-circulaires existent des dents dont les intervalles correspondent aux chiffres. Au-dessous des cadrans règnent deux rangées de trous destinés à présenter sur une ligne horizontale le nombre que l'on pose ; nous leur donnerons le nom de tableau. Le tableau rouge supérieur est destiné à la soustraction ; le tableau noir inférieur, à l'addition.

Lorsqu'on veut faire une addition et poser un nombre quelconque, on commence par ramener tous les trous ronds à zéro, puis on dégage le style placé à l'extrémité de la boîte ; on en enfonce verticalement la pointe dans l'entaille au cran correspondant au chiffre que l'on veut poser, et on conduit ce cran de *droite à gauche* jusqu'à l'extrémité du cadran ; le chiffre se produit aussitôt dans le trou placé immédiatement au-dessous du cadran sur

CALCULER.

lequel on a opéré; on procède ensuite de la même manière, jusqu'au dernier, pour les chiffres suivants du nombre à poser, en observant que, s'il se rencontre un zéro, il n'y a pas à le marquer.

Supposons que l'on veuille écrire le nombre 1,630 *francs* 23 *centimes*; on placera le style dans le cran correspondant au chiffre 1 noir sur le cadran des *mille*, et on amènera les dents jusqu'à l'extrémité gauche; on écrira de même le chiffre 6 sur le cadran des *cent*, 3 sur celui des *dizaines*, et rien sur celui des *unités*, puisque le chiffre des unités est zéro; puis aux cadrans des fractions, 2 sur celui des *décimes*, et 3 sur celui des *centimes*; on aura, pour résultat de cette opération, le nombre. . . . . 1630,23, écrit au tableau noir; si on veut ajouter à ce nombre celui de 29837,55, par exemple, on opérera comme pour le premier nombre et la somme. . . . . 31467,78 se trouvera écrite au tableau noir. On peut, de cette manière, ajouter à un premier nombre tous ceux que l'on veut jusqu'à un million, et toujours l'addition exacte se fait à mesure que l'on écrit. Il est indifférent d'écrire les nombres en commençant par la gauche ou par la droite; seulement, le premier procédé est le plus commode.

Le mécanisme de cette ingénieuse machine est tellement simple que nous espérons le faire aisément comprendre sans figures. Les dents qui saillissent dans chaque entaille demi-circulaire appartiennent à une roue à rochet concentrique, à laquelle un cliquet permet seulement de se mouvoir de droite à gauche. Ces roues portent sur deux circonférences concentriques, et écrits en noir et en rouge, la série double des chiffres 0, 1, 2... 9, 0, 1, 2... 9, écrits les uns dans un sens, les autres dans l'autre, comme cela a lieu pour les deux séries simples gravées sur le pourtour des entailles circulaires. Les trous ronds des deux tableaux sont respectivement pratiqués au-dessus de ces deux circonférences. Il est alors évident que l'une de ces roues étant disposée de telle sorte qu'il y ait 0 au tableau noir, si l'on amène avec le style le cran 5 au cran 0, le chiffre 5 viendra remplacer le 0 dans le tableau noir; si l'on amène de nouveau le cran 2 au cran 0, la roue avancera de deux dents, et le chiffre $7 = 5 + 2$ remplacera le 5 au tableau noir. L'axe de chacune des roues à rochets porte une double came, contre laquelle vient appuyer, par le moyen d'un ressort, une saillie pratiquée sur l'un des bras d'un levier coudé, dont l'autre bras porte lui-même un ressort ou cliquet qui, à chaque demi-tour de la roue, fait sauter une des dents de la roue à rochet de gauche, de telle sorte que, lorsque la somme des unités, successivement écrites sur un cadran, atteint une dizaine, ce cliquet fait sauter une dent ou un chiffre du cadran de gauche. On conçoit donc que les additions se fassent comme nous l'avons indiqué, et que le nombre des cadrans et des roues à rochet détermine la grandeur des nombres sur lesquels on peut opérer

Lorsque, ayant terminé une addition, on veut en commencer une autre, il faut commencer par ramener tous les trous ronds du tableau noir à zéro: pour cela, on attire d'abord à soi le bouton de cuivre placé à l'extrémité gauche de la boite, lequel termine une tige cachée dans l'intérieur; par ce mouvement, la tige est dégagée d'un crochet qui la retient; on la fait alors sortir doucement et horizontalement, en tirant le bouton jusqu'à ce que l'on sente de la résistance, et, par ce moyen, on amène au tableau une succession de 9 représentant 99,999 francs 99 centimes. Si, après avoir repoussé la tige dans l'intérieur jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau saisie par le crochet (précaution indispensable), on ajoute 1 centime, on obtient instantanément des zéros sur toute la ligne, et on peut dès lors commencer une nouvelle addition. Ce dernier mécanisme est aussi simple que les précédents; l'axe de chaque roue à rochet porte une seconde double came qui offre à peu près la forme d'un rhombe ou losange allongé et à faces légèrement évidées. La tige dont nous venons de parler pénètre jusqu'au milieu environ de la boite, et est liée par deux boulons à une autre tige parallèle à la longueur de la boite, portant huit mentonnets qui, lorsque la première tige est saisie par le crochet, se trouvent à la droite et un peu au-dessus de la ligne des axes de chacune des doubles cames ci-dessus, dont ils traversent le plan, et qu'ils ne peuvent pas alors toucher; mais, lorsqu'on dégage la première tige et qu'on la tire de droite à gauche, les boulons, qui joignent les tiges, glissent dans deux anneaux ou guides à peu près demi-circulaires, de telle sorte que tous les points de la seconde tige, et par suite les huit mentonnets qu'elle porte, décrivent des courbes égales et parallèles, pour venir se placer de l'autre côté de chaque roue à rochet dans une position symétrique. Quelle que soit alors la position de chaque double came, si elle n'est pas dans celle qui correspond au 9 sur le tableau noir, l'une des cames simples qui la composent se trouvera au-dessus de la ligne droite qui passe par les positions primitives des mentonnets, et sera entraînée par le mentonnet de droite, qui la ramènera dans la position voulue. Il est indifférent que le mentonnet touche l'une ou l'autre des cames de la double came, puisque chacune des moitiés de la roue à rochet porte les mêmes chiffres, dans le même ordre, en allant toujours dans le même sens.

Ces divers mécanismes étant bien compris, il est facile de voir comment il faudra s'y prendre pour faire une soustraction, en remarquant que les chiffres rouges sont écrits sous les chiffres noirs, en sens inverse, c'est-à-dire de droite à gauche, de telle sorte que la somme d'un quelconque des chiffres noirs et du chiffre rouge placé en regard au-dessous, soit sur l'un des cadrans, soit sur l'une des roues à rochet, est toujours égale à 9. A cet effet, on mettra, avant de commencer l'opération, tous les chiffres du tableau noir à 0; les chiffres rouges seront alors à 9; on écrira le nombre le plus grand avec les chiffres rouges; on écrira ensuite le plus petit nombre avec les chiffres noirs, et on lira la différence sur le tableau rouge. Pour éviter toute confusion, il sera convenable de mettre à 0, sur le tableau rouge, tous les cadrans non employés pour écrire le plus grand nombre avec les chiffres rouges.

Usage des machines à addition. Les machines arithmétiques pouvant servir à effectuer des additions semblent peu susceptibles de rencontrer des applications d'un ordre élevé, d'effectuer le calcul des valeurs des fonctions, des équations. Il n'en est pas ainsi, et les curieux travaux de Babbage (voyez *Complément*, CALCULER) ont fait voir comment les séries fort complexes aboutissant à des différences 3^{es}, 4^{es}..., n^{ues} constantes, on pouvait, par simple voie d'additions successives, construire des tables dont le calcul est fort laborieux. La voie ouverte par le savant géomètre anglais peut conduire à une solution curieuse du problème, mais, n'y parvenant que par un moyen détourné, elle ne fournit pas de conséquences théoriques intéressantes comme celles auxquelles on arrive par la solution directe analysée dans l'article que nous venons d'indiquer.

Arithmomètre Thomas. L'organe principal de cette machine que nous représentons, en principe (fig. 349), qui fait sa supériorité incontestable sur les machines à calculer antérieures, et qu'on peut appeler l'organe de la multiplication, consiste dans un *cylindre cannelé* partiellement, que nous décrirons avant tout. La surface de chacun de ces cylindres, portés par chaque axe répondant à un chiffre du multiplicande, est couverte par neuf *arêtes saillantes* placées les unes contre les autres comme les dents d'un engrenage cylindrique. Ces arêtes ont des longueurs proportionnelles aux nom-

bres 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. La première occupe toute la longueur du cylindre, et la dernière n'en est que la neuvième partie. Un arbre à section rectangulaire, parallèle au cylindre cannelé, porte un pignon à dix

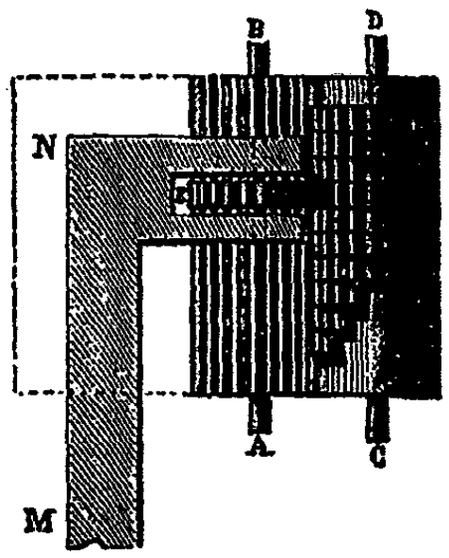


Fig. 349.

dents engrenant avec celui-ci, et mobile le long de cet arbre de manière à faire tourner par chaque tour 1, 2. . . 9 dents, suivant sa position.

Ceci compris, revenons à la description de l'arithmomètre (fig. 350).

La boîte contenant le cylindre, l'arbre parallèle et le *pignon mobile*, est fermée par une table horizontale en cuivre dans laquelle on a pratiqué, exactement au-dessus de l'arbre, une *coulisse* A parallèle au cylindre. Sur le bord de cette coulisse, qui a même longueur que le cylindre, on a tracé dix divisions à égales distances et marquées des nombres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Un *index*, qui glisse dans la coulisse et qui est lié au pignon mobile, le fait marcher le long de l'arbre. Supposons, par exemple, que l'on pousse l'index sur le numéro 3 de la coulisse, le pignon qui le suit arrive vis-à-vis le commencement de l'arête saillante 3 du cylindre. Si le cylindre fait un tour entier, trois dents du pignon seront poussées par les trois arêtes saillantes 1, 2, 3, les seules qui puissent alors atteindre ce pignon, puisque les autres arêtes ne commencent qu'au-dessus du n° 3 de la coulisse.

L'arbre qui sert d'axe au pignon mobile porte à son extrémité, prolongée dans une autre boîte, un pignon fixe vertical à dix dents, qui engrène par sa partie supérieure dans une couronne ou roue d'angle horizontale à dix dents. L'axe vertical de cette couronne est aussi l'axe d'un *cadran horizontal* sur le contour duquel on a marqué, dans dix cases, les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. La couronne, le cadran qui est par-dessus, et leur

axe commun, sont maintenus par un pont au-dessous d'une *tablette* en cuivre qui est de niveau avec la table des coulisses. Dans cette tablette, il y a une petite ouverture circulaire ou *fenêtre du cadran* par laquelle on voit passer, à partir de zéro, les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, quand le cadran fait un tour entier.

Maintenant, concevons que l'index soit placé sur le n° 3 de la coulisse et que le cylindre fasse un tour entier ; les trois arêtes 1, 2, 3 du cylindre poussent trois dents du pignon mobile. Le pignon fixe, qui a même arbre que le pignon mobile, avance également de trois dents. La couronne, entraînée à son tour par le pignon fixe, marche aussi de trois dents, et le cadran fait trois pas. On voit arriver à la petite fenêtre du cadran les chiffres 1 et 2, puis le chiffre 3, qui remplace le zéro qui s'y trouvait d'abord.

A côté du cylindre que nous venons de décrire avec tous ses accessoires, et qui correspond aux unités, on a placé parallèlement à gauche des cylindres semblables pour les dizaines, les centaines, etc. La tablette porte, indépendamment des cadrans correspondants à chaque cylindre, d'autres cadrans sur la gauche en nombre au moins égal, afin de pouvoir exécuter les opérations qui conduisent à un grand nombre de chiffres.

Le moteur de la machine est une manivelle N que l'on tourne toujours de gauche à droite, et qui, au moyen d'un arbre de couche, fait tourner à la fois tous les cylindres cannelés de droite à gauche. Ceux-ci, par leurs arêtes saillantes, poussent les pignons mobiles, et les font toujours tourner de gauche à droite.

Pour transporter dans les fenêtres des cadrans un nombre donné 75, on pousse l'index du premier cylindre de droite ou des unités sur le numéro 5 de la coulisse ; on fait de même monter l'index des dizaines sur le numéro 7. Le nombre 75 est alors écrit sur les coulisses avec deux index, et un tour de manivelle le transporte dans les fenêtres des deux premiers cadrans de

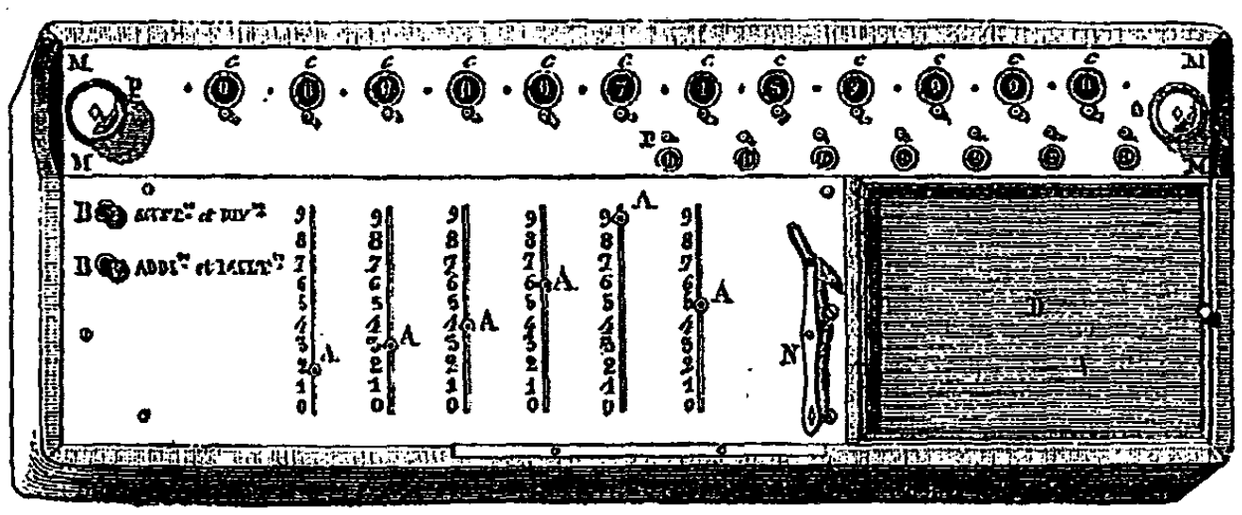


Fig. 350.

droite (fig. 350).

Addition. On écrit un nombre avec les index ; on fait un tour de manivelle, et il est transporté dans les fenêtres où se trouvaient d'abord des zéros. On transporte de même un deuxième nombre, qui s'ajoute au premier, puis un troisième et ainsi de suite. La somme de tous ces nombres est alors écrite dans les fenêtres des cadrans.

Quand la somme de deux chiffres qui s'ajoutent sur un même cadran surpasse 9, les unités se trouvent dans la fenêtre de ce cadran, et la dizaine ou la *retenue* passe sur le cadran de gauche. Voici comment s'opère ce passage : quand le zéro qui suit 9 arrive à la petite fenêtre, une *came* en acier, placée sous le disque du cadran vis-à-vis zéro, presse et fait tourner le bras d'un levier coudé ; une cheville ou *doigt*, qui tourne de droite à gauche,

s'engage dans les dents du pignon fixe des dizaines, le fait avancer d'un pas, et l'on voit le chiffre 1 à la fenêtre du cadran des dizaines. Pendant que les chiffres de 1 à 9 traversent la fenêtre du cadran des unités, qui tourne de droite à gauche, le support du doigt se déplace progressivement au moyen d'un plan incliné circulaire. Le bras du levier tourne en même temps en sens contraire, revient à sa première position, où il est de nouveau pressé par la came, lorsque le zéro reparaît dans la petite fenêtre. Un ressort presse l'autre bout du levier coudé, qui ne peut, en conséquence, tourner que par l'action de la came ou par le jeu du plan incliné.

Soustraction. Quand le grand nombre est transporté dans les fenêtres des cadrans et le petit nombre écrit avec les index, la soustraction s'opère par un tour de manivelle. Mais alors les cadrans, au lieu de tourner de droite à gauche dans l'ordre croissant 1, 2, 3, etc., comme pour l'addition, doivent tourner de gauche à droite dans l'ordre inverse des chiffres. Ce changement s'obtient au moyen d'un second pignon fixe sur chaque arbre. Ce second pignon vertical atteint la couronne horizontale dans un point diamétralement opposé au point où engrène le pignon pour l'addition. La couronne, poussée en sens contraire, fait tourner le cadran dans l'ordre inverse des chiffres. A l'aide d'un bouton indicateur amené sur les mots addition et multiplication, ou sur les mots soustraction et division, on est sûr de faire embrayer dans la couronne horizontale, d'un côté, le pignon pour l'addition, et de l'autre le pignon opposé pour la soustraction, en tournant toujours la manivelle de gauche à droite.

Multiplication. On écrit le multiplicande avec les index. Par un nombre de tours égal aux unités du multiplicateur, le multiplicande s'ajoute à lui-même autant de fois qu'il y a d'unités dans le multiplicateur, et le produit partiel se trouve dans les chiffres apparents des cadrans. Alors on fait glisser à la main, vers la droite, la tablette des cadrans, de manière que le cadran des dizaines prenne la place des unités, corresponde à celui des unités. Avec autant de tours de manivelle qu'il y a de dizaines dans le multiplicateur, le second produit partiel, qui se compose de dizaines, se forme et s'ajoute au premier produit partiel, mais en commençant par les dizaines. Pour chaque autre chiffre du multiplicateur, on continue d'avancer les cadrans d'un rang vers la droite, puis de tourner la manivelle pour former et ajouter les produits partiels correspondants. Le produit total, composé de la somme des produits partiels, pour tous les chiffres du multiplicateur, se trouve enfin dans les fenêtres des cadrans.

Division. On amène l'indicateur sur le mot division pour faire embrayer dans la couronne le pignon vertical, qui pousse chaque cadran, dans l'ordre inverse des chiffres, comme pour la soustraction. Après avoir écrit le dividende pour les fenêtres des cadrans et le diviseur avec les index, on voit quelle est la tranche de chiffres du dividende qu'il faut prendre sur sa gauche pour contenir le diviseur, et l'on fait glisser la tablette des cadrans de gauche à droite, de manière que le chiffre de droite de cette tranche réponde aux unités du diviseur. On tourne la manivelle jusqu'à ce que la tranche soit réduite, dans les fenêtres, à un nombre plus petit que le diviseur ; le nombre de tours est précisément le premier chiffre de gauche du quotient. Le reste de la tranche et le chiffre suivant du dividende forment une seconde tranche ; on fait rentrer d'un rang la tablette des cadrans pour que le nouveau chiffre de droite se trouve vis-à-vis des unités du diviseur. Alors le nombre de tours de la manivelle donne le second chiffre du quotient, et ainsi de suite. On continue de la même manière pour obtenir les autres chiffres du quotient. On doit écrire à part les chiffres du quotient, parce qu'il n'en reste pas de trace dans la machine. Quand la division ne se fait pas exactement, le reste se trouve dans les fenêtres des cadrans.

En résumé, l'arithmomètre effectue immédiatement l'addition et la soustraction. Quand deux nombres sont inscrits dans les fenêtres des cadrans et sur les coulisses avec les index, la somme ou la différence des nombres se trouve dans les fenêtres des cadrans après un tour de manivelle. Dans la multiplication et la division, quand on a écrit seulement le multiplicande avec les index, ou bien le dividende dans les fenêtres des cadrans et le diviseur avec les index, on doit faire autant d'opérations partielles qu'il y a de chiffres dans le multiplicateur ou le quotient, et, après chacune de ces opérations, il faut encore effectuer à la main le déplacement des cadrans. C'est par ce concours facile de l'opérateur, par le déplacement des ordres d'unités que l'inventeur est parvenu à construire une machine très-simple, très-commode, permettant d'exécuter avec promptitude les calculs les plus ordinaires de l'arithmétique.

Nous renverrons les lecteurs désireux de connaître les détails de la construction de cette ingénieuse machine à un rapport fait par M. Benoît à la Société d'encouragement (1851). Nous ajouterons seulement à ce qui précède quelques détails sur l'application que l'on peut en faire pour exécuter mécaniquement des calculs fort compliqués, ainsi que l'a montré M. Hirn.

L'arithmomètre, dit M. Hirn, est l'instrument des calculs étendus, rapides et *tout à fait rigoureux*; son exactitude et sa rapidité dans les calculs de nombres qui ont jusqu'à vingt-quatre figures au produit, au moyen de la machine qui n'admet que six figures au facteur, en font un appareil précis et incomparable dont se servira un jour l'astronome tout comme le comptable d'un bureau quelconque.

Ainsi, lorsqu'on emploie l'arithmomètre à des multiplications, à des divisions, à des extractions de racines carrées de nombres dont les figures ne dépassent pas ce que comporte l'instrument (5, 6, 8, 10 aux facteurs pour l'instrument de 5, 6, 8, 10 coulisses), le résultat s'obtient immédiatement avec un bénéfice de temps de dix-neuf vingtièmes sur le calculateur le plus exercé. A côté de cet avantage s'en place un autre qui lui est supérieur : c'est l'exactitude. Les fautes accidentelles et bien rares qui s'y produisent sont aperçues au tour même de manivelle qui y donne lieu.

Disons comment, pour en tirer tout le parti possible, M. Hirn étend la portée de l'instrument autant qu'il le comporte. Supposons, dans ce qui va suivre, qu'on se serve d'un arithmomètre de six chiffres ou figures, et qu'on soit parfaitement au courant de l'usage de l'arithmomètre, en ce qui concerne les quatre règles : les instructions publiées à ce sujet par M. Thomas, et accompagnant toujours l'arithmomètre, sont suffisamment claires dans ce sens. Nous prendrons pour exemple une multiplication.

Multiplication de nombres formés de plus de figures que n'en porte l'arithmomètre. — Supposons de suite le cas extrême, où l'on ait à faire une multiplication de deux nombres de douze figures chacun, comme, par exemple :

$$986523469728 \times 658976528973$$

Ces deux nombres peuvent s'écrire sous la forme

$$(986523000000 + 469728) \times (658976000000 + 528973).$$

La multiplication peut donc se décomposer ainsi :

$$(986523 \times 658976)\,000000000000\ \text{I} + 986523 \times 528973)\,000000\ \text{II} + (658976 \times 469728)\,000000\ \text{III} + (469728 \times 528973)\ \text{IV}.$$

Et, dès ce moment, l'opération est possible sur l'arithmomètre de six chiffres. On exécute les quatre multi-

plications isolément, sans s'occuper des zéros. En les transcrivant sur le papier, on les superpose en ajoutant douze zéros à I, six zéros à II et III, et laissant IV tel quel ; mais, en commençant par la droite, il vient ainsi :

650094980448000000000000	I
52184403087900000	II
309539478 28000000	III
248473429344	IV
650095814831757880429344	

Ainsi, en définitive, sur un arithmomètre quelconque, il est possible toujours de faire rapidement une multiplication de nombres ayant le double de figures que n'en porte la machine.

Nous ne donnerons pas les autres méthodes de calcul indiquées par le savant ingénieur; nous nous contenterons de rapporter ici ses conclusions.

Il faut certes de l'exercice et de l'habitude pour exécuter rapidement des opérations successives compliquées, et qui peuvent comprendre des sommes ou des différences de produits, de divisions, de puissances, etc.; bien moins cependant qu'on ne le penserait à première vue, et je ne crains point de me tromper en disant que huit jours de pratique suffisent pour mettre un calculateur un peu intelligent à l'abri de toute chance d'erreur.

Il ne sera pas difficile à un calculateur habile de trouver d'autres opérations nombreuses auxquelles se prête l'arithmomètre. Je dirai seulement, pour terminer, que l'emploi d'un instrument de 10 chiffres aux facteurs, qui se prête au calcul des logarithmes à 10 figures, deviendra un jour, pour les astronomes, par exemple, un moyen de sauver 11 heures de travail laborieux sur 12.

Machine à calculer de Maurel et Jayet, dite ARITMAUREL. L'arithmomètre Thomas, inventé dès 1820, était oublié, quand la machine dont nous parlons fut présentée, en 1849, à l'Académie des sciences. Elle impressionna vivement l'opinion publique, et ce ne fut que la constatation tardive de la ressemblance de son organe principal avec celui de l'arithmomètre, qui la refroidit un peu. Ajoutons qu'elle n'est pas passée dans la pratique, que sa construction ne s'est pas multipliée à cause, croyons-nous, de la complication qu'apportait au mécanisme le non-déplacement de partie de l'appareil. Le rapport de M. Binet, excellente étude sur les machines à calculer, mérite d'être conservé ; nous en extrayons ce qui suit.

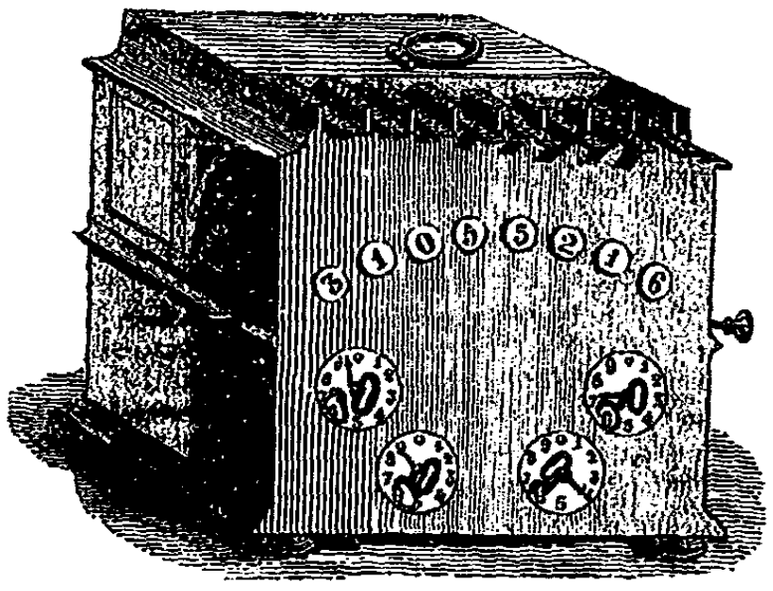


Fig. 351.

Le volume de l'instrument (fig. 351) n'est pas très-différent de celui de Pascal ; sa structure, plus complexe repose également sur la possibilité de représenter tous les nombres entiers à l'aide de disques circulaires portant chacun les dix chiffres : 0, 1, 2, 3, ... 9 : l'un de ces disques présente, à une première ouverture ou fenêtre, le chiffre des unités simples ; un second disque, portant aussi les chiffres 0, 1, 2, 3, . . . , 9, amène, à une ouverture placée à gauche de la première, le chiffre des dizaines; à la troisième fenêtre se présente le chiffre des centaines, fourni par un troisième disque, et ainsi des autres. Dans la machine de Pascal, ce sont des cylindres convexes qui portent les chiffres des unités, des dizaines, etc. La plupart des machines à faire des additions ou soustractions, etc., ont emprunté ce dispositif; mais leurs différences essentielles résident dans la manière de faire mouvoir les disques ou les cylindres, dans la rapidité et la justesse des mouvements, et dans la simplicité des impulsions que le calculateur imprimera aux pièces de l'instrument, pour commander le déplacement de celles qui doivent écrire le résultat d'une opération.

Le mérite et la célérité de l'instrument de MM. Maurel et Jayet se révèlent surtout dans la multiplication et dans la division de nombres d'une certaine grandeur. Ainsi, par exemple, les deux nombres 2749 et 3937 multipliés entre eux ont donné, en moins de vingt secondes, le produit 10,877,783. Pour former ce produit, il a fallu écrire avec les échelles, en tirant les règles placées à la partie supérieure de l'instrument, le multiplicande 2749; il a fallu mouvoir les quatre aiguilles des cadrans : la première a parcouru sept divisions d'un cadran, et ce mouvement est déterminé par le chiffre 7 des unités du multiplicateur; la deuxième se mouvra de cinq divisions, parce que 5 est le chiffre des dizaines; la troisième se mouvra de neuf divisions à cause du chiffre 9 des centaines, et enfin la quatrième sera mue de trois divisions d'un dernier cadran. Le nombre des aiguilles à mouvoir est toujours le nombre des chiffres du multiplicateur. L'instrument en expérience exige que les deux facteurs n'admettent pas à la fois plus de quatre chiffres, c'est-à-dire que ces nombres soient au-dessous de dix mille; ou bien que, l'un étant de cinq chiffres, l'autre n'en ait que trois, ou moins; et en général que le nombre des chiffres des deux facteurs réunis n'excède pas huit, pour que la machine vous donne sur-le-champ le produit qui sera au-dessous de cent millions. On voit, au reste, quel parti on pourrait tirer de l'instrument pour obtenir des produits de nombres supérieurs: on formerait alors des produits partiels, qui seraient à ajouter l'un à l'autre par les procédés ordinaires, en ayant égard à l'ordre des unités décimales de ces produits partiels; l'instrument fournirait très-brièvement les produits partiels à ajouter. Il dispenserait toujours le calculateur de ce qu'il y a de fatigant lorsqu'il s'agit de multiplier de grands nombres.

Dans la règle la plus compliquée de l'arithmétique, dans la division, la machine de MM. Maurel et Jayet exécute rapidement la soustraction répétée du diviseur placé sur les échelles, du dividende placé dans les lucarnes (ce qui s'opère en l'écrivant sur les échelles et le multipliant par 1, ce qui le fait immédiatement paraître aux lucarnes); elle opère immédiatement sur tout dividende moindre que cent millions, qui serait à diviser par un entier au-dessus de dix mille, en sorte que le quotient n'ait pas plus de quatre chiffres. Chaque cadran donne (nous y revenons plus loin) le chiffre du quotient par une simple rotation en arrière. Ainsi le diviseur, moindre que le dividende, pourra être de plus de dix millions; le quotient ne comportera alors qu'un seul chiffre et s'obtiendra dans un instant, ainsi que le résidu de la division. Si le diviseur est au-dessous de dix millions, le quotient aura ou deux, ou trois, ou quatre chiffres qui seront fournis dans un temps fort court ainsi que le reste de la division; la machine aura encore épargné au calculateur le travail de mé-

moire, et l'aura dispensé de toute écriture à la plume. Si le diviseur était un nombre au-dessous de dix mille, et que le dividende eût huit chiffres, la machine ne donnerait pas le quotient complet: elle fournirait d'abord les quatre premières figures à gauche du quotient; par une seconde division, plus simple que la précédente, on obtiendrait le chiffre des unités.

La rapidité des opérations de la multiplication et de la division s'étend nécessairement au calcul du quatrième terme d'une proportion : quelques secondes donnent le résultat si le produit des moyens est au-dessous de cent millions, et que le diviseur soit dans les limites prescrites.

Composition de la machine. Donner une idée de la machine de MM. Maurel et Jayet sans avoir sous les yeux le mémoire descriptif, sans une multitude de planches, n'est pas chose facile. Nous nous contenterons d'en indiquer les principes fondamentaux:

Supposons que nous ayons à faire une multiplication, l'opération principale en vue de laquelle la machine a été construite, et dont toutes les autres se déduisent.

On commencera, comme nous l'avons dit plus haut, par écrire un facteur sur les règles placées à la partie supérieure de la machine, c'est-à-dire qu'on les tirera jusqu'à ce que le chiffre tracé sur l'échelle et à indiquer affleure la partie verticale voisine. Cette opération de traction fait avancer, par l'intermédiaire de griffes, quatre petits pignons, un pour chaque chiffre, quatre pour une machine permettant quatre chiffres au multiplicande. Chaque pignon glisse sur l'axe sur lequel il est enfilé, suivant un carré, d'un nombre d'épaisseurs égal au nombre de divisions égales dont on a fait avancer les règles, égal au nombre d'unités de chaque ordre. Or, ces épaisseurs sont précisément celles de roues dentées, solidaires avec des cylindres que font tourner les chiffres des multiplicateurs.

Ces roues dentées sont d'un nombre de dents tel qu'elles forment une série dans le rapport des nombres 1, 2, 3, 4 . . . . , 9 (ou n'ont que ce nombre de dents et ne garnissent que partie de la circonférence, et alors le mécanisme est disposé pour faire effectuer un tour entier aux cylindres pour chaque avancement d'une division d'aiguille), de telle sorte que, pouvant engrener avec les petits pignons de quatre dents dont nous venons de parler, et qui marchent toujours d'une dent pour une dent de la roue si l'échelle est sur la division 1, de deux dents pour la division 2, de trois dents pour la division 3, et ainsi de suite; c'est-à-dire qu'à l'aide de ce curieux organe, le produit du chiffre du multiplicande par le chiffre du multiplicateur, la somme des produits du chiffre du premier par les unités successives du second est immédiatement obtenue.

Si l'on a bien compris ce que nous venons d'indiquer, c'est-à-dire la description donnée plus haut de la roue à multiplication, on pourra saisir la disposition fondamentale de la machine de MM. Maurel et Jayet.

En effet, en tournant une aiguille d'un des cadrans qui correspondent à l'un des chiffres du multiplicateur, on tourne l'axe des cylindres montés sur le même axe que cette aiguille en nombre égal au nombre de chiffres du multiplicateur, c'est-à-dire, s'il a trois ou quatre chiffres, trois ou quatre cylindres. Les pignons différents qui engrènent avec chaque cylindre, et dont nous venons de parler, tournent donc d'un nombre de dents proportionnel au nombre d'unités, de dizaines, de centaines, etc., du produit.

Le problème se réduit à ajouter ces différents produits enregistrés sur chaque axe des pignons des dizaines, des centaines. Cette opération se fait à l'aide d'un système de cylindres dentés mis en rapport avec les pignons, dont la base antérieure porte les chiffres sur un cadran, qui montre le chiffre du produit à la partie supérieure. Ils agissent comme dans un compteur, c'est-à-dire qu'un arrêt, placé sur un point de la roue (au point zéro quand on commence une opération), fait avancer d'une dent la roue de l'unité supérieure, lorsque le nombre d'unités qu'elle doit marquer atteint 10, lorsqu'elle a fait un tour complet.

Reprenons maintenant la multiplication, et voyons comment les choses se passent :

Soit à multiplier 3650 par 324. 3 650 étant écrit sur les règles, et les cadrans multiplicateurs étant encore tous au 0, la galerie des produits marque 0 également; puis, quand on met la main à l'aiguille des unités pour la reporter sur le 4, on la fait nécessairement passer devant les chiffres 1, 2 et 3; or, si on opère lentement, et que l'on porte les yeux sur la galerie, on voit successivement apparaître d'abord 3650, puis son produit par 2, puis par 3, puis par 4. De même, si l'on agit sur le cadran des dizaines, on voit que le passage de son aiguille sur les unités de seconde espèce détermine dans la galerie les apparitions successives de nouveaux produits, lesquels se composent du premier produit partiel obtenu par le jeu du premier cadran, plus le multiplicande multiplié successivement par 10, par 20, et ainsi de suite pour les cadrans des centaines et des mille, s'il y en a.

En réalité, la machine arithmétique de MM. Maurel et Jayet procède, pour faire une multiplication, par une voie moins directe encore que la nôtre; car elle forme successivement autant de produits partiels qu'il y a d'unités comprises dans la somme des valeurs absolues de tous les chiffres du multiplicateur, et elle additionne tous ces produits au fur et à mesure qu'ils se forment. Mais comme la génération de ces produits s'accomplit, à cause de la légèreté des organes, avec une vitesse excessive, il en résulte que l'opération mécanique, plus compliquée dans son ensemble, s'effectue en réalité plus rapidement que celle à laquelle le temps nécessaire à la succession de nos idées assigne une durée plus longue.

L'analyse du procédé arithmétique adopté par les auteurs de la machine en question pour la multiplication va nous servir à comprendre comment cette même machine est immédiatement propre à opérer la division, l'addition et la soustraction. Il nous suffira d'ajouter que, la multiplication une fois faite, on peut la défaire, en faisant rétrograder les aiguilles du multiplicateur vers le zéro. Il arrive alors que le produit obtenu se réduit peu à peu par la soustraction successive de tous les produits partiels dont il s'était formé, et qu'il s'annule en même temps que le nombre indiqué aux cadrans multiplicateurs. Or, un produit étant donné et inscrit à la galerie, et l'un de ses facteurs aussi inscrit aux échelles du multiplicande, l'autre facteur étant inconnu, et les aiguilles au zéro sur tous les cadrans multiplicateurs, on peut utiliser la propriété qu'a la machine de marcher en arrière; on sollicite les aiguilles à rétrograder sur leurs cadrans, on voit en même temps s'évanouir le nombre proposé comme dividende, et l'on est averti de la fin de l'opération par une résistance opposée par la machine elle-même. Les aiguilles, ayant ainsi rétrogradé jusqu'à la manifestation d'un obstacle intérieur, s'arrêtent à des numéros dont l'ensemble compose précisément le quotient cherché. Si la division n'est pas possible exactement, le reste demeure en évidence à la galerie des produits. Il va sans dire que le mouvement rétrograde indicateur du quotient doit s'évaluer sur des chiffres disposés dans le sens où s'opère ce mouvement lui-même.

Quant à l'addition et à la soustraction, rien de plus simple. Comme nous avons dit, la multiplication est ramenée à une série d'additions et de multiplications par 10, par 100, par 1,000; que, de même, la division n'est qu'une série de soustractions et de divisions par

10, par 100, par 1,000. Si donc on veut additionner plusieurs nombres ensemble, il suffira de les inscrire successivement aux échelles du multiplicande et de les faire passer et s'accumuler à la galerie des produits en les multipliant par 1. Pour la soustraction, on inscrit le plus fort des deux nombres à la galerie des produits, le nombre à soustraire aux échelles du multiplicande, et on le soustrait une fois en faisant rétrograder d'un cran l'aiguille du cadran affectée aux unités du multiplicateur; le reste apparaît à la galerie des produits.

Observations sur les machines numériques. Si l'on réfléchit un instant comment il se fait que la machine précédente résolve le problème de la construction des machines propres à effectuer les quatre règles de l'arithmétique, on reconnaîtra facilement que cela résulte de ce que les rapports des chemins parcourus par les pièces qui se conduisent par engrènement, et par suite d'une manière certaine, sont exprimés par des fonctions de la nature de celles qu'il s'agit d'obtenir, spécialement la fonction *produit*. L'organe spécial et bien intéressant pour la cinématique, que nous avons décrit, est équivalent à une série de pignons et de roues dentées. On comprend aisément qu'il serait impossible de représenter d'autres fonctions, d'autres séries de nombres par machines du genre de celles dont nous parlons, que celles qui expriment les relations de mouvement des pièces qui engrènent.

On peut se demander si la machine, dont nous venons de parler, épuise tous les résultats possibles en ce genre. Il le paraît à première vue, puisqu'elle réussit parce qu'elle peut réaliser la fonction *produit*, à laquelle peut se joindre la fonction *somme*.

Cependant, il est une fonction complexe qui n'a pas été encore utilisée, c'est la fonction *puissance*. On sait, en effet, qu'un système employant des pignons montés chacun sur même axe qu'une roue, de roues dentées égales de w dents engrenant avec k pignons égaux entre eux, fournit la relation entre les vitesses du premier et du dernier axe $\left(\frac{w}{p}\right)^k$ (Voir ROUES DENTÉES). On pourrait donc construire une machine fournissant les puissances successives d'un nombre déterminé, s'il était possible de disposer un système de roues et de pignons tels que le rapport $\frac{w}{p}$ pût varier en faisant varier la composition du système de roues, ce qui conduirait à une machine très-curieuse. En un mot, il ne paraît pas complétement impossible de tirer parti de cette fonction, pour obtenir des puissances, pour construire rapidement les valeurs successives d'une équation, pour une valeur de x (voir *Introduction*), et construire ainsi, par suite, la courbe qui permettrait d'obtenir les racines de l'équation.

Toutefois, en cherchant à préciser les conditions auxquelles il faudrait satisfaire dans la construction de cette dernière machine, on reconnaît qu'il faudrait une complication très-grande pour embrasser une étendue de puissances un peu considérable, et, par suite, pour obtenir des avantages assez minimes, bien moindres certainement que ceux de la machine dont nous venons de parler, surtout au point de vue de l'utilité pratique.

Machines graphiques. Les limites du problème des machines à calculer, considéré dans toute sa généralité, qui semblent fixées par la nature même des roues dentées, et la complication des mécanismes qui résultent de leur multiplicité, se reculent considérablement, surtout quant aux déductions théoriques, quand on considère les roulettes, les ingénieux appareils dits PLANIMÈTRES, si ingénieusement combinés pour la mesure des surfaces rapportées sur un plan et que, pour ce motif, nous nommons machines graphiques. Par leur nature essentielle, puisqu'elles permettent de mesurer des aires, ce sont des machines à multiplier, à obtenir le produit xy, ou mieux l'intégrale $\int x dy$ que représente la surface à évaluer limitée par des courbes rapportées à des coordonnées x et y. Comparativement aux roues dentées, les roulettes représentent les rouages d'un nombre quelconque de dents, et les résultats limités par le nombre des roues dentées se trouvent acquis pour un système qui en représente un nombre indéfini, qui est, par suite, un organe nouveau permettant d'effectuer la multiplication et l'addition immédiate des produits, d'atteindre, par cela même, au moins théoriquement des solutions inattaquables avant l'invention de ces nouveaux mécanismes. M. Stamm a montré (*Complément*, CALCULER) comment il fallait les combiner pour obtenir des puissances quelconques, résolvant ainsi, théoriquement, le problème de la construction de la machine à équation, bien plus étendu que celui que l'on se propose habituellement quand on parle de machines à calculer.

Nous donnerons ici une solution pratique d'un genre de calcul fort long et qui se rencontre fréquemment, dans l'art de l'ingénieur surtout, obtenue par M. Lalanne, en combinant le PLANIMÈTRE avec la règle logarithmique.

Nous ne reproduirons pas ici la description du planimètre, auquel nous consacrons un article spécial que l'on doit lire en même temps que celui-ci. Nous dirons seulement que le planimètre ici employé est le planimètre à cône portant une roulette qui tourne avec lui. Les mouvements perpendiculaires à l'axe du cône sont enregistrés par la rotation de cette roulette, et ceux parallèles, par son déplacement transversal, c'est-à-dire par différence des rayons du cône avec lesquels elle engrène dans chaque position. De là résulte l'indication sur un cadran de la valeur des produits à évaluer. Pour la démonstration de l'exactitude de ce mode d'opération, voir l'article PLANIMÈTRE.

Avant de passer à la description de la combinaison dont nous voulons parler, nous donnerons la description de l'ingénieux et utile instrument dit règle à calcul.

RÈGLE A ÉCHELLE LOGARITHMIQUE. *Règle à calcul* (*angl.* sliding rule). La plus usitée des machines à calculer est la règle à calcul, qui se compose de deux règles dont l'une, plus étroite, peut glisser dans une coulisse pratiquée sur l'autre; elles portent toutes les deux une série de divisions numérotées, et espacées à partir du zéro, proportionnellement aux logarithmes des chiffres correspondants; c'est en réalité une table logarithmique d'une grande simplicité.

Pour s'en servir, par exemple pour opérer la multiplication de 5 par 7, il suffit d'ajouter à la suite de la longueur, qui sur une des règles porte le chiffre 5, celle qui, sur l'autre, porte le chiffre 7, en plaçant l'extrémité de la règle mobile au point 5 de la règle fixe; et le produit sera le nombre 35 qui, sur cette dernière, correspond à la somme des logarithmes des deux nombres. La division se fait de même par une simple soustraction. Rien n'est plus ingénieux et moins compliqué que cette opération, et on est réellement surpris de la promptitude avec laquelle on fait par ce moyen les calculs les plus longs et les plus difficiles, sinon avec une grande précision (à cause de la petitesse des divisions), au moins avec une approximation bien souvent suffisante dans la pratique. Avec une grande habitude de l'emploi de la règle à calcul, et en aidant au résultat de la lecture par le calcul mental, servant à déterminer le dernier chiffre, l'ordre des unités les plus élevées du résultat, etc., quelques ingénieurs font aisément sur le terrain tous les calculs dont ils ont besoin.

Le principe du fonctionnement de la règle à calcul,

le glissement d'une règle sur une autre, n'est autre chose qu'un moyen bien simple de mettre l'une au bout de partie de l'autre. d'additionner ou de soustraire des longueurs qui, divisées logarithmiquement, reportent aux résultats d'opérations effectuées sur des logarithmes, c'est-à-dire à des multiplications ou des divisions. On conçoit aisément qu'on puisse avec des règles analogues résoudre des triangles rectilignes et sphériques, extraire des racines de tous les degrés, estimer les volumes des corps d'après leur poids, ou réciproquement, etc. Pour les instructions pratiques, nous renverrons aux divers ouvrages publiés sur cette règle.

La figure 352 représente la règle à calcul.

Sur la face postérieure de la règle on inscrit ordinairement les données les plus utiles dans le cours des expériences.

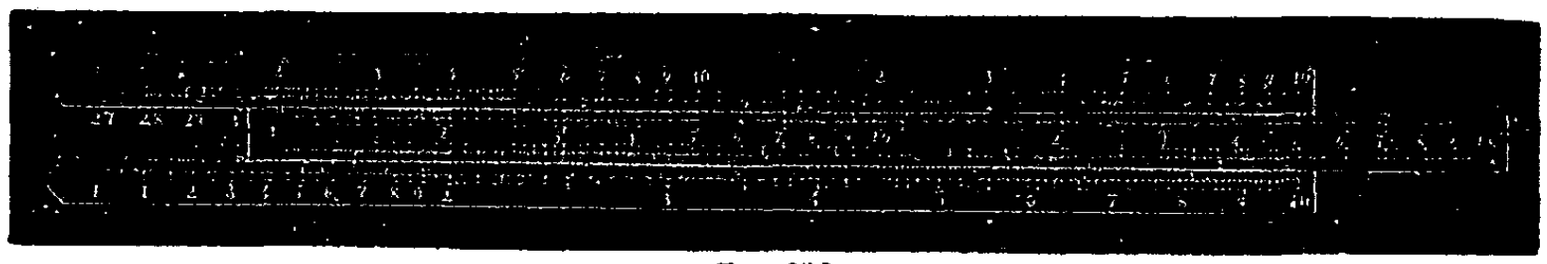


Fig. 352.

On a construit des règles formées de cylindres concentriques gradués qui offrent l'avantage de présenter, sous des dimensions restreintes, les ressources d'une règle droite d'un mètre de long. Un curseur rend l'emploi de l'instrument plus sûr.

On a souvent fait avec succès, surtout en Angleterre, des règles propres à des opérations spéciales, à abréger des calculs qui se répètent fréquemment, par l'introduction, dans la graduation, de constantes usuellement employées.

Arithmoplanimètre. La figure 353 représente un planimètre à cône muni des deux règles à calcul, longitudinales et transversales, que M. Lalanne ajoute au planimètre, pour calculer certaines formules.

La réglette transversale G' est mobile le long d'une rainure parallèle à la génératrice horizontale L du cône pratiquée dans l'épaisseur d'une plaque G, laquelle est fixée au chariot, parallèlement au plan du plateau. Deux index fixés à l'avant-corps F du compteur, et dont le premier fait partie d'un vernier, servent à placer ce compteur sur un point déterminé de la réglette ou de sa coulisse.

Une deuxième règle est mobile dans une coulisse parallèlement au mouvement du chariot. Différentes échelles sont gravées sur les deux bords de la règle et sur les côtés de sa coulisse; des index de saillies inégales, attachés à la base du chariot, les uns à droite de la règle en I', et les autres à gauche en I", servent à lire sur chacune de ces échelles. Celui de ces index qui marque sur le bord à droite de la règle mobile fait partie d'un vernier.

Il est clair qu'au moyen de ces règles on pourra obtenir les produits de la forme $Pp + P'p'$... en prenant des longueurs 2P, 2P'... p, p' sur les règles. Mais si l'on imagine, dit M. Lalanne, que la distance p soit comptée sur la règle transversale, non plus à partir d'un point quelconque de cette règle, mais bien à partir d'un point tel que, l'index du mouvement transversal y étant placé, la roue inférieure du compteur porterait en son milieu sur le sommet réel du cône, une seule opération suffira pour obtenir le produit Pp. Car, dans la première position du compteur, la roue inférieure étant placée sur une section circulaire qui se réduit à un point, le mouvement longitudinal donnerait une indication nulle; le mouvement longitudinal du cône, lorsque l'index transversal aura été placé à la distance p du point pris pour origine sur la règle transversale, indiquera donc exactement le produit Pp. Réciproquement,

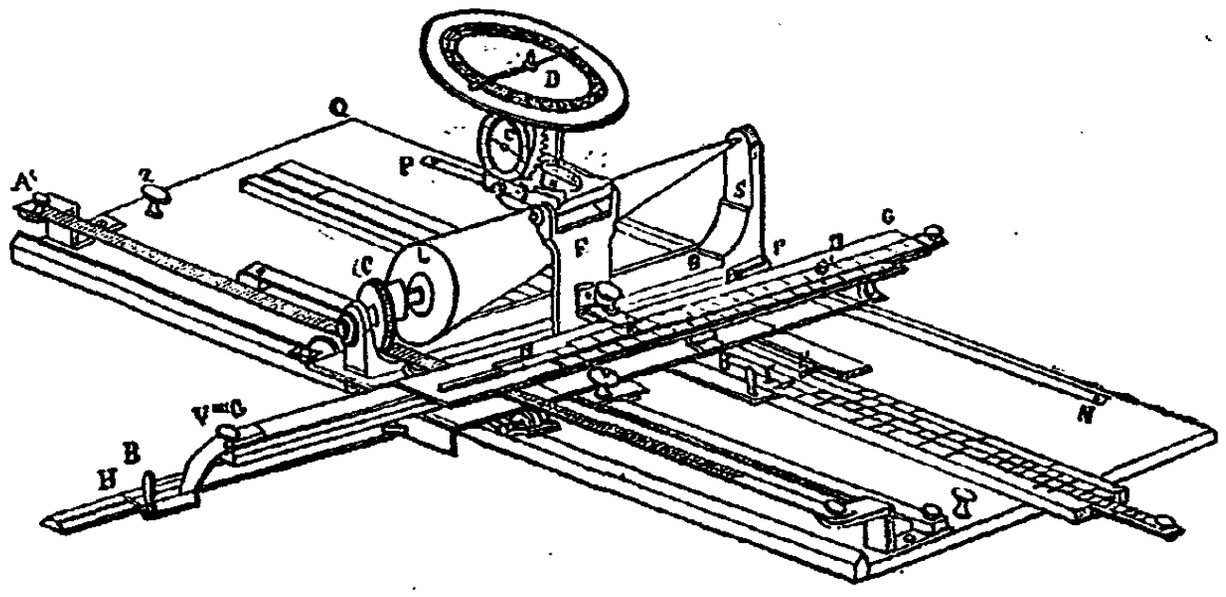


Fig. 353.

étant donnés le produit Pp et l'un des facteurs p, il suffira de placer l'index transversal à la distance p du point pris pour origine et de chercher sur quelle longueur on doit faire marcher le cône pour que le compteur marque le produit Pp. Cette longueur sera le quotient cherché.

Une chose très-remarquable dans cette machine, c'est que, bien que le compteur n'enregistre que des multiplications, elle se prête pourtant avec la plus grande facilité à l'addition de ces mêmes quantités, c'est-à-dire au calcul des formules de la forme $Pp \pm P'p'$... Il suffit pour cela de soulever un peu le disque du compteur; l'espèce d'engrenage n'aura plus lieu, et, l'index étant reporté de p en p', les secondes indications viendront s'ajouter aux premières.

Mais puisque la machine donne immédiatement le résultat d'expressions de la forme $Pp \pm P'p'$..., il en résulte qu'à l'aide des échelles logarithmiques tracées

sur les règles et sur le limbe circulaire, on obtiendra, sans plus de difficultés, les résultats compris dans la formule:

$$\text{Log. } x = m \text{ log. } a \pm n \text{ log. } b \pm p \text{ log. } c \pm \ldots$$

C'est-à-dire qu'on pourra calculer mécaniquement, pour ainsi dire, une expression de la forme:

$$x = \frac{a'^{m'}\ b'^{n'}\ c'^{d'} \ldots}{a^{m}\ b^{n}\ c^{d} \ldots}$$

CALEBASSE. Dans les fonderies de peu d'importance, où le moulage constitue le travail le plus important de l'atelier, et lorsqu'on n'a besoin que de faibles quantités de fonte, et par intervalles irréguliers, on se

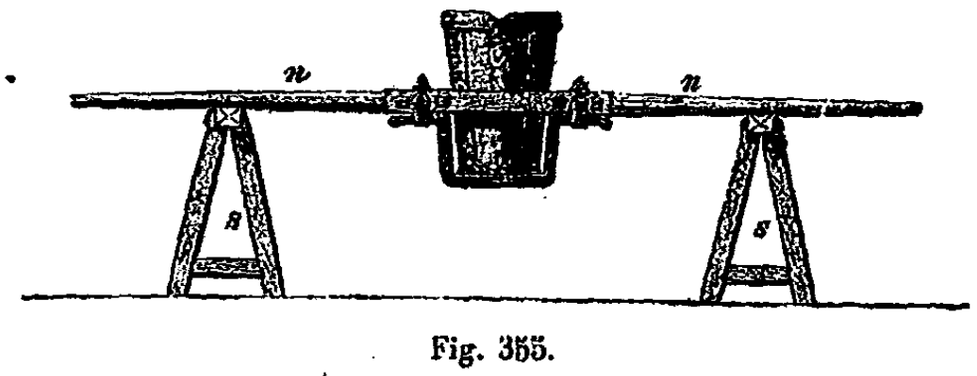


Fig. 355.

sert, à Paris, pour refondre la fonte, de creusets en terre de Picardie ou en graphite, chauffés dans des fourneaux à vent ou des fourneaux à courant d'air forcé. Ce procédé est très-coûteux, tant par suite du prix et de la casse des creusets que par l'énorme consommation relative de combustible, et en outre exige l'emploi de plusieurs creusets, si l'on a besoin d'une quantité de fonte qui dépasse 50 ou 75 kilogrammes. Dans ce cas, il est bien préférable sous tous les rapports d'employer le système de fonderie dit à la calebasse, qui, d'après Réaumur, était déjà employé en France au commencement du dernier siècle, qui est encore actuellement très-répandu en Belgique, et qui cependant paraît être tout à fait inconnu de nos fondeurs.

Les dimensions des calebasses sont très-variables; dans les unes, dont se servent les calebassiers ambulants, on ne fond que quelques kilogrammes de métal; dans les autres, établies à demeure, on peut liquéfier à la fois jusqu'à 500 kilogrammes de fonte. Nous ne décrirons que ces dernières, dont les autres sont un diminutif.

Dans une calebasse fixe, on distingue le fourneau, dont les parties essentielles sont le creuset ou *calebasse* et la cuve ou *tour du feu*, la soufflerie et la cheminée.

La calebasse c (fig. 355) est une sorte de poche en tôle forte intérieurement revêtue d'argile ; le tour du feu *t* (fig. 356) est une portion de cylindre en tôle forte également torchée avec de l'argile, et munie de deux oreilles, *o*, *o*, dans lesquelles on engage une barre de fer pour le manœuvrer.

On élève le fourneau le long d'un mur *m*, sous une hotte *h*, en plaçant d'abord la calebasse *c* avec le support *nn* qui sert à l'enlever lorsque la fusion est terminée; on la recouvre avec le tour du feu *t*, que l'on accole au mur *m* (fig. 357), de manière à fermer complétement le cylindre. L'assemblage de la calebasse et du tour du feu, ainsi que la jonction de ce dernier avec le mur, se font avec de la terre argileuse; enfin on enduit d'argile tout l'intérieur du fourneau, de manière à lui donner une forme à peu près semblable à celle du vide d'un cubilot. Pour conserver la chaleur, on enterre la calebasse et la partie inférieure du tour du feu dans du sable maintenu ordinairement sur chaque côté par un petit mur en briques *x*. Des crochets *z*, *z*, fixés dans le mur *m*, servent à soutenir au-dessus du feu, afin de

les chauffer, les pochettes *p*, *p*, au moyen desquelles la fonte est versée dans les moules.

La tuyère *f* ne fait pas saillie, elle traverse le mur *m* et reçoit le vent soit d'un soufflet en cuir *q*, soit d'un ventilateur à bras. Lorsque l'on fond au coke ou au charbon de bois, la tuyère est presque horizontale et rase le bord supérieur de la calebasse; lorsqu'au contraire on fond avec de la houille point trop collante, on lui donne une inclinaison assez forte, afin d'avoir une chaleur suffisante dans la calebasse. La conduite du

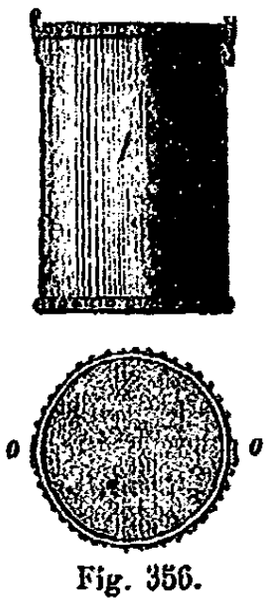


Fig. 356.

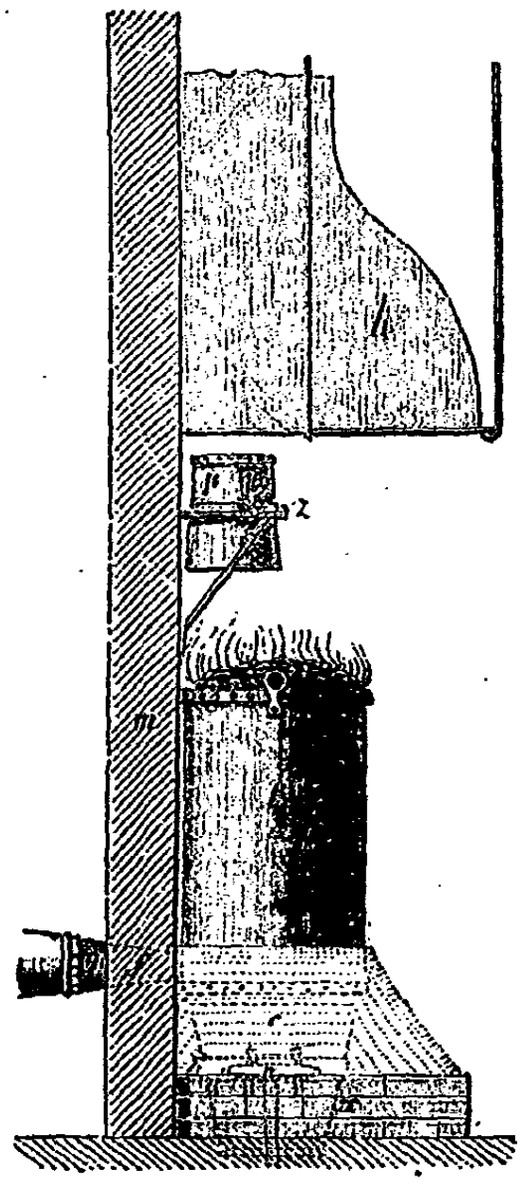


Fig. 357.

feu se fait à peu près comme pour un petit cubilot; tantôt on charge en une seule fois par-dessus le combustible toute la fonte à refondre; tantôt, et le plus souvent, on l'introduit à plusieurs reprises en l'alternant

avec des charges de charbon. Lorsque la fusion est complète, ce que le fondeur a reconnu en sondant le fourneau avec un petit ringard, on déblaie le sable, on arrête le vent, on enlève le tour du feu, on retire le coke avec un râteau et on l'éteint avec de l'eau, puis saisissant la calebasse pleine de fonte par son support *nn*, on la place sur deux tréteaux *s*, *s* (fig. 355), et on verse le métal dans les pochettes p, p, au moyen desquelles il est coulé dans les moules.

On peut aisément fondre à la calebasse jusqu'à 50 à 100 kilogr. de fonte à l'heure; dans les calebasses au coke, on consomme de 35 à 45 kilogr. de coke pour refondre 100 kilogr. de fonte, et dans les calebasses à la houille, la consommation est de 50 à 60 kilogr. de houille par 100 kilogr. de fonte. Le déchet sur la fonte est de 5 à 10 p. 100, comme dans les cubilots. P. D.

CALORIE (TRAVAIL MÉCANIQUE D'UNE). On appelle calorie l'unité de chaleur, la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 kilog. d'eau d'un degré centigrade. Le rapport de l'unité de chaleur à la quantité de travail mécanique et l'analyse de la manière dont la chaleur produit un travail, forment les éléments qui peuvent permettre la solution des problèmes qu'offre le bon emploi de la chaleur.

Or la chaleur est la source de force la plus générale et la plus importante; c'est elle qui, par la vaporisation, est la cause des chutes d'eau; c'est elle, si on voulait aller plus loin, qui est la cause du travail de l'homme, dont la respiration est une véritable combustion. Mais, bornons-nous à la chaleur produite par la combustion dans les foyers, en ayant soin de la considérer en elle-même et de ne pas la confondre avec les excipients qui servent à l'utiliser, vapeur d'eau, d'alcool, etc., etc.

Il est important, non-seulement de faire cette distinction élémentaire, mais encore de mettre hors de doute un principe trop souvent oublié dans la théorie de la machine à vapeur, sans lequel elle est impossible, principe qui paraît presque évident; c'est que le travail d'une unité de chaleur, d'une calorie, a un maximum de travail théorique, comme un poids d'eau qui tombe d'une certaine hauteur. On ne saurait admettre, en effet, qu'une quantité limitée de chaleur pût dans aucune circonstance produire un travail infini, ce serait admettre un effet qui ne fût pas en rapport avec la cause qui le produit. C'est ce qui va paraître encore plus clair en étudiant la manière dont la chaleur produit du travail.

M. Poncelet établit ces principes fondamentaux de l'emploi de la chaleur par une induction très satisfaisante. (La théorie du calorique étant admise.)

Il démontre d'abord qu'un gaz comprimé développe un même travail de quelque manière qu'il se détende, pourvu que ce soit d'une même fraction de son volume. Ainsi, s'il se détend dans deux corps de pompe fermés par des pistons différents A, *a*; *e*, E, étant les chemins parcourus; le travail sera dans les deux cas pAe, paE, la pression p étant supposée constante pour un mouvement très petit; or les quantités Ae, aE représentant le volume dont le gaz s'est détendu, quantités égales par hypothèse, le travail est donc le même.

Ceci admis, le calorique pouvant, dans tous ses effets, être considéré comme un fluide sans inertie ni pesanteur, d'une élasticité parfaite, produisant des dilatations quand il s'accumule, des contractions quand il diminue; on doit lui appliquer à fortiori le principe posé pour la détente des gaz, ce qui revient à dire :

« Qu'une certaine quantité de chaleur introduite dans un corps ou soustraite de ce corps doit faire naître, contre des résistances directement opposées à son action, des quantités de travail absolues qui sont toujours les mêmes ou indépendantes de la nature des corps, mais dont une certaine partie est, dans les liquides et les solides, employée à contre-balancer la force d'agrégation des molécules. »

CALORIE.

On peut établir avec plus de certitude et sans se baser sur une conception idéale de la nature intime du calorique, ce principe établi pour la première fois au moyen de considérations différentes, en 1824, dans un opuscule remarquable de M. S. Carnot, ancien élève de l'École polytechnique. Nous allons résumer les considérations consignées dans cette brochure intitulée *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, ce qui nous permettra d'établir les meilleurs moyens d'utiliser le travail engendré par la chaleur.

1° *Le travail est produit, non par une consommation absolue de calorique, mais par le passage de celui-ci d'un corps chaud à un corps froid.* En considérant la machine à vapeur, il est facile de se rendre compte que c'est ainsi que la force se produit. En effet, le calorique développé dans le foyer par l'effet de la combustion traverse les parois de la chaudière et vient donner naissance à de la vapeur en s'y incorporant en quelque sorte. Celle-ci l'entraînant avec elle la porte dans le cylindre où elle agit, et de là dans le condenseur dont l'eau froide s'emparant du calorique développé dans la combustion produit le vide. Il ne suffit donc pas pour produire une puissance motrice d'obtenir de la chaleur, il faut en même temps disposer d'un corps froid. Ainsi la condensation qui est aussi cause de travail n'a lieu que par la présence de l'eau froide qui sert à condenser la vapeur. On ne peut rejeter celle-ci simplement dans l'atmosphère, comme on le fait dans certaines machines à vapeur à haute pression, qu'autant que la température extérieure est telle que l'eau reste à l'état liquide par l'effet de la pression atmosphérique, température nécessairement moindre que celle de la vapeur; autrement il n'y aurait pas d'eau liquide et par suite pas de machines à vapeur, l'action du foyer serait alors nulle sur de la vapeur qui serait à la même température que les produits de la combustion.

Quelle que soit la température propre à un système de corps isolé, il n'y peut évidemment naître aucun mouvement tant que la température d'une partie du système ne varie pas. Mais si elle vient à varier, nous reconnaissons comme la loi la plus certaine de la physique la variation du volume des corps, leur dilatation par l'effet de l'élévation de température. C'est ce phénomène si général qui conduit à considérer les corps comme composés de molécules qui tendent à se réunir sous l'action des forces d'attraction moléculaire et à s'éloigner par l'effet de la chaleur. Pour chaque température donnée correspondant à un état de dilatation déterminé, il s'établit un équilibre entre les forces moléculaires et le calorique.

La dilatation est l'effet nécessaire de la chaleur; tout l'effet du calorique est produit sous cette forme dans les gaz permanents pour lesquels les forces d'attraction de molécule à molécule sont nulles; l'effet du calorique sert en partie à équilibrer les forces d'attraction moléculaires dans les solides et les liquides, suivant une loi qui est indiquée par les variations des coefficients de dilatation et de chaleur spécifiques des corps.

Pour les solides et liquides, lorsque le corps revient à sa température primitive, en supposant la rotation complète, les forces de cohésion restituant en sens inverse la force qui leur faisait équilibre en partie, la restriction indiquée par M. Poncelet pour les forces moléculaires, vraie quand on ne considère que partie de cette rotation, paraît inutile.

On peut, en tous cas, établir comme parfaitement évidente cette seconde loi.

2° *Partout où il y a différence de température, il y a production de force motrice.* En effet, tous les corps sont susceptibles de changements de volume, de contractions et de dilatations successives par les alternatives de chaleur et de froid, tous sont capables de vaincre dans leurs

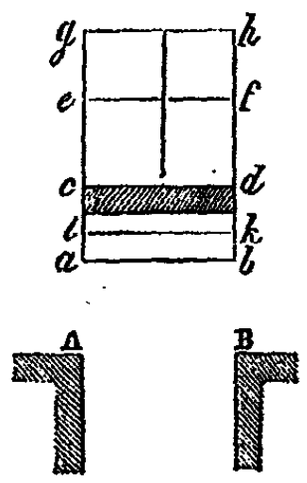
changements de volume certaines résistances et de développer ainsi une certaine puissance motrice. Le chemin parcouru, la dilatation en raison de la température, et l'effort que le corps échauffé exercerait contre des obstacles qui s'opposeraient à la dilatation, tels sont les deux facteurs du travail mécanique produit par la chaleur communiqué à un corps. Ainsi un corps solide, une barre métallique alternativement chauffée et refroidie, augmente ou diminue de longueur et peut mouvoir des corps placés à ses extrémités. Un liquide alternativement chauffé et refroidi peut vaincre les obstacles plus ou moins grands opposés à sa dilatation. Un fluide aériforme produira dans les mêmes conditions des mouvements de grande étendue. Tous ces changements supposent des alternatives de chaleur et de froid, c'est-à-dire la disposition d'un corps chaud pour transmettre la chaleur à un corps froid.

Puisque le passage de la chaleur d'un corps chaud à un corps froid est une source de travail par la dilatation qui en résulte, tout passage de chaleur qui ne sera pas accompagné de dilatation utilisée, tout passage direct de la source de chaleur au réfrigérant diminuera d'autant l'utilisation de partie du *maximum théorique* du travail de la chaleur, et le travail utile n'en sera qu'une fraction d'autant moindre.

On peut donc établir comme base fondamentale du bon emploi de la chaleur, *qu'il ne se fasse dans les corps employés pour réaliser la puissance qu'elle engendre aucun changement de température qui ne corresponde à un changement utilisé de volume.*

Ceci va devenir très clair en employant la chaleur sur un gaz parfait, de telle sorte que toute la puissance de la chaleur soit évidemment utilisée.

Soit A (fig. 358) une source de chaleur, un corps toujours maintenu à une température T, comme la chaudière d'une machine à vapeur; B, un corps maintenu toujours, à une température T' moindre que T; *abcd* un cylindre renfermant un gaz à l'aide d'un piston mobile. On sait que si on comprime ce gaz, sa température s'élève; si au contraire on le dilate, la température s'abaisse. Quelles que soient les lois suivant lesquelles s'opère ce phénomène, on pourra, à l'aide de compressions et de dilatations, faire varier la température d'un gaz, comme on en fait varier la pression pour un volume fixe en variant la température.



358.

Cela posé, figurons-nous la suite des opérations qui vont être décrites.

1° Contact du corps A avec le gaz, avec la paroi de la capacité *abcd*, que nous supposons transmettre facilement le calorique. Le gaz prend la température du corps A.

2° Le piston s'élève graduellement et vient prendre la position *ef*. Le contact a toujours lieu entre le corps A et le gaz, qui se trouve ainsi maintenu à une température constante pendant la raréfaction. Le corps A fournit le calorique nécessaire pour maintenir la constance de température.

3° Le corps A est éloigné et le gaz ne se trouve plus en contact avec aucun corps capable de lui fournir du calorique; le piston continue cependant à se mouvoir, et passe de la position *ef* à la position *gh*. Le gaz se raréfie sans recevoir de calorique, et sa température s'abaisse. Imaginons que cette augmentation de volume soit suffisante pour que la température du gaz devienne égale à celle du corps B; à ce moment le piston s'arrête et occupe la position *gh*.

4° Le gaz est mis en contact avec le corps B; le piston est, par la moindre compression, ramené de la position *gh* à la position *cd*, et reste cependant à une température constante, à cause de son contact avec le corps B, auquel il cède son calorique.

5° Le corps B est écarté, et l'on comprime le gaz, qui, se trouve alors isolé, sa température s'élève. La compression est continuée jusqu'à ce qu'il ait pris la température du corps A. Le piston passe alors de la position *cd* à la position *lk*.

6° Le gaz est remis en contact avec le corps A; le piston retourne de la position *lk* à la position *ef*; la température demeure invariable.

7° La période décrite sous le n° 3 se renouvelle, puis successivement les périodes 4, 5, 6, — 3, 4, 5, 6, et ainsi de suite.

Dans ces diverses opérations, le piston éprouve un effort plus ou moins grand de la part du gaz renfermé dans le cylindre; la force élastique de ce gaz varie, sans qu'il y ait jamais contact entre les corps de température différente, tant à cause des changements de volume que des changements de température; mais l'on doit remarquer qu'à volume égal, c'est-à-dire pour des positions semblables du piston, la température se trouve plus élevée pendant les mouvements de dilatation que pendant les mouvements de compression. Pendant les premiers, la force élastique du gaz est donc plus grande, et par conséquent la quantité de travail produit par les mouvements de dilatation est plus considérable que celle consommée pour produire les mouvements de compression. Ainsi, l'on obtiendra un excédant de puissance motrice dont on pourra disposer pour des usages quelconques. Un gaz nous a donc servi à constituer une machine à feu; nous l'avons même employé de la manière la plus avantageuse possible, car il ne s'est fait aucun rétablissement inutile d'équilibre dans le calorique.

Toutes les opérations ci-dessus décrites peuvent être exécutées dans un sens et un ordre inverses.

Imaginons qu'après la sixième période, c'est-à-dire le piston étant arrivé à la position *ef*, on le fasse revenir à la position *lk*, et qu'en même temps on maintienne le gaz en contact avec le corps A; le calorique fourni par ce corps pendant la sixième période retournera à sa source, c'est-à-dire au corps A, et les choses se trouveront dans l'état où elles étaient à la fin de la période cinquième. Si maintenant on écarte le corps A et que l'on fasse mouvoir le piston de *lk* en *cd*, la température de l'air décroîtra d'autant de degrés qu'elle s'est accrue pendant la période cinquième, et deviendra celle du corps B. L'on peut continuer une série d'opérations inverses de celles que nous avons d'abord décrites, c'est-à-dire porter le piston en *gh*, le gaz étant en contact avec B, etc. Il suffit de se placer dans les mêmes circonstances et d'exécuter dans chaque période un mouvement de dilatation au lieu d'un mouvement de compression, et réciproquement.

Le résultat des premières opérations avait été la production d'une certaine quantité de travail et le transport du calorique du corps A au corps B, du corps le plus chaud au corps le plus froid; le résultat des opérations inverses (pendant lesquelles les pressions résistantes sont les mêmes que les pressions motrices dans les premières) est la consommation du travail produit et le retour du calorique du corps B au corps A, du corps le plus froid au corps le plus chaud; de sorte que ces deux séries d'opérations s'annullent, se neutralisent en quelque sorte l'une l'autre.

M. Clapeyron a eu l'heureuse idée de représenter par des courbes les opérations ci-dessus décrites, ce qui fait apprécier les effets produits à première vue. Soit

A'B' (fig. 359) une ordonnée représentant la pression lorsque le piston est en *ik*, le gaz se dilatant à température constante et les volumes successifs étant représentés par les abscisses, $A'_1 B'_1$ sera la pression en *ef*, et l'aire $A'A'_1 B'B'_1$ le travail produit. Le piston

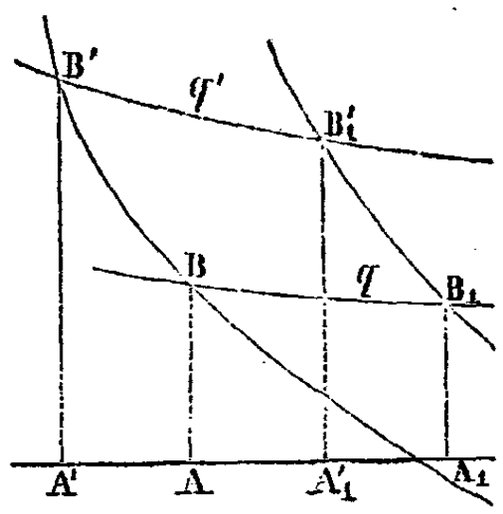


Fig. 359.

passant de *ef* à *gh* sans que le gaz reçoive de chaleur, quand il se refroidit rapidement, la courbe $B'_1 B_1$ répondant aux pressions successives, est plus inclinée que la précédente sur l'axe de x, et $A'_1 B'_1 B_1 A_1$ est le travail produit pendant cette période. Les périodes de compression à température constante et à température croissante, ou le travail résistant, sont de même représentées par les aires $B_1 A_1 BA$ et $BAB'A'$. L'excédant de la somme des premières sur celle des secondes, dû à l'augmentation de pression résultant de l'accroissement de température, ou le travail mécanique engendré par la chaleur, est donc représenté par l'aire du rectangle curviligne $BB'B_1 B'_1$. En opérant à l'inverse, comme il a été dit, on trouvera que le même rectangle représentera le travail consommé pour effectuer le passage d'une même quantité de chaleur du corps froid au corps chaud.

Nous pouvons maintenant nous poser la question suivante :

3° *La puissance motrice d'une même quantité de chaleur est-elle constante ou varie-t-elle avec l'excipient employé pour l'utiliser?* On peut démontrer qu'elle est constante. En effet, la quantité de chaleur qui produit la dilatation d'un corps, engendrant une certaine quantité de travail (nous supposons nulle pour cette démonstration l'action moléculaire qui, comme nous l'avons dit, cause une consommation que restitue le refroidissement, nous supposons qu'on agit sur un gaz parfait), réciproquement cette même quantité de travail exercée en sens inverse pour comprimer le corps devra à son tour produire le dégagement de la première quantité de chaleur.

Si donc, pour une même quantité de chaleur, un corps A donnait un travail mécanique supérieur à tout autre B, par une série d'opérations analogues à celles que nous avons décrites, l'emploi de ce travail mécanique produit par le corps A, employé par des opérations inverses à comprimer cet autre corps B, devrait fournir une quantité de chaleur supérieure à celle qui a produit le travail initial, et capable par suite d'engendrer en étant communiquée au premier corps A, une quantité de travail supérieure à celle qu'a exigée la compression; c'est-à-dire d'engendrer en répétant la même opération une source indéfinie de chaleur et de force par l'utilisation des excédants successifs, et cela sans consommation d'aucun agent. On en arrive ainsi au mouvement perpétuel, à un effet sans cause, ce qui est absurde. On ne doit donc pas chercher à faire varier l'excipient dans l'espoir d'un bénéfice de travail, mais

chercher seulement à utiliser le mieux possible le travail du calorique.

On doit donc poser comme loi générale :

La puissance motrice de la chaleur est en principe indépendante des agents mis en œuvre, et a un maximum théorique pour l'unité de chaleur.

Mais de même que la puissance théorique d'une chute d'eau ne peut être réalisée pratiquement, de même la puissance théorique de la chaleur ne peut être communiquée entièrement à un récepteur. On en approchera d'autant plus que l'on disposera le récepteur de telle manière qu'il ne s'y fasse aucun changement de température qui ne corresponde à un changement de volume *utilisé*, ou, ce qui est la même chose autrement exprimée, qu'il n'y ait jamais de contact entre des corps de températures sensiblement différentes.

L'important principe que nous avons cherché à établir ci-dessus, d'après M. S. Carnot, relativement au travail de la chaleur, peut, ce nous semble, être sinon vérifié aujourd'hui par les résultats des données expérimentales que fournit la physique actuelle, au moins être rendu tellement probable qu'on ne doive pas hésiter à l'admettre; ce qui nous paraît d'autant plus nécessaire que nous croyons que c'est en partant de ce principe qu'on parviendra à établir la véritable théorie des machines à feu.

Ce même principe du maximum de l'action de la chaleur offre de plus l'utilité d'écarter tous les inutiles et coûteux essais répétés encore chaque jour, pour remplacer la vapeur d'eau par les vapeurs d'alcool, d'éther, l'acide carbonique liquéfié, le chloroforme, etc., et de faire disparaître toutes les chimères fondées sur l'emploi de la vapeur d'eau à très-haute pression, dont les expériences de Perkins ont déjà démontré pratiquement l'inutilité. (Voyez GAZ, *machine A.*)

La vérification de la loi établie ci-dessus consisterait à évaluer le travail produit à l'aide de tous les corps par une même quantité de chaleur, en opérant théoriquement, sans perte aucune, en évaluant les effets internes comme les effets externes, et à trouver que cette quantité est constante. Ce calcul ne peut être fait d'une manière tout à fait satisfaisante : il faudrait, pour y parvenir, des expériences spéciales et nous ne saurions donner ici que des indications qui nous paraissent assez probantes toutefois.

Nous commencerons par les gaz, ce qui est le cas le plus simple :

1° *Gaz.* La loi la plus curieuse que l'on connaisse sur les relations qui existent entre les actions mécaniques auxquelles on soumet les gaz et les effets calorifiques est celle obtenue par Dulong, dans ses belles recherches sur les chaleurs spécifiques des gaz et qui s'énonce ainsi : 1° des volumes égaux de tous les gaz (qui suivent la loi de Mariotte) pris à la même pression et à la même température, dégagent ou absorbent la même quantité de chaleur quand ils sont comprimés ou dilatés d'une même fraction de leur volume; 2° les variations de température qui en résultent sont en raison inverse de leur chaleur spécifique à volume constant.

Cette loi à laquelle le physicien éminent, dont nous venons de rappeler le nom était arrivé, est une conséquence nécessaire de la notion de relation intime entre la quantité de travail et la quantité de chaleur qui apparaît ou disparaît simultanément. Il en est de même d'une expérience due à Gay-Lussac que nous devons également consigner ici.

Il a reconnu que quand un gaz passe d'un ballon dans un autre de même capacité, mais vide, le ballon dont sort le gaz se refroidit, pendant que celui dans lequel il entre s'échauffe exactement du même nombre de degrés. Cette expérience remarquable montre l'égalité des deux effets calorifiques produits, par

deux actions mécaniques égales, inverses l'une de l'autre.

Le moyen d'employer la chaleur à l'aide des gaz de la manière la plus avantageuse, consiste dans le système d'opérations que nous avons décrit. La grandeur de la dilatation des gaz, le grand volume qu'ils occupent sous un poids donné, rend leur emploi dans la pratique bien inférieur à celui de la vapeur d'eau. Il faudrait presque nécessairement, pour s'en servir, commencer par les comprimer à l'aide d'une pompe à air sous une pression élevée, ce qui exigerait une grande consommation de travail.

Cherchons à évaluer le travail théorique du travail fourni par l'action de la chaleur sur l'air, en calculant les éléments des opérations décrites.

Soit 1 kilogramme d'air à 0°, occupant 0,77 de mètre cube, à la pression $0^m,76$, ou 10,330 kil. par mètre carré; si on l'échauffe d'un degré, il se dilatera, à pression constante, de 0,00367 de son volume, et le travail produit par cette dilatation sera :

$0{,}00367 \times 0{,}77 \times 10330 = 29{,}19$ kilogr. mèt.

Ce travail est en réalité celui engendré par la différence $c - c'$ des chaleurs spécifiques du gaz à pression constante et à volume constant, car après avoir chauffé d'un degré un gaz sous volume constant, il faut évidemment lui communiquer une quantité de chaleur égale à cette différence pour qu'il se dilate sous pression constante, en produisant le travail ci-dessus indiqué. La question proposée serait donc résolue si on connaissait la valeur $c - c'$, mais la seconde n'a pu être encore obtenue par les expérimentateurs les plus habiles. M. Regnault a donné pour c la valeur 0,237, mais c' ne nous est pas connu.

Plusieurs auteurs ont employé, pour lever cette difficulté, la valeur $\frac{c}{c'}$ déduite de la formule de Laplace pour la vitesse du son, dont l'exactitude est contestable comme celle de la détermination expérimentale de cette vitesse. Cette valeur est voisine de celle déduite des expériences de Clément Desormes, que M. Regnault a démontré être de peu de précision (1,38). La valeur 1,42 satisfaisant mieux à la formule a été trouvée aussi, et conduit à un nombre égal à 420 ou 430 pour le nombre maximum de kilogrammètres que peut produire une calorie, mais cette détermination est de minime valeur et ne saurait prendre place dans la science sans vérification ultérieure.

M. Joule, de Manchester, a fait un grand nombre d'expériences dont il nous faut dire ici quelques mots; il s'est proposé de déterminer la quantité de travail nécessaire pour échauffer l'eau de 1°, évidemment inspiré par l'expérience bien connue de Davy, qui fondait de la glace en faisant frotter des morceaux de glace l'un sur l'autre. D'un grand nombre d'expériences qui consistent à faire tourner un agitateur dans l'eau, à l'aide d'un poids connu descendant d'une hauteur facilement mesurable, il a pu conclure, en mesurant l'accroissement de température produit dans le liquide, le rapport entre le travail mécanique dépensé et la quantité de chaleur produite. Il a pensé être en droit d'en déduire la relation inverse, mais le résultat de ces expériences n'est pas à l'abri de toute contestation sous ce rapport.

Voici les chiffres que nous trouvons dans les ouvrages anglais :

D'après des expériences nombreuses faites à des températures qui passaient de 32 à 33° Farenheit, il fallait 772 livres pieds pour élever 1 kil. d'eau d'un degré. Or, 32° correspond à zéro du thermomètre centigrade et 33 à 0,56; ainsi il eût fallu pour échauffer l'eau de 1°.

$772 : 0{,}56 :: x : 1 . x = \frac{772}{56} \times 108 = 1378$ liv. pieds.

La livre anglaise = 0,37; le pied anglais = 0,30

Pour 1 kil. $x : 1 :: 1378 : 0{,}37$ $x = 3724$.

Enfin, la livre pied anglais $= 0{,}37 \times 0{,}300 = 0{,}111$ kilogrammètre.

Donc une calorie est produite par 413 kil. mèt.

Ce résultat peut prouver simplement qu'une grande partie du travail mécanique dépensé dans ces expériences ne produit aucune augmentation de température; le mouvement imprimé étant communiqué à la masse d'eau, phénomène purement mécanique et qui ne produit pas de chaleur sensible. Cela résulte bien évidemment du mode d'opérer, et par suite il n'est pas prouvé par cette expérience qu'une calorie puisse produire 413 kilogrammètres.

2° *Corps solides.* Rappelons d'abord que les solides ayant une force de cohésion que le calorique détruit en partie, avant de produire un effet sensible, il y a d'abord une partie de travail annulé par cette cause, mais cette quantité est restituée lorsque, par le refroidissement, le corps revient à son état primitif.

La physique ne fournit pas les données suffisantes pour calculer les effets dus à la dilatation des solides. On connaît seulement l'étendue des dilatations, mais non l'effort qu'elles peuvent produire. Chacun connaît l'application faite par Molard pour redresser les murs du Conservatoire, exemple qui, ainsi que nombre de faits, prouve que la force ainsi engendrée est considérable si le chemin parcouru est petit. Des expériences bien faites, consistant à mesurer le poids qu'une barre de fer pourrait soulever par son refroidissement, confirmeraient le principe posé.

Les faibles mouvements, produits par la dilatation des corps solides, rendent leur emploi presque impossible pour l'établissement de machines pouvant les utiliser. Il faudrait employer des mécanismes compliqués, des pièces d'une grande force pour transmettre des pressions énormes, etc. Le seul moyen qui n'a guère été employé que dans des appareils régulateurs, qu'on peut considérer comme employé à produire une pression et une traction, consiste à faire dilater et refroidir successivement une barre de métal liée avec la résistance, moyen trop imparfait pour que nous ayons à nous y arrêter.

Revenons à la détermination théorique du travail produit par la chaleur servant à dilater un corps solide, et voyons si elle nous fournit quelques résultats tendant à vérifier, ou au moins à rendre de plus en plus probable le principe que nous avons établi par des considérations théoriques.

Nous ne nous occuperons que des corps sur lesquels la chaleur agit sans causer d'altération, des métaux, par exemple, et non des bois, des pierres, etc., que la chaleur décompose.

Lorsqu'une certaine quantité de chaleur vient à agir sur un corps solide, à une certaine température, elle équilibre partie de la force de cohésion qui réunit les molécules, et devient sensible par une dilatation. Cette partie seulement produit un effet mécanique; puis, par le refroidissement, la force de cohésion rapproche les molécules. Les lois de ces actions, de ces détentes successives, dépendent du mode d'action des forces moléculaires, en raison des variations infiniment petites de l'écartement des molécules.

Il paraît impossible d'étudier théoriquement des questions aussi complexes; peut-être expérimentalement pourrait-on arriver à constater la valeur du travail mécanique produit pour une même quantité de chaleur communiquée à des corps solides différents, et en déduire quelques données précieuses. Toutefois, de semblables expériences offriraient de grandes difficultés.

Mais il est une température où le travail mécanique produit par la chaleur communiquée à un corps a une valeur plus facilement assignable. Nous voulons parler

de la liquéfaction d'un corps par communication de la chaleur latente nécessaire, la chaleur sensible restant la même à l'état solide et à l'état liquide.

Puisque la température ne change pas pendant la liquéfaction, tout le travail de la chaleur est utilisé, et la quantité de chaleur que nous savons mesurer, et qu'on appelle chaleur latente, produit le travail de séparer et désunir les molécules qui adhéraient fortement ensemble.

Si le principe que nous avons établi est exact, le même travail sera produit pour chaque métal pour une même quantité de chaleur latente. Le rapport du travail produit par la désunion des molécules à la chaleur latente nécessaire pour la produire sera une quantité constante pour les divers métaux.

M. Person, professeur à l'Académie de Besançon, est parvenu aux déterminations qui nous sont nécessaires, et cela d'une manière très satisfaisante, en se servant des expériences sur l'élasticité faites par M. Wertheim. Nous empruntons ce qui suit au mémoire qu'il a publié sur ce sujet dans les *Annales de chimie et de physique*.

« J'ai pensé, dit-il, que le travail pour séparer les molécules devait être dans une relation simple avec le travail nécessaire pour les écarter d'une certaine quantité. Déjà si l'on jette un coup d'œil sur le tableau des coefficients d'élasticité que M. Wertheim a donné dans les *Annales de chimie et de physique*, on reconnaît que les chaleurs latentes de fusion sont à très peu près proportionnelles à ces coefficients. Par exemple, il faut deux fois autant de chaleur pour fondre le zinc que pour fondre l'étain; or le tableau montre que le coefficient d'élasticité du zinc est double de celui de l'étain. Ainsi un métal qui exige un effort double pour le même allongement demande aussi une chaleur double pour se fondre. Le rapport est encore plus remarquable pour le plomb; c'est un métal qui offre très peu de résistance : avec un effort cinq fois plus petit on l'allonge autant que le zinc. Eh bien! il se trouve aussi que la chaleur nécessaire pour le fondre est cinq fois plus petite que celle qu'il faut pour le zinc. On retrouve encore la proportionnalité entre le zinc et le bismuth, quand on a soin de prendre le zinc cristallisé par un refroidissement lent, parce qu'alors sa constitution se rapproche de celle du bismuth.

« Ainsi donc, en désignant par q, q' les coefficients d'élasticité de deux métaux, par l, l' leurs chaleurs latentes de fusion, on a, au moins approximativement,

$$\frac{q}{q'} = \frac{l}{l'}.$$

« Le tableau, placé en tête de la colonne suivante, fera juger du degré d'approximation. Comme l'état physique des métaux a une grande influence sur leur coefficient d'élasticité, on a pris le rapport pour des états physiques aussi identiques que possible; c'est-à-dire qu'on a comparé les métaux coulés avec les métaux coulés, les métaux recuits avec les métaux recuits, et ainsi de suite. »

Cherchons maintenant pourquoi la proportionnalité n'est qu'approchée. Le coefficient d'élasticité est le poids qui doublerait la longueur d'une tige d'un millimètre de section, en supposant que l'allongement restât proportionnel à la traction. Il résulte de cette définition que, dans la mesure des coefficients d'élasticité, l'on ne compare pas des poids égaux comme dans la mesure des chaleurs latentes; dès lors il n'est pas étonnant que la proportionnalité n'existe pas rigoureusement. Le poids d'une même longueur, la densité, doivent évidemment jouer un rôle dans cette détermination. M. Pierson a proposé la formule suivante, pour la fonction de l'élasticité et des densités proportionnelles au travail produit (p, p' étant les poids spécifiques des substances considérées) :

Comparaison des coefficients d'élasticité et des chaleurs latentes de fusion.

DÉSIGNATION DU MÉTAL.	RAPPORT $q:q'$ d'après les vibrations longitudinales	RAPPORT $q:q'$ d'après les vibrations transversales	RAPPORT $q:q'$ d'après l'allongement	MOYENNE.	RAPPORT $l:l'$.
Zinc ordinaire étiré. .	2,09	2,14			
Étain ordinaire étiré. .			»	2,17	1,97
Zinc ordinaire recuit.	2,00	2,31			
Étain ordinaire coulé.					
Zinc ordinaire recuit.	4,32	5,20			
Plomb recuit.				4,80	5,23
Zinc pur coulé. . . .	4,69	4,75	5,09		
Plomb pur coulé. . . .					
Étain ordinaire étiré.	2,20	2,33			
Plomb étiré.			»	2,20	2,65
Étain ordinaire coulé.	2,33	2,10			
Plomb coulé.					
Zinc bien cristallisé. .	2,28	»	»	2,28	2,22
Bismuth coulé. . . .					

$$\frac{q}{q'}\left[\frac{1+\frac{2}{\sqrt{p}}}{1+\frac{2}{\sqrt{p'}}}\right] = \frac{l}{l'}. \qquad (A)$$

Elle signifie que les chaleurs latentes de fusion sont dans le rapport des coefficients d'élasticité augmentés d'une certaine quantité qui dépend de la densité.

Voici maintenant des vérifications de la formule. En comparant le zinc au plomb, nous avons eu $\frac{q}{q'} = 4{,}80$; la correction actuelle, d'après les densités, revient à ajouter le dixième de cette valeur, ce qui donne 5,28; or on a $\frac{l'}{l} = 5{,}23$; ainsi l'accord est parfait.

Pour l'étain et le plomb, on a eu :

$$\frac{q}{q'} = 2{,}20, \text{ et } \frac{l}{l'} = 2{,}65;$$

la différence était assez considérable. Mais maintenant, la correction étant faite, il vient 2,42, et la différence avec 2,65 n'est pas d'un dixième.

Pour le zinc et l'étain, sans correction, la différence n'est pas non plus d'un dixième; mais aussi il n'y a pas de correction à faire, puisque les densités sont les mêmes.

Pour le bismuth, comparé au zinc cristallisé, la correction tendrait à altérer l'égalité des rapports; cela peut tenir à l'état de cristallisation.

La relation que nous venons de trouver pour les métaux se vérifie aussi pour les alliages. Ainsi, pour l'alliage de d'Arcet, M. Wertheim a trouvé $q' = 2626$

d'après les vibrations transversales ; pour le zinc ordinaire recuit, il a eu, d'après ces mêmes vibrations, $q = 9641$, d'où $\frac{q}{q'} = 3{,}67$. La densité de l'alliage de d'Arcet étant 9,8 il vient :

$$\frac{q}{q'}\left[\frac{1+\frac{2}{\sqrt{p}}}{1+\frac{2}{\sqrt{p'}}}\right] = 3{,}92.$$

Maintenant la totalité de la chaleur, qui devient latente quand on fond l'alliage, est 7,64 ; pour le zinc, c'est 23,13 ; on a donc $\frac{l}{l'} = 3{,}68$, ce qui diffère bien peu de 3,92.

La formule (A) se vérifiant d'une manière satisfaisante, on peut s'en servir pour calculer la chaleur latente de fusion des différents métaux. On trouve ainsi environ 38 calories pour le platine, et 60 pour le fer, en prenant le zinc pour terme de comparaison. Le fer, qui est le métal le plus résistant, serait aussi celui qui demanderait le plus de chaleur pour se fondre.

Ainsi nous pouvons considérer que la loi que nous avons établie théoriquement, à savoir que le travail produit par l'unité de chaleur était le même pour tous les corps, se trouve vérifiée d'une manière très satisfaisante pour les corps solides.

3° *Liquides.* La force motrice des liquides pourrait théoriquement s'utiliser comme pour les solides. On peut supposer le liquide à échauffer renfermé dans un vase portant sur sa surface des pistons que mettent en mouvement les accroissements de volume du liquide. La faible dilatation des liquides, la difficulté de ne pas perdre la presque totalité de travail de la chaleur par suite de la dilatation de l'enveloppe, rendent impossible l'exécution d'un semblable système.

Nous n'avons aucune donnée pour calculer théoriquement le travail de la chaleur agissant sur un liquide. En effet, le travail produit, en considérant pour simplifier le cube égal à l'unité de volume, est égal $p\delta$ dans chaque sens, p étant l'effort moyen produit, δ la dilatation linéaire pour un échauffement de 1°, et $3p\delta$ est le travail total ; la quantité de chaleur absorbée est cd, c étant la chaleur spécifique pour l'unité de poids, et d la densité ou le poids pour l'unité de volume. Le travail pour l'unité de chaleur est donc $\frac{3p\delta}{cd}$, quantité constante si la loi énoncée est vraie, et qui fournit un lien précieux entre les dilatations et les chaleurs spécifiques, quand on considère les actions physiques au point de vue du travail produit, point de vue trop souvent négligé.

Nous n'avons pas d'évaluations des efforts p, qui peuvent être produits par la dilatation des liquides, et qui par suite puissent nous fournir la vérification cherchée. L'étude des compressibilités des liquides qui paraîtraient pouvoir offrir quelque point de comparaison analogue à celui que les coefficients d'élasticité fournissent pour les solides, ne conduit à aucun résultat. Les liquides résistent à la compression, comme le fait un tas de sable, par inertie et nullement comme le feraient des molécules écartées par la chaleur. La preuve est que la compression ne fait pas dégager des quantités de chaleur appréciables.

Chaleur latente des liquides. Nous pouvons suivre en partie le travail du calorique, dans le cas où il est absorbé pour produire de la vapeur et vaincre la pression atmosphérique. La dépense de chaleur latente qui sert à gazéifier un liquide est sensiblement proportionnelle au travail produit par le passage à l'état gazeux. Il semble, en effet, que cette même résistance à surmonter dans des circonstances semblables doit exiger sensiblement la même quantité de chaleur.

Soit 1 kilog. d'un liquide quelconque, dont δ est la densité, occupant par suite un volume égal à $\frac{1}{\delta \times 1000}$ en mètres cubes. Si ce corps se réduit en vapeur, en occupant un volume égal à m fois son volume à zéro, ou $\frac{m}{\delta \times 1000}$ mèt. c., le volume produit sera égal au volume produit $\frac{m-1}{\delta \times 1000}$, multiplié par la pression atmosphérique égale à 10 330 sur le mètre carré.

d étant la quantité de chaleur rendue latente par la vaporisation du liquide.

$$T = \frac{(m-1)\times 10330}{d \times \delta \times 1000} \text{ pour une calorie.}$$

Eau. Pour l'eau :

$$m = 1700 ;\ \delta = 1 ;\ c = 1 ;\ \alpha = 100 ;\ d = 550$$

d'où $T = \frac{(1700-1)\,10330}{550\times 1000} = 31{,}8$ kilogram. mèt.

Alcool. Pour l'alcool qui bout à 78°,40, on a :

$$m = 520 ;\ \delta = 0{,}8 ;\ d = 207$$

d'où $T = \frac{(520-1)\,10330}{0{,}8\times 207\times 1000} = 32{,}7$ kilogr. mèt.

Éther. Pour l'éther qui bout à 37°,8 :

$$m = 318 ;\ \delta = 0{,}71 ;\ cd = 96{,}8$$

d'où $T = \frac{(218-1)\times 10330}{0{,}71\times 96{,}8\times 1000} = 32$ kilogram. mèt

On peut donc dire que sensiblement les quantités de travail, ou ce qui est la même chose pour une même pression, les volumes produits sont proportionnels aux chaleurs latentes. Il semble donc que l'on retrouve la même loi que précédemment, que le travail produit par une calorie est le même pour les divers liquides, comme nous l'avons vu ci-dessus pour la fusion des solides.

Mais il faut remarquer que les chiffres ci-dessus ne représentent le travail d'une calorie que relativement à la résistance constante qu'oppose la pression atmosphérique, que le travail d'action directe ; il reste, pour obtenir tout l'effet qui peut être produit, à utiliser le travail de la détente des vapeurs, qui en se dilatant jusqu'à liquéfaction pourraient fournir de la chaleur utilisable ; c'est la question que nous allons traiter, et qui se trouve résolue en même temps que la première.

DES VAPEURS. *Vapeur d'eau.* Le travail par action directe d'un kil. de vapeur, renfermant, d'après Watt, 650 calories à toutes les températures (ce qu'on peut admettre pour un calcul d'approximation) quelle que soit la pression, doit être constant, et ne varier que peu avec la pression initiale. Les volumes de la vapeur saturée aux diverses pressions n'ont pas encore été déterminés avec grande précision, mais ils sont en effet à peu près en raison inverse des pressions. Quant au travail de la détente, comme c'est une des lois les plus certaines de la physique qu'un gaz ne peut se dilater, augmenter de volume sans absorber de la chaleur, il s'ensuit que par l'effet de la détente, la vapeur sera plus que saturée ; il se produira une condensation de partie de la vapeur, dont la chaleur latente de vaporisation viendra réchauffer le reste de la vapeur, lui conserverait la même température.

On voit d'après cela que connaissant la chaleur spécifique de la vapeur d'eau et la quantité de chaleur qu'elle absorbe en variant de volume, on peut déter-

miner la quantité de vapeur qui aura été condensée et dont la chaleur latente a empêché la température de la vapeur de s'abaisser. Si donc on remarque que cette quantité de vapeur, en se liquéfiant, diminue la pression en raison du volume qu'elle occupait, on voit que la chaleur latente de la quantité de vapeur condensée produit un travail égal à la différence entre le travail réellement produit et celui que produirait la vapeur s'il n'y avait pas de refroidissement. Cette observation forme le point de départ de la transformation de la théorie de la machine à vapeur sur laquelle nous reviendrons.

Vapeurs diverses. — Si nous comparons, en ayant égard à l'observation précédente, les vapeurs d'alcool, d'éther à celle de l'eau aux diverses pressions, nous en conclurons que les volumes (et par suite l'action directe) étant proportionnels aux chaleurs latentes, il en sera de même du travail de détente qui complète l'utilisation de la chaleur, puisqu'une même quantité de travail correspond toujours à la condensation d'un égal volume produit par une égale quantité de chaleur appliquée à la vaporisation des divers liquides.

Les phénomènes se passent peut-être aussi exactement de la même manière pour les trois corps que nous comparons ici, parce que les chaleurs spécifiques de leurs vapeurs sont peu différentes; pour d'autres corps peut-être en serait-il autrement et la loi de variation des pressions différente, comme le travail de l'action directe, mais les variations seraient de sens opposé, et le travail par calorie le même.

Résumé. En résumant ce qui précède, d'après les résultats directs de la physique expérimentale et les chiffres qu'elle fournit dans les circonstances les plus variées, sans idée préconçue sur la nature de la chaleur, nous pouvons considérer comme bien établis les principes suivants, qui sont fondamentaux pour la théorie des machines à vapeur ou des machines à feu en général :

1° Le travail que peut produire l'unité de chaleur, la calorie, a un maximum théorique tout comme un poids qui descend d'une certaine hauteur en obéissant à la gravité;

2° Le principe fondamental du bon emploi de la chaleur est de faire que les changements de température produisent toujours des changements de volume utilisés. CH. LABOULAYE.

CALORIFÈRE. Voyez CHAUFFAGE.

CAMBRAI (toile de) (*ang.* cambric, *all.* kammertuch), toile de coton fine.

CAMELOT (*ang.* camlet, *all.* kamlott), étoffe satinée qui se fabrique avec du fil retors.

CAMPHRE (*angl.* camphor, *all.* campher). Le camphre est un produit naturel très abondant dans la famille des laurinées et dans celle des labiées; il provient principalement du *laurus camphora*, arbre originaire du Japon. Pour l'obtenir, les Japonais coupent et fendent le bois des tiges et des racines en petits morceaux, qu'ils placent dans un filet qu'ils suspendent dans un alambic dont la cucurbite est en fer et le chapiteau en terre cuite. Ils y versent de l'eau et la recouvrent du chapiteau après l'avoir garni de chaumes de riz sur lesquels le camphre vient se condenser. Le camphre brut ainsi obtenu est en petits grains agglomérés et salis par une matière brune et huileuse. Son odeur est si caractéristique qu'il n'y a aucune difficulté pour le reconnaître. Il faut choisir celui qui est le plus sec et le moins sale. Il est expédié brut en Europe où on le raffine.

Pour raffiner le camphre on le mélange aussi intimement que possible avec 0,02 de son poids de chaux vive, puis on introduit le mélange dans un matras à fond plat, que l'on remplit au tiers, que l'on bouche avec des étoupes et que l'on enterre dans un bain de sable jusqu'à la naissance du col. On chauffe assez rapidement pour opérer la fusion totale du camphre, et éviter ainsi un boursoufflement qui ferait le vase qui le renferme. Aussitôt que le camphre est fondu, on découvre toute la partie vide du matras, et l'on diminue le feu de manière à n'obtenir qu'un faible bouillonnement que l'on soutient jusqu'à l'entière volatilisation du camphre; ce qui dure de huit à douze heures, selon la quantité sur laquelle on opère.

En ajoutant au mélange à sublimer de 100 parties de camphre brut et de 2 p. de chaux vive, 2 p. de noir animal pulvérisé, on décolore plus complétement le camphre et on obtient un produit plus blanc.

Le camphre raffiné est solide, blanc, fortement translucide, ayant un goût et une odeur caractéristiques, et sa densité est de 0,995 à 0,996. Il est tendre, rayé par l'ongle, et très flexible; cependant on le réduit aisément en poudre en le broyant avec quelques gouttes d'alcool; il fond à 73° et bout à 204°; il est très peu soluble dans l'eau et l'est beaucoup au contraire dans l'alcool et l'éther; 100 p. d'alcool ayant une densité de 0,806 en dissolvent 120 p.; l'eau le précipite de cette dissolution à l'état pulvérulent; approché d'un corps en ignition, il brûle avec flamme sans laisser de résidu. D'après Liebig, le camphre est formé, pour 100, de 79,20 de carbone, 10,36 d'hydrogène et 10,36 d'oxygène, ce qui correspond à la formule $C^{10} H^{32} C^2$.

Si l'on gratte un morceau de camphre avec un instrument tranchant au-dessus d'un vase contenant de l'eau, dont la surface n'est saïe par aucun corps, on observe un phénomène extrêmement curieux : les particules du camphre qui viennent à toucher l'eau se meuvent en tournant sur elles-mêmes, quelquefois avec une extrême rapidité. Ce mouvement giratoire paraît dû à la forme des grattures qui, étant courbées, ont une extrémité mouillée, tandis que l'autre est émergée, et à l'évaporation rapide du camphre dont la vapeur, en s'échappant, trouve dans l'air la résistance nécessaire pour les faire mouvoir.

Le camphre doit être conservé dans des vases bien bouchés et dans un lieu froid, à cause de son extrême volatilité. C'est à cette propriété que se rattachent surtout les propriétés du camphre, de s'opposer à la décomposition des corps avec lesquels il est mélangé et autour desquels il produit une atmosphère odorante.

On l'a quelquefois falsifié avec du *camphre artificiel*, que l'on obtient en faisant arriver un courant d'acide hydrochlorique gazeux dans de l'huile essentielle de térébenthine placée dans un mélange réfrigérant. La fraude peut se reconnaître en faisant passer le camphre en vapeur à travers un tube de porcelaine chauffé au rouge; cette vapeur est décomposée en cas de fraude et donne naissance à de l'acide hydrochlorique qui, recueilli dans l'eau, se reconnaît au précipité blanc floconneux qu'il donne par le nitrate d'argent; lequel précipité est insoluble dans les acides, soluble dans l'ammoniaque, et devient presque instantanément d'un bleu violacé par l'action des rayons solaires.

CANAL (*angl.* et *all.* canal). Pour qu'une voie navigable satisfasse convenablement aux besoins du commerce, elle doit remplir autant que possible les conditions suivantes :

1° La circulation dans les deux sens doit exiger le minimum de dépense;

2° Elle doit être libre constamment, ou du moins n'être fermée que pendant des périodes dont on peut fixer à l'avance le commencement et la fin;

3° La durée des voyages doit pouvoir être calculée avec précision, et sur toute la route doivent être disposés des lieux de stationnement, des ports de charge et de décharge, des entrepôts, etc., etc.;

4° La navigation doit être, autant que possible,

exempte de toutes causes de risques, écueils, passages dangereux, qui compromettent la sûreté des embarcations et la vie des hommes ;

5° La profondeur du cours d'eau doit être, sur tous les points, assez grande pour que les bateaux puissent être fortement chargés, et assez constante pour ne pas descendre au-dessous d'un minimum connu.

Les cours d'eau, dans leur état naturel, sont loin de satisfaire à ce programme. Si leur courant offre aux marchandises qui descendent un moyen de transport très économique, il est pour celles qui remontent un obstacle qu'on ne peut vaincre qu'à grands frais. Ils sont sujets à des débordements, des débâcles, des sécheresses, dépendant de la variation des saisons, et qui échappent à toute prévision. Enfin les dispositions des lits, des rives, des courants, des ponts qui traversent les cours d'eau, des usines qui les bordent, créent une foule de dangers auxquels toute l'habileté des mariniers ne peut pas toujours parer.

On a pu par d'importants travaux exécutés sur quelques rivières, telles que l'Oise, la Sambre, la Somme, faire disparaître la plus grande partie de ces inconvénients ; mais sur nos grands fleuves, sur les rivières à fond mobile, les dépenses seraient tellement considérables, et les chances d'atteindre un résultat complet si précaires, qu'on a dû y renoncer pour un moyen plus économique et plus sûr, qui consiste à creuser une rivière artificielle à côté du cours d'eau naturel ; c'est ce qu'on appelle un canal latéral. Nous citerons comme exemples le canal latéral à la Marne, le canal latéral à la Garonne, le canal latéral à la Loire, etc., etc.

D'un autre côté, afin de faciliter le commerce intérieur et même international, il était important d'établir des communications par eau entre différentes rivières, pour que sans transbordement on pût faire passer les marchandises d'un bassin dans un autre ; mais les différents bassins étant séparés par des contre-forts et des chaînes de montagnes souvent fort élevés, il est généralement impossible de franchir de niveau le seuil qui les sépare ; il faut s'élever d'une des rivières jusqu'à un point culminant, duquel on redescend dans l'autre.

Cette voie artificielle et à double pente porte le nom de canal à point de partage.

Tels sont : le canal de la Marne au Rhin, destiné à relier ce dernier fleuve au bassin de la Seine ; les canaux d'Orléans et de Briare, qui réunissent la Seine à la Loire ; le canal du Midi, qui mène de la Méditerranée à la Garonne ; le canal du Rhône au Rhin, de l'Aisne à la Marne, etc.

L'économie de ce système consiste à rassembler, sur le point culminant qu'on veut franchir, une quantité d'eau assez considérable pour alimenter deux canaux, qui se dirigent, chacun de leur côté, vers les rivières à réunir ; ce point, qui sert, pour ainsi dire, de source commune aux deux canaux, s'appelle le point de partage.

Comme il y a presque toujours une très grande différence de niveau entre le point de partage et la rivière à rejoindre, il est évident que, si on était obligé de donner aux canaux de jonction une pente continue, celle-ci serait tellement forte, qu'il deviendrait impossible aux bateaux de la remonter et même de la descendre sans danger. On conçoit, de même, qu'un canal latéral, qui prend l'eau à une rivière pour la lui rendre plus bas, devrait avoir une pente à peu près égale à la pente moyenne de celle-ci. Le problème d'une navigation commode et facile en tous sens ne serait donc pas résolu, dans ces deux cas, sans une invention moderne, qui est l'origine de tous les progrès de la navigation artificielle de nos jours, et qu'on appelle l'écluse à sas, machine destinée à élever, sans danger et presque sans dépense, un bateau à une hauteur verticale de plusieurs mètres.

Grâce à ce procédé, un canal latéral, ou chacune des branches d'un canal à point de partage pourra se composer d'une suite de portions horizontales ou d'une faible pente, séparées par des chutes, qu'on franchira ou qu'on descendra au moyen des écluses.

Chaque partie de canal comprise entre deux écluses s'appelle bief ; chaque écluse correspond à deux biefs. Le plus élevé s'appelle bief d'amont ou supérieur, et l'autre, bief d'aval ou inférieur.

L'écluse à sas, dont on fait remonter l'invention à Léonard de Vinci, réduite à son expression théorique, est un compartiment vide dont la superficie est au moins égale à celle d'un bateau, et dont le fond est au niveau du plafond du bief inférieur. Cet espace vide ou sas est isolé des deux biefs par deux portes, qui peuvent, en s'ouvrant, laisser un bateau le traverser. Il communique de plus avec ceux-ci par des ouvertures, qu'on peut fermer séparément à son gré au moyen de vannes.

Supposons qu'on veuille faire monter un bateau du bief inférieur dans le bief supérieur, on ferme toute communication du sas avec le bief supérieur, on ouvre les portes d'aval et on fait entrer le bateau dans le sas ; puis, après avoir isolé celui-ci du bief inférieur en refermant les portes, on ouvre le conduit répondant au bief supérieur ; l'eau de ce dernier pénètre dans le sas, qu'elle tend à remplir, et soulève le bateau jusqu'à ce qu'il soit arrivé au niveau du bief d'amont, dans lequel il pénètre sans difficulté lorsqu'on a ouvert la deuxième porte.

Pour opérer la descente, on suit la marche inverse : on ferme la vanne et la porte d'aval, et on ouvre au contraire la vanne et la porte supérieures ; le bateau peut être amené dans le sas, dont l'eau s'est mise au niveau du bief qu'il occupe, les portes et la vanne d'amont sont fermées à leur tour, et on ouvre la vanne d'aval par laquelle l'eau du sas s'écoule dans le bief inférieur. Elle descend bientôt au niveau de celui-ci en entraînant le bateau avec elle ; il n'y a plus alors qu'à ouvrir la porte d'aval, pour qu'il puisse sortir de l'écluse.

Ces manœuvres, dont l'explication paraît compliquée, quoique leur exécution soit très simple, ne durent pas plus de dix minutes dans une écluse bien établie.

Nous allons examiner succinctement les bases d'après lesquelles on trace les canaux et les différents ouvrages que leur construction exige.

TRACÉ DES CANAUX.

Emplacement du point de partage. Le premier problème à résoudre, dans l'étude d'un canal, est la recherche de l'emplacement favorable pour l'établissement du bief de partage. Ce point doit satisfaire à la double condition, de permettre d'y recueillir les eaux nécessaires pour l'alimentation du canal, et de faire monter le moins possible les bateaux pour passer d'une vallée à l'autre.

Généralement ces conditions sont la conséquence l'une de l'autre, car les moyens d'alimentation provenant de l'aménagement des eaux supérieures au bief de partage, plus celui-ci sera abaissé, plus grande sera la quantité de ces eaux qu'on pourra rassembler. On doit donc chercher d'abord à reconnaître quelles sont les parties les plus basses du faîte qui sépare les deux vallées. A l'inspection d'une bonne carte, on trouvera les divers points minimum d'un faîte dans les circonstances suivantes :

1° Quand deux thalwegs secondaires partent de la chaîne à traverser en deux points opposés ;

2° Quand deux thalwegs, après avoir été parallèles

et dirigés dans le même sens, divergent en sens opposé;

3° Quand deux thalwegs parallèles ont leurs pentes inverses.

Ces faits résultent de la théorie et des observations.

Les branches du canal seront établies dans les deux thalwegs secondaires, et la crête étroite de la chaîne, qui doit être ouverte pour les réunir, sera percée par une tranchée ou par un souterrain. Cela dépend de la hauteur à laquelle il faut abaisser le plan du bief de partage pour les eaux d'une alimentation suffisante. On a observé que dans le premier cas que nous avons considéré, il faut presque toujours ouvrir un souterrain, tandis que dans les deux autres les parties supérieures de la chaîne que l'on traverse fournissent, en général, des eaux plus élevées que le point bas par lequel le canal est dirigé; on peut donc assez relever le bief de partage pour traverser le faîte au moyen d'une simple tranchée.

D'ailleurs, la direction d'un canal par les points minimum est modifiée par les considérations de la dépense, de la bonne ou mauvaise position des branches descendantes, des relations commerciales, etc.; il y a même des canaux à point de partage, tels que le canal de la Seine à la Loire, celui de la Meuse au Rhin, de la Sensée, qui ont été projetés et tracés par des considérations tout à fait étrangères au maximum des faîtes.

Quel que soit du reste le choix du point de partage, il doit toujours satisfaire à la condition d'alimenter, pendant la saison navigable, les deux branches qui s'y rattachent, ou du moins une partie de chacune d'elles; car, comme ces branches descendent rapidement, elles peuvent recevoir des eaux plus basses que celles du point de départ, et il arrive un bief, pour l'usage duquel on n'a plus besoin de recourir aux ressources des biefs supérieurs.

Consommation d'eau du point de partage. La dépense d'eau du point de partage est due à cinq causes différentes :

1° L'évaporation dans le bief supérieur et ceux qu'il alimente;

2° Les filtrations dans ce même parcours;

3° Les pertes d'eau par les portes d'écluses;

4° Le remplissage des écluses pour la navigation;

5° Le remplissage du canal après la mise à sec, nécessitée par les réparations annuelles.

1° *Évaporation.* L'évaporation varie avec la température et les différentes circonstances atmosphériques; on l'estime, en moyenne, à une tranche d'eau de 0m,004 par vingt-quatre heures. On ne peut pas déduire de l'évaporation annuelle l'eau provenant de la pluie, attendu que celle-ci n'arrive qu'aux périodes où l'évaporation est minimum, et qu'elle ne rend rien pendant les beaux jours où celle-là est plus grande.

Il serait mieux d'avoir un tableau comparatif, dressé par semaine et pendant plusieurs années, de l'eau tombée et de celle évaporée dans le lieu qu'on considère, et de prendre pour base de son calcul la différence constatée dans les semaines les plus défavorables.

2° *Filtrations.* Les filtrations varient avec la nature du sol dans lequel le canal est ouvert; elles sont toujours très abondantes au moment où la navigation commence, mais elles diminuent ensuite chaque année.

On adopte généralement une perte pour vingt-quatre heures de 0m,08 de hauteur sur la surface totale; mais ce chiffre est entièrement hypothétique.

On a trouvé au canal du Centre, depuis longtemps en navigation, que les pertes par évaporation et filtration sont de 350 mètres cubes par jour et par kilomètre dans les terrains sablonneux, et de 490 mètres cubes dans les terrains argileux.

3° *Pertes par les portes.* Les pertes par les portes des écluses dépendent de la bonne ou mauvaise exécution, et de l'état d'entretien de celles-ci. Elles peuvent varier de 200 à 1,200 mètres cubes par vingt-quatre heures. Cette perte n'est à compter qu'une fois sur chaque versant.

4° *Remplissage des écluses* La dépense due à la traversée du point de partage par un bateau est facile à évaluer :

Appelons E le prisme compris par les parois du sas, entre les plans d'eau des biefs inférieurs et supérieurs, et V le volume d'eau déplacé par le bateau.

Quand celui-ci se présente pour remonter à l'écluse, on l'introduit dans le sas par les portes d'aval qu'on ferme ensuite. Après avoir ouvert les vannes supérieures, on introduit dans le sas un prisme d'eau précisément égal à E, puis on ouvre les portes d'amont, et on amène dans le bief supérieur le bateau, qui est remplacé, dans le sas, par un volume d'eau égal à V. Le bief supérieur perd donc, pour la montée d'un bateau, un volume égal à E, V.

Pour descendre, au contraire, le sas étant rempli d'un volume d'eau égal à E, on y introduit le bateau, qui fait refluer dans le bief un volume égal à V, puis on ferme la communication de ce bief avec le sas. Ce bief a donc perdu pour un bateau descendant une quantité d'eau égale à E—V.

Pour la traversée tout entière, la perte totale sera donc $E+V+E-V=2E$, sauf le cas où le bateau aurait augmenté ou diminué sa charge dans le parcours, ce qui diminuerait ou augmenterait la dépense de la différence entre le volume d'eau qu'il déplaçait primitivement et le volume modifié par le transbordement. Ce calcul est fait d'ailleurs dans l'hypothèse que les dimensions de toutes les écluses sont égales; dans le cas contraire, E devrait représenter pour chaque branche le volume du plus grand sas. Il y a donc intérêt pour l'économie d'eau à ce que toutes les écluses aient autant que possible des chutes égales.

Sur quelques canaux on a placé des écluses contiguës, dites accolées; cette disposition exige une grande dépense d'eau pour les bateaux remontants. En se rendant compte de leur jeu, on voit en effet que si *n* représente le nombre des écluses accolées, un bateau qui remonte dépense $E \times n + V$; celui qui descend ne dépense d'ailleurs que E—V. On fera donc bien, tant pour l'économie de l'eau que pour l'économie de temps dans la marche des bateaux, d'éviter d'accoler les écluses.

Quand deux bateaux se rencontrent à une écluse, en commençant par faire monter celui d'aval et en faisant passer l'autre après, on peut ne perdre qu'une éclusée pour ce double mouvement; mais ce cas se présente rarement.

En résumé, quand on peut prévoir le mouvement de la navigation, on peut se rendre compte avec assez de précision de la dépense d'eau qu'il occasionnera.

5° *Remplissage du canal après les chômages.* L'eau nécessaire pour remplir les biefs après leur mise à sec serait facile à calculer, si le sol était imperméable; mais il s'est ordinairement desséché, fendillé, et il absorbe beaucoup plus que le volume nécessaire au remplissage, par suite des pertes dues à l'imbibition et aux infiltrations.

Procédés d'alimentation. Les ressources destinées à faire face à toutes ces dépenses doivent être aménagées au point de partage : elles consistent dans les ruisseaux et les sources qui prennent naissance au-dessus du niveau du bief. Comme d'ordinaire ces cours d'eau à pentes rapides ne viennent pas converger sur le point qu'on a choisi, on est obligé d'aller les chercher au moyen de rigoles qui dérivent tout ou partie de leur produit.

Rigoles. La pente de ces rigoles doit être telle que la vitesse de l'eau soit au moins de 0m,20 ou 0m,36 par seconde, pour que les herbes et autres obstacles n'arrêtent pas son écoulement. On a intérêt à diminuer leur longueur, même au prix de dépenses plus grandes, pour atténuer les pertes dues à l'évaporation et aux infiltrations, ainsi que les chances d'ensablements provenant des terres entraînées par les orages sur les flancs des coteaux généralement abrupts où elles sont assises; quelquefois même on s'est vu obligé de les recouvrir d'une voûte.

Nécessité des réservoirs. Malheureusement les produits des sources et des ruisseaux sont loin d'être constants. Ainsi, dans certaines années, le débit des grandes eaux a été trouvé :

Au canal du Centre, huit fois plus fort que celui des basses eaux;

Au canal de Bourgogne, trente fois;

Au canal du Berry, cinq fois.

Et l'étiage coïncide d'ordinaire avec l'été, période où la navigation est la plus importante, et où les dépenses des biefs sont les plus grandes. Il faut donc mettre en réserve les eaux surabondantes d'hiver, pour les ajouter aux eaux insuffisantes d'été, et par conséquent si le bief de partage n'est pas assez vaste pour se servir à lui-même de réservoir, il faut en faire.

Réservoir. Un réservoir s'obtient en barrant une vallée au moyen d'une digue en terre ou en maçonnerie, traversée par un ou plusieurs aqueducs qui conduisent à volonté les eaux dans une rigole communiquant au bief de partage. Ces digues retiennent toutes les eaux et les produits des pluies qui arrivent dans la vallée, et forment un vaste étang d'où l'on est libre de tirer les eaux dont on a besoin, lorsque le service de la navigation l'exige.

Pour l'emplacement d'un réservoir, on choisit un vallon qui corresponde à un versant d'une grande étendue et à un ruisseau et des sources assez abondantes, et qui ait en un point de sa surface une portion resserrée où la digue puisse s'établir aux moindres frais. Il faut qu'en amont de la digue le fond du vallon ait peu de pente, que cet espace presque horizontal soit suivi au contraire d'une pente plus forte, et que les parois latérales se redressent le plus abruptes possible, afin que la capacité du réservoir soit assez considérable par rapport à sa superficie.

Par l'observation des volumes annuels des pluies, par le jaugeage des sources et des ruisseaux, on peut se rendre compte de la quantité d'eau qu'il sera possible d'amener au réservoir, et déterminer la hauteur qu'il faudra donner à la digue.

Dans certaines localités, on peut compter comme ressource d'alimentation des biefs les puits artésiens, et même les machines à vapeur qui élèvent les eaux inférieures jusqu'au niveau du point de partage. Les Anglais et les Belges ont fait de ce dernier procédé un fréquent usage. Le choix entre ces divers moyens est une question de dépense.

Tracé des branches descendantes. La direction générale des branches est déterminée par des considérations souvent indépendantes des questions d'art, telles que l'obligation de desservir des centres commerciaux existants, de déboucher à des points de la rivière déterminés, etc., qui sont en dehors de notre cadre. Quand cette direction est arrêtée, le problème à résoudre consiste à joindre les points de passage obligés par un tracé qui réunisse à la fois l'économie de dépense d'établissement et d'entretien, la plus grande facilité de circulation, les chances les plus probables d'alimentation.

On doit éviter les terrains de roches d'une difficile extraction, et dont les fentes sont toujours des causes de perte d'eau, les terrains de gravier perméable, et, pour les grandes tranchées, ceux d'argile fluide ou de schistes boueux.

Comme d'ordinaire le sol vers le pied des coteaux est formé de bonnes terres végétales, c'est là qu'il faudra chercher à s'établir, en se tenant toutefois en dehors de la zone d'inondation des cours d'eau parallèles, et en s'élevant assez pour donner une facile issue sous le canal aux ruisseaux provenant des vallées latérales, et pour établir les écluses sans faire des fouilles trop profondes à leurs abords.

Les écluses devront être ménagées de façon que leurs chutes soient à peu près égales, et que les biefs qui les séparent ne soient pas trop courts; car, dans ce dernier cas, leur niveau baisserait considérablement, par suite du passage d'un petit nombre de bateaux, et il faudrait le rétablir à chaque instant en empruntant de l'eau aux biefs supérieurs.

L'axe en plan ne doit pas présenter de coudes brusques, et les courbes doivent être d'un rayon proportionné à la longueur des bateaux destinés à fréquenter le canal, afin que ceux-ci puissent y tourner sans se heurter aux berges; il doit offrir aux abords des écluses des alignements droits qui aient au moins une largeur de 150 mètres de part et d'autre.

Enfin, on cherchera à le disposer de manière que le cube des déblais égale, autant que possible, celui des remblais.

Ces observations sur le tracé s'appliquent aussi bien à un canal latéral qu'aux branches d'un canal à point de partage.

OUVRAGES D'ART DES CANAUX.

Écluses. Une écluse peut être considérée comme composée de trois parties : 1° la tête d'amont; 2° le sas; 3° la tête d'aval (voir les fig. 1, 2 et 3).

1° La tête d'amont comprend : les musoirs *a* avec murs en retour *b*, les rainures des poutrelles *c*, les chardonnets *d*, les enclaves des portes *f*, la chambre des portes *ff*, le busc *g*, le garde-radier *s*, et souvent le mur de chute *v*;

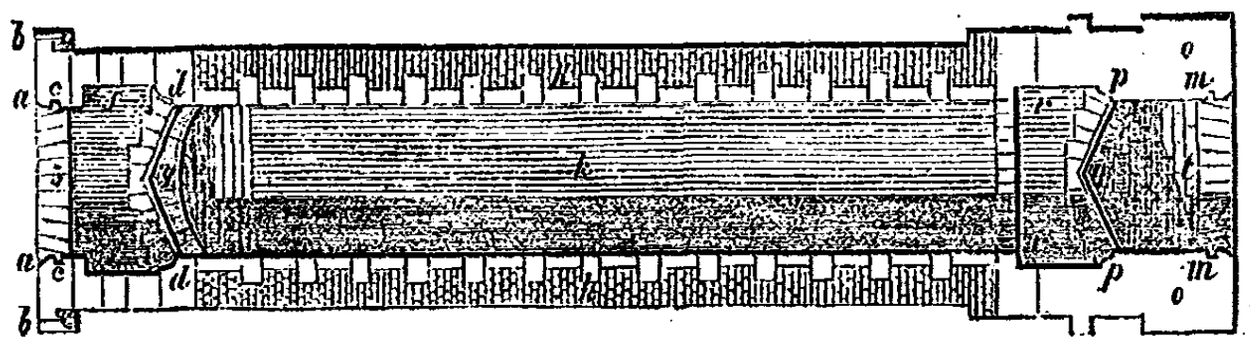
2° Le sas se compose des bajoyers *h* et du radier *k*;

3° La tête d'aval comprend les épaulements de fuite *o*, les rainures des poutrelles *m*, les chardonnets *p*, les enclaves *r*, la chambre des portes d'aval *rr*, le busc *q*, et l'arrière-radier *t*.

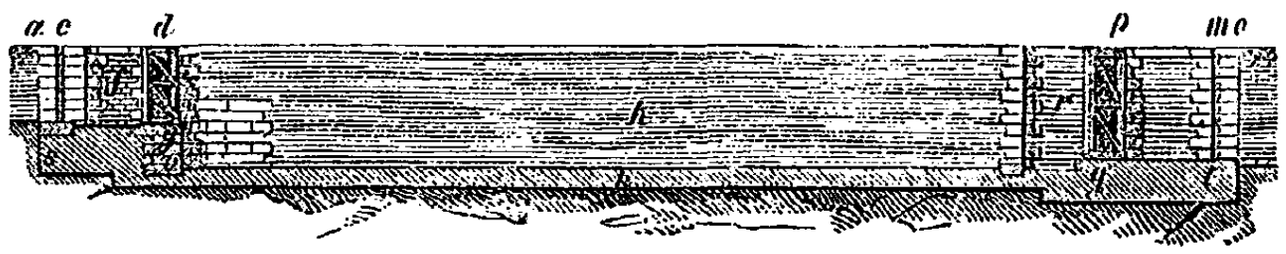
Les musoirs n'ont besoin d'être séparés que de la distance nécessaire pour laisser passer les bateaux avec un peu de jeu, environ 10 centimètres de chaque côté; ainsi, pour les bateaux de 5 mètres, de 7 mètres, etc., l'intervalle sera 5m,20, 7m,20, etc. La largeur du sas est généralement la même; cependant on lui a donné quelquefois une capacité suffisante pour contenir en même temps plusieurs bateaux, et dans ce cas, au lieu de le limiter latéralement par des murs verticaux, on l'a compris entre deux berges, taillées à 45 degrés et revêtues de perrés. Cette disposition a l'inconvénient de perdre, pour un bateau seul, beaucoup plus d'eau et de temps que pour plusieurs; on ne l'adopte donc que pour des circonstances exceptionnelles. Quant à la longueur du sas, elle est établie d'après la dimension des bateaux qui doivent fréquenter le canal.

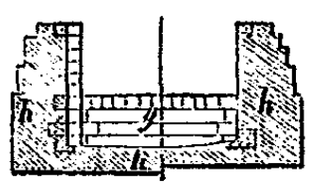
On termine d'ordinaire le parement intérieur des bajoyers suivant une ligne verticale; cependant les Anglais adoptent souvent la ligne courbe. Le parement du côté des terres peut s'élever avec des retraites, avec des talus, verticalement, ou même en surplomb sur les terres; parfois on le consolide avec des contre-forts.

On doit calculer son épaisseur en le regardant comme destiné, lorsque le sas est vide, à supporter la pression des terres extérieures, celles-ci étant supposées délayées. Généralement cette épaisseur est 0m,40 de la



4.





3.

hauteur; on a fait varier cependant ce rapport, dans plusieurs exemples, de 0m,30 à 0m,50.

Cette épaisseur doit être au moins la même le long de l'enclave des portes et des musoirs d'amont et d'aval.

La fermeture à chaque tête se compose de deux ventaux susceptibles de tourner chacun autour d'un axe vertical placé le long du chardonnet. Lorsque la porte est fermée, les deux ventaux s'arc-boutent l'un contre l'autre; ils sont appuyés à la partie inférieure contre le busc, portion du radier en saillie sur le reste de 0m,25 à 0m,30, et limitée par une ligne brisée formant, avec la ligne menée d'un chardonnet à l'autre, un triangle dont la hauteur varie entre le 1/7e et le 1/5e de la largeur de l'écluse.

Lorsque la porte est ouverte, chaque ventail vient se loger dans l'enclave, qui est refouillée à cet effet d'une quantité égale à l'épaisseur de la porte, plus un jeu de 10 centimètres.

Lorsqu'il y a un mur de chute, le dessus du busc d'amont est au niveau du fond du bief supérieur, et le dessus du busc d'aval est au niveau du fond du bief inférieur; le mur est destiné à racheter cette différence de hauteur. On le termine par une face cylindrique du côté du sas.

Lorsqu'on n'exécute pas de mur de chute, le dessus des deux buscs est au niveau du fond du bief inférieur, et la différence de hauteur est rachetée par une pente établie dans le plafond du bief supérieur jusqu'au garde-radier de la chambre des portes d'amont. Les deux portes doivent avoir alors la même hauteur pour l'amont et pour l'aval.

Chaque disposition a ses avantages et ses inconvénients.

Les rainures ouvertes dans les musoirs, larges de 20 à 40 centimètres en amont et en aval, sont destinées à recevoir des poutrelles pour former bâtardeau lorsqu'on veut faire des réparations à sec dans l'intérieur de l'écluse.

L'épaisseur du radier doit être calculée de manière à faire équilibre aux sous-pressions dues aux sources adjacentes, ou à la différence de hauteur de l'eau dans les deux biefs.

On exécute ordinairement en maçonnerie de pierres de taille les têtes, les musoirs, le couronnement, les enclaves, les chardonnets, les buscs, une portion du radier au pied du mur de chute, les arrière-radiers et les garde-radiers. Tous les autres parements peuvent être faits en moellons ou en briques.

Les buscs doivent être en pierres dures et appareillés en voûte. D'ordinaire on entaille leur arête pour y loger des pièces de bois de 0m,20 à 0m,25 d'équarrissage, qu'on nomme heurtoirs, et contre lesquelles les portes s'appuient. On appareille aussi en claveaux les deux chaînes de pierres de taille qui forment tête de radier en amont et en aval.

Portes d'écluse. On exécute les portes des écluses : 1° en bois, avec des ferrures pour les consolider; 2° en fonte, fer et tôle; 3° en fonte, bois, fer et tôle; 4° en fonte.

Le cadre de chaque ventail d'une porte en bois se compose de deux poteaux verticaux nommés, l'un poteau tourillon, l'autre poteau busqué, réunis par deux entre-toises horizontales. Le poteau tourillon est arrondi suivant la même courbure que le chardonnet sur lequel il s'appuie; le poteau busqué est taillé en biseau sur la face extrême, afin que les deux ventaux s'appuient ou busquent l'un contre l'autre suivant cette même face.

Le tourillon porte du bas sur une crapaudine et est maintenu du haut par un collier scellé solidement dans le bajoyer.

Les vides laissés par cette charpente sont recouverts par des madriers cloués sur la face d'amont. L'entre-toise inférieure et l'about du poteau busqué ne descendent pas jusqu'au radier de la chambre des portes; ils en sont éloignés de 0m,05 ou 0m,06, afin que pour un léger abaissement du ventail il n'y ait pas de frottement contre la surface de ce radier. L'entre-toise supérieure est quelquefois posée à la hauteur du couronnement du radier; d'autres fois elle s'élève à environ 0m,80 au-dessus de ce couronnement et se prolonge par un balancier, chargé à son extrémité de manière à faire contre-poids au ventail.

L'espacement des entre-toises intermédiaires et leur équarrissage se calculent en tenant compte de la pression variable que doit subir la porte à différentes hauteurs.

Le jeu des assemblages de cette charpente tend à faire baisser le poteau busqué; pour s'opposer à ce mouvement, on relie les poteaux et les entre-toises par une pièce inclinée, nommée bracon, qui part du pied du poteau tourillon, embrasse les entre-toises intermédiaires et s'assemble dans la face inférieure de l'entre-toise supérieure, près de son point de jonction avec le poteau busqué.

On peut suppléer à l'emploi de cette pièce, en ajouter

à son action, au moyen d'une écharpe en fer, fixée d'un bout en haut du poteau tourillon, et de l'autre au pied du poteau busqué; cette écharpe est garnie d'une mouffle à coins qui permettrait de relever la porte si elle avait baissé.

Les assemblages des poteaux avec les entre-toises, qui se font par tenons et mortaises, sont consolidés par des étriers ou des équerres en fer.

On a fait au canal du Nivernais des portes d'écluses dont le poteau tourillon est en fonte creuse avec une âme en bois à l'intérieur; le poteau busqué est formé d'une bande de fer encastrée dans un poteau en bois; enfin les entre-toises sont en fonte, et le revêtement est formé de feuilles de tôle reliées entre elles par des rivets.

On a exécuté à l'écluse de Marly des portes dont chaque ventail a 7 mètres de hauteur et 6m,94 de largeur. Leur charpente se compose d'un poteau tourillon en fonte, d'un poteau busqué en bois renforcé par de la tôle, et de huit entre-toises en bois et fer, également espacées.

Chaque entre-toise est formée d'une pièce de bois de 0m,18 d'épaisseur, dont les faces, inférieure et supérieure, sont recouvertes d'une lame de tôle, rendue solidaire avec le bois au moyen d'un grand nombre de boulons à écrous.

Cette carcasse est revêtue de feuilles de tôle de 0m,005 d'épaisseur.

On a fait au canal Saint-Denis des portes totalement en fonte; mais ce système présente beaucoup de dangers, parce que la fonte éclate facilement sous des chocs violents, comme ceux auxquels sont exposés les ventaux de la part des bateaux qui se meuvent dans les écluses.

Les portes se manœuvrent par différents procédés, soit au moyen des balanciers formant le prolongement de l'entre-toise supérieure, soit par des cordages et des bielles attachés à la partie supérieure du poteau busqué et mus par des cabestans, soit par des crémaillères ou des arcs en fonte dentés, attachés à l'entre-toise supérieure, et mus par un pignon à axe vertical établi sur la tablette du bajoyer.

Introduction de l'eau dans les sas. Pour faire entrer l'eau dans les sas et pour l'en faire sortir, sans ouvrir les portes, on se sert d'aqueducs ou tambours pratiqués dans l'épaisseur des bajoyers, et qui communiquent du sas dans le bief d'amont ou d'aval. Ces aqueducs débouchent ordinairement dans la face d'un bajoyer; l'eau qui en sort frappe les bateaux latéralement et les pousse contre le bajoyer opposé. Pour éviter cet inconvénient, on a cherché à faire arriver l'eau de bas en haut, en donnant aux aqueducs la forme de syphons; mais les syphons exigent des appareils compliqués, obligent à descendre plus bas la fondation du mur de chute, et il est presque impossible de les réparer sans démolir celui-ci.

Les orifices des aqueducs et syphons sont formés par des vannes, qu'on hausse et qu'on baisse lorsqu'on veut ouvrir ou intercepter la communication.

On remplace aujourd'hui ces appareils par des ventelles placées à la partie inférieure des portes. A cet effet, on ménage, dans le ventail, une ouverture fermée par une vanne, que l'on élève ou abaisse au moyen d'une tige qui s'élève au-dessus de la porte et qui est saisie par un engrenage ou un levier. Les meilleures vannes sont celles en fonte, glissant sur des coulisseaux en fer.

Prise d'eau. Un canal latéral prend ordinairement sa source dans la rivière qu'il côtoie, soit par une communication directe, soit par une dérivation faite de la rivière, à un point situé en amont.

La prise d'eau exige des études approfondies, pour donner toutes les facilités désirables dans la manœuvre des bateaux, pour que la sortie en rivière ou l'entrée en canal soient également commodes à toutes les hauteurs d'eau navigables, pour avoir toujours à l'entrée une profondeur suffisante. Une prise d'eau doit être insubmersible dans les crues, afin d'éviter les dégradations que causeraient l'épanchement des grandes eaux et les envasements de la dérivation par le dépôt des troubles. A cet effet on ferme d'ordinaire l'entrée du canal par des portes de garde, qui se relient à deux levées longitudinales, dont la crête est supérieure au niveau des inondations.

Entrée en rivière ou en mer. Un canal, à la fin de son parcours, rentre en rivière ou débouche séparément dans des eaux où celle-ci aboutit, tels que mers ou lacs. Dans chacun de ces cas, il faut le diriger de l'amont sur l'aval, pour faciliter les mouvements d'entrée et de sortie des bateaux et éviter les atterrissements; il faut se réserver les moyens de faire des chasses pour nettoyer l'embouchure; enfin il faut tracer le dernier bief assez long et assez large, pour qu'un grand nombre de bateaux puissent s'y garer et y stationner sans nuire à la circulation journalière.

Si l'on a lieu de craindre que les crues de la rivière ou les mouvements de la marée ne s'élèvent beaucoup au-dessus du niveau permanent des eaux dans le dernier bief, il est souvent avantageux de le rendre insubmersible par des portes spéciales de flot, opposées à l'action momentanée des crues ou à l'action périodique de la mer.

Introduction des eaux d'alimentation. Dans le parcours d'un canal, surtout s'il est d'une grande étendue, l'eau introduite par la dérivation ou le bief de partage serait tout à fait insuffisante pour maintenir constamment le niveau de tous les biefs à la même hauteur, et restituer les pertes provenant de l'évaporation, des infiltrations, des éclusées, etc.; aussi doit-on toujours se réserver des moyens d'échelonner, sur différents points du parcours, des prises d'eau accessoires.

Il serait évidemment impossible de les demander à la rivière, dont le niveau est constamment plus bas que celui du canal: on les obtient par des dérivations faites dans les cours d'eau secondaires, qui viennent se jeter dans cette rivière le plus souvent avec de fortes pentes, ou bien par des rigoles, communiquant avec des réservoirs établis dans des vallées latérales.

L'eau provenant des rigoles alimentaires est introduite dans le canal par un aqueduc de prise d'eau qui passe sous la digue, et dont le radier est au niveau du plafond du bief. On ménage, dans les culées de l'aqueduc, des coulisses pour recevoir une vanne, qu'on peut fermer pour arrêter l'introduction de l'eau, lorsque l'alimentation ordinaire est suffisante et à l'époque des crues de l'affluent, afin que le canal ne soit pas submergé ou même envahi par des eaux troubles.

Cette vanne a encore un autre but, c'est de permettre de réparer la rigole, tout en maintenant dans le canal les eaux à la hauteur voulue; on peut, en effet, une fois la vanne fermée, vider la rigole au moyen d'un déversoir de fond ménagé en un point de son parcours, et qui, dans les circonstances ordinaires, se trouve clos par une ventelle glissant entre deux coulisseaux.

Déversoirs de fond et de superficie. Comme dans un bief il peut arriver assez d'eau pour élever son niveau au-dessus du niveau normal, on établit à travers les digues des déversoirs de superficie, par lesquels le trop-plein s'épanche à l'extérieur, et, pour pourvoir au cas où il est indispensable de vider un bief, soit dans le but de faire des réparations aux ouvrages, soit afin de sauver un bateau échoué, on place dans l'étendue du bief un ou plusieurs déversoirs de fond fermés par des vannes.

Un même ouvrage peut d'ailleurs remplir les deux buts. Un aqueduc traverse la digue et a son radier au

CANAL.

niveau du plafond du canal. Les deux piédroits sont garnis, à l'aval, de rainures dans lesquelles on glisse des poutrelles, dont la partie supérieure affleure le niveau du bief. Quand les poutrelles sont posées, on a un déversoir de superficie; quand elles sont enlevées, on a un déversoir de fond.

Il est plus important qu'on ne pourrait le supposer d'éviter que le plan d'eau supérieur ne s'élève au delà de ses limites; car il arrive presque toujours que les digues sont percées, un peu au-dessus du niveau ordinaire, par une multitude de trous creusés par les rats et les taupes. Si l'eau venait à surmonter ces trous, elle s'y écoulerait, les agrandirait, et ne tarderait pas à dégrader et même à rompre la digue.

Profil en travers d'un canal. La largeur d'un canal se calcule d'ordinaire sur celle des bateaux qui sont destinés à le fréquenter. On s'arrange toujours, excepté dans les points de sujétion particuliers, pour que deux bateaux puissent se croiser; ainsi on donne 10 mètres de largeur au plafond, aux canaux dont les écluses ont $5^m,20$ de passage, 12 mètres à ceux dont les écluses ont $6^m,50$, 15 mètres pour les écluses de $7^m,50$ à 8 mètres.

Les talus de la cuvette sont dressés suivant une inclinaison de $1^m,5$ à 2 mètres, ou même $2^m,5$ de base pour 1 de hauteur, suivant que le terrain est plus ou moins résistant; du reste, cette pente ne reste pas permanente, le batillage des eaux, le frottement des bateaux pleins ou vides, l'ont bientôt dégradée et transformée en un profil courbe, s'approchant de la verticale dans le haut et de l'horizontale dans le bas. Pour prévenir cet effet on a employé divers moyens : on a revêtu les talus de perrés, de clayonnages, de bordages retenus par des piquets; mais ces procédés sont dispendieux d'établissement et d'entretien. Ailleurs on a établi, un peu au-dessous du niveau de l'eau, de petites banquettes qu'on a plantées d'iris, de glaïeuls, de roseaux, destinés à rompre l'action de l'eau et à retenir les terres; mais ce moyen est insuffisant.

Sur les points où l'établissement d'un canal offre de grandes difficultés, comme dans les tranchées profondes, sur les remblais élevés, dans la traversée des villages, il peut y avoir économie à réduire la largeur du canal à celle nécessaire pour un bateau; mais dans ce cas il faut ménager, soit aux extrémités de la partie rétrécie, soit dans cet intervalle même, des gares où les bateaux puissent se croiser.

Dans la traversée des villes, aux ports d'embarquement et de décharge, il est presque toujours indispensable de supprimer les talus et de soutenir les berges par des maçonneries, soit en pierres sèches, soit avec mortier.

Les bateaux peuvent accoster ces quais, et les manœuvres de charge et de décharge sont rendues bien plus faciles.

La profondeur qu'on donne à un canal doit être telle qu'elle laisse une lame d'eau d'environ $0^m,40$ d'épaisseur sous les bateaux à charge complète; cette limite n'a pas été atteinte dans tous les canaux, mais elle a un double avantage: elle rend les curages moins fréquents, et le premier dépôt vaseux, qui remplit l'excès de profondeur, peut être conservé comme un bon corroi contre les filtrations du fond.

Le chemin de halage doit être placé le plus près possible du canal, pour que le tirage se fasse à peu près horizontalement dans le sens de la marche du bateau, et assez élevé au-dessus du plan d'eau pour que les petites vagues ne viennent pas le surmonter. Cette hauteur varie ordinairement de $0^m,40$ à $0^m,80$, et dépend de l'exposition aux vents régnants, de la profondeur et de la largeur du canal.

La largeur de la banquette dépend du mode de halage employé. Pour des hommes, $1^m,50$ à 2 mètres suffisent; mais pour des chevaux, il est nécessaire de lui donner au moins 3 mètres; on a été jusqu'à 6 mètres quand le terrain n'était pas cher.

Plusieurs canaux en France ont un chemin de halage de chaque côté. Quelque coûteuse que soit cette disposition, elle est quelquefois indispensable. Dans les grands vents, qui poussent le bateau contre la rive d'où on le tire, le halage deviendrait impossible, si on ne pouvait faire passer les chevaux d'une rive sur l'autre.

Là où il n'y a qu'un seul chemin de halage, on établit de l'autre côté une petite banquette de 1 mètre à $1^m,50$, appelée *marche-pied*.

Au delà du chemin de halage et à la limite des propriétés riveraines, on établit des contre-fossés destinés à recevoir, soit les eaux folles provenant des terrains voisins, soit les eaux d'infiltration du canal lui-même; les pentes de ces contre-fossés permettent d'évacuer ces eaux dans les ruisseaux voisins, ou même de les amener dans le bief inférieur, après qu'elles se sont purifiées des sables et des terres qu'elles charrient.

Enfin, quand un canal longe un cours d'eau, il est toujours indispensable de le mettre à l'abri des crues au moyen d'une contre-digue dont les talus, du côté de la rivière, sont préservés des érosions, des chocs de glace et de corps flottants, par des revêtissages solides.

Traversée des affluents. Un canal étant toujours placé sur le flanc d'un coteau, coupe tous les affluents du cours d'eau qui occupe le fond de la vallée. Il faut alors se décider à recevoir ces affluents dans le canal, ou leur donner un libre cours sous la cuvette. Dans les canaux le plus anciennement construits, on a adopté le premier parti, dans le but, soit d'augmenter les moyens d'alimentation, soit d'éviter la dépense de nombreux ouvrages d'art; mais on a toujours eu lieu de s'en repentir. En effet, ces affluents sont presque constamment chargés de troubles, qui se déposent dans le lit du canal et l'envasent; de plus, ils sont toujours sujets à des crues subites qui peuvent en fort peu de temps hausser le niveau du bief, jusqu'à le faire déborder et rompre les digues.

Il vaut donc mieux, toutes les fois que cela est possible, et sans craindre la dépense, adopter le dernier parti.

Si le ruisseau est très faible, on le dérive dans le contre-fossé; si celui-ci n'a pas d'écoulement, on donne passage aux eaux au moyen d'une simple buse en bois, ou, ce qui vaut mieux, d'un tuyau en fonte. Le dessus de celui-ci peut arraser le fond de la cuvette, de sorte qu'on peut l'établir partout où le canal est élevé à une faible hauteur au-dessus du terrain naturel.

Aqueducs. Si le ruisseau a plus d'importance, il faut établir un aqueduc spécial sous les berges et la cuvette. Le débouché doit être calculé, non pas sur l'état moyen des eaux, mais sur le débit des crues de l'affluent. En tout cas, comme il est important de pénétrer sous la voûte pour la visiter et la réparer, on ne doit guère lui donner moins de $0^m,60$ de largeur sur $1^m,40$ de hauteur.

Quand l'aqueduc est des plus faibles dimensions, on termine les têtes par des rampants qui affleurent le talus extérieur des digues; s'il est plus considérable, on termine la voûte à l'aplomb de l'arête extérieure du chemin de halage et on soutient les terres par deux murs en ailes. Parfois, pour économiser la dépense, on rétrécit la voie d'eau à la largeur d'un bateau.

Ce procédé n'est évidemment applicable que dans le cas où le fond du lit du ruisseau est placé à une profondeur assez considérable au-dessous de la cuvette; mais lorsque le niveau du ruisseau est très rapproché du niveau du canal, et qu'il est impossible de le dériver, pour aller chercher un point de passage plus propice,

on est réduit à le faire passer sous le canal par un aqueduc en siphon.

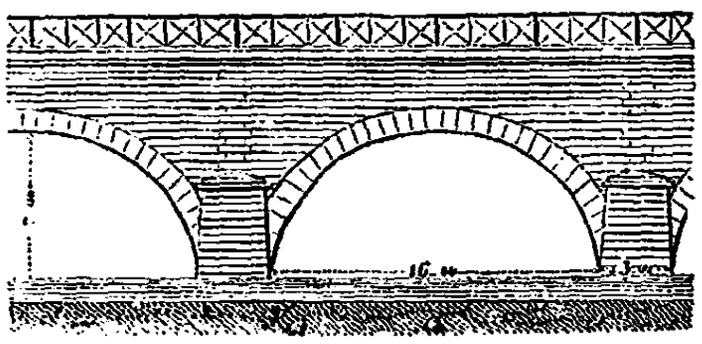
Siphons. Ce genre d'ouvrage présente de grands inconvénients, et ne peut d'ailleurs s'appliquer qu'à des affluents de peu d'importance. On ne peut le visiter, le curer et le réparer, qu'en détournant ou retenant momentanément le ruisseau et en épuisant l'eau qui reste dans la partie coudée. Quand le cours d'eau charrie des sables ou des graviers, ils engorgent souvent la branche horizontale, parce qu'ils ne peuvent pas être entraînés, par la force ascensionnelle de l'eau, vers la bouche d'aval ; enfin s'il survient un orage pendant que le bief est à sec, la voûte, privée de sa surcharge, soumise à une sous-pression considérable, qui s'exerce en sens inverse de son mode de résistance normale, est soulevée et l'ouvrage est à refaire. Pour prévenir ce dernier inconvénient, on peut remplacer la voûte en maçonnerie par un demi-cylindre en fonte boulonné dans les piédroits, au moyen de longs tirants en fer pénétrant jusqu'aux fondations, et retenus ainsi en place par le poids total des maçonneries. Ce procédé a été appliqué au passage du Grand-Morin, sous le canal de Meaux à Chalifert. Les têtes étant noyées aux époques des inondations, l'aqueduc fonctionne alors par syphonnement ; les demi-cylindres ont $2^m,50$ de diamètre.

Si un affluent a des crues abondantes, un aqueduc à syphon, suffisant pour les débiter, serait le plus souvent un ouvrage si considérable et si chanceux, qu'il vaut mieux modifier le projet du tracé du bief et le déplacer, pour trouver le moyen de faire un aqueduc ordinaire ou un pont-canal.

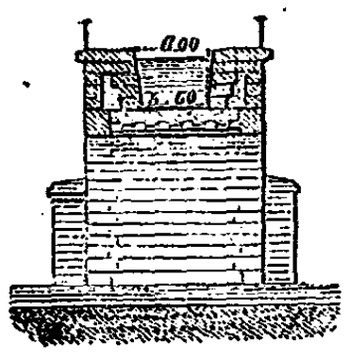
Ponts-canaux. Ces ouvrages s'exécutent pour la traversée des cours d'eau importants, et même des rivières qui occupent le fond de la vallée, lorsqu'il s'agit de faire passer le canal d'un versant sur le versant opposé. Ils se composent d'un pont ordinaire, sur lequel on établit une cuvette propre à contenir les eaux.

Les plus grands ponts-canaux que nous ayons actuellement en France sont établis sur l'Allier, au Guétin, et sur la Loire, à Digoin.

Le pont sur l'Allier (fig. 4 et 5) a une longueur totale de 405 mètres sur une largeur de $9^m,50$: il se compose de dix-huit arches de 16 mètres d'ouverture et 7 mètres de flèche ; il est terminé par trois écluses à sas accolées sur sa culée gauche. Il a coûté 3 millions.



(Élévation.) 4.



(Coupe en travers.) 5.

Le pont-canal de Digoin présente onze arches de même dimension. Il a aussi la même largeur, et sa longueur est de 247 mètres. Une seule écluse est accolée à sa culée. Il n'a coûté que 1,200,000 fr.

Les voûtes, les piles et culées d'un pont-canal sont établies sur le même principe que celles des ponts ordinaires, en tenant seulement compte d'une charge bien supérieure à celle que supportent ces derniers ouvrages.

On réduit naturellement la section de la cuvette à celle qui est nécessaire pour le passage d'un seul bateau ; cependant on doit lui donner une largeur un peu plus grande qu'aux écluses, afin de laisser plus de passage pour l'eau qui doit se déplacer le long du bateau pour aller de l'avant à l'arrière, et dont la résistance ralentirait considérablement le mouvement. Ainsi, à Digoin, pour des écluses de $5^m,20$, on a donné à la cuvette 6 mètres de largeur en gueule et $5^m,60$ au fond, et on regrette de n'avoir pas accru ces dimensions Il est nécessaire, en effet, sur un canal très fréquenté que les bateaux puissent franchir rapidement un pont, parce qu'il y a toujours une ou plusieurs écluses à l'aval, et qu'un bateau descendant, qui doit remplacer dans le sas le bateau montant, est forcé d'attendre, pour s'engager, que ce dernier ait franchi les écluses et le pont.

La largeur entre les têtes doit comprendre, outre le lit du canal, l'épaisseur des parapets ou garde-corps et les banquettes du halage. La largeur de celles-ci varie de $1^m,30$ à $1^m,90$.

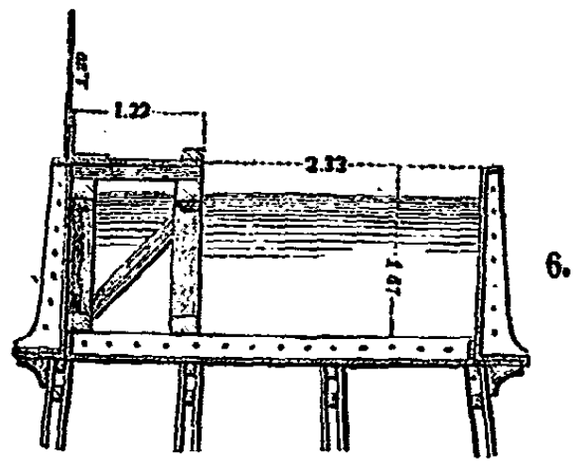
Une des qualités les plus importantes et les plus difficiles à réaliser pour une cuvette, c'est l'imperméabilité. Les filtrations, en effet, outre les pertes d'eau qu'elles produisent, dégradent les maçonneries et exigent de fréquentes réparations. Les dilatations et les contractions résultant des variations de température, et auxquelles les mortiers et les pierres elles-mêmes sont sujets, ne permettent pas d'obtenir des résultats satisfaisants des maçonneries et des bétons, quelque bien exécutés qu'ils soient. Il faut recourir à une substance douée d'une certaine élasticité, comme le bitume. L'essai fait de cet emploi, au Guetin, a bien réussi.

On a revêtu le fond et les bords de la cuvette avec des dalles de lave de Volvic, et par-dessus on a appliqué deux couches d'enduit en bitume, donnant ensemble $0^m,04$ d'épaisseur, et dont la supérieure était placée à joints croisés sur la première. Les parois sont d'ailleurs soigneusement garanties du frottement et du choc des bateaux par une lisse en charpente.

On peut ainsi employer, pour faire la cuvette, d'autres matériaux que la maçonnerie ; on en a exécuté en bois, en fonte et en tôle.

Les cuvettes en bois durent peu et sont d'un entretien coûteux ; aussi a-t-on complétement renoncé à leur usage. Celles en tôle et en fonte, au contraire, n'exigent pas d'entretien, restent bien étanches, et n'ont d'autre inconvénient que le haut prix de leur établissement.

En Angleterre, où le fer et la fonte sont à meilleur marché qu'en France, on a fait des ponts-aqueducs avec voûte en pierre et cuvette en fonte, d'autres avec des arcs et une cuvette en fonte.



6.

La cuvette du pont-canal de Cisilty (fig. 6), soutenue

sur quatre arcs, est composée de plaques de fer fondu de 0m,02 d'épaisseur, dont les bords sont retournés d'équerre et assemblés avec des boulons à écrous très rapprochés. Pour rendre les joints étanches, on y a interposé du cuir graissé. La banquette de halage est intérieure à la cuvette et repose sur son fond au moyen de poteaux espacés. Il résulte de cette dernière disposition un jeu libre des eaux, en dehors de la voie des bateaux, qui doit faciliter beaucoup la marche de ceux-ci.

On en a exécuté un en France, d'après les mêmes dispositions, sur la haute Seine, en aval de Troyes.

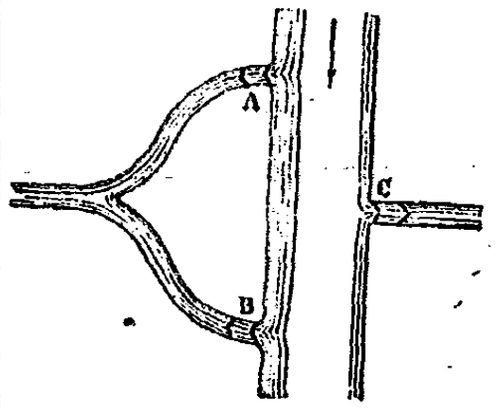
D'après des expériences récentes faites en Angleterre sur une grande échelle, il est très probable qu'à l'avenir les ponts-canaux pourront être exécutés en tôle avec une grande économie. Un tube formé de lames de tôle assemblées à rivets, comme dans les chaudières à vapeur, supporte sur une grande portée de très fortes charges sans fléchir et se déformer. Deux tubes parallèles de cette espèce, formant en même temps banquette de halage, pourraient supporter une cuvette en tôle comprise entre eux et dans laquelle passeraient les eaux de navigation. Nous n'insisterons pas sur cette disposition, qui n'a pas encore été exécutée; nous ferons seulement observer, qu'en supprimant les voûtes, elle permettrait de descendre plus bas le plafond de la cuvette, de diminuer la hauteur des piles et culées, de supprimer au moins une écluse à la sortie du pont-canal, et enfin d'offrir aux eaux que l'on traverse un débouché plus considérable lors des crues. Il y aurait donc dans les dépenses accessoires de fortes économies, qui compenseraient bien le haut prix de la tôle, et on obtiendrait une cuvette bien étanche qui n'exigerait presque aucuns frais d'entretien.

Aux points où la cuvette d'un pont-canal vient rejoindre les remblais de grande hauteur, qui font d'ordinaire suite à cet ouvrage, les terres, quelque bien damées qu'elles soient, n'adhèrent pas à la maçonnerie, et, par suite du tassement, il se forme entre elles et les remblais un passage pour l'eau; aussi plusieurs ponts-aqueducs ont montré d'abondantes filtrations aux culées, lors de la première mise en eau du canal, et chez plusieurs elles ont persisté, malgré l'emploi de nombreux procédés d'étanchement. Pour prévenir ce défaut, il est d'usage de former le remblai contre la culée, sur 0m,50 à 0m,60 d'épaisseur, d'un mortier maigre (1 chaux, 7 sable) bien battu contre les maçonneries. Il adhère à la culée et se lie aussi aux corrois de glaise, qu'on ajoute pour assurer l'imperméabilité.

Traversée dans le lit des rivières. Quelquefois, pour éviter les dépenses de construction d'un pont-aqueduc, et lorsque l'alimentation de chacune des branches du canal, situées sur les deux versants de la vallée, est assurée par des ressources qui lui sont propres, on se décide à effectuer la traversée en lit de rivière. Nous donnerons, comme exemple, la traversée de la Loire par le canal latéral, et celle de la rivière d'Orb par le canal du Midi. On fait descendre chaque branche du canal jusqu'au niveau du cours d'eau au moyen d'une série d'écluses, par lesquelles un bateau descendant d'un côté, après avoir traversé la rivière, remonte dans l'autre branche.

Les seules difficultés qu'on ait à vaincre sont celles qui dépendent du régime même de la rivière, dans le lit de laquelle on est presque toujours obligé de faire des ouvrages dispendieux, tels qu'épis, estacades, barrages, digues submersibles, pour amortir le courant, maintenir une profondeur d'eau minimum dans la ligne que suivent les bateaux et diriger la marche de ceux-ci, afin qu'ils puissent venir sans danger embecqueter les écluses d'entrée et de sortie.

Quand la rivière a un courant assez fort pour que les bateaux, qui ne sont pas construits pour une navigation fluviale, éprouvent une grande difficulté à le remonter ou à le traverser directement, on peut bifurquer le dernier bief d'une des branches (fig. 7), celui de la rive droite par exemple, de manière à fournir deux entrées en rivière, situées l'une A en amont, l'autre B en aval de l'écluse C de sortie de la branche de la rive gauche. Un bateau, pour passer de gauche à droite, entre par l'écluse A dans le courant qui le conduit à l'écluse C, et pour passer de droite à gauche, il entre en rivière par l'écluse C et descend à l'écluse B.



7.

Un passage en rivière, outre qu'il est toujours difficultueux comme manœuvre et dangereux pour la sûreté des bateaux, a de plus le notable inconvénient de suspendre la navigation lors des crues, qui ne permettent pas aux embarcations de s'engager dans le courant, et noient les écluses d'entrée et de sortie.

Passage des torrents dans le canal. Il est arrivé qu'un canal a rencontré à niveau le lit d'un torrent, qui reste à sec pendant la plus grande partie de l'année, et ne fournit des eaux abondantes que pendant quelques heures, aux périodes des orages et des fontes de neige. On s'est décidé à faire passer ce courant accidentel à travers les berges et le lit du canal, en suspendant la navigation dans la durée de son passage; mais, pour éviter l'inondation du bief et les dépôts des matières charriées, il était nécessaire de fermer au torrent l'accès de la cuvette. Voici le procédé ingénieux qu'on a appliqué au canal du Midi pour le passage du torrent du Libron : on emploie une espèce de barque rectangulaire, que, pendant les crues du Libron, l'on échoue sur le canal dans la direction du torrent. Les parois de cette barque, transversales à l'axe du torrent, sont à charnières et se rabattent dans le plan de son lit, tandis que les parois longitudinales restent debout et barrent le canal. Dans cette situation, le bateau forme une espèce de cuvette, dans laquelle le Libron s'écoule, sans communication aucune avec le bief. Après la crue passée, on relève les parois rabattues, on remet la barque à flot et on la remise dans une gare latérale.

Digues des réservoirs. Les digues peuvent être établies suivant trois systèmes :

1° Remblais seuls; 2° murs et remblais; 3° mur seul.

Digues en terre. On donne aux digues en terre au moins 6 mètres d'épaisseur au sommet; la crête de ce remblai doit être tenue à une hauteur minimum de 1m,50 au-dessus du niveau que l'eau doit atteindre dans le réservoir; il faut de plus couronner cette crête d'un pavé fait avec soin et la garnir d'un parapet. Souvent même on sera obligé d'augmenter ces dimensions pour empêcher les vagues de franchir la digue; car l'intensité de celles-ci sous l'action des vents violents dépend de l'orientation du vallon, de l'étendue de la surface de l'étang et de sa profondeur; on a observé au réservoir de Chazilly, qui a 1500 mètres de longueur et 20 mètres de profondeur d'eau, des vagues de 3 mètres de hauteur; on en a reconnu de 2 mètres au réservoir de Cercey, qui a une forme circulaire de 900 mètres de diamètre et une profondeur de 10 mètres. On comprend aisément l'importance qu'il y a à ne pas laisser franchir le couronnement par les vagues; celles-ci en effet auraient promptement raviné les talus extérieurs du remblai et créé des brèches, qui pourraient entraîner la ruine de l'ouvrage tout entier.

L'inclinaison à donner aux talus des digues dépend nécessairement de la nature des terres employées à leur exécution; elle a varié dans les divers cas de 1 1/4 à 3 de base pour 1 de hauteur; quelques ingénieurs ont donné plus de base aux talus intérieurs qu'aux talus extérieurs; d'autres ont fait le contraire. Les parements des remblais tendant toujours à prendre un profil concave, plus raide vers le haut et plus doux vers le bas, on a proposé de donner de suite aux talus extérieurs une forme analogue, en composant le profil comme il suit : la partie supérieure aurait 1 1/2 de base pour 1 de hauteur; puis on disposerait une banquette horizontale suivie d'un second talus à 2 de base, enfin une deuxième banquette suivie d'un talus à 3 de base. Cette disposition serait surtout applicable aux remblais en terres argileuses glissantes, d'une hauteur assez considérable.

L'établissement de ces remblais exige des soins minutieux; on doit chercher à les former avec des terres grasses, à la fois argileuses et sablonneuses. Quand on ne peut pas disposer d'une quantité suffisante de celles-ci pour en faire le corps du remblai, on se borne à établir, dans le milieu du massif, un noyau argilo-sablonneux, qu'on enracine profondément dans le terrain naturel du fond et des côtés du vallon.

Les terres doivent être damées, par couches de 8 à 10 centimètres au plus, avec des battes dont la surface soit entaillée en creux, de manière à laisser des reliefs qui unissent la couche actuelle avec la suivante; il est bon aussi avant de travailler une couche de l'arroser avec du lait de chaux, qui donne au remblai une grande consistance; enfin le travail doit être mené assez lentement pour ne pas donner lieu à des tassements par masses, propres à déterminer des fissures qui ne se ferment jamais complétement.

Le parement intérieur doit être revêtu d'un perré posé par assises réglées ou à joints incertains ou même d'un simple enrochement, destinés à préserver la surface mouillée des corrosions, dues aux vagues et aux divers mouvements de l'eau, quand elle hausse ou baisse dans le réservoir. Cependant des expériences récentes et des accidents consécutifs, survenus à des digues du canal du Centre qu'on avait successivement surélevées, ont démontré que ces revêtements étaient insuffisants pour des profondeurs d'eau considérables; on a essayé de revêtir ce talus avec de petits murs à gradins et indépendants les uns des autres.

Voici le profil qui a parfaitement réussi à M. l'ingénieur Vallée dans la réparation de la digue de l'étang Berthaud, rompue en 1829. A mesure que l'on relevait la digue, on construisait les ouvrages défensifs des talus d'amont. Les ouvrages consistent en une suite de petits murs à gradins, espacés de $1^m,32$ les uns des autres, construits en bonne maçonnerie hydraulique avec des moellons posés par assises horizontales. Les murs échelonnés, suivant l'inclinaison des talus, sont reliés entre eux, du sommet de l'un au pied de l'autre, par des bermes présentant une pente de $0^m,40$ sur $1^m,72$ de longueur et recouvertes de maçonnerie de béton sur 10 à 12 centimètres d'épaisseur. Le sommet des murs est exécuté en moellons posés de champ.

Digues mixtes. Les principaux exemples de digues de cette nature se trouvent au bassin de Saint-Ferréol, où la charge d'eau est de $31^m,35$ et à celui de Couson où la charge est de 30 mètres.

Le premier se compose d'une digue en terre, de 140 mètres de largeur à la base, soutenue et consolidée par deux murs extrêmes. Un troisième mur est construit à peu près au milieu de la digue. Les terres dont les talus sont très doux arrivent à l'aval au niveau du sommet du mur central, et à l'amont, seulement à $9^m,40$ en contre-bas de ce même niveau, de sorte que, lorsque les eaux sont basses dans le bassin, la partie supérieure de ce mur, sur une hauteur d'un peu plus de 9 mètres, supporte sans contre-poids le massif de terre qui est derrière lui.

L'épaisseur des murs extrêmes doit s'établir suivant les mêmes règles que les épaisseurs des murs de soutènement, en faisant entrer toutefois, pour le mur d'amont, cette considération que les terres qu'il a à supporter, après la vidange du bassin, sont complétement imbibés d'eau. Quant au mur central, son épaisseur doit être calculée sur la surcharge qu'il reçoit du massif d'aval, cette épaisseur devant être bien suffisante pour assurer l'imperméabilité, seule fonction sérieuse qu'il paraisse destiné à remplir.

La digue de Couson est établie sur le même modèle, sauf quelques variantes dans les dimensions.

Ce système paraît devoir être le moins économique de tous, car l'ensemble des maçonneries qu'il exige représente un cube, au moins égal à celui qui serait nécessaire, pour faire un mur unique; les remblais sont donc une dépense en excédant; aussi l'a-t-on abandonné et ne le retrouve-t-on plus que dans les barrages des anciens réservoirs.

Digues en maçonnerie. Celles-ci consistent soit dans un simple mur, dont les parements sont en ligne droite ou profilés par retraites successives, soit dans un mur soutenu par des contre-forts, aussi en maçonnerie. On doit se proposer dans sa construction : 1° De bien enraciner les fondations et les flancs dans le sol, de manière qu'aucune filtration ne puisse s'établir en dessous ou à côté; 2° de lui donner une épaisseur qui suffise pour résister à la poussée du liquide; 3° de rendre la maçonnerie parfaitement pleine et imperméable.

La première condition exige que le terrain sur lequel on fonde et celui des deux coteaux soient formés et compactes; pour s'opposer aux infiltrations sous les murs, on dispose, sous l'amont et l'aval des fondations, des enracinements en maçonnerie ou en béton, de 1 mètre à $1^m,50$ de profondeur, sur une largeur qui peut aller jusqu'à 3 mètres, et qui règnent tout le long du mur. L'étude attentive du terrain est d'une très grande importance pour le succès, car on a vu des terrains qu'il fallait entamer au pic et à la mine, pour creuser ces fondations, devenir perméables sous une grande pression d'eau.

Pour trouver l'épaisseur, supposée égale sur toute la hauteur du mur, qui peut faire équilibre à la poussée des eaux du réservoir, M. Navier donne deux formules théoriques :

L'une $E = 0{,}59\, h \sqrt{\frac{\text{densité de l'eau}}{\text{densité de la maçonnerie}}}$ pour la résistance au renversement;

L'autre $E' = \frac{h}{2F} \times \frac{\text{densité de l'eau}}{\text{densité de la maçonnerie}}$ pour la résistance au glissement.

h étant la hauteur totale depuis la base des fondations; F étant le rapport du frottement à la pression eu égard à la résistance du terrain en aval des fondations.

Dans les cas les plus défavorables, ces formules deviennent :

$$E = 0{,}41 \times h$$
$$E' = 0{,}50 \times h.$$

Il ne faut cependant les considérer que comme des minima, au-dessous desquels on ne doit pas descendre dans la pratique, car, au réservoir de Grosbois (canal de Bourgogne), où l'épaisseur est égale à 1,65 de l'épaisseur théorique, nécessaire pour résister à la poussée, des lézardes se sont prononcées avant que les eaux fussent arrivées à leur hauteur définitive.

Le mur du réservoir de Bosméléac (canal de Nantes à Brest) dont les parements sont, l'un incliné, l'autre

vertical, supporte une charge de 44m,30 avec une épaisseur moyenne d'environ 7m,00. On peut le regarder comme présentant un cube minimum de maçonnerie.

Le mur du réservoir de Vioreau, dont les deux parois sont verticales, supporte une charge de 10 mètres d'eau avec une épaisseur de 8 mètres; il y a évidemment trop de maçonnerie. On se tiendra dans de bonnes limites, en cherchant l'épaisseur donnée par les formules précédentes, dans lesquelles on aura substitué les valeurs, qui se rapportent au cas que l'on considère, et en doublant la dimension ainsi déterminée.

La longueur du mur est aussi une considération, qui peut modifier les conditions d'établissement d'un réservoir. Les maçonneries jouissent d'une certaine élasticité, qui, pour être très faible sur un mètre linéaire, n'en devient pas moins sensible sur une grande longueur; elles peuvent donc subir, sous la charge, une flexion à laquelle on a essayé de s'opposer, en établissant, de distance en distance, des contre-forts assez puissants pour qu'on puisse les considérer comme aussi fixes que les enracinements dans les coteaux. Le mur total est ainsi divisé théoriquement en une série de murs partiels, d'une étendue bien moindre, et sur lesquels par conséquent la tendance à la flexion se trouve diminuée dans une énorme proportion. Cette théorie de la flexion n'est pas admise par tous les ingénieurs.

Pour que les maçonneries soient bien étanches, il faut éviter tous tassements inégaux, et par conséquent n'employer que des matériaux de dimensions et de natures homogènes, n'accepter que des mortiers éminemment hydrauliques, et apporter à l'exécution du travail les soins les plus minutieux dans les moindres détails; parfois on a interposé, dans les massifs, des cloisons imperméables; ainsi au réservoir de Vioreau, une tranche de béton, de 2 mètres d'épaisseur, sépare le corps du barrage en deux parties égales; le mur du milieu du réservoir de Couson a reçu intérieurement un corroi de terre glaise, de 1 mètre d'épaisseur. Du reste on n'a pas encore rencontré de mur absolument imperméable sous une pression d'eau considérable, surtout dans les premiers temps où le réservoir se remplit; toujours il se forme quelques suintements plus ou moins énergiques qui parfois persistent, parfois finissent par disparaître avec le temps.

Choix du système de digue. Lorsqu'il s'agit de choisir, dans un cas particulier, le système de digue à employer, on doit se déterminer par les considérations suivantes :

1° Les fondations des murs exigeant des terrains d'une grande résistance, tandis que les digues en terre, qui ont un empâtement considérable, peuvent être assises sur presque tous les terrains, il faudra préférer celles-ci, lorsque des sondages auront fait reconnaître un sous-sol d'une faible résistance.

2° Les conditions d'imperméabilité, de bonnes soudures avec le terrain naturel dans le fond et sur les côtés du vallon, de résistance à l'action du temps et des dégradations latentes, paraissent être en faveur des digues en bonnes terres.

3° Pour supporter une grande profondeur d'eau, pour résister à l'action des vagues et des variations fréquentes de niveau du réservoir, aux chances de déversement par-dessus la crête, les murs ont incontestablement l'avantage.

Enfin dans tous les cas où les considérations précédentes laisseraient le constructeur en suspens, il se déciderait par la comparaison de la dépense, dont les éléments sont évidemment variables avec les dispositions spéciales à chaque localité.

Prise d'eau des reservoirs. On tire l'eau des réservoirs par le moyen d'aqueducs formés par des vannes, ou par des tuyaux de conduite fermés par des robinets. L'aqueduc est unique et par conséquent placé à la partie inférieure de la digue, ou bien on en établit plusieurs à divers étages; cette dernière disposition a pour avantage de rendre la manœuvre des vannes bien plus facile; en effet, dans le premier cas, la vanne unique doit être manœuvrée sous la charge totale due à la hauteur de l'eau du réservoir; dans le second cas au contraire, comme on n'ouvre la seconde vanne que lorsque l'eau est descendue au niveau de la première, cette seconde vanne n'a plus à supporter qu'une charge, correspondant à la différence de hauteur des deux orifices, et ainsi des autres

L'eau, à l'issue de ces aqueducs, est reçue, soit dans des tranchées tracées à différentes hauteurs sur les flancs des coteaux et communiquant avec la rigole principale, comme au bassin de Lampy, soit dans un puits unique pratiqué dans le massif du barrage et débouchant dans la rigole, comme aux réservoirs de Grosbois et de Chazilly.

Un aqueduc doit pouvoir être visité et réparé; aussi lui donne-t-on au moins 0m,80 de largeur et 1m,30 de hauteur dans tout son parcours, sauf à l'aplomb de la crête intérieure de la digue, où l'ouverture est rétrécie de manière à ne laisser à l'eau qu'un passage rectangulaire de 0m,40 à 0m,50 de côté. C'est contre les bords de cet orifice que glisse la vanne, dont la tige traverse un puits vertical en maçonnerie élevé jusqu'au sommet de la digue, d'où on manœuvre cette vanne, soit avec un levier, soit avec une vis.

Quand un aqueduc traverse une digue en terre, il faut le fonder solidement, et pour rompre les filtrations entre les terres et la maçonnerie, l'entourer en tous sens, de 10 en 10 mètres au moins, d'espèces de contre-forts en saillie, qui brisent les lignes droites qu'offriraient les parements dans le sens de la longueur.

Au réservoir de Saint-Féréol, on a ajouté aux aqueducs trois tuyaux scellés dans le mur du milieu, qui sont garnis en amont d'une grille, et terminés en aval par des robinets de 0m,20 de diamètre. Ces robinets, quand ils sont ouverts, ont, par suite de la pression de l'eau qui leur arrive, une grande tendance à se soulever, et on les maintient par une vis de pression, qui pèse sur leur tête.

Cette disposition a été imitée au réservoir de Couson.

Déversoirs. Pour débiter le trop plein des eaux provenant des cours d'eau qui alimentent le réservoir, ou des orages et des fontes de neige, on ménage un déversoir de superficie, que des conditions d'économie et de solidité font toujours accoler au fleuve de la vallée; il débouche dans une rigole qui communique avec le thalweg, ou quelquefois, comme à l'étang de Torcy, il forme une série de cascades, propres à rompre la vitesse des eaux avant leur arrivée dans le fond du vallon; on a soin de recevoir chaque chute dans une espèce de bassin ayant au moins 1 mètre de profondeur, afin que l'eau qui y est contenue forme un matelas qui préserve le radier contre les effets de la lame qui tombe verticalement d'une assez grande hauteur.

Comme les ruisseaux, qui débouchent dans l'étang, charrient à l'époque des crues, il est bon, pour éviter les dépôts dans le bassin, d'établir des dérivations qui permettent de conduire directement ces ruisseaux, lors de leurs troubles, au déversoir de superficie sans qu'ils traversent l'étang.

Enfin, une bonde de fond est indispensable pour vider entièrement le réservoir, lorsqu'on veut le curer ou faire quelques réparations au pied des digues.

CAPACITÉS DE QUELQUES RÉSERVOIRS.

CANAL	RÉSERVOIRS	NATURE de la digue.	HAUTEUR d'eau maximum.	CAPACITÉ.
				m. c.
Du Midi.	De Saint-Féréol.	Terre et murs.	34,35	6,374,000
—	De Lampy.	Mur.	45,65	1,672,000
De Givors.	De Couson.	Terre et murs.	30,00	2,000,100
De Bourgogne.	De Grosbois.	Mur.	21,00	8,586,000
—	De Chazilly.	Mur.	22,00	5,327,000
—	De Corcey.	Terre.	42,00	3,740,000
De Nantes à Brest. . . .	De Vioreau.	Mur.	40,00	7,497,000
D'Ille et Rance.	Du Boulet.	Terre.	6,70	6,000,000
Du Centre.	De Torcy.	Terre et revêt. maçonnés	41,00	2,380,000
De Briare.	De la Grande-Rue. . . .	Terre.	8,10	5,400,000

Souterrains. Toutes les fois qu'on aurait à ouvrir des tranchées trop considérables, surtout dans des terrains où les talus se tiendraient difficilement, on les remplace par des souterrains. On ne peut pas assigner *à priori* la hauteur à laquelle on doit se limiter pour les tranchées; cependant on est dans l'usage d'étudier les frais d'un souterrain, lorsqu'elles devraient avoir de 18 à 20 mètres de profondeur; on se décide alors pour le procédé le plus économique.

Le halage peut s'y faire de différentes manières, soit en établissant une ou deux banquettes latérales de 1m à 1m,30 de largeur, sur lesquelles passent les haleurs, soit au moyen d'une lisse en fer, établie le long des murs et sur laquelle les mariniers prennent leur point d'appui pour faire avancer les bateaux; il y a même des canaux où deux hommes, placés sur le dos dans le bateau, agissent avec leurs pieds contre les parois du souterrain.

Comme les dépenses et les difficultés d'exécution de ces ouvrages croissent bien plus vite que les largeurs de débouchés, on ne leur donne d'ordinaire que la largeur suffisante pour le passage d'un bateau, en y ajoutant un jeu de 1m à 1m,30 pour permettre à l'eau déplacée de s'écouler; on peut, dans le même but, augmenter la profondeur, ce qui fait croître notablement la section du liquide, sans influer d'une manière importante sur la dépense d'établissement.

La coupe en travers d'un souterrain présente deux piédroits verticaux, ou légèrement courbés, surmontés d'une voûte en plein cintre, en ellipse ou en ogive; dans les mauvais terrains, les bases des piédroits se trouvent contrebuttées l'une contre l'autre par une voûte renversée d'une faible flèche, formant le fond de la cuvette. Les banquettes de halage sont établies le long des piédroits, elles sont en maçonnerie pleine, ou supportées sur des arcades évidées en dessous, ou soutenues en encorbellement.

L'épaisseur à donner à la voûte d'un souterrain varie avec la portée de cette voûte et la nature du sol qu'elle est appelée à soutenir; plusieurs roches, par exemple, ne font que s'altérer à la surface par le contact de l'air et les alternatives d'humidité et de sécheresse; il suffit, pour prévenir les accidents, de les revêtir d'un parement en maçonnerie de 0m,20 à 0m,30 d'épaisseur au plus. Si on a à supporter des marnes, des argiles, des sables, etc., l'épaisseur à la clef peut aller jusqu'à 0m,70 pour les petites sections et 1 mètre pour les grandes.

L'exécution des souterrains présente toujours de sérieuses difficultés, qu'on ne peut résoudre qu'à prix d'argent; leur prix de revient n'est guère moindre que 1,000 fr., et s'élève parfois à 3,500 fr. le mètre courant, pour des largeurs de 8 à 10 mètres.

Renseignements historiques et statistiques. Les Égyptiens sont les premiers qui aient établi des canaux comme voies de communication, et encore la plupart de ces travaux avaient surtout pour but d'employer la surabondance des eaux du Nil à l'irrigation des terres desséchées par le soleil brûlant de l'Égypte. Les plus importants de ces canaux étaient le grand canal qui réunissait au Nil Alexandrie et le lac Maréotis, et le canal de l'isthme de Suez. Ces grands travaux, faute d'entretien, ne permettaient plus la circulation des barques de pêcheurs à la fin du siècle dernier, lorsqu'à l'époque de l'expédition de l'Égypte les ingénieurs français rétablirent le canal d'Alexandrie.

Dans l'antiquité nous voyons Alexandre le Grand projeter l'ouverture de l'isthme de Corinthe. Rome creuse le canal des marais pontins et exécute les *émissaires* pour assurer le niveau de plusieurs lacs en Italie; un des *émissaires* exécuté avec le plus de célérité fut celui qui devait abaisser le niveau du lac Albano près de Véies; un autre ouvrage analogue, mais bien plus important, fut exécuté sous le règne de Claude : il avait pour but d'opérer le desséchement complet du lac Fucin. Trente mille hommes furent pendant dix ans employés à ces travaux, et Claude, séduit par l'idée de faire dessécher complétement le lac à sa parole, causa la ruine des travaux qu'il avait fait exécuter : après une fête magnifique donnée sur le lac pour l'inauguration, les digues qui le séparaient de l'émissaire furent ouvertes, et les eaux s'y précipitèrent avec une telle furie, qu'une partie des travaux furent renversés; ils n'ont jamais été repris. Sous les empereurs beaucoup de canaux sont ouverts auprès des bouches du Pô. Ils projettent d'établir un canal de la Saône à la Moselle, qui devait ainsi réunir la Méditerranée à l'Océan. Charlemagne fait commencer un canal qui doit réunir le Rhin au Danube; il veut ainsi réunir les extrémités de son vaste empire; mais il est forcé d'abandonner ce projet à cause des difficultés qu'il présente.

Deux ingénieurs italiens imaginent les écluses à sas dans les premières années du XVe siècle. Bientôt cette importante innovation est appliquée dans les Etats de Venise, en Hollande, etc. Elle est importée en France par Léonard de Vinci au commencement du XVIe siècle. C'est seulement alors qu'on tire toute l'application possible de cette écluse et qu'on commence à comprendre qu'outre la sécurité qu'elle offre aux bateaux elle permet la navigation avec une réduction considérable dans la dépense d'eau. Bientôt surgissent des projets de toutes parts; on veut réunir l'Océan à la Méditerranée; *Adam de Craponne* fait le projet d'union du Rhône à la Loire, et exécute un canal d'irrigation

de vingt lieues de longueur dans les plaines desséchées de la Provence. De 1605 à 1610, le canal de Briare, qui unissait Paris à la Loire, est exécuté par *Boutéroue et Guyon*; celui du Languedoc, concédé à Pierre Paul *Riquet* de Bonrepos, et dont les difficultés étaient considérables, est terminé en vingt-quatre ans; commencé en 1666 il est livré à la navigation en 1684; et avant la fin du siècle divers canaux réunissent ce canal au Rhône, et une seconde communication est pratiquée entre la Loire et la Seine. Le grand Vauban exécute en France de nouveaux canaux et indique les moyens de joindre la Saône à la Loire et la Loire à la Vilaine.

Les travaux de canalisation continuèrent en France jusqu'à la révolution; alors ils furent forcément suspendus. Mais Napoléon les reprit activement, et bientôt furent livrés à la navigation les canaux de Sedan, de Saint Quentin, de Mons à Condé. D'autres, commencés alors, ont été exécutés depuis. En 1821 et 1822, des lois autorisent les emprunts nécessaires pour terminer les canaux du Rhône au Rhin, de la Somme, de Bourgogne, du Nivernais, du Berry, de Nantes à Brest, d'Ille-et-Rance, du Blavet, d'Arles à Bouc. Enfin on ouvrit encore de nouvelles voies de communication qui aujourd'hui sont complétement terminées, et qui comptent en France 14,500 kilom. de développement.

On a de plus canalisé en France un certain nombre de rivières, au moyen de barrages éclusés et d'autres travaux exécutés dans leur lit; cette navigation fluviale, qui vient s'ajouter à celle des canaux, présente un développement d'au moins 8,000 kilomètres.

Jusqu'au milieu du dix-huitième siècle les Anglais étaient restés bien en arrière de la France pour la navigation intérieure; mais depuis lors leur activité s'est portée de ce côté et ils ont doté leur pays de nombreux canaux, qui ont beaucoup ajouté à la richesse nationale.

Avant eux et avant nous, les Hollandais, dont le sol bas et humide s'y prêtait parfaitement, avaient sillonné leur territoire de canaux, dont plusieurs avaient une profondeur suffisante pour recevoir des bâtiments de mer.

Sauf le canal qui relie le Rhin au Danube, et quelques canaux en Suède, il n'existe pas, dans les pays de l'Europe, situés à l'est et au midi de la France et de la Hollande, de ligne de navigation artificielle qui mérite d'être citée.

En Amérique, aux États-Unis et dans une partie du Canada, la navigation intérieure a un très grand développement, et on évalue à 8,000 le nombre de kilomètres actuellement achevés de canaux de navigation.

En comparant à la population de chaque pays la longueur totale des canaux exécutés, en France, en Angleterre et aux Etats-Unis, on trouve les rapports suivants :

La France à 125 kilomètres de canaux par million d'habitants, tandis que l'Angleterre (Ecosse et Irlande comprises) en compte 164 kilomètres, et les États-Unis 333 kilomètres pour le même nombre de têtes.

Du reste, dans chacun de ces pays, la répartition sur la surface est fort inégale; chez nous le nord et le nord-est, aux Etats-Unis le nord, et en Angleterre le sud sont plus richement dotés de ces voies de communication que le reste de ces contrées.

La dépense d'établissement des canaux est, comme on le conçoit, très variable. En France, un ensemble de dix lignes comprenant les trois canaux de Bretagne, le canal de Bourgogne, ceux du Rhône au Rhin, d'Arles à Bouc, latéral à la Loire, du Berry, du Nivernais et du Centre, formant une longueur de 1,970 kilomètres, a coûté 270 millions, ce qui donne, par kilomètre, une moyenne de 137,000 fr. On a calculé qu'une somme de 40 millions sera nécessaire pour les achever complétement, ce qui portera à 157,000 fr. le prix moyen de revient du kilomètre.

Parmi eux le canal de Bourgogne, complétement achevé, aura coûté 253,000 fr. par kilomètre, tandis que celui du Rhône au Rhin n'aura exigé que 90,000 fr., et celui du Berry que 80,000 fr.; il est vrai que ce dernier est à petite section.

On estime que le canal latéral à la Garonne aura coûté, après son achèvement, sur une longueur de 204 kilomètres, 65 millions, ou 319,000 fr. par kilomètre.

Il faut qu'un canal donne au commerce de bien précieux avantages, pour qu'on se décide à de pareilles dépenses. En effet, sur un canal, le déplacement d'un très lourd fardeau n'exige que peu de force; deux hommes et un cheval suffisent pour mettre en mouvement un bateau chargé.

Les frais de traction par roulage ordinaire sur une bonne route macadamisée s'élèvent, en moyenne, à 20 centimes par tonne et par kilomètre; tandis que sur un canal en bon état ces mêmes frais ne s'élèvent qu'à 1 centime et demi.

Ainsi, en admettant qu'il n'y ait aucun péage sur le canal, comme cela existe sur les routes, une tonne de marchandise parcourrait treize fois plus de chemin pour le même prix. Aussi un canal dépossède-t-il toujours le roulage pour les marchandises lourdes et encombrantes qui n'ont pas besoin de vitesse. La lutte avec un chemin de fer est beaucoup plus inégale, parce que les frais de traction sur celui-ci ne s'élèvent guère qu'à 5 ou 6 centimes par tonne et par kilomètre, et qu'il présente des conditions de rapidité, de régularité et d'exploitation unitaire que la batellerie n'a pas pu atteindre jusqu'ici.

Le remorquage à la vapeur est malheureusement impossible sur les canaux parce que les vagues, soulevées par les roues et par un bateau rapidement lancé, dégradent les berges très promptement; et d'ailleurs l'obligation de stationner pendant un temps assez long à chaque écluse ferait perdre la plus grande partie du bénéfice de vitesse gagné dans le parcours des biefs.

Sur la plupart des canaux, on exige un péage dont le revenu est destiné à couvrir les frais d'administration et d'entretien, plus l'intérêt et l'amortissement du capital dépensé pour la construction. Ce péage est souvent fort élevé, surtout en Angleterre et en Amérique, où il dépasse d'ordinaire le fret proprement dit. Dans le premier de ces pays, avant l'établissement des chemins de fer, les canaux étaient autorisés à percevoir jusqu'à 0^{m},39 par tonne et par kilomètre; mais, depuis la venue de ces dangereux concurrents, ils ont été obligés de réduire ces tarifs considérablement, et cette réduction ne s'est arrêtée que lorsqu'ils se furent mis d'accord avec eux, après une lutte désastreuse. Ainsi pouvait-on citer alors tel canal dont le revenu était égal au capital de construction.

Aux Etats-Unis, le canal Érié perçoit 6 centimes pour la marchandise; d'autres grandes lignes prennent 9, 11 et même 14 centimes. Ce prix est dépassé sur les lignes de faible longueur; au canal de la Delaware à la Chesapeak, il s'élève à 19 centimes, et au petit canal de Louisville, à 53 centimes. En France, sur le canal du Midi, où un service accéléré de Toulouse à Beaucaire parcourt, en 118 heures, environ 360 kilomètres de longueur, le fret ne revient qu'à 4 cent., et le péage est de 8 cent.; on doit le réduire à 6 cent. lors de la mise en eau du canal latéral à la Garonne.

Le canal de Briare avait autrefois un tarif de 12 à 14 cent.; mais depuis l'établissement du chemin de fer d'Orléans, il l'a baissé de telle sorte que les objets sont partagés en cinq classes, qui sont taxées à 5, 4, 3, 2, 1 1/2 cent.

Les péages perçus dans les années 1847, 1848, 1849

sur les principaux canaux administrés par l'Etat ont été en moyenne :

	cent.
Canal de Bourgogne.	3,009
Canal du Rhône au Rhin. . . .	1,282
Canal latéral à la Loire. . . .	1,766
Canal du Centre.	1,434
Canal du Nivernais.	1,950
Canal du Berry.	1,660
Canal d'Arles à Bouc.	1,915
Canal de Nantes à Brest. . . .	1,366

Ce qui donne, en moyenne générale, 1c., 846 par tonne et par kilomètre; mais les résultats ne sont nullement rémunérateurs.

Ainsi la recette des dix canaux qui forment ensemble une ligne de navigation de 1,970 kilomètres, n'a produit dans la période de six années, comprise entre le 31 décembre 1844 et le 1er janvier 1851, que 25,297,327 fr.; les frais d'administration et d'entretien ont été de 21,921,852 fr., l'excédant n'a donc été que de 3,375,475 fr. pour six ans, ou 562,579 fr. par an, c'est seulement 1/5 p. 100 du capital de 270 millions, qu'a coûté leur établissement. La spéculation serait donc mauvaise, si le mouvement commercial et la richesse produite dans le pays par les débouchés ouverts ne venaient couvrir, pour l'Etat, au-delà des avances qu'il a faites. On estime, en effet, la circulation à plus de 400,000 tonnes par an, parcourant le réseau tout entier.

PRINCIPAUX CANAUX FRANÇAIS.

NOM DU CANAL.	COMMUNICATION établie de	BASSINS réunis ou parcourus	NOMBRE d'écluses.	PENTES totales.	LARGEUR des écluses.	LONGUEURS totales.
				m.	m.	m.
Latéral à l'Aisne. . .	l'Aisne à l'Aisne. . . .	la Seine.	8	17,30	5,20	51,500
De l'Aisne à la Marne[1].	l'Aisne à la Marne. . .	la Seine.	24	64,35	5,20	58,200
Des Ardennes[2]. . . .	la Meuse à l'Aisne. . .	la Meuse et la Seine. . .	45	123,38	5,20	93,567
Du Berry[3].	la Loire à la Loire. . .	Loire-Inférieure et Sup	115	245,63	2,70	320,183
De Bourgogne[4]. . . .	l'Yonne à la Saône. . .	la Seine et le Rhône. . .	191	499,37	5,20	242,044
De Briare[5].	la Loire au canal de Loing	la Loire et la Seine. . .	40	117,00	4,60	55,155
Du Centre[6].	la Loire à la Saône. . .	la Loire et le Rhône. . .	81	209,07	5,20	116,859
Latéral à la Garonne. .	can. du Midi à la Garonne	la Garonne.	56	82,30	6,00	193,387
D'Ille et Rance[7]. . .	la Vilaine à la Rance. .	la Vilaine et la Rance. .	48	104,52	4,71	84,797
Du Loing[8].	canal de Briare à la Seine.	la Loire et la Seine. . .	21	39,44	5,00	44,539
Latéral à la Loire. . .	canal du Centre à celui de Briare.	la Loire.	42	107,03	5,20	197,049
Latéral à la Marne. . .	la Marne à la Marne. . .	la Seine.	14	26,90	5,20	63,510
De la Marne au Rhin[9].	canal latéral de la Marne au Rhin.	la Seine, la Meuse et le Rhin.	180	471,04	5,20	315,013
Du Midi[10].	la Garonne à l'étang de Thau.	la Garonne et la Méditerranée.	99	252,00	5,80 à 6,00	240,983
De Nantes à Brest[11]. .	la Loire à la rade de Brest.	la Loire, la Vilaine, le Blavet, l'Aulne. . . .	235	548,94	4,70	367,241
Du Nivernais[12]. . . .	la Loire à l'Yonne. . .	la Loire et la Seine. . .	111	240,39	5,20	174,616
D'Orléans[13].	la Loire au canal du Loing	la Loire et la Seine. . .	28	71,60	4,70	73,305
Du Rhône au Rhin[14]. .	la Saône à la riv. d'Ille.	le Rhône et le Rhin. . .	172	374,11	5,20	321,933
De Roanne à Digoin. .	la Loire à la Loire. . . .	la Loire.	12	36,85	6,20	55,072
De Saint-Quentin[15]. .	l'Escaut à la Seine. . .	l'Esc., la Somme, la Seine	35	79,05	5,20	93,360

[1] Un point de partage. — [2] *Idem.* — [3] *Id.* — [4] *Id.* — [5] *Id.* — [6] *Id.* — [7] *Id.* — [8] *Id.* — [9] Deux points de partage. — [10] Un point de partage. — [11] Trois points de partage. — [12] Un point de partage. — [13] *Id.* — [14] *Id.* — [15] Deux points de partage.

Pour les canaux à point de partage, la pente totale se compose de la somme des pentes ascendantes et descendantes.

DÉGLIN.

CANEVAS. On appelle ainsi une sorte de grosse toile à jour, de chanvre, de lin ou de coton, dont les fils enlacés carrément reçoivent et dirigent le point de la broderie en tapisserie,

Pour obtenir le meilleur canevas possible, on emploie généralement des fils de coton blanchis et doublés en 3, 4 et 5 brins. On les encolle et apprête à la main sur des *moulins ou dévidoirs ordinaires*, afin de leur donner *le lustre et la fermeté*. La méthode ordinaire d'apprêter les fils avant le tissage exige beaucoup de temps et une foule de soins minutieux, que les fabricants de canevas pourraient éviter sûrement en employant les procédés et machines à apprêter les *gazes, organdis*, etc.

Lorsque les carreaux du canevas sont irréguliers, ce qui arrive toujours lorsque *les duites sont mal frappées*, les fils qui le constituent ne sont pas parallèles et uniformes; dans ce cas, les contours du dessin exécuté d'après un modèle donné sont altérés, et souvent le canevas lui-même n'est pas suffisamment *garni* ou rempli par les points de tapisserie. On dit alors que la tapisserie est *mal piquée*, pour dire que les points ne sont pas uniformes et réguliers; toutefois l'artiste brodeuse la plus habile ne saurait donner une belle apparence à une tapisserie faite sur un canevas irrégulier.

Depuis plusieurs années on fait usage d'un canevas particulier, principalement pour la tapisserie *au gros-point*. Ce canevas, dit *canevas Pénélope*, est tissé comme la toile ordinaire, avec cette différence qu'on fait lever à la fois deux fils de chaîne passés dans la même dent du peigne, et qu'on frappe et tasse deux fils de trame d'un seul coup de battant.

Un nouveau genre de canevas ou plutôt de tapisserie

en partie exécutée se rencontre aujourd'hui dans le commerce, nous voulons parler du canevas dit Jacquart, qui porte le fond tissé et le dessin réservé, ou inversement.

Application. Le canevas Jacquart, exécuté suivant les deux modes spécifiés plus haut, remplace avec un grand avantage les canevas désunis pour l'exécution de la tapisserie que les dames brodent à la main, et satisfait à leurs exigences, soit qu'elles désirent broder un dessin, sans avoir l'embarras d'exécuter le fond qui se trouve ainsi fait par avance, soit qu'elles veuillent un fond seulement et s'épargner les difficultés et le travail du dessin, qui s'exécute plus économiquement par ce procédé de tissage.

Enfin cette tapisserie, exécutée complétement sur canevas, présente dans son aspect optique quelque similitude avec les tissus pour tentures, mais elle la surpasse par la multiplicité des couleurs que l'on peut employer.

A notre tour, nous proposerions la fabrication d'un canevas pour la tapisserie, dite *au point des Gobelins*, lequel serait fait avec deux fils de chaîne dans chaque dent du peigne, comme le canevas Pénélope, et tissé comme la toile ordinaire, de manière cependant à former des mailles ou vides plus allongés, dans le sens de la largeur de l'étoffe. ROUGET DE LISLE.

CANNE A SUCRE. Voyez SUCRE.

CANNELLE (*angl.* cinnamon, *all.* zimmt). On appelle ainsi le liber du *laurus cinnamomum*, arbre qui croît à Java, Sumatra, Ceylan et dans les îles Moluques, et qui atteint une hauteur de 6 à 7 mètres. On l'obtient, en coupant les branches de l'arbre, au bout de leur troisième année, enlevant d'abord la couche corticale extérieure avec un couteau à deux tranchants, puis fendant longitudinalement le liber, et le dépouillant d'une seule pièce. On le laisse ensuite sécher au soleil, où il se roule sur lui-même, puis on le met en paquets de 10 à 15 kilogr. que l'on livre au commerce.

La cannelle de bonne qualité est presque aussi mince que du papier; elle possède une saveur aromatique très agréable, qui ne brûle pas la langue, et qui laisse dans la bouche un arrière goût doucereux. Les petits fragments que l'on ne peut livrer au commerce, sont distillés à Ceylan avec de l'eau et servent à préparer l'essence de cannelle.

CANNETILLE. On nomme ainsi un fil de métal très délié que l'on enroule en spirale sur une broche cylindrique, absolument comme s'il s'agissait de faire un *ressort à boudin*. On retire la broche, et la cannetille est ensuite employée à divers usages, particulièrement à faire des *paillettes*, qui servent surtout dans la broderie d'or et d'argent; à cet effet, on coupe chaque tour de spire, et on l'aplatit au marteau, de manière à ce que chacun des brins de fil de métal prenne la forme d'un petit disque fendu par le côté et percé au centre.

CANONS. Voyez ARMES A FEU, BRONZE, BOUCHES A FEU et *Complément* CANONS RAYÉS, BOULETS.

CAOUTCHOUC, GOMME ÉLASTIQUE (*angl.* caoutchouc, indian-rubber, *all.* kautschuk, federharz). Le caoutchouc, qu'on désigne aussi sous le nom de gomme élastique, est renfermé dans le suc laiteux de plusieurs végétaux, et particulièrement dans celui du *siphonia cahucha* ou *hevea guianensis*, du *jatropha elastica*, du *castilleja elastica*, du *cecropia pellata*, etc. La presque totalité du caoutchouc livré au commerce est extraite du premier de ces arbres qui croît dans l'Amérique du Sud et dans l'île de Java.

Le caoutchouc que l'on trouve dans le commerce est ordinairement sous la forme de poires lisses ou tatouées de divers dessins, et généralement de couleur brune. Pour obtenir ces poires, on forme des moules piriformes en terre, et après avoir appliqué une première couche de suc sur le moule desséché, on la fait sécher en l'exposant au soleil, ou le plus souvent au-dessus d'un feu dont la fumée noircit le caoutchouc; on applique ensuite une seconde couche de suc, une troisième, et ainsi de suite; on les fait sécher de la même manière que la première. Quand la couche de caoutchouc est suffisamment épaisse, on jette la poire dans de l'eau pour ramollir la terre, que l'on fait sortir par une ouverture ménagée au haut de la poire. Le caoutchouc ainsi obtenu est coloré en noir par de la fumée, et contient en outre toutes les matières étrangères qui existaient dans le suc. Le caoutchouc se rencontre aussi dans le commerce en plaques épaisses ou en cylindres de couleur blanche, jaune ou brune. Depuis quelques années, on envoie de temps en temps le suc lui-même en Europe, dans des flacons complétement remplis et bien bouchés.

Le suc tel qu'il nous arrive est jaune grisâtre pâle, et offre la consistance de la crème; sa pesanteur spécifique est de 1,012; appliqué en couches minces sur un corps solide, il se solidifie promptement en une membrane de caoutchouc élastique brun jaunâtre, tenace et flexible, dont le poids forme les 0,45 de celui du suc. Quand on chauffe ce suc jusqu'à 100°, le caoutchouc se coagule de suite, et vient nager à la surface de la liqueur, entraîné par l'albumine qui, en se coagulant, entraîne le caoutchouc naturellement tenu en suspension sous forme émulsive dans le suc employé. L'alcool versé dans le suc coagule de même le caoutchouc; on peut l'étendre d'eau sans qu'il se coagule, et sans qu'il en soit altéré. Une fois mis en masse, le caoutchouc ne peut malheureusement être ramené par aucun moyen économique à l'état émulsif. On verra plus loin combien son emploi en deviendrait plus facile et plus sûr.

D'après *Berzélius*, pour obtenir le caoutchouc pur, on mêle le suc avec quatre fois son volume d'eau, et on place ce mélange dans un vase dont le fond est muni d'une ouverture. Au bout de vingt-quatre heures, le caoutchouc s'est rassemblé sous forme d'une crème à la surface de la liqueur; on soutire celle-ci; on mêle le résidu avec une nouvelle quantité d'eau que l'on soutire également quand elle s'est éclaircie, et on répète ce traitement jusqu'à ce que l'eau ne dissolve plus rien. Mais comme le caoutchouc se maintient en suspension dans l'eau pure, sans se réunir à sa surface, il est nécessaire d'ajouter à l'eau de lavage un peu de sel marin ou d'acide hydrochlorique, qu'on enlève ensuite facilement par quelques lavages à l'eau pure. Ainsi préparé, le caoutchouc est très divisé et d'un blanc de lait; pour lui donner de la cohérence, il suffit de le débarrasser de l'eau qu'il renferme, soit par évaporation, soit en le plaçant sur des corps absorbants tels que du papier joseph, du plâtre, etc.

D'après MM. Faraday et Ure, le caoutchouc se compose sur 100 p. de 87,2 de carbone et 12,8 d'hydrogène. Sa densité est de 0,925; elle n'augmente pas d'une manière permanente par une forte pression. Exposé à une basse température, il devient dur et difficile à employer, mais il ne devient jamais cassant. Quand on élève ensuite sa température, il reprend sa souplesse et son élasticité primitive. Par un long repos, il perd beaucoup de sa flexibilité, même à la température ordinaire. Lorsqu'il a été ramolli par l'action de la chaleur, on peut le refroidir fortement sans qu'il durcisse de suite, mais il acquiert néanmoins peu à peu de la dureté.

Par une longue ébullition avec de l'eau, il se ramollit, se gonfle, et devient plus facile à dissoudre dans l'éther et dans les huiles; mais, à l'air, il ne tarde pas à reprendre sa consistance et son volume primitifs. Il est entièrement insoluble dans l'alcool. Il se

dissout complétement dans l'éther pur, en formant une dissolution incolore. Quand on opère sur le caoutchouc noir et impur du commerce, l'éther laisse un résidu de suie et de matières albumineuses et minérales. La dissolution éthérée de caoutchouc est précipitée par l'alcool, ce qui donne le meilleur procédé connu pour obtenir du caoutchouc sous la forme d'émulsion laiteuse. En évaporant cette dissolution éthérée, on obtient pour résidu le caoutchouc avec ses propriétés primitives. Le caoutchouc se gonfle jusqu'à occuper trente fois son volume primitif dans l'huile de pétrole rectifiée; il s'y dissout en partie à l'aide de l'ébullition; il se dissout aussi assez facilement, à l'aide de la chaleur, dans les huiles empyreumatiques rectifiées, qu'on obtient par la distillation du charbon de terre ou par celle du goudron de bois; après l'évaporation de ces dissolutions, le caoutchouc conserve longtemps la propriété adhésive et abandonne difficilement les dernières portions de pétrole ou d'huile empyreumatique, ce qui le rend poisseux et lui communique une odeur désagréable; on peut le dessécher promptement en l'exposant dans un courant de vapeur d'eau. Le caoutchouc se dissout dans les huiles grasses et volatiles; il y perd son élasticité qu'il ne recouvre pas par la dessiccation; cette propriété a servi de base à la préparation des tissus rendus imperméables par le caoutchouc, comme nous le verrons plus loin.

Soumis à l'action de la chaleur, le caoutchouc fond un peu au-dessus de 120°, en répandant une odeur forte et particulière, et se convertit en une masse gluante et visqueuse, d'un brun foncé, qui se maintient dans cet état, après le refroidissement, pendant des années entières; mais lorsqu'on l'expose à l'air sous forme de pellicules minces, il finit par se dessécher, ce qui n'a lieu toutefois qu'après un temps très long; aussi le caoutchouc fondu peut-il remplacer avec succès les corps gras employés pour graisser les robinets. Chauffé à une température suffisamment élevée, au contact de l'air, le caoutchouc répand une fumée piquante, puis s'enflamme et brûle avec une flamme claire et fuligineuse.

Le caoutchouc n'est pas attaqué par le chlore, l'acide sulfureux, l'acide hydrochlorique, l'ammoniaque, l'acide fluosilicique, et les dissolutions alcalines caustiques et concentrées; l'acide nitrique fumant et l'acide sulfurique n'ont également sur lui aucune action à froid, mais ils le décomposent lentement à l'aide de la chaleur.

Le caoutchouc importé pour la première fois d'Amérique, au commencement du dix-huitième siècle, eut longtemps un emploi très borné; peu à peu ses applications se sont étendues et développées, et maintenant il forme l'objet d'un commerce assez considérable.

Le caoutchouc sert à effacer les traces de crayon et à adoucir le papier; il entre dans la composition de quelques vernis, de colles, de mastics, après avoir été fondu et uni soit à la chaux, soit à la chaux et au minium. Son inaltérabilité en présence des réactifs chimiques l'ont rendu précieux et même indispensable dans les laboratoires; on en fait des tubes flexibles imperméables aux gaz et qui servent surtout à relier les tubes en verre dans les analyses. Ces tubes se font en découpant une bande de caoutchouc, l'amollissant dans l'eau chaude, et soudant ensuite par pression les deux bords après les avoir rafraîchis avec un instrument bien tranchant. En chirurgie, le caoutchouc sert à préparer quelques instruments qui exigent de la souplesse et de la flexibilité. Enfin, l'application la plus nouvelle et la plus importante du caoutchouc, sur laquelle nous donnerons à la fin de cet article des détails aussi complets que les dimensions de notre ouvrage nous le permettent, est celle qui consiste à rendre les vêtements imperméables, et à confectionner une foule d'objets de toilette qui demandent une certaine élasticité.

Comme dans la plupart des applications du caoutchouc, il est très commode de l'obtenir en feuilles, et que d'un autre côté il faut chercher à tirer le parti le plus avantageux possible du caoutchouc défectueux qui forme la plus grande partie de celui que nous recevons aujourd'hui, on le traite par le procédé suivant inventé en 1837, par Nickel : (Voy. *Compl.* art. CAOUTCHOUC.)

Quand les poires sont très dures, on les ramollit à l'eau bouillante, dans une chaudière chauffée à la vapeur; ces poires ramollies ainsi que celles qui sont naturellement assez molles, sont ensuite laminées entre deux cylindres en fonte. On a soin de faire continuellement couler sur les deux cylindres un filet d'eau chaude qui ramollit le caoutchouc, et qui rend le laminage plus facile; après trois à quatre passages successifs, le caoutchouc a pris la forme de longues plaques feutrées que l'on fait dessécher à une douce température. On traite de même tous les déchets de la fabrication précédente. Lorsque les lames sont bien desséchées, on en introduit à peu près 25^{k} dans une espèce de pétrin de très petite dimension, entièrement établi en fer et en fonte avec une grande solidité, et dans lequel on fait continuellement arriver un courant d'eau chaude. Ce pétrin est cylindrique, et muni d'un arbre en fer armé de bras également en fer, qui broient et pétrissent le caoutchouc. On se fera une idée de l'énergique broyage que ce dernier subit, lorsqu'on saura qu'il ne faut pas moins de deux à trois chevaux de force pour traiter la faible quantité de 25^{k} que l'on charge à la fois dans le pétrin, et que cette opération dure trois heures entières. Au sortir du pétrin, le caoutchouc, qui s'est converti en une masse molle et homogène, est immédiatement placé dans un moule en fonte à parois très épaisses, que l'on place ainsi chargé sur le plateau d'une presse hydraulique. Au fur et à mesure que ce plateau monte, un cylindre plein, en fonte, fixé à l'entablement de la presse, pénètre dans le moule qu'il remplit presque exactement et comprime le caoutchouc avec une force énorme; les moules ont au plus 0^{m},20 de diamètre, et l'on emploie des presses extrêmement puissantes. Lorsque le caoutchouc est suffisamment comprimé on fait redescendre le plateau de la presse, on enlève le moule, et l'on maintient le caoutchouc à l'épaisseur réduite, en le comprimant au moyen d'une vis en bois, jusqu'au moment où l'on veut le découper. Lorsqu'on veut obtenir des feuilles de caoutchouc, le moule que l'on emploie est carré, et les dimensions sont déterminées par celles des plaques que l'on veut avoir; le découpage des pains ainsi obtenus se fait au moyen d'un couteau placé horizontalement qui est constamment humecté par un filet d'eau, et qui est animé d'un mouvement de va-et-vient extrêmement rapide; le pain de caoutchouc s'avance au fur et à mesure que le couteau pénètre et à chaque fois qu'une feuille est séparée; il va reprendre sa place primitive en remontant d'une hauteur égale à l'épaisseur de la feuille.

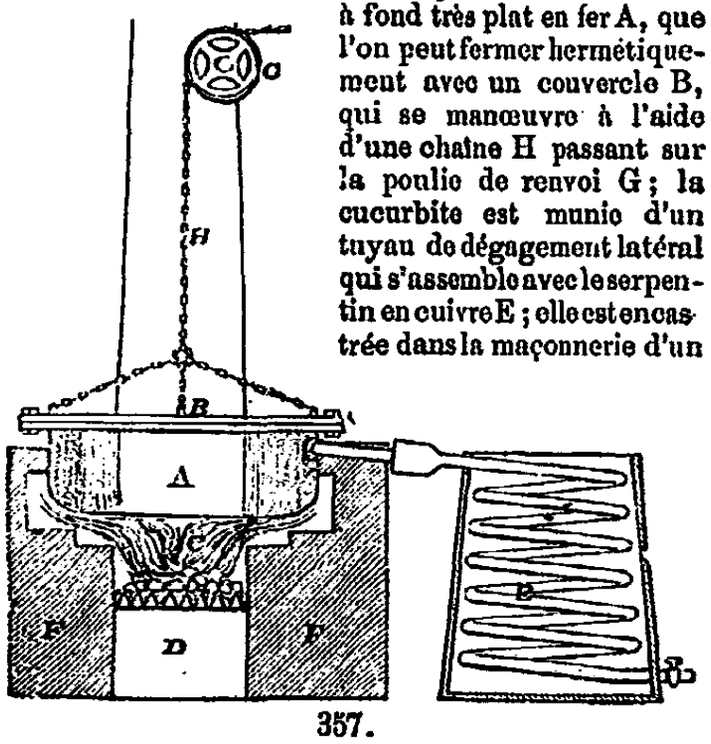
La question la plus importante de l'application du caoutchouc, qui consiste à en préparer des dissolutions qui sèchent vite, et qui laissent alors ce corps dans son état primitif, est encore loin d'être résolue économiquement d'une manière complète. Le meilleur dissolvant du caoutchouc serait sans contredit l'éther sulfurique, si son prix élevé n'empêchait de l'employer en grand. L'huile essentielle obtenue par la distillation du goudron de houille, ne peut être employée à la dissolution du caoutchouc, qu'après avoir été rectifiée à plusieurs reprises; comme la partie la plus volatile est seule employée, et qu'on n'en obtient qu'une proportion assez faible, cette huile revient, en définitive, à un prix fort élevé. Aujourd'hui c'est l'huile essentielle de térébenthine bien rectifiée qui obtient la préférence. Pour préparer le caoutchouc, on le coupe en petits fragments que l'on ramollit dans de l'eau bouillante, on les met ensuite digérer dans une terrine en terre cuite avec trois à dix

CAOUTCHOUC.

parties d'essence de térébenthine rectifiée (suivant la consistance de la bouillie que l'on veut obtenir), on ferme hermétiquement le vase et on laisse reposer pendant plusieurs jours jusqu'à ce que le caoutchouc se soit entièrement transformé en une sorte de masse visqueuse, que l'on broie d'abord dans un mortier ou de toute autre manière, puis que l'on passe au travers d'un crible métallique très fin, afin d'obtenir une bouillie homogène.

Le défaut de tous les enduits ainsi obtenus est de rester pendant très longtemps poisseux à la surface. *Benziner* a découvert un procédé très efficace pour remédier à ce défaut, et qui consiste à préparer comme ci-dessus une bouillie claire avec une partie de caoutchouc et onze parties d'essence de térébenthine, puis à y ajouter environ une demi-partie d'une dissolution concentrée de sulfure de potassium dans de l'eau chaude, et à mélanger bien exactement le tout ensemble. On obtient ainsi une émulsion jaunâtre qui en se desséchant laisse un enduit de caoutchouc parfaitement élastique et nullement poisseux, à la surface duquel se sépare le sulfure alcalin que l'on peut enlever par le lavage. Ce procédé n'est pas encore connu, et nous ne sachons pas qu'il soit employé ou seulement décrit nulle part; nous nous estimerions heureux de l'avoir fait connaître, si cela pouvait engager quelques-uns de nos fabricants à en faire l'essai, et à profiter les premiers d'une découverte qui paraît avoir beaucoup d'avenir.

Enfin Barnard, de Greenwich, en cherchant à imprégner de caoutchouc des câbles et des cordages, découvrit que l'un des meilleurs dissolvants de ce corps est l'huile volatile rectifiée, qu'il donne à la distillation sèche. Il prit à ce sujet, en 1833, un brevet en Angleterre. L'appareil dont il se servait est représenté fig. 357; il se compose d'une cucurbite à fond très plat en fer A, que l'on peut fermer hermétiquement avec un couvercle B, qui se manœuvre à l'aide d'une chaîne H passant sur la poulie de renvoi G; la cucurbite est munie d'un tuyau de dégagement latéral qui s'assemble avec le serpentin en cuivre E; elle est encastrée dans la maçonnerie d'un



357.

fourneau FF, dont la grille est en D. On charge le caoutchouc coupé en fragments, puis on élève peu à peu la température jusqu'à 345° centigrades; on observe celle-ci à l'aide d'un thermomètre qui traverse le couvercle B; lorsque l'on a atteint cette température, l'opération est terminée et il ne reste plus dans la cucurbite qu'un résidu charbonneux tout à fait insignifiant. On rectifie ensuite l'huile brune obtenue en la distillant avec de l'eau. L'huile ainsi purifiée dissout bien le caoutchouc, ainsi que presque toutes les résines et même le copal, ce qui permettrait de l'employer avec avantage dans la préparation de nombre de vernis, si son prix élevé ne venait y mettre, industriellement parlant, un obstacle jusqu'ici insurmontable.

Tissus imperméables. Ces tissus sont simples ou doubles. Les tissus simples imperméables se préparent en enduisant l'étoffe d'une couche de caoutchouc liquide, ou dissous par l'un des procédés que nous avons indiqués, et laissant sécher. Les tissus doubles séparés par une couche imperméable de caoutchouc sont plus difficiles à préparer. Il paraît que M. Besson fabriquait ces sortes de tissus dès 1793; M. Champion s'en occupa également en 1811; ces premiers essais furent peu considérables. MM. Rattier et Guibal en important cette industrie d'Angleterre, où ils avaient acquis leurs procédés de fabrication de M. Makintosh, de Glascow, lui ont fait faire de grands progrès. Ils emploient l'enduit de caoutchouc à l'état de consistance pâteuse, afin qu'il ne puisse pas traverser les étoffes et en salir l'intérieur. Un cylindre règle l'épaisseur de la couche, et aussitôt que celle-ci a été appliquée, la seconde étoffe est passée dessus, et un second cylindre comprimeur la fait adhérer tout en égalisant encore l'enduit dont l'excès déborde de chaque côté des tissus. Une dessiccation lente et un apprêt convenable terminent la préparation des étoffes doubles imperméables qui servent à faire des paletots, des manteaux, etc., des matelas, et des coussins que l'on gonfle en y insufflant de l'air.

L'inconvénient le plus grave que présentent les vêtements rendus imperméables par un enduit de caoutchouc, est d'empêcher la transpiration de s'échapper au dehors; pour peu que celle-ci soit un peu forte, tous les habits de dessous seront trempés de sueur. C'est là un défaut très grave, qui nuira certainement à l'emploi de ces tissus et finira par leur faire préférer tout *enduit* HYDROFUGE qui n'aura pas le même inconvénient.

Tissus élastiques en caoutchouc. C'est à Vienne qu'on a, dit-on, fabriqué pour la première fois des tissus en caoutchouc, mais cette fabrication était d'une importance presque nulle, et ce n'est qu'après que MM. Rattier et Guibal l'eurent importée en France et amenée au point de perfection où elle est aujourd'hui, qu'elle a pris surtout dans ces dernières années un développement considérable.

Dans l'origine, on se procurait le fil de caoutchouc en découpant les poires à la main avec des ciseaux; un seul homme pouvait produire par jour, ainsi, de 90 à 100 mètres de fil. On coupait d'abord la poire en spirale, puis on divisait chaque bande obtenue en deux ou plusieurs fils plus fins. Pour obtenir ces derniers, MM. Rattier et Guibal imaginèrent de détacher les différentes couches qui forment les poires, et de les découper après, comme nous l'avons dit plus haut. On parvint ensuite à obtenir les fils les plus fins, en ramollissant les poires dans l'eau bouillante, les gonflant à l'aide d'une pompe de compression, puis les laissant reposer en cet état pendant plusieurs jours dans un lieu aussi froid que possible; le caoutchouc ne revient plus alors sur lui-même et se laisse découper aisément en fils très minces. Plus tard on remplaça le procédé coûteux du découpage à la main, par l'action de machines à diviser, aussi simples qu'ingénieuses. Mais on fait alors subir aux poires de caoutchouc un traitement préalable, qui consiste à les transformer en disques d'une épaisseur parfaitement régulière. A cet effet, on enlève le goulot, qui est peu propre à cette fabrication, et on coupe la poire en deux parties égales, que l'on soumet à l'action énergique des plateaux d'une presse, après avoir eu soin de la ramollir préalablement dans l'eau bouillante.

Deux machines différentes sont ensuite employées pour transformer le disque de caoutchouc en fils fins. L'une le découpe en un ruban très mince, d'une largeur égale à l'épaisseur du disque; l'autre divise ce ruban en plusieurs bandes parallèles.

Nous empruntons la description de cette machine dite couteau circulaire à M. Girard :

Ce couteau se compose d'une lame circulaire L, montée sur un arbre fixe, et tournant avec une grande

rapidité (1,500 à 2,000 tours par minute), et d'un chariot G sur lequel est monté un petit arbre vertical *a* pivotant sur lui-même. — L'on fixe par son centre le disque de caoutchouc D sur l'arbre vertical, dont la base est garnie de pointes servant à maintenir le caoutchouc et à l'empêcher de tourner autour de cet arbre qui, en pivotant, entraîne le disque, et vient en présenter la circonférence au tranchant du couteau; le chariot sur lequel il est monté avance d'une certaine distance à chacune de ses révolutions, et donne ainsi une épaisseur voulue et constante au ruban de caoutchouc, découpé suivant une ligne en spirale, qui serait tracée sur le disque de caoutchouc de la circonférence au centre : un certain agencement fait que l'arbre sur lequel est enfilé le caoutchouc augmente progressivement sa vitesse rotative, de façon que la partie du caoutchouc à couper (fig. 360) se présente toujours

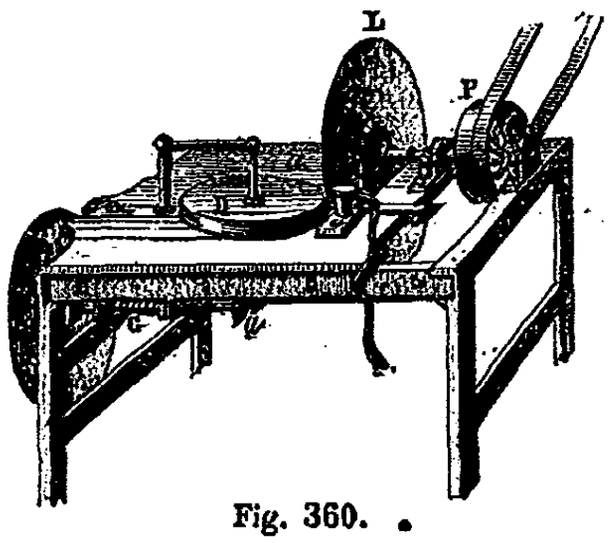


Fig. 360.

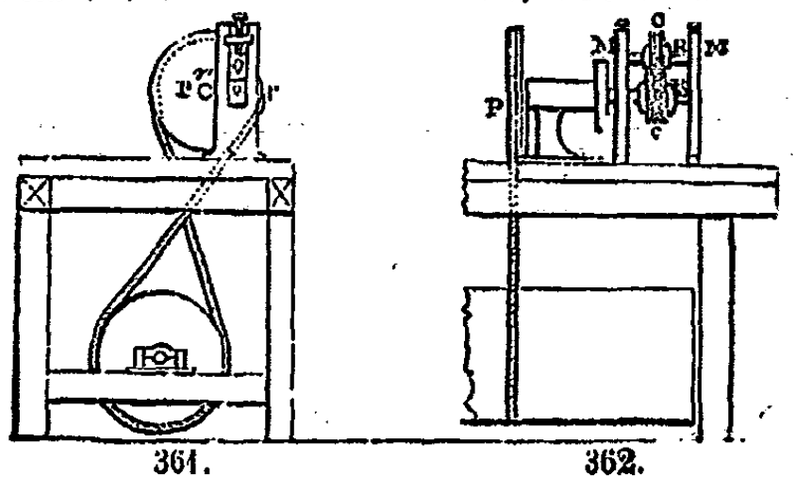
avec la même vitesse au contact du couteau. En effet, si la circonférence première du disque est 30, il faudra que, quand cette circonférence aura été réduite à 10, par exemple, la vitesse de l'arbre soit trois fois plus grande pour que le débit et le travail du couteau soit le même. — Ce couteau est arrosé constamment par un filet d'eau pour éviter l'échauffement et l'adhérence de la gomme.

Le caoutchouc obtenu en ruban, comme nous venons de l'indiquer, est divisé en fils d'égale épaisseur, au moyen de deux jeux de lames s'emboîtant les unes dans les autres, comme les trousses de fenderies dans les forges; ces lames sont enfilées sur deux petits arbres parallèles, de façon que la première lame de l'arbre du bas vient passer entre la première et la seconde du haut, la seconde du haut vient entre la première et la seconde du bas, et ainsi de suite; on met habituellement 7 à 8 lames sur chaque arbre. — Ces lames, faisant l'office de cisailles, ne sont pas aiguës à leur circonférence; elles présentent deux angles vifs d'équerre; en faisant tourner sur eux-mêmes les deux arbres garnis de leurs lames, les angles vifs de celles du haut viennent frotter contre ceux de celles du bas, et l'on conçoit que le ruban de caoutchouc, dont l'ouvrier coupeur présente l'extrémité sur son plat à cette petite fenderie, se trouve coupé en autant d'endroits qu'il y a de points de rencontre d'un angle d'une lame supérieure et inférieure, et par conséquent en autant de fils qu'il y a de lames; le mouvement rotatif entraîne le ruban fendu de l'autre côté du petit appareil; un enfant prend et tire légèrement ces fils vers lui, et facilite ainsi le travail de l'outil.

Cette machine représentée fig. 361 et 362 se compose de deux axes parallèles C, C, sur lesquels on enfile les taillants à découper le caoutchouc, en les séparant par des

CAOUTCHOUC.

rondelles d'une épaisseur un peu plus grande, et serrant l'ensemble de chaque trousse au moyen des épaulements R, R, montés à vis sur les axes C, C. Les coussinets de



361. 362.

ces deux axes sont fixés dans des coulisses pratiquées dans les montants verticaux, de telle sorte qu'on puisse les éloigner ou les rapprocher à volonté l'un de l'autre au moyen de vis. L'axe inférieur C porte une roue *r* qui engrène avec le pignon *r'*, d'un diamètre trois fois moindre, monté sur l'axe du tambour P, mis en mouvement par l'intermédiaire d'une courroie sans fin.

Avant que les fils obtenus, comme il vient d'être dit, puissent servir au tissage des étoffes, il est indispensable de leur faire perdre leur élasticité qui rendrait presque impossible tout travail ultérieur. A cet effet on les reçoit immédiatement au sortir de la fenderie dans des vases pleins d'eau chaude; puis on les ramollit dans l'eau chaude, et on les étire du quintuple au décuple de leur longueur primitive, en les enroulant sur un dévidoir qu'un ouvrier fait tourner rapidement, tandis qu'un autre ouvrier, placé près du vase d'eau chaude, file le caoutchouc en le maintenant tendu. On place ensuite les dévidoirs dans une chambre dont la température est maintenue aussi basse que possible; au bout de quelques jours on peut dévider les fils, sans que pour cela ils reprennent leur forme primitive; ils possèdent alors une roideur suffisante pour le tissage subséquent.

Le plus souvent on enveloppe le fil de caoutchouc ainsi obtenu, au moyen d'un *métier à* LACETS, de 6 à 7 fils, qui l'entourent entièrement, et qui servent surtout à le protéger contre les dents du peigne dans le tissage. Le petit cordonnet que l'on obtient de cette manière est employé à tisser les bretelles élastiques. Dernièrement on a imaginé d'employer pour le tissage un métier à la Jacquart, en y considérant le fil de caoutchouc nu comme un fil ordinaire, si ce n'est qu'on prend soin de le masquer complétement dans l'étoffe fabriquée; cette disposition a l'avantage de supprimer complétement l'emploi des métiers à lacets, et permet en outre de broder sur le tissu des fleurs et autres ornements.

Les longues lanières tissées que l'on obtient ainsi sont sans élasticité; on leur rend cette propriété en passant sur le tissu un fer convenablement chauffé; le caoutchouc tend à l'instant même à reprendre sa forme primitive, et par suite, l'étoffe diminue de près d'un tiers en longueur.

CAOUTCHOUC VOLCANISÉ. Les tissus et objets fabriqués en caoutchouc doivent, pour jouir de toutes les propriétés requises, posséder une élasticité qui ne s'altère pas par l'usage, ni surtout par les variations de température. Ce résultat précieux a été obtenu par la volcanisation du caoutchouc, nom donné à sa combinaison avec une petite quantité de soufre. On peut se servir du caoutchouc ainsi préparé, depuis les contrées les plus chaudes du globe, où le caoutchouc normal trop amolli, trop extensible et trop adhésif, était sans application, jusque dans les pays septentrionaux où le froid annulait les propriétés du caoutchouc ordinaire.

Pour montrer l'élasticité, en quelque sorte inaltérable,

du caoutchouc volcanisé, on peut faire l'expérience d'en placer une rondelle sur une petite pièce de monnaie qu'elle recouvre exactement. Après l'avoir distendue considérablement on la replace sur le disque et l'on voit facilement que la dimension n'en a été nullement altérée.

C'est en opérant à chaud que M. Hancok (de Birmingham) est parvenu le premier à opérer la sulfuration; mais on opère aujourd'hui à froid avec plus d'avantage, par un procédé dont nous empruntons la description à M. Payen.

Ce procédé a surtout cela d'avantageux qu'il peut s'appliquer aux objets tout façonnés, et qu'il ne laisse qu'une légère odeur aux produits, tandis que la volcanisation directe par le soufre leur communique une odeur assez forte et désagréable.

Voici en quoi consiste cette méthode qui a été inventée par MM. Parkes (de Birmingham) :

On plonge les articles fabriqués en caoutchouc, bien propres et bien secs, dans une solution contenant 2,5 de chlorure de soufre pour 100 de sulfure de carbone; après une minute d'immersion on les retire, on fait évaporer le sulfure de carbone et les traces d'acide chlorhydrique formé, à l'aide d'un courant d'air, dans une étuve chauffée de 20 à 25 degrés.

Quand les objets sont secs on les replonge une minute et demie dans la solution, on les retire pour les faire sécher comme la première fois, puis on les lave dans une solution alcaline et enfin dans de l'eau pure.

Dans ces immersions, des feuilles de caoutchouc ayant de 2 à 4 millimètres d'épaisseur retiennent 12 à 15 centièmes de soufre.

Si l'on volcanisait des feuilles plus minces, on augmenterait la dose de chlorure de soufre, et l'on diminuerait la durée de l'immersion; il faudrait, au contraire, diminuer la dose de chlorure et augmenter la durée de l'immersion pour sulfurer des feuilles plus épaisses, afin d'éviter que la superficie n'absorbât trop de soufre.

En tous cas, il faut éviter de laisser trop longtemps les objets immergés dans un excès de liquide, car une trop forte proportion de soufre les rend durs, cassants, dépourvus de ductilité et d'élasticité.

Le caoutchouc volcanisé est déjà un produit fréquemment utilisé dans l'industrie. Nous citerons, en terminant, parmi les applications curieuses et nouvelles du caoutchouc volcanisé, son emploi pour former des ressorts servant à la fermeture des portes, l'usage de rondelles pour interposer entre les brides des tuyaux, de tubes pour conduire à des becs portatifs, et pouvant se déplacer, le gaz qui part d'une conduite principale; enfin, et cet emploi doit donner lieu à une consommation importante, des rondelles très épaisses, au nombre de dix ou vingt, pour amortir les chocs des wagons de chemins de fer. C'est un des plus heureux emplois que l'on pût faire de ces ressorts inaltérables et dont l'action se multiplie autant qu'on le désire par la superposition de plaques, (Voy. *Complément.*)

CAPILLARITE. On appelle phénomène de capillarité les effets de l'attraction qu'exercent les molécules fluides les unes sur les autres, et sur les corps solides qui les touchent, phénomènes surtout sensibles dans les tubes d'un diamètre très petit ou capillaire.

Si l'on considère une lame plongée dans un liquide, il y aura attraction entre les molécules de la lame et celle du fluide. Si cette action est supérieure à l'attraction des molécules fluides entre elles, la lame sera mouillée, et la surface du liquide terminée vers elle par un ménisque concave. Si elle est moindre, elle ne sera pas mouillée, il y aura dépression sur les bords, et la surface liquide sera terminée par un ménisque convexe.

Cette action devient bien plus sensible dans un tube capillaire. L'action qui produit le ménisque produira alors une élévation ou une dépression de niveau.

Une goutte d'eau jetée sur du verre, mouillant celui ci, s'y étendra; une goutte de mercure restera au contraire terminée par des surfaces arrondies, parce qu'il ne mouille pas le verre.

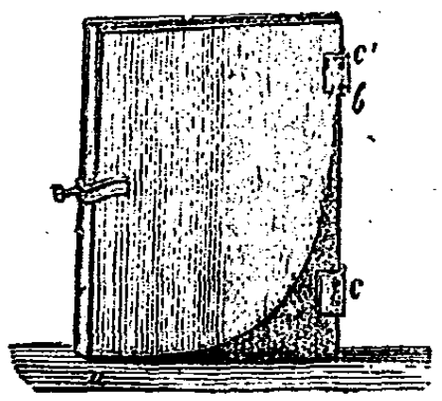
Une petite colonne *m m* (fig. 363 et 364) se précipite vers le sommet d'un cône dans lequel elle glisse ou vers sa base, suivant qu'elle est terminée par deux surfaces concaves ou par deux surfaces convexes; et dans les deux cas on peut la retenir dans une position fixe en inclinant convenablement l'axe du cône dans un sens ou dans l'autre.

363.

364.

Entre deux lames formant un angle très aigu, et mouillées par le liquide, ce dernier prendra la courbure représentée par la figure 365, qui est une hyperbole.

Une lame suspendue dans un liquide ou un corps flottant à sa surface ne prend aucun mouvement, quelles que soient les dispositions des deux faces.



365.

Deux lames verticales et parallèles, mouillées par le liquide, mises en présence, n'éprouvent non plus aucune action, ni aucun mouvement, tant qu'elles sont assez éloignées l'une de l'autre pour que les courbures des liquides soulevés soient séparées par un espace plan; mais dès qu'on les approche assez pour que ce plan disparaisse et que les courbures se croisent, le liquide monte entre les deux lames, et elles se précipitent pour se joindre et se presser l'une contre l'autre, ce qui prouve que le liquide soulevé exerce une pression horizontale moindre que s'il était à la même hauteur dans un vase large.

Si les deux lames sont parallèles et ne sont point mouillées par le liquide, il n'y a aucun mouvement tant que leur distance est assez grande pour que les courbures du liquide déprimé soient séparées par une surface plane. Dès qu'on les approche assez pour que celle-ci disparaisse, le liquide baisse entre elles et malgré que sa pression soit plus grande que dans le cas où il serait dans un vase large, comme sa hauteur est moindre que celle du liquide extérieur, les deux lames s'approchent encore.

Lorsque l'une des deux lames est mouillée et que l'autre ne l'est pas, comme, par exemple, pour l'eau ce qui a lieu quand l'une des lames est en ivoire et l'autre en talc, et qu'on les approche tant que le liquide conserve entre elles une forme infléchie, elles tendent à s'écarter; si on les approche forcément, il peut arriver ou que l'inflexion se conserve et que les lames se repoussent toujours, ou qu'elle se change en une courbure sans inflexion et alors les lames s'attirent.

Deux corps flottants qui se mouillent, comme des balles de liége ou de bois sur l'eau, des balles d'étain sur du mercure, s'approchent dès que leur distance est assez petite pour que les courbures du liquide se croisent

Deux balles qui ne se mouillent pas, comme des balles de cire ou de liége enfumé sur l'eau, ou de fer sur le mercure, s'approchent aussi dans les mêmes circonstances.

Enfin deux balles dont l'une se mouille et l'autre ne se mouille pas, se comportent comme les plans dans les mêmes circonstances, c'est-à-dire se repoussent.

Les cylindres, et en général tous les corps flottants, éprouvent par la même cause des mouvements plus ou moins rapides lorsqu'ils s'approchent les uns des autres, ou lorsqu'ils approchent des parois contre lesquelles les surfaces liquides se courbent toujours, soit par ascension, soit par dépression.

Les phénomènes capillaires se présentent à chaque instant dans la nature et dans les arts. Les corps poreux, comme le sucre, les pierres à filtrer, le papier à filtre, les mèches de coton, etc., peuvent être assimilés à des corps formés de tubes plus ou moins fins, plus ou moins réguliers. Quand on les plonge dans un liquide susceptible de les mouiller, ils l'élèvent chacun à une hauteur qui dépend de la disposition de leurs interstices et qui en général est considérable. C'est ainsi que l'eau s'élève de la partie la plus basse d'une masse de terre à la partie la plus élevée; que l'eau s'élève dans un tube rempli de cendres tassées, dans un morceau de sucre, etc.; que l'esprit-de-vin, l'huile, le suif, la cire fondue, s'élèvent dans les mèches des lampes, des chandelles et des bougies; que l'eau s'élève dans les végétaux.

Pour bien sentir la puissance de cette action et toute son importance dans les applications industrielles, il faut remarquer que l'eau, par exemple, qui s'élève de 30 millimètres dans un tube d'un millimètre de diamètre, s'élèverait de 300 millimètres dans un tube de $\frac{1}{10}$ de millimètre; de 3,000 millimètres ou 3 mètres, dans un tube de $\frac{1}{100}$ de millimètre; et de 30,000 millimètres ou 30 mètres dans un tube de $\frac{1}{1000}$ de millimètre de diamètre. Or $\frac{1}{1000}$ de millimètre est une distance sensible, et il y a indubitablement dans la nature des canaux de fibres creuses dont le diamètre est plus petit encore. (Voy. *Complément*, CAPILLARITÉ.)

CAPSULES FULMINANTES. La fabrication des capsules fulminantes est devenue une industrie importante depuis que l'ancien fusil à silex a été abandonné. Cette industrie, dans ses procédés actuels, est toute française; nous décrirons cette fabrication mécanique telle qu'elle a été inventée par M. Tardy, capitaine d'artillerie.

Le cuivre d'abord découpé en bandes, laminé d'épaisseur convenable, recuit et décapé, est porté aux machines qui doivent former les alvéoles, machines mues par la vapeur. Là, les bandes de cuivre sont fournies par des rouleaux à un découpoir qui, suivant la forme des poinçons, produit avec une très grande rapidité soit des disques, soit des étoiles (selon que les capsules doivent être fondues ou offrir une surface continue), puis ces disques ou ces étoiles sont poussés par un levier coudé que fait avancer le découpoir en remontant contre une matrice convenable, et là par l'action de nouveaux poinçons (qui font, bien entendu, partie de la même machine que les premiers), ils sont emboutis sous la forme demandée, c'est-à-dire sous celle d'un dé uni ou cannelé, ou bien sous celle d'un petit chapeau. Chaque mouvement de la machine produit deux ou trois capsules, car elle est armée d'un nombre égal de poinçons et matrices.

Les capsules, après l'opération du sassage, qui détruit les rébarbes produites par le découpoir, sont portées à l'atelier de charge. Là, des ouvrières, les prenant par poignées, les jettent sur une main, formée de deux lames de fer superposées, à une petite distance l'une de l'autre, et assemblées à charnière. La lame supérieure est percée régulièrement d'un grand nombre de petits trous du diamètre extérieur des capsules. Sur la lame inférieure, et en regard de chaque trou, est gravée la marque du fabricant; nous verrons bientôt quand par une pression celle-ci vient s'imprimer sur la capsule. Cet appareil s'appelle une main. L'ouvrière, agitant cette main d'une certaine manière, secoue sur elle les capsules, dont le centre de gravité est plus près du fond que de l'orifice, ce qui les fait redresser et tomber dans les trous de la main. Si quelques-unes sont retournées, ce qui arrive rarement, si quelques trous ne sont pas garnis, la dissymétrie qui en résulte frappe nécessairement l'œil de l'ouvrier, qui remet tout en ordre.

Cette main, ainsi garnie de capsules, est glissée sous une trémie contenant la poudre fulminante. Le fond de cette trémie est formé de trois pièces superposées, dont celle du milieu, qui est en ivoire, est mobile. Toutes trois sont percées de trous en nombre égal à celui de la main, ceux de dessous se continuent par de petits tubes qui entrent dans les capsules elles-mêmes.

Dans une certaine position de la pièce du milieu, appelée *tiroir*, ses trous sont en face de ceux du fond supérieur, et ne communiquent pas avec ceux du fond inférieur; de sorte que la poudre fulminante, descendant par son propre poids, remplit les trous du tiroir. Un petit mouvement imprimé à celui-ci supprime sa communication avec les trous supérieurs et l'établit avec les trous inférieurs, à travers lesquels la poudre tombe dans les capsules. C'est surtout dans le mouvement du tiroir qu'existe le danger. Il suffit de l'écrasement, dans certaines conditions, du plus petit grain de poudre fulminante (fulminate d'argent) pour déterminer l'explosion de tout ce que contient la trémie, dans laquelle les besoins d'un travail régulier exigent qu'il s'en trouve toujours une quantité notable. C'est là surtout que la disposition adoptée par la maison Goupillat est avantageuse. Elle consiste dans un bouclier en forte tôle qui sépare les ouvriers du distributeur de la poudre fulminante, et qui a pour mission de détourner l'explosion, quand elle a lieu, vers une fenêtre très légère, qui, n'offrant qu'une très faible résistance, rend ces explosions terribles sans danger pour les ouvriers. La main contenant les capsules est glissée à travers une ouverture pratiquée dans le bouclier.

Après le mouvement du tiroir, qui a garni les capsules de poudre, on retire la main de dessus la trémie, et elle arrive à l'ouvrier chargé de comprimer la poudre pour la retenir dans les capsules. Celui-ci place sur la main une plaque en fer armée de petits poinçons, en nombre égal à celui des trous de cette main, et qui pénètrent dans les capsules jusqu'à la poudre; puis il introduit le tout entre deux cylindres ou portions de cylindres excentriques, dont le mouvement de rotation, imprimé par une manivelle ou un levier, comprime la poudre au fond des capsules et estampe en même temps sur le fond de celle-ci la marque du fabricant. C'est un phénomène remarquable que cette pression considérable ne produise que de rares explosions, pour lesquelles il faut nécessairement des conditions qui l'assimilent à un choc. L'explosion de quelques capsules dans une main ne produit aucune espèce de danger. Les capsules voisines sont seulement noircies à l'extérieur et sont mises à part pour être vendues à plus bas prix que les autres. Les capsules terminées sont jetées hors de la main par le soulèvement de la partie supérieure de cette pièce, puis rapidement comptées dans un autre atelier au moyen de mains analogues, dont le nombre de trous est connu, mises dans des boîtes de carton et livrées au commerce.

CARBONATES. L'acide carbonique, l'un des acides les plus faibles, se combine cependant avec facilité avec les bases et oxydes métalliques, et donne alors naissance à un grand nombre de composés importants. Les carbonates sont ordinairement des sels neu-

tres, quelquefois aussi basiques ou acides. Il n'y a que trois carbonates solubles, ce sont ceux d'ammoniaque de potasse et de soude; les bi-carbonates des mêmes bases sont solubles, mais moins que les précédents. Quelques carbonates insolubles (celui de chaux par exemple) se dissolvent dans l'eau saturée d'acide carbonique; mais lorsqu'on expose cette dissolution à l'air, l'acide carbonique se dégage et les carbonates se précipitent complétement; c'est à ce phénomène que l'on doit attribuer les incrustations que déposent nombre d'eaux minérales.

Tous les carbonates à l'exception de ceux de baryte, de potasse et de soude, sont décomposés pas la chaleur rouge; les bi-carbonates solubles se transforment en carbonates neutres à la température de l'ébullition de l'eau. Un seul carbonate est volatil, c'est celui d'ammoniaque. Tous les carbonates sans exception sont décomposés au rouge par le charbon, en donnant, soit un métal, soit un oxyde. La vapeur d'eau les décompose également au rouge en formant des oxydes. Ils sont décomposés par presque tous les acides minéraux, et l'acide carbonique se dégage complétement, quelquefois avec effervescence (carbonate de chaux); on le reconnaît, à ce qu'en le faisant arriver dans de l'eau de chaux filtrée, il y détermine un précipité blanc soluble dans les acides avec effervescence.

Comme presque tous les carbonates sont insolubles, on peut les préparer par voie de double décomposition. Ils se trouvent en grande quantité dans la nature, et nous parlerons de chacun d'eux en particulier, au nom du métal auquel il correspond, de sorte qu'il ne nous en reste ici que fort peu à passer en revue.

CARBONATE D'AMMONIAQUE (*angl.* carbonate of ammonia, *all.* kohlensaures ammoniak). On connaît trois combinaisons différentes de l'acide carbonique avec l'ammoniaque : le carbonate neutre, le sesqui-carbonate et le bi-carbonate d'ammoniaque. Le premier est très peu stable, se décompose par l'action de la chaleur, ainsi que par la dissolution dans l'eau, et ne se trouve point dans le commerce. Le bi-carbonate d'ammoniaque s'obtient en saturant d'acide carbonique une dissolution de sesqui-carbonate, et a été employé dans ces derniers temps pour la fabrication en grand du bi-carbonate de soude (voyez SOUDE). Il est décomposé par la chaleur en sesqui-carbonate d'ammoniaque et en acide carbonique.

Le carbonate d'ammoniaque que l'on trouve dans le commerce est le sesqui-carbonate, qui se compose de :

Acide carbonique. . . .	55,4	. . .	3 at.
Ammoniaque.	29,0	. . .	2 at.
Eau.	15,6	. . .	2 at.
	100,0		

On le prépare ordinairement par voie double de décomposition en chauffant au rouge vif, dans une cornue en fonte munie d'une allonge, un mélange de craie (chaux carbonatée) et de sel ammoniac (hydrochlorate d'ammoniaque), il se forme du chlorure de calcium qui reste dans la cornue, et du carbonate neutre d'ammoniaque qui se décompose en sesqui-carbonate, qui vient se condenser sous la forme d'une masse blanche fibreuse dans l'allonge, et en gaz ammoniac qui se dégage et se perd; on pourrait le recueillir en le faisant arriver dans un grand récipient constamment rempli par de l'air chargé d'acide carbonique en traversant un foyer de charbon. Le carbonate d'ammoniaque ainsi obtenu est rarement assez pur et assez compacte pour être immédiatement livré au commerce; on le purifie par sublimation, de la même manière que le sel ammoniac (voyez CHLORURES). On l'obtient ainsi sous la forme de gâteaux blancs translucides, à texture fibreuse, et qui exhalent une forte odeur ammoniacale. On doit le conserver dans des vases bien fermés, car à l'air libre, le quart de l'ammoniaque qu'il renferme se dégage peu à peu, de sorte qu'il a alors perdu toute odeur et s'est transformé en bi-carbonate. Il est soluble dans le double de son poids d'eau froide; lorsqu'on porte cette dissolution à l'ébullition, le carbonate d'ammoniaque se volatilise complétement, en donnant lieu à un vif bouillonnement, et à la fin il ne reste que de l'eau pure.

Le carbonate d'ammoniaque est employé en médecine, et dans les analyses chimiques; on s'en sert aussi dans la pâtisserie pour obtenir des pâtes très poreuses.

Dans la distillation sèche des matières animales, il produit une grande quantité de carbonate d'ammoniaque, mais ainsi obtenu il est très impur, et ne peut servir qu'à préparer du sulfate ou de l'hydrochlorate d'ammoniaque et même de l'ammoniaque caustique.

« CARBONATE DE BARYTE (*witherite*). Ce sel n'a guère été rencontré jusqu'ici que dans quelques localités en Angleterre; s'il était plus commun il pourrait, au lieu du sulfate de baryte, être mélangé au carbonate de plomb auquel il ressemble beaucoup plus par ses propriétés physiques et chimiques.

CARBONATE DE CHAUX. Ce sel est neutre, insoluble dans l'eau, et se rencontre en quantité tellement considérable à la surface du globe qu'on peut estimer qu'environ la moitié de l'écorce terrestre, et peut-être davantage, sont formés de substances calcaires. On le reconnaît aisément à ce qu'il est assez facile à rayer et qu'il se dissout avec effervescence dans les acides. Lorsqu'on le chauffe au rouge blanc, il est entièrement décomposé et il reste de la chaux caustique; mais s'il est soumis en même temps à une très forte pression il peut se fondre, sans se décomposer, et produit un marbre artificiel. On a essayé d'utiliser en grand cette propriété; mais on a reconnu quelle ne pouvait donner lieu à aucune application industrielle.

Le carbonate de chaux présente un grand nombre de variétés; nous examinerons successivement les plus importantes :

1° *Chaux carbonatée spathique* (spath d'Islande). Caractérisée par trois *clivages* faciles qui conduisent à un rhomboèdres aigu dont l'angle est de 105°. Elle cristallise en rhomboèdres plus ou moins allongés, quelquefois même presque cubiques, en dodécaèdres à triangles scalènes dits métastatiques, et enfin en prismes à six faces avec ou sans pointement. Pure, elle est parfaitement incolore et transparente, et présente le phénomène de la double réfraction, propriété sur laquelle est fondée la construction de la *lunette de Rochon*, qui permet d'apprécier la distance d'un objet quand on connaît ses dimensions, et réciproquement. La pesanteur spécifique de la chaux carbonatée est de 2,7. Chauffée au rouge blanc elle laisse un résidu de 46 p. 100 de chaux vive,

2° *Chaux carbonatée fibreuse*. Lorsque l'eau de pluie, qui renferme toujours une faible quantité d'acide carbonique libre, tombe sur des roches calcaires, elle dissout une petite quantité de carbonate de chaux qu'elle dépose ensuite sous la forme de concrétions, dans l'intérieur des grottes ou cavités, où elle s'évapore goutte à goutte. Lorsque ces concrétions se forment à la voûte des grottes, elles ont une texture rayonnée et portent plus particulièrement le nom de *stalactites;* lorsqu'elles se déposent sur le sol de ces mêmes grottes ou sur une surface plane, elles ont une texture rubannée, dans un sens, et fibreuse dans le sens perpendiculaire; on les désigne alors sous le nom de *stalagmites*. Lorsque celles-ci sont zonées de jaune plus ou moins rougeâtre, et présentent une dureté suffisante pour prendre un beau poli, on leur donne le nom d'*albâtre oriental*.

Les dépôts calcaires que fournissent en abondance certaines eaux minérales gazeuses sont de même nature; les sources les plus célèbres en ce genre sont : le *sprudel* à *Carlsbad*, qui fournit le sprudelstein, calcaire dur et richement zoné qui est d'une finesse extrême et sert à

faire beaucoup de petits objets d'ornement; les eaux incrustantes de *San Filippo* en Toscane (voyez ALBARE); et celle de *Saint-Allyre* en Auvergne, dont chacun a pu voir les beaux produits à l'exposition de 1844.

Les *tufs calcaires* sont aussi à proprement parler des dépôts analogues; ils sont très poreux, celluleux, souvent criblés de cavités tubulaires et rudes au toucher; leur dureté est inférieure à celles des calcaires ordinaires, et leur couleur est d'un gris plus ou moins jaunâtre.

Les tufs calcaires se rencontrent souvent en grandes masses dans les pays calcaires, et sont alors employés comme pierres à bâtir. La ville de *Pesti*, en Italie, est entièrement bâtie avec un tuf calcaire, criblé de cavités tubulaires. La ville de *Tivoli* près Rome, et beaucoup de monuments romains, sont également bâtis avec un tuf calcaire qui porte le nom de *travertin*. Les tufs calcaires acquièrent une certaine dureté en séchant à l'air, et résistent très bien à l'action destructive des agents atmosphériques.

3° MARBRE (voyez ce mot).

4° *Calcaire compacte*. A cassure conchoïde ou esquilleuse. On en voit de toutes les couleurs, cependant il est ordinairement d'un gris plus ou moins pâle. Lorsqu'il est bigarré d'une manière agréable à la vue et qu'il prend un beau poli, on lui donne aussi improprement le nom de marbre. Très fréquemment il empâte un grand nombre de coquilles à l'état spathique, et prend alors le nom de *marbre coquillier*. Le calcaire compacte se trouve dans la nature à l'état de couches sédimentaires. Quelquefois il est en couches de peu d'épaisseur, d'un grain très fin et parfaitement compacte, comme le *calcaire lithographique* de *Solenhofen* en Bavière. D'autres fois il est plus ou moins grossier et caverneux, comme le calcaire caverneux dit *rauhkalk*, de la formation du *zechstein* (voyez GÉOLOGIE), et le *calcaire grossier* des environs de Paris.

Le calcaire fétide ou *stinkstein*, est un calcaire compacte coloré en brun jaunâtre par du bitume, qui lui communique l'odeur qui le caractérise; à l'exception du bitume qu'il renferme il est ordinairement très pur et par suite très propre à la fabrication des chaux grasses.

5° *Calcaire oolithique*. Est formé par la réunion de petits globules calcaires accolés, de la grosseur d'une tête d'épingle; lorsque la grosseur de ces globules atteint celle des petits pois, il prend le nom de *calcaire pisolitique;* il renferme ordinairement une proportion plus ou moins grande d'oxyde de fer hydraté qui le colore en jaune ou en brun. Ce calcaire forme dans certains terrains des couches puissantes et jouit d'une dureté suffisante, pour être employé comme pierre à bâtir; mais il est presque toujours trop impur pour servir à la fabrication de la chaux.

Calcaire marneux. Diffère du calcaire pur en ce qu'il renferme jusqu'à 40 p. 100 d'argile intimement mélangée. Il est assez compacte, mais sa cassure est plutôt terreuse qu'esquilleuse. On le reconnaît aisément à la proportion du résidu d'argile qu'il laisse lorsqu'on le dissout dans l'acide acétique ou hydrochlorique. Il se délite par l'action du froid et de la gelée, et ne peut par conséquent être employé comme pierre à bâtir; il forme le passage des calcaires purs aux marnes argileuses; nous avons parlé de son emploi dans l'amendement des terres à l'article ARGILE; nous parlerons de son application dans la fabrication des MORTIERS HYDRAULIQUES à ce mot.

6° CRAIE (voyez ce mot).

Le calcaire compacte constitue des couches stratifiées considérables de l'écorce terrestre; après lui, sous le rapport de son abondance, vient la craie. Le marbre, proprement dit, se rencontre seulement çà et là, à l'état de masses provenant d'un changement métamorphique de couches calcaires par voie ignée, dont les causes sont presque toujours faciles à assigner dans chaque cas particulier. Les tufs calcaires ne se trouvent également que dans des localités circonscrites. Enfin, le calcaire spathique ne se rencontre qu'en veines ou filons, tapissant surtout l'intérieur des druses.

CARBONATE DOUBLE DE CHAUX ET DE MAGNÉSIE, DOLOMIE (*angl.* magnesian limestone, *all.* bitter kalk). La dolomie se compose de :

Carbonate de chaux. . . .	55	. . .	1 at.
Carbonate de magnésie. .	45	. . .	1 at.
	100		

Sa densité est de 2,7 à 2,8; on la trouve quelquefois cristallisée en rhomboèdres; le plus souvent elle est amorphe plus ou moins grenue et rude au toucher, blanche ou jaunâtre. On la distingue de la chaux carbonatée, en ce qu'elle se dissout beaucoup plus lentement dans l'acide hydrochlorique étendu, et presque sans effervescence, et en ce que, après calcination, elle ne se délite pas à l'air libre.

La dolomie, que l'on doit considérer comme une roche métamorphique, constitue des masses d'une étendue considérables dans certaines localités, surtout en Angleterre, dans le Sunderland. L'épaisseur de cette formation y est variable, et atteint vers la limite sud une épaisseur de plus de 400 mètres. Dans quelques pays on emploie la dolomie comme pierre de construction; nous citerons comme exemple la belle cathédrale gothique de York, entièrement construite en dolomie. C'est la dolomie qui forme ces montagnes abruptes et déchiquetées, à arêtes vives, dites aiguilles, que l'on rencontre dans les Alpes et qui excitent à un si haut degré l'admiration des voyageurs.

CARBONATE DE MAGNÉSIE. On trouve dans la nature le carbonate neutre qui sert en le dissolvant dans l'acide sulfurique à préparer le sulfate de magnésie ou sel d'epsom. En précipitant ce dernier dissous dans l'eau, par un carbonate alcalin, à la température de l'ébullition de l'eau, on obtient le carbonate du commerce, dit *magnésie blanche*, sous la forme d'un précipité blanc très léger, qui est un sous-carbonate hydraté. On peut aussi le préparer en décomposant à chaud les eaux mères de la fabrication du sel par un carbonate alcalin. Si l'on opérait à froid, le précipité serait grenu, plus compacte et plus lourd, et ne présenterait nullement l'apparence que réclame le commerce. La magnésie blanche est très employée en médecine, surtout comme contre-poison dans les empoisonnements par les acides minéraux.

CARBONATE DE POTASSE. Voyez POTASSE.

CARBONATE DE SOUDE. Voyez SOUDE. P. D.

CARBONE (*angl.* carbon, *all.* kohlenstoff). Le carbone ne se trouve dans la nature à l'état de pureté que dans le DIAMANT, mais il forme la presque totalité du résidu que l'on obtient par la calcination en vase clos des matières végétales ou animales (voy. CHARBON DE BOIS, CHARBON ANIMAL, NOIR DE FUMÉE, etc.). Il se trouve aussi dans le sein de la terre, plus ou moins impur, à l'état de GRAPHITE, ANTHRACITE, HOUILLE et LIGNITE. Le carbone, dans les divers états où il se présente, est fixe et complétement infusible aux températures les plus élevées que nous puissions produire, mais lorsqu'on le chauffe dans l'air ou l'oxygène, il s'enflamme et se convertit en acide carbonique. Il se combine également avec le soufre au rouge, et forme alors un liquide très volatil et d'une odeur caractéristique, le *sulfure de carbone*, que l'on prépare en faisant passer du soufre en vapeurs sur du charbon porté au rouge, dans un tube de porcelaine. Il décompose également l'eau au rouge, en donnant de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, et de l'hydrogène carboné. Il est attaqué par voie sèche par les alcalis caustiques, dont il décompose l'eau d'hydratation, et forme des carbonates; il décompose également à l'aide de la chaleur tous les acides, à l'exception des acides

borique et silicique. Enfin il réduit la plupart des oxydes métalliques, et ramène les autres au minimum d'oxydation. Il est absolument insoluble dans l'eau, et tous les réactifs chimiques connus; cependant on peut le mettre en suspension, sous la forme de particules extrêmement fines, de manière à former des encres indélébiles (ENCRE DE CHINE, ENCRE *indélébile* de M. Braconnot). Le carbone forme avec l'oxygène deux combinaisons importantes, *l'oxyde de carbone* et *l'acide* CARBONIQUE (voyez ce mot).

Oxyde de carbone. L'oxyde de carbone est un gaz permanent sans couleur ni odeur, presque insoluble dans l'eau, sans action sur les couleurs végétales, et inaltérable par la chaleur et l'électricité; sa densité est de 0,967, il renferme la moitié de son volume d'oxygène et se compose de :

Carbone. . . .	42,9	. . . .	1 at.	CO
Oxygène. . . .	57,1	. . . .	1 at.	
	100,0			

Ce gaz se combine directement avec le chlore gazeux sec, sous l'action des rayons solaires en formant un composé gazeux et acide qui a reçu le nom d'acide chlorocarbonique CO Cl^2, qui correspond à l'acide carbonique C O^2 dans lequel on aurait remplacé un des atomes d'oxygène par 2 atomes de chlore. L'oxyde de carbone se combine également avec l'oxygène, soit à la température rouge, soit sous l'influence de l'étincelle électrique, sans changer de volume et en donnant de l'acide carbonique. Il s'enflamme aussi au contact de l'air et d'une bougie allumée, et brûle alors avec une flamme bleuâtre, en se transformant en acide carbonique. L'oxyde de carbone est irrespirable et beaucoup plus délétère que l'acide carbonique.

En décomposant à chaud le sel d'oseille (bi-oxalate de potasse) par l'acide sulfurique concentré, il se dégage un mélange d'oxyde de carbone et d'acide carbonique. En absorbant ce dernier par une dissolution de potasse, on obtient de l'oxyde de carbone pur. On peut aussi préparer ce gaz en faisant passer lentement de l'acide carbonique à travers un long tube de porcelaine rempli de charbon et chauffé au rouge sur toute sa longueur.

Ce gaz se produit en quantité considérable dans les fourneaux à courant d'air forcé, et en général dans tous les appareils où une quantité d'air limitée se trouve en contact pendant un certain temps avec un excès de charbon porté à la température rouge; les produits gazeux qui se dégagent ont un pouvoir calorifique considérable, et depuis plusieurs années ont été employés avec avantage, brûlés par une certaine quantité d'air chaud, dans beaucoup de circonstances où l'on était obligé jusqu'alors de se servir de combustibles choisis et coûteux. Nous parlerons plus loin de ces belles applications et des recherches de MM. *Faber du Faur* et *Ebelmen*, aux articles COMBUSTIBLES, FER, etc.

ACIDE CARBONIQUE (*angl.* carbonic acid, *all.* kohlensæure). L'acide carbonique est un corps gazeux aux températures ordinaires et incolore; sa densité est de 1,5245; il éteint instantanément les corps en combustion, et est impropre à la respiration; aussi respiré en assez grande quantité il cause l'asphyxie et même la mort; il est cependant beaucoup moins délétère que le gaz oxyde de carbone. L'eau froide en absorbe à peu près son volume à la pression ordinaire; mais en augmentant la pression on lui en fait dissoudre un volume qui croît proportionnellement à la pression; ainsi sous la pression de trois atmosphères, l'eau en prend trois fois son volume; l'eau ainsi obtenue mousse lorsqu'on la verse à l'air libre dans un verre et possède une saveur aigrelette, agréable et rafraîchissante (voyez EAUX GAZEUSES); elle rougit faiblement le papier bleu de tournesol et lui communique seulement une teinte rouge lie de vin, parce que l'acide carbonique est un acide très faible.

L'acide carbonique est un gaz coercible; à 0° et sous une pression de 36 atmosphères, il passe à l'état liquide; l'appareil le plus commode pour obtenir de grandes quantités d'acide carbonique liquide est celui de *Thilorier*, on le prépare alors dans un fort cylindre en fonte par la réaction de l'acide sulfurique sur le bicarbonate de soude, et on le fait arriver à l'aide de tubes en plomb d'un très petit diamètre dans un réservoir également en fonte, placé dans un mélange réfrigérant où il se solidifie. Une fois, en faisant cette préparation dans un des cours publics de la capitale, l'appareil éclata sous l'énorme pression intérieure à laquelle il était soumis, et les deux préparateurs furent blessés si grièvement que l'un d'eux ne survécut que 24 heures à ses blessures. On aurait évité cet accident en faisant ces appareils en bronze au lieu de fonte. M. Thilorier observa dans ses expériences ce singulier phénomène : qu'en laissant échapper dans l'air l'acide carbonique liquide, sous la pression énorme à laquelle il est soumis dans l'appareil, par un tuyau très étroit, recouvert d'une coupe métallique percée à jour, il arrivait que le froid extraordinaire (il est de près de 100° au-dessous de zéro), produit par l'évaporation instantanée d'une partie de l'acide carbonique liquide qui s'échappait, suffisait pour solidifier l'autre partie d'acide sous la forme d'une neige parfaitement blanche qui se déposait sur la coupe métallique, et qui ne se volatilisait ensuite qu'assez lentement à l'air libre; en mélangeant cette neige avec de l'éther, on obtient le mélange le plus réfrigérant que l'on connaisse, qui placé sur du mercure le solidifie presque instantanément. (V. *Complément*, LIQUÉFACTION DES GAZ.)

On prépare l'acide carbonique pur en traitant, dans un matras, de la craie, ou mieux du marbre de Carrare pulvérisé, par de l'acide hydrochlorique étendu, faisant passer le gaz à travers un flacon laveur, renfermant un peu d'eau, puis le recueillant enfin sur le mercure.

L'acide carbonique se forme en quantité considérable dans la fermentation vineuse ou alcoolique; si l'on renferme dans des bouteilles bien ficelées les liquides que l'on prépare par fermentation avant que celle-ci soit entièrement terminée, le dégagement d'acide carbonique continue dans les bouteilles, et y produit une pression de plusieurs atmosphères, à l'aide de laquelle il se dissout en quantité considérable dans le liquide auquel il communique alors la propriété de mousser, exemple : bière, vins mousseux. Il en est de même dans la fabrication du pain, la fermentation qui se produit par le mélange de la pâte avec le levain ou la levure de bière, détermine le dégagement d'une certaine quantité d'acide carbonique qui fait lever la pâte, et permet d'obtenir un pain léger et poreux. Il se produit des quantités considérables d'acide carbonique lors de la combustion du bois, du charbon et des autres matières combustibles; ce procédé est même quelquefois employé pour le préparer en grand (voyez CÉRUSE).

L'acide carbonique se trouve dans la nature, dans les eaux minérales gazeuses, comme celles de Seltz, de Vichy, etc. Aux environs de ces sources on rencontre souvent des dégagements de ce gaz qui s'échappent par des fissures du sol, et si ce dégagement a lieu dans des cavités où l'air ne se renouvelle que difficilement, il se rassemble à la partie inférieure et peut causer l'asphyxie; telle est la fameuse grotte du Chien à Pausilippe, près de Pouzzoles, où un homme peut entrer debout sans crainte, mais dans laquelle les chiens sont asphyxiés. On utilise, près de Bonn, ces dégagements naturels d'acide carbonique pour fabriquer de la céruse; en France près de Vichy, on s'en sert pour obtenir du bicarbonate de soude. Ce gaz se rassemble souvent dans les puits et dans certaines mines en quantité assez considérable pour asphyxier les personnes qui s'y aventureraient im-

prudemment sans précaution ; nous citerons, comme exemple, les mines de plomb argentifère de *Pont-Gibaud* (Puy-de-Dôme), où il se dégage des quantités considérables de ce gaz.

L'air atmosphérique renferme environ 1/1000e de son volume d'acide carbonique, qui, dilué à ce point, n'a aucune influence nuisible sur la respiration des hommes et des animaux, et semble même nécessaire à la végétation. Mais lorsque la proportion de ce gaz contenue dans l'air s'élève au-dessus de 15 p. 100, ce dernier devient incapable d'entretenir la respiration et la combustion.

L'acide carbonique est composé de :

Carbone. . . .	27,47.	. . . 1 at.	}	CO^2
Oxygène. . . .	72,83.	. . . 2 at.	}	
	100,00			

Il renferme un volume d'oxygène égal au sien. Lorsqu'on le fait passer sur un excès de charbon porté au rouge, il double le volume en se transformant en oxyde de carbone.

CARBONISATION (*angl.* charring, *all.* verkohlung). Les substances qui en industrie portent le nom de combustibles sont de deux sortes : les combustibles végétaux, BOIS, et les combustibles minéraux, ANTHRACITE, HOUILLE, LIGNITE et TOURBE. On les emploie selon leur nature et selon l'effet que l'on se propose d'obtenir, soit à l'état cru, soit plus ou moins carbonisés. La carbonisation consiste à soumettre les combustibles à une distillation sèche, qui leur fait perdre une portion plus ou moins grande des matières volatiles qu'ils renferment. Pour que l'on puisse carboniser un combustible, il faut qu'il renferme une quantité suffisante de matières volatiles à expulser, pour qu'il puisse acquérir des propriétés nouvelles qui indemnisent des frais de cette opération; il faut aussi que le résidu de la carbonisation présente une certaine cohérence qui permette de l'employer. Ces deux conditions ne se rencontrent que dans les *bois*, les *houilles* et les *tourbes*, qui sont les seuls combustibles que l'on emploie carbonisés ; les produits de leur carbonisation portent le nom de *charbon de bois*, de *coke* et de *charbon de tourbe*, et leur préparation fera le sujet d'autant de paragraphes séparés.

I. — CARBONISATION DU BOIS (*angl.* charring of wood, *all.* kohlenbrennen, kœhlerei). Toutes les méthodes au moyen desquelles on opère la transformation du bois en charbon peuvent se diviser en trois classes : dans la carbonisation en vases clos, le bois à carboniser est placé dans une enveloppe ordinairement métallique et chauffée extérieurement ; dans la seconde classe, la chaleur nécessaire à la carbonisation est également produite à l'extérieur par un ou plusieurs foyers particuliers, mais ensuite les produits gazeux qui s'échappent de ces foyers sont introduits dans la masse du combustible à carboniser et opèrent sa distillation ; enfin, dans la dernière classe, viennent se ranger tous les procédés dans lesquels on laisse arriver, au milieu de la masse du bois à carboniser, une quantité d'air limitée, de manière à brûler une partie du combustible pour distiller l'autre; ces derniers procédés se subdivisent eux-mêmes en deux catégories, suivant que l'on se propose ou non de recueillir les parties volatiles de la distillation.

Le procédé de *carbonisation en vase clos* a déjà été décrit à l'article *acide* ACÉTIQUE. Il permet de recueillir ou d'utiliser tous les produits de la distillation, puisque l'on condense ceux-ci et qu'on en retire du goudron, des huiles empyreumatiques, de l'acide acétique, de l'esprit de bois, et que l'on se sert des gaz non condensés pour produire dans le foyer une grande partie de la chaleur consommée dans la carbonisation. Mais dans la plupart des cas, la complication des appareils, qui rend leur établissement assez coûteux et leur déplacement impossible, le peu de débouché ou de valeur des produits obtenus, et par-dessus tout la moindre densité du charbon produit, ont empêché ce procédé de prendre beaucoup d'extension. Le rendement en charbon est ordinairement plus fort que par tout autre procédé lorsque l'opération n'est pas conduite trop rapidement, mais il est moins dense et beaucoup plus inflammable que celui obtenu autrement, et possède aussi un moindre pouvoir calorifique. Son inflammabilité le fait rechercher pour la fabrication de la poudre.

Avant de juger ce procédé et ceux que nous décrirons ci-après, il convient d'examiner les phénomènes qui se passent dans l'acte de la carbonisation du bois

Chacun des principes organiques immédiats qui entrent dans la composition du bois, éprouve, à un certain degré de température, une altération qui donne naissance à un produit pyrogéné fixe, à un produit pyrogéné volatil, et à un dégagement de gaz provenant de la combustion d'une partie du carbone et de l'hydrogène par l'oxygène contenu dans le bois. Pour chaque température, il s'établit un certain équilibre; à une température plus élevée, l'équilibre est détruit de nouveau, et il se forme de nouveaux produits pyrogénés, les uns fixes, les autres volatils, jusqu'à ce qu'enfin il ne reste plus que du charbon pur. Si on opère à une température bien graduée et maintenue constante pendant un temps suffisant, chacune de ces modifications dans l'état des composés organiques pourra avoir lieu jusqu'au centre du morceau de bois, de façon à produire un nouveau composé homogène, sans qu'il y ait réaction entre les produits de la distillation qui viennent du centre du morceau sur les produits fixes qui se trouvent à la surface.

La carbonisation en vases clos, au contraire, comme elle a lieu actuellement, est conduite beaucoup trop rapidement sous le rapport du rendement en charbon. Le combustible étant placé dans un milieu entretenu à une température très élevée, il arrivera que les couches extérieures du bois atteindront un état d'altération très avancé lorsque le centre sera encore à l'état naturel, de sorte que les produits de la distillation venant du centre du bois pourront réagir sur le charbon déjà formé à la surface, lequel se trouve maintenu par le rayonnement des parois de l'enveloppe à une température élevée, et en dissoudre une partie en donnant lieu à des gaz hydrogène, acide carbonique et oxyde de carbone. Du reste, le peu de conductibilité pour la chaleur du bois et du charbon qui n'a pas été soumis à une très forte calcination, ainsi que la nature même de l'appareil employé dans lequel la chaleur est appliquée extérieurement, ne permettent pas d'arriver à graduer la distillation dans toutes les parties du combustible, de manière à éviter toute dissolution du charbon formé à la surface par les produits de la distillation intérieure. Sous ce rapport, le *procédé de M. Schwartz*, essayé en Suède, et qui rentre dans la seconde classe que nous avons établie, est de beaucoup préférable.

Le fourneau de M. *Schwartz*, construit à *Befven* (Suède), consiste en un berceau gothique fermé à ses deux extrémités par des murs verticaux, perpendiculaires à son axe. Le sol intérieur est incliné vers le cintre, et présente en son milieu des rigoles qui servent à faciliter l'écoulement du goudron dans des tuyaux en fonte de fer. A chaque extrémité du fourneau il y a deux foyers sur lesquels passe l'air athmosphérique avant d'entrer dans l'appareil ; la voûte de ces foyers est disposée de manière à rabattre la flamme, de telle sorte que l'air se dépouille complétement de son oxygène dans son passage à travers les foyers. L'une des extrémités présente deux ouvertures en son milieu placées l'une au-dessus de l'autre, et deux autres pratiquées dans les

deux angles inférieurs; elles servent toutes quatre à introduire le bois, et ensuite à retirer le charbon. La fumée sort par des tuyaux de fonte placés au niveau du sol, au milieu des longs côtés; de là, elle est conduite par d'autres tuyaux de fonte dans des condenseurs en bois destinés à recevoir les produits liquides; après quoi, elle s'échappe par la cheminée.

Les murs sont faits en sable et en argile; il ne doit pas s'y trouver de chaux, parce qu'elle serait attaquée par l'acide qui se dégage pendant l'opération. La voûte du fourneau se fend souvent; on bouche avec soin toutes les ouvertures qui s'y forment, soit pendant la carbonisation même, soit après le refroidissement de l'appareil.

On fait le chargement, en y introduisant d'abord les plus grosses bûches, que l'on arrange suivant la longueur du fourneau, puis on dispose au-dessus les morceaux de bois les moins gros, en les serrant autant que possible jusqu'à la voûte; quand on approche des cheminées, on écarte le bois davantage, afin de faciliter la circulation des gaz. On emploie le menu bois pour alimenter les foyers, parce qu'il produit plus de flamme et qu'il brûle plus promptement.

Le fourneau étant rempli et bien fermé, on allume le feu; trois ouvriers se relayant par postes de huit heures sont employés à ce travail, de manière à ce qu'il s'en trouve toujours un pour entretenir la combustion, jusqu'à ce que la fumée paraisse d'un bleu clair; à ce signe on reconnaît que tout le bois est carbonisé, et, à cette époque, il ne s'écoule plus ni acide ni goudron. On ferme alors hermétiquement les cheminées en les murraillant, et l'on bouche les tuyaux avec des tampons de bois garnis d'argile. On laisse refroidir le fourneau pendant deux jours, et on jette quelques seaux d'eau par deux petits orifices pratiqués dans la voûte, qui jusque-là avaient été tenus exactement fermés; puis, trois ou quatre jours après, on en fait autant en débouchant momentanément l'ouverture centrale supérieure qui a servi à charger le bois dans le fourneau, qui n'est complétement refroidi que quand les tuyaux en fonte sont tout à fait froids.

Le fourneau employé par M. Schwartz, a coûté 2,900 francs, et sa capacité était de 169 mètres cubes, la moyenne des essais a donné pour la durée :

Du chargement du fourneau. . . .	2	jours.
De la carbonisation proprement dite.	2	—
Du refroidissement complet.	21	—
Total de la durée d'une carbonisation.	25	jours.

On a chargé à la fois, dans le fourneau, 127 stères de bois de sapin, et on a consommé 13 stères de bois de corde ou leur équivalent en fagots, dans les foyers, soit 1/10 du bois à carboniser. On a obtenu pour 1 stère de bois total employé :

Charbon.	0,^{mc}65	où 25 °/₀ en poids;
Goudron.	0^{k}, 48	
Acide pyroligneux impur.	47^{k}, 53	correspondant à
Acétate de chaux sec. . .	3^{k}, 65	

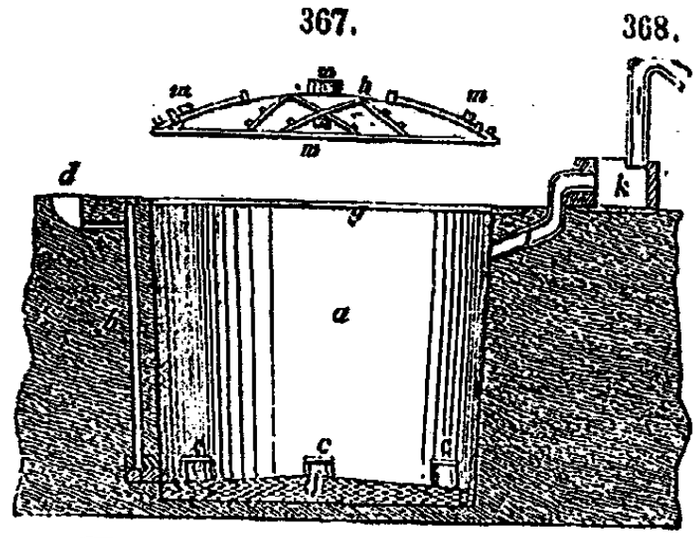
Le plus grand inconvénient de cette méthode de carbonisation est le temps considérable nécessaire au refroidissement complet du fourneau et du charbon.

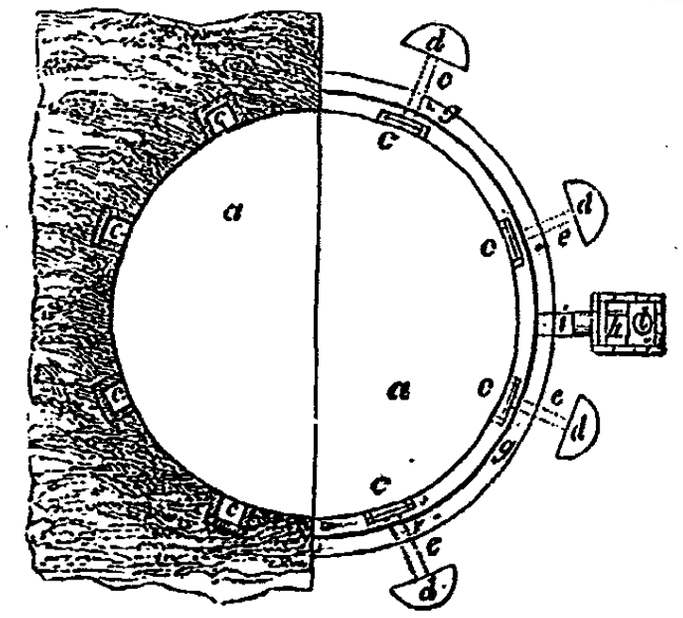
Parmi les procédés de carbonisation qui rentrent dans la troisième classe, dans lesquels une partie du combustible est employée pour opérer la distillation de l'autre partie, nous ferons deux catégories; dans la première, nous parlerons des procédés *La Chabeaussière, Foucault* et *per descensum*, où l'on recueille une partie des produits de la distillation; dans la seconde nous décrirons les procédés les plus employés dans l'industrie, la carbonisation par l'ancienne et la nouvelle méthode des forêts.

Les fig. 368, 369 et 370 représentent une coupe verticale, et deux coupes horizontales faites à des niveaux différents de l'appareil de carbonisation de M. de La Chabeaussière; cet appareil se compose d'une fosse légèrement conique *a*, de 3^{m} de profondeur, autant de diamètre au fond, et 3^{m},30 de diamètre au niveau du sol; cette fosse est battue aussi fortement que possible à l'intérieur. L'air nécessaire à la combustion arrive des huit cuvettes *d*, par les séries de tuyaux *e*, *b*, *c*, à la partie inférieure de la fosse. Ces tuyaux ou évents sont en terre cuite et ont 5 à 6 centimètres de diamètre; on peut faire varier la quantité d'air qui les traverse, en diminuant et même bouchant leurs ouvertures. Une couronne de briques forme le bord supérieur du fourneau et sert à en supporter le chapeau; ce dernier *h* (fig. 367) est mobile, fort bombé, et formé de plaques de tôle, consolidées par un cercle de fer plat et par des bandes mises de champ qui maintiennent la surface supérieure; au milieu du couvercle, il y a un trou, de 0^{m},25 de diamètre, garni d'un collet et fermé par un bouchon en fer; quatre ouvertures semblables, mais de 0^{m},10 de diamètre seulement, sont percées à 0^{m},30 du bord du couvercle; ce dernier se manœuvre très aisément au moyen de deux leviers en fer et de quelques rouleaux en bois de 4^{m} de longueur; à 0^{m},25 au-dessous du sol, est pratiqué un trou rempli par un tuyau de terre cuite *i*, de 0^{m},25 de diamètre, qui conduit les fumées qui se dégagent pendant la carbonisation, dans une caisse en briques *k*, fermée à sa partie supérieure par une plaque mobile en tôle. Une partie du goudron et un peu d'acide pyroligneux se condensent dans cette caisse et peuvent en être soutirés par un robinet placé à la partie inférieure; les produits non condensés se rendent ensuite par le tuyau *l*, dans une série de vases de condensation disposés comme nous l'avons décrit au mot *acide* ACÉTIQUE (*vinaigre de bois*).

CARBONISATION.

367. 368.





369. 370.

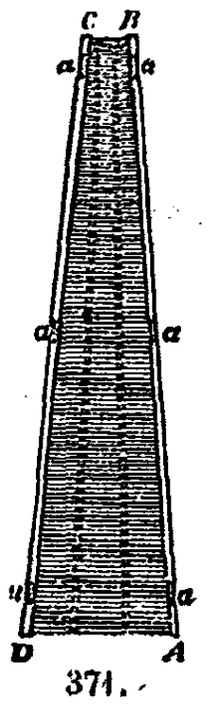
Après avoir fait sécher le fourneau en y faisant un

feu de broussailles, on y empile le bois par couches horizontales, en ménageant au centre une cheminée verticale et à la partie inférieure, des canaux horizontaux qui vont des évents à la cheminée centrale. Le fourneau étant entièrement rempli de bois, on place au-dessus le couvercle *h* que l'on recouvre de 5 à 10 centimètres de terre et de gazon ; on ouvre tous les soupiraux *m*, ainsi que les évents *e*, et l'on allume le bois en jetant dans la cheminée centrale du charbon enflammé ; on bouche alors l'orifice central *m* du chapeau. On laisse l'embrasement se propager ainsi pendant quelque temps, et on ne bouche les autres soupiraux *m*, que lorsqu'il commence à se dégager de l'acide pyroligneux. On dirige ensuite l'opération, suivant la nature des fumées qui se dégagent, en ouvrant plus ou moins les évents.

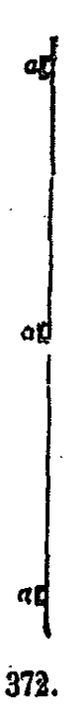
L'opération doit durer de soixante à quatre-vingts heures pour obtenir un charbon de bonne qualité. Au moyen d'une sonde que l'on introduit par les soupiraux, on peut connaître l'état de la carbonisation, soit en retirant des morceaux de bois carbonisé, soit en examinant si le tassement est égal dans toutes les parties du fourneau ; s'il ne l'est pas, on ouvre l'évent du côté où ce tassement est le moins considérable et le soupirail opposé, et bientôt l'équilibre se rétablit. Lorsque l'opération est terminée, on trouve que le bois s'est affaissé d'environ moitié de sa hauteur, non que l'épaisseur de chaque morceau de bois diminue de moitié, mais parce que tous les vides se remplissent. Quand on est assuré que la carbonisation est complète, soit par le sondage, soit par la nature et la couleur du peu de fumées qui se dégagent encore, on ouvre tous les soupiraux et évents, à l'exception de l'ouverture centrale du chapeau afin d'expulser les dernières matières volatiles qui donneraient au charbon une teintre rougeâtre, laquelle pourrait nuire à la vente. Enfin, lorsqu'on voit à travers les soupiraux la surface du tas de charbon devenir incandescente, on bouche hermétiquement et avec beaucoup de soin toutes les ouvertures du fourneau, et on laisse refroidir pendant trois ou quatre jours. Au bout de ce temps on enlève le chapeau, et on fait descendre dans le fourneau un ouvrier qui enlève à la main, et sans le briser, tout le charbon en morceaux, et ramasse ensuite avec une pelle le peu de menu charbon et de poussier qui peuvent rester au fond.

Quand le fourneau est vidé, on le recharge et on s'occupe à en vider un autre. Cinq ouvriers ont constamment suffi pour le travail des huit fourneaux dont se compose l'établissement de M. de La Chabeaussière. Le produit de ces huit fourneaux est, pour 5,000 stères de bois de chêne, pesant 12,500 quintaux métriques, carbonisés annuellement, de 16,000 hectolitres de charbon de bois, pesant 2,500 quintaux métriques, soit 20 p. 100 en poids, et de 1,000 pièces d'acide pyroligneux, pesant 2,235 quintaux métriques, ou de 19 à 20 p. 100 en poids ; cet acide rectifié a produit par pièce 13 à 14 kilogr. d'acide acétique incolore à 8° B., ou bien 19 kilogr. d'acétate de plomb cristallisé, très blanc. Les frais de construction de chaque fourneau sont d'environ 450 fr., dont 400 pour le chapeau seulement. En cas de déplacement, il n'y a de perte réelle que celle des fourneaux, dont l'entretien est presque nul, les ouvriers les réparant eux-mêmes au fur et à mesure qu'il en est besoin. On n'a point fait entrer dans cette évaluation la dépense de l'appareil de condensation pour l'acide pyroligneux, qui, une fois construit, est aisément transportable et d'une durée presque indéfinie.

Le procédé de M. *Foucault* consiste à recouvrir une meule de carbonisation ordinaire d'une seconde enveloppe ou *abri* facilement transportable, et qui permette de recueillir, dans des condenseurs appropriés, les produits accessoires de la carbonisation. Les fig. 371 à 374 donnent les détails de cet appareil. Pour former un abri de 10 mèt. de diamètre à la base, de 3m,30 de diamètre

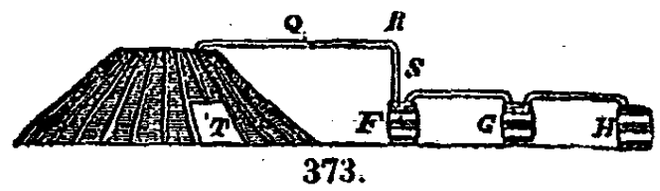


371.

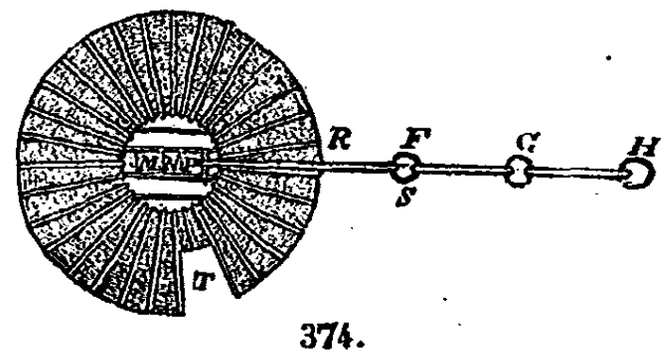


372.

au sommet, et 2m,50 à 3 mèt. de hauteur, on assemble en bois de 5 centim. d'équarrissage, des châssis de 4 mèt. de long, 1 mèt. de large à un bout, et 0m,33 à l'autre bout. Les montants AB, CD (fig. 371 et 372), sont munis de trois poignées en bois *a*, *a*, *a*, à l'aide desquelles on les réunit, en passant dans deux poignées contiguës des chevilles en bois ou en fer. Les châssis sont garnis d'un clayonnage d'osier et recouverts d'un enduit d'argile mélangés d'herbe hachée. Un couvercle plat de 3m,30 de diamètre, formé de planches jointives, maintenues par quatre traverses et enduites d'un corroi d'argile, ferme le sommet du cône. Il est muni de deux trappes M, N, que l'on ouvre au commencement de l'opération pour donner issue à la vapeur d'eau qui se dégage, et que l'on ferme ensuite aussitôt qu'il commence à distiller de l'acide pyroligneux. Une troisième ouverture triangulaire P, pratiquée sur le même couvercle, reçoit un conduit RRS, formé de trois plan



373.



374.

ches cerclées et lutées, qui amènent les produits de la distillation dans la série des tonnes de condensation F, G, H. Enfin une porte T, que l'on ouvre et ferme à volonté, permet au charbonnier de visiter son feu et de le régler.

Le procédé dit *per descensum* est employé dans les Landes, en Pologne et en Russie, pour la carbonisation des bois résineux, et ne diffère des procédés de carbonisation en forêts qu'en ce que le goudron et le brai, qui se liquéfient à la partie inférieure du tas, peuvent s'écouler et se rassembler dans une cavité pratiquée à cet effet à la base du tas qui repose sur un bâti en maçonnerie qui offre une section représentée fig. 375.

375.

a est le bâti en maçonnerie sur lequel on établit le tas de carbonisation ; *b*, la gouttière voûtée qui conduit le goudron dans le réservoir *c*, recouvert par des dalles en pierre ou en fonte *d* ; *e*, *e*, sont des dalles de même nature, assez espacées pour laisser passer le goudron, et qui servent à retenir les charbons.

Dans la plupart des cas, la difficulté et le prix élevé des transports doit faire et fait effectivement préférer aux divers procédés que nous venons de décrire, et qui

exigent des constructions fixes et assez coûteuses, les procédés de carbonisation sur place, sans constructions spéciales, dans lesquels on perd tous les produits de la distillation du bois, mais qui permettent de remplacer le transport du bois par celui du charbon qui en provient, et qui n'en pèse que les 15 à 25 centièmes.

Avant d'entrer dans la description des méthodes de carbonisation en forêts, nous croyons convenable de dire quelques mots sur l'achat des bois, leur abattage, et la préparation des places de carbonisation.

Les coupes de bois s'estiment sur pied, en prenant séparément et successivement chaque arbre, chaque portion de taillis, et estimant à vue d'œil combien ils peuvent produire de bois de charbonnette, de bois de construction, de fagots, etc., on se sert aussi à cet effet de tables indiquant les moyennes des résultats donnés par les diverses essences de bois suivant leur circonférence ou leur diamètre au pied. On doit aussi avoir égard aux difficultés de l'exploitation, aux débouchés réservés pour les charrois dans la coupe et hors de la coupe, à la nature du sol de celle-ci, à celle des essences de bois dominantes, à la quantité d'arbres réservés par l'administration et aux soins à prendre pour les conserver, à la proportion dans laquelle se trouve le gros bois par rapport au taillis, etc. C'est d'après ces estimations, et la concurrence des adjudications, que se vend la coupe de bois à l'hectare et sur place. Le prix de la corde de bois (2 stères) est moyennement en France de 6 à 7 fr.; il est plus élevé en Champagne, où il y a beaucoup d'usines à fer qui se font une concurrence redoutable.

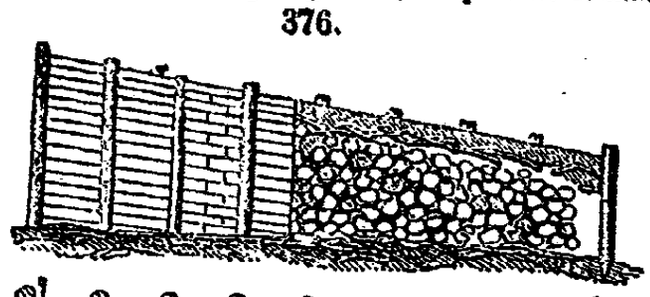
La coupe achetée, on abat le bois à la hache, quelquefois à la scie; on le débite à la scie en bûches ou billes depuis $0^m,66$ de long, pour la carbonisation en meules, jusqu'à $2^m,50$ pour la carbonisation en tas allongés, et on l'empile par cordes de 2 stères. On paye aux coupeurs de $0^f,75$ à 1 fr. par corde, et $0^f,20$ à $0^f,30$ aux empileurs. Tantôt on carbonise immédiatement le bois vert, tantôt on le laisse sécher à l'air pendant un certain temps, ce qui augmente l'intérêt du capital, mais ce qui est préférable sous le rapport de la quantité et de la qualité du produit obtenu.

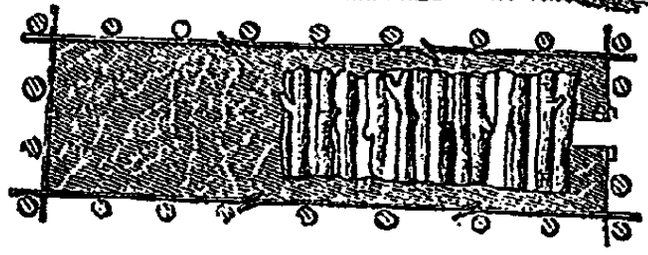
Le choix de la place de carbonisation est une opération très délicate. On recherche autant que possible un emplacement où le charroi des cordes soit facile, où le chargement des charbons soit commode, où on ait l'eau à proximité pour les différents besoins de la carbonisation, qui enfin soit surtout à l'abri des courants d'air, sans aucune humidité et dont le sol soit sec sans être ni trop compacte, ni trop léger. Il est assez rare de trouver toutes ces conditions réunies à la fois, et c'est à l'ouvrier habile à utiliser les ressources qui lui sont données. Si le sol de la place que l'on a choisie est formé de terres légères, la combustion est souvent imparfaite, parce que l'air pénètre par la base et vient gêner le charbonnier dans la conduite de son fourneau. Si, au contraire, le sol est argileux et trop serré, il est susceptible de se durcir par la chaleur, et le goudron et les parties liquides dégagées par la distillation du bois, qui gagnent la partie inférieure du tas, y restent faute d'issue pour s'échapper, éteignent le feu surtout si l'on carbonise des bois résineux, et dans tous les cas produisent une grande quantité de *fumerons*. Il est toujours possible de remédier à ces deux inconvénients, en composant un sol artificiel convenable avec des branchages recouverts de plusieurs couches de terre grasse ou de terre légère suivant les circonstances. La couche supérieure, qui forme la *fauide* ou l'*aire de carbonisation*, se compose ordinairement d'un mélange de terre et de *fraisil*, poussier de charbon mélangé de terres calcinées qui provient des débris du charbon résultant du transport et de la mise en balle.

La méthode de carbonisation en tas rectangulaires, ou *ancienne méthode des forêts*, est surtout employée pour les bois résineux et dans les pays de montagnes, où il est difficile de trouver des abris convenables. Elle donne ordinairement un peu moins de charbon que la carbonisation en meules, mais l'opération est plus facile à conduire, et il est plus aisé d'abriter les tas qui n'ont d'évents que sur deux de leurs faces latérales, que les meules qui en ont sur tout leur pourtour.

Ces tas de forme rectangulaire, comme on le voit en plan fig. 377 et en coupe fig. 376, se placent ordinai-

376.





377.

rement sur une aire légèrement inclinée; leur largeur varie entre 2 et 3 mètres, et leur longueur est au maximum de 12 à 13 mètres. Des pieux sont enfoncés verticalement en terre, tout à l'entour de l'aire, à $0^m,50$ environ de distance des brèches de bois. Des planches adossées contre ces pieux servent à maintenir la couverte de fraisil qui enveloppe latéralement les faces verticales du tas. L'élévation de ce dernier va en croissant depuis la partie antérieure, où elle n'est que de $0^m,60$, jusqu'à l'extrémité postérieure où elle est de 5 mètres, quand le tas a sa longueur maximum de 12 à 13 mètres, de telle sorte que sa face supérieure soit un plan incliné à l'horizon de 15 à 20°, qui est également recouvert de fraisil, ou bien de terre et de gazon; on soutient le tas à sa partie postérieure, qu'on appelle la tête, par des étançons en bois. Les bûches de bois sont ordinairement placées transversalement à la longueur du tas, les plus grosses à la partie inférieure; cependant on les dispose quelquefois dans le sens même de la longueur. Le bois étant placé de manière à laisser le moins de vides possible, on applique la couche de fraisil humide qui, battu fortement, forme la couverture, et on la soutient sur les côtés par des planches retenues par les deux rangées de pieux; on les arrose pendant l'opération pour les empêcher de s'enflammer.

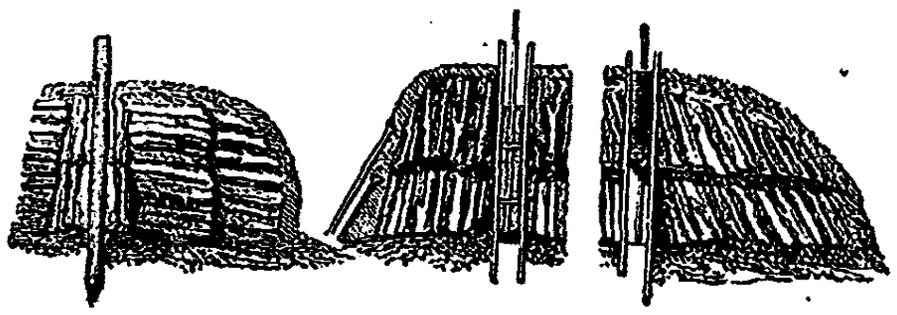
Le tas s'allume en plaçant des charbons enflammés avec un peu de petit bois à la partie antérieure, entre les bûches de la rangée inférieure. Aussitôt qu'on voit sortir la fumée à travers la couverte, on ferme le trou qui avait servi à allumer, et on perce dans la couverte, toujours vers le commencement du tas, trois ou quatre trous de 2 à 3 centimètres de diamètre qui servent à établir le tirage. On les laisse ouverts jusqu'à ce que la fumée noire et épaisse, qui se dégage d'abord, ait fait place à une fumée légère d'une teinte bleuâtre; on bouche alors ces trous, puis on en ouvre d'autres un peu plus loin, tant sur les côtés du tas que sur le dessus, et on continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait atteint la tête du tas.

On commence à retirer des charbons lorsque la carbonisation s'étend déjà à 2 ou 3 mètres de distance, et on a déjà défait la moitié du tas lorsque la tête se trouve en pleine carbonisation. On a soin d'arroser la couverte, pendant l'opération, pour l'empêcher de trop s'échauffer, et on refroidit les charbons retirés avec de l'eau.

On obtient moyennement, par ce procédé, de 1 stère de bois de sapin : $0^{mc},778$ de gros charbons et $0^{mc},027$ de petits charbons,

en tout $0^{mc},795$ de charbon pesant 84^{k}.

Dans le procédé de carbonisation en meules, qui constitue la *nouvelle méthode des forêts*, l'aire de carbonisation ou *faulde* étant choisie et préparée, comme nous l'avons indiqué plus haut, les dresseurs y placent le bois, soit debout en superposant deux ou trois couches (fig. 378 et 379), soit en dressant d'abord autour de l'axe central une petite meule en bois debout, autour de laquelle ils disposent les bûches par couches horizontales (fig. 380) en les plaçant suivant les rayons



380. 378. 379.

dirigés vers le centre. Il est essentiel de serrer le bois autant que possible, et de remplir les vides restés entre les bûches avec du petit bois ; on a également soin de placer les bois durs au centre du fourneau, et les bois tendres en dehors, aussi bien qu'à la partie supérieure de la meule où la carbonisation ne dure que peu de temps et la chaleur est moins élevée. On recouvre ensuite la meule d'une couche de $0^{m},08$ à $0^{m},10$ de ramilles, feuillages, mousse ou autres menus végétaux des forêts, par-dessus laquelle on place une couverte de $0^{m},05$ à $0^{m},06$ formée de terre mélangée de sable et d'argile, assez grasse pour adhérer à la première, mais cependant pas assez forte pour se crevasser par l'action de la chaleur. On ménage dans le dressage de la meule et sur toute sa hauteur une cheminée centrale de $0^{m},25$ environ de diamètre qui sert à l'allumage, ainsi que sur tout son pourtour et à la base, des évents d'admission espacés d'environ $0^{m},60$, qui restent ouverts pendant toute la durée de la carbonisation.

Le dressage terminé, on procède à la mise en feu en jetant dans la cheminée du charbon enflammé et du menu bois. La cheminée reste ouverte pendant un certain temps, afin que tout le centre du tas puisse entrer en ignition. Cette combustion produit un vide que le charbonnier doit avoir grand soin de combler en faisant tomber le charbon déjà formé, au moyen d'une longue perche, et en remplissant constamment la cheminée avec du bois. Quand la combustion est suffisamment active à l'intérieur, on bouche la cheminée ; puis, après quelque temps, on commence à percer dans la couverture, à partir du sommet, des évents qui donnent issue aux produits de la carbonisation. La couleur et l'abondance de la fumée qui se dégagent permettent de juger de l'avancement de l'opération dans cette partie de la meule. Quand cette fumée devient d'un bleu clair, presque transparente et fort peu abondante, l'ouvrier sait que la carbonisation est achevée dans cette zône, et il perce de nouveaux évents dans un plan horizontal à $0^{m},20$ ou $0^{m},30$ au-dessous du niveau des précédents qui se ferment spontanément. On continue ainsi jusqu'à ce que les évents de *dégagement* soient arrivés près des évents d'*admission* de l'air percés à la base de la meule. On ferme alors tous les orifices, puis on recouvre la meule d'une couche de terre humide, que l'on arrose au besoin, et on laisse refroidir pendant vingt-quatre heures. Au bout de ce temps, on enlève la couverture et on retire les charbons que l'on

étend sur le sol en lits minces. L'habileté du charbonnier consiste à régler les évents de manière à obtenir un affaissement bien régulier de la meule. Il la garantit des coups de vents ou de forts courants d'air au moyen d'abris ou de paillassons convenablement disposés.

Le diamètre ordinaire des meules de carbonisation est à la base de 4 à 6 mètres ; ces meules contiennent de 40 à 50 stères de bois. Cependant, dans certaines forêts, on carbonise le bois par meules de 12 à 14 mètres de diamètre, renfermant de 100 à 150 stères. Théoriquement, il est certain que des meules de 100 à 150 stères doivent donner un produit plus considérable en charbon que de petites meules de 40 à 50 stères ; on doit éprouver aussi une diminution notable dans les frais de main d'œuvre ; mais, d'un autre côté, la conduite de l'opération présente beaucoup plus de difficultés, et si le charbonnier n'apporte pas tous ses soins et la plus active surveillance à la carbonisation, ou s'il règne des vents violents, on obtient souvent une qualité de charbon inférieure, et même un rendement moins considérable qu'avec de petites meules.

La carbonisation d'une meule de 150 stères, y compris l'étouffage, dure moyennement douze jours pour les bois verts et tendres, et va jusqu'à seize ou dix-huit jours pour les bois verts et durs. La préparation de la faulde et le dressage des meules se paye à raison de $0^{f},30$ à $0^{f},35$ par corde de 2 stères de bois à carboniser. Le charbonnier est également payé à prix fait à tant par mètre cube de charbon obtenu.

Le charbon bien cuit se reconnaît à ce qu'il est dur, compacte, sonore, et à sa cassure brillante. Lorsqu'il est trop cuit, il est tendre, friable, nullement sonore, et absorbe facilement l'humidité. Enfin le charbon qui n'est pas assez cuit, ou *fumeron*, a une couleur terne, casse difficilement et brûle avec une flamme blanche en répandant de la fumée ; il vaut mieux cependant l'obtenir ainsi que trop cuit.

Les belles recherches de M. Ebelmen, sur les phénomènes qui se passent dans les diverses méthodes de carbonisation par combustion incomplète, publiées dans les Annales des Mines (1843), un des beaux travaux de cet ingénieur distingué qui a si bien analysé les phénomènes chimiques de la combustion, nous permettront de donner une théorie complète de cette opération, et par suite d'apprécier la valeur des nombreuses modifications proposées au procédé de la carbonisation en meules, dans le but d'obtenir, soit un plus fort rendement en charbon, soit un combustible moins torréfié analogue au *charbon roux*.

En comparant la composition des gaz qui se dégagent des évents pratiqués à la surface des meules de carbonisation, avec celle des gaz produits dans la carbonisation du bois en vase clos, M. Ebelmen a reconnu que :

1° L'oxygène de l'air, qui pénètre dans la meule par les évents d'admission, se change complétement en acide carbonique sans mélange d'oxyde de carbone.

2° L'oxygène de l'air se porte en entier sur le charbon déjà formé, et son action est nulle sur les produits de la distillation du bois, en sorte que celle-ci s'opère de la même manière qu'en vase clos.

Nous avons vu qu'on allumait la meule par le centre et que l'on conduisait l'opération du sommet à la base du cône. La carbonisation s'opère de haut en bas et du centre à la circonférence. L'expérience faite en démolissant une meule en partie carbonisée a montré que la surface de séparation entre le charbon formé et le bois non carbonisé est celle d'un tronc de cône renversé, ayant le même axe et la même hauteur que la

meule, et dont l'angle va constamment en augmentant à mesure que la carbonisation avance. Pour concevoir que l'oxygène de l'air se change seulement en acide carbonique, il faut nécessairement admettre que l'air ne traverse pas une épaisseur un peu considérable de charbon incandescent, et qu'ainsi sa combustion s'opère constamment à la surface de séparation entre le charbon produit et le bois non carbonisé. Le refroidissement dû à l'absorption de chaleur latente, produite par la distillation du bois, s'oppose à ce que l'acide carbonique, premier produit de la combustion, puisse se changer en oxyde de carbone, car on sait que cette transformation a besoin, pour s'effectuer, d'une température élevée. Les produits de la distillation du bois renfermant une proportion considérable de gaz peu ou point combustible, dont le calorique spécifique est trop fort pour qu'ils puissent facilement s'enflammer, on conçoit sément que, dans la carbonisation en meules, l'oxyne de l'air se porte sur le charbon déjà formé plutôt ne sur les produits de la distillation.

Il est facile du reste de concevoir comment l'air doit constamment circuler entre le charbon déjà formé et le bois non carbonisé. Cette surface de séparation correspond évidemment au maximum de vide qui existe dans la meule. Le tassement qui s'opère pendant la carbonisation est dû à l'affaissement et à la rupture du charbon qui, une fois formé n'est plus assez résistant pour supporter le poids de la partie supérieure de la meule. D'un autre côté, le bois en se carbonisant éprouve une forte contraction. On conçoit donc qu'il y ait une grande solution de continuité entre le charbon et le bois incomplétement carbonisé, mais encore assez résistant pour ne pas se briser, et que le tirage s'établisse le long de cette séparation. Nous avons vu que les évents de dégagement cessent de donner du gaz, quand la carbonisation est achevée dans la partie de la meule qui leur correspond, sans que le charbonnier soit obligé de les boucher, ce qui prouve bien que le charbon une fois formé et ayant pris son tassement n'est plus que très faiblement perméable aux gaz.

Il est clair, d'après ce qui précède, que si dans la carbonisation du bois, l'on parvenait à produire la chaleur et l'acide carbonique au moyen de combustibles ayant peu de valeur, comme du menu bois ou du menu charbon, on réaliserait ainsi une économie importante. Le procédé de M. Marcus Bull qui consiste à remplir les vides laissés dans le dressage des meules par du menu charbon ou du fraisil, est fondé sur le principe théorique que nous venons d'énoncer. Ce procédé du reste est employé avec succès depuis 1827, à l'usine d'Élend, dans la fabrication courante du charbon de bois et donne un rendement notablement plus considérable.

Tout ce que nous venons de dire de la méthode ordinaire de carbonisation en meules circulaires, s'applique également aux autres méthodes de carbonisation en tas où l'on sacrifie une partie du combustible pour distiller l'autre. Il faut toujours que l'air destiné à la combustion entre constamment dans le tas, à la séparation entre le charbon formé et le bois carbonisé, pour éviter que son oxygène ne passe en partie à l'état d'oxyde de carbone, ce qui produirait une perte sur le charbon obtenu, il est donc nécessaire d'empêcher qu'il ne reste des vides au centre de la meule. On a évité cet inconvénient par la méthode *Brune*, actuellement suivie, à peu de différences près, à l'usine d'Audincourt. Ce procédé consiste à supprimer le vide formé par la cheminée centrale, et à déterminer l'inflammation du cœur de la meule au moyen d'une plaque de tôle chauffée par dessous. On pratique au centre de la fauldo un vide conique ou chaudière, qui a 1m,33 de diamètre à sa base supérieure, 0m,50 à sa partie inférieure et 0m,50 de profondeur. Les parois en sont formées par des briques. Trois conduits en briques, de 0m,12 de côté partent du fond de cette chaudière et viennent déboucher à l'air libre, en dehors de l'espace réservé pour la meule. La chaudière est remplie de menu bois et de fumerons, puis recouverte d'une plaque de tôle. On dresse la meule sur une base de 9m de diamètre, avec du bois scié en bouts de 0m,67 de largeur, et sur trois étages. Dans toute la partie qui correspond à la projection de la chaudière, on met sur le premier étage de bois une couche épaisse de terre et de fraisil, puis on dispose la meule comme à l'ordinaire en ayant soin que les vides laissés entre les bûches soient aussi petits que possible, et que chaque bûche se trouve toujours dans un plan diamétral passant par l'axe de la meule. On met le feu au combustible contenu dans la chaudière. On découvre la partie supérieure de la meule et on ouvre les trous du pied. Le fraisil placé sur le premier étage sert à élargir l'espace dans lequel la combustion commence, pour se répandre ensuite dans toute la masse du bois. Quand la meule est bien en feu, on ferme les trois ouvreaux communiquant avec la chaudière, on couvre la meule et on conduit l'opération comme à l'ordinaire en perçant les évents à partir du haut. L'opération dure quatre à cinq jours et s'exécute sur 28 à 35 stères de bois. On a reconnu qu'il y a avantage à opérer sur ce volume de bois, au lieu de 150 à 180 stères qui composaient les anciennes meules d'Audincourt, et dont la carbonisation durait douze à quinze jours. Le bois était alors scié en bouts de 1m,33 de longueur.

Voici, d'après M. Ébelmen, les résultats obtenus à Audincourt dans la carbonisation faite par les trois procédés suivants, du 1er juillet au 20 octobre 1841. Le bois peut être considéré comme composé de 3/4 d'essences dures et de 1/4 d'essences tendres.

1° Ancienne méthode; meules de 150 à 180 stères. Bois scié en bouts de 1m,33 de longueur;

2° Même méthode; aire plane. Meules de 28 à 35 stères. Bois scié en bouts de 1m,67 de longueur;

3° Emploi de la chaudière en briques. Meules de 28 à 35 stères. Bois scié en bouts de 0m,67 de longueur.

Il y a, comme on le voit, un avantage considérable à employer les modifications que nous venons d'indiquer dans le travail de la carbonisation; aussi depuis 1842, ne carbonise-t-on plus à Audincourt que par le procédé des places à *chaudière*, mais on a reconnu qu'on pouvait sans inconvénient porter à 50 ou 60 stères le volume du bois à carboniser dans une opération.

L'avantage des petites meules sur les grandes consiste

INDICATION des PROCÉDÉS.	NOMBRE de stères de chaque meule	NOMBRE de meules.	STÈRES de bois consommés.	PRODUIT en hectolitres.		STÈRES DE BOIS consommés, par 100 hectol. de charbon et de braise obtenus.	PRODUIT en charbon et braise, pour 100 de bois.
				Charbon.	Braise.		
1° Ancienne méthode.	150 à 180	39	6,686 3/4	23,856	570	27,38	36,52
2° Places simples. . .	28 à 35	20	669	2,555	90	25,29	39,55
3° Places à chaudière.	28 à 35	41	1,303	5,508	190	22,86	43,73

surtout, comme nous l'avons déjà fait remarquer, toutes choses égales d'ailleurs, dans la plus grande facilité qu'a l'ouvrier de surveiller et de conduire son fourneau. L'emploi des places à chaudière au lieu des places simples, permet d'éviter le remplissage qui doit avoir lieu à plusieurs reprises par la cheminée de la meule, pendant la première partie de l'opération. Néanmoins, il est douteux que le procédé des places à chaudière puisse être suivi en forêt, où le lieu de la carbonisation se déplace continuellement, et où, par conséquent, l'établissement d'une chaudière en briques et des conduits souterrains qui y aboutissent serait un embarras pour le charbonnier. Il paraît en outre que, dans les terres très humides, comme celles où l'argile prédomine, il est difficile d'allumer convenablement la meule au moyen du feu qu'on fait dans la chaudière.

Du charbon roux ou bois torréfié. Depuis peu d'années on emploie avec assez de succès, sous le rapport de l'économie, en combustible et en argent, dans quelques hauts-fourneaux du département des Ardennes, au lieu de charbon de bois du bois torréfié. La torréfaction s'opérait d'abord dans des vases clos chauffés extérieurement par les flammes perdues du gueulard; tel était le principe du brevet de M. *Houzeau-Muiron*, expérimenté avec quelques succès au fourneau des Bièvres. Nous avons du reste constaté qu'en Bohême on desséchait et même on torréfiait légèrement le bois, dès 1815, dans des vases clos chauffés à flamme perdue, avant de l'employer dans les verreries du pays.

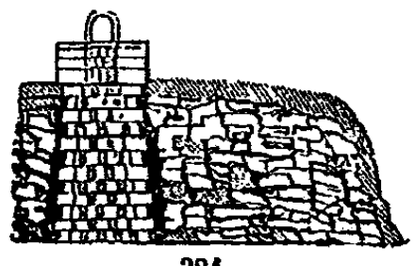
En raison de la manière dont la combustion s'opère dans l'intérieur des tas, on ne peut guère admettre, comme plusieurs personnes l'ont avancé, qu'on puisse jamais arriver à fabriquer du bois torréfié ou charbon roux, par un procédé analogue à celui de la carbonisation en meules.

Parmi tous les procédés inventés dans ces dernières années pour pratiquer dans les forêts la torréfaction du bois, celui qui donne les meilleurs résultats est le procédé de M. *Échement*, décrit par M. Sauvage (Annales des Mines, 3me série, tome XVIII), et qui consiste à projeter au milieu de la masse du bois à torréfier les produits de la combustion de menu bois et de branchages, opérée dans un foyer en dehors de la meule au moyen d'un courant d'air forcé. M. Sauvage a calculé que la quantité d'air projeté par le ventilateur employé était cinq fois plus considérable que celle nécessaire pour la combustion du bois; les produits de cette combustion, renfermant un grand excès d'air, suivent un long canal sur lequel le bois est empilé en forme de voûte, et s'échappent ensuite de toute la surface de la meule, recouverte comme à l'ordinaire par une couche de terre et de fraisil. On cherche ici à éviter l'inflammation du bois contenu dans la meule. Il faut pour cela que le courant de gaz et d'air non brûlé qui la traverse, n'ait pas une température trop élevée. C'est le résultat auquel on arrive en augmentant beaucoup la masse d'air par rapport aux produits de la combustion. Il est évident que plus leur température sera basse, plus leur masse sera considérable, et plus il y aura d'homogénéité dans la nature du combustible obtenu. Mais on conçoit qu'on ne pourra pas atteindre ce résultat d'une manière absolue, et que le bois placé près du conduit sera toujours à un état plus avancé d'altération que dans la partie supérieure et surtout à la base de la meule.

II. — CARBONISATION DE LA HOUILLE (*angl.* cocking of pitcoal, *all.* verkokung der steinkohlen). Le coke étant beaucoup moins combustible que le charbon de bois, la carbonisation de la houille se fait beaucoup plus facilement et exige beaucoup moins de soins que la carbonisation du bois. Les méthodes employées à cet effet varient suivant que la houille est grasse ou sèche, en gros morceaux ou menue, et s'exécutent soit en plein air, soit dans des fours.

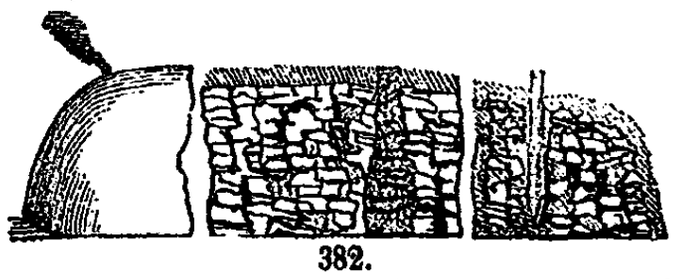
Les houilles sèches en morceaux sont ordinairement carbonisées en meules hémisphériques ou en tas prismatiques allongés. Ces deux procédés sont surtout suivis en Angleterre, et nous en emprunterons la description suivante à l'excellent ouvrage de MM. Dufrenoy et Elie de Beaumont (Voyage métallurgique en Angleterre).

Méthode du Staffordshire. Le procédé le plus généralement suivi dans le staffordshire consiste à élever, au milieu d'une aire, une petite cheminée en briques, un peu conique et ayant un grand nombre de jours. Les briques sont placées de champ; les jours sont plus grands au bas qu'à la partie supérieure. Cette cheminée (fig. 381) a environ 1m,40 de hauteur, et est surmontée d'une petite cheminée en tôle ou en fonte de 0m,30 de hauteur, munie d'un registre qui sert à régler le tirage. La houille est disposée en tas circulaires, à peu près semblables à nos meules de carbonisation pour le bois, mais moins élevés; on place les plus gros morceaux autour de la cheminée, pour former la base du tas; ensuite on ne fait pour ainsi dire que jeter le charbon, de manière à former une meule un peu plus haute que la cheminée de brique. Pour empêcher que la combustion ne soit trop rapide, on recouvre le tout de menue houille ou de menu coke, à l'exception de la partie inférieure, sur une hauteur d'environ 0m,30. On met le feu par la cheminée. A une certaine période de l'opération, on achève de couvrir le tas avec de la houille menue, et on y ménage des ouvertures, qu'on bouche et qu'on débouche à volonté, de manière à ralentir ou à accélérer l'opération. Lorsque la carbonisation est achevée, on éteint le coke avec de l'eau, qu'on verse en assez grande abondance par les trous pratiqués dans la partie supérieure des meules; cette addition d'eau désulfure en partie le coke, dans lequel le soufre paraît être en grande partie à l'état de sulfure de calcium, qui se décompose par le contact de l'eau en donnant lieu à un dégagement d'hydrogène sulfuré très sensible à l'odorat. Les dimensions des tas de carbonisation varient un peu, le plus souvent ils ont 4 à 5 mètres de diamètre, et contiennent à peu près 120st.m. de houille. La carbonisation proprement dite dure environ 3 jours et le refroidissement 4 jours, en tout 7 jours. On obtient de 50 à 60 p. 100 en poids de coke.



381

Méthode du sud du pays de Galles. Dans le sud du pays de Galles, on carbonise la houille en tas rectangulaires (fig. 382) de 0m,75 à 1m,00 de hauteur, de 1m,60 à 2 m. de largeur, et d'une très grande longueur qui atteint souvent 40 et 50 mètres. Les gros morceaux de houille sont placés au milieu du tas; on recouvre avec de la houille menue. Le feu est quelquefois allumé en divers points du tas; le plus souvent on le met seulement à une extrémité. A mesure que les tas deviennent complétement en feu, on achève de les couvrir avec du poussier et des cendres provenant des opérations précédentes, afin que le coke ne continue pas à brûler, par le contact de l'air; enfin on achève de l'éteindre avec de l'eau comme dans le Staffordshire.



382.

CARBONISATION.

On suit dans le Yorkshire un procédé analogue à celui du pays de Galles, et qui n'en diffère qu'en ce que l'on ménage de distance en distance, environ de 2 en 2 mètres, au milieu des tas, des cheminées verticales, bâties avec les gros morceaux de houille; c'est par ces cheminées que l'on met le feu dans toute la longueur du tas.

Méthode du bassin de la Loire. Cette méthode est surtout pratiquée par des ouvriers marchands de coke, qui se placent temporairement près des divers puits des mines dont les menus ne trouvent pas d'écoulement suffisant. Elle ne s'emploie que pour les houilles grasses et menues. On peut évaluer à 170,000$^{t.m.}$ la quantité de coke fabriqué annuellement par ce procédé dans le seul arrondissement de Saint-Étienne.

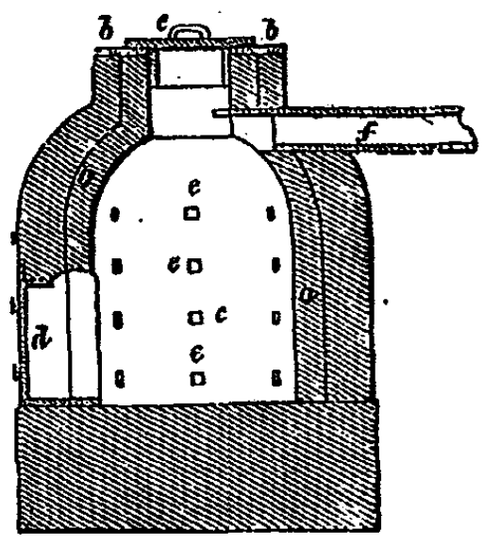
Les tas de carbonisation reçoivent une forme prismatique, à peu près comme celle des piles à boulets, si ce n'est qu'ils sont tronqués au sommet. Ils ont 15 à 20 mètres de long, et même davantage si les localités le permettent; 1 mètre de hauteur; 2^{m},50 de largeur à la base inférieure, et 1^{m},75 à la partie supérieure. Pour les construire, on commence par poser sur le sol le panneau en bois qui doit former une des extrémités du tas, en l'inclinant à 70° environ pour que la houille se maintienne d'elle-même lorsque l'on ôte l'entourage, et le fixant dans cette position au moyen de deux leviers en fer, que l'on enfonce en terre intérieurement. On place ensuite latéralement, en les reliant au précédent et entre eux par des crochets en fer, les panneaux qui doivent garnir les longs côtés du tas, en les soutenant de même, de distance en distance, par des leviers en fer. Lorsqu'on a construit ainsi des côtés de 3 à 4 mètres de longueur, on ferme le prisme par un panneau semblable au premier que l'on a posé; mais ce dernier panneau n'est que provisoire, on l'ôte dès que la première portion du prisme est remplie de houille, et l'on allonge de nouveau les côtés de 3 à 4 mètres.

Pour pratiquer des canaux dans l'intérieur, on a percé dans les panneaux en planches trois rangs de trous, servant à introduire autant de pieux en bois légèrement coniques. Le troisième rang correspond au premier, et les trous du second rang sont placés au milieu des intervalles qui séparent ceux des autres rangs. Le panneau qui termine l'extrémité du tas est percé de quatre trous, dont deux dans la seconde rangée; le panneau provisoire placé à l'autre bout, n'en a qu'un pratiqué au milieu de sa base inférieure; c'est par là qu'on introduit un pieu légèrement conique, parallèle aux longs côtés du tas et qui doit avoir un peu plus de 3 ou 4 mètres; il est terminé, comme tous les autres, par un anneau en fer qui sert à le retirer. Ce premier pieu étant placé, on passe par les trous des panneaux latéraux d'autres pieux qui viennent s'y appliquer perpendiculairement et de chaque côté; on place aux points de réunion de ces pieux horizontaux d'autres pieux verticaux, que l'on assujettit convenablement, et on tasse fortement dans l'intérieur, jusqu'au niveau inférieur de la seconde rangée de trous, de la houille menue préalablement humectée avec de l'eau. On introduit alors par le second rang de trous une nouvelle série de piquets horizontaux, qui, d'après la position des trous, vont rejoindre obliquement les pieux verticaux, puis on continue le remplissage. La troisième rangée de piquets est directe comme la première. La cavité prismatique étant remplie de houille bien tassée, on désassemble le tout, après avoir retiré tous les piquets avec un levier en fer que l'on passe dans leurs anneaux. A mesure que l'on défait une des extrémités, on allonge l'autre d'autant, et l'on forme ainsi une seconde enceinte égale à la première. On continue de la même manière tant que la localité le permet.

La distance des centres des ouvreaux d'un même étage ainsi ménagés dans l'intérieur des tas, est de 0^{m},33; ces ouvreaux ont 0^{m},10 à 0^{m},12 de diamètre, à l'exception des cheminées maîtresses placées à 1 mètre d'intervalle et ayant de 0^{m},18 à 0^{m},20 de diamètre, dans lesquelles on jette quelques morceaux de houille embrasée pour allumer le tas. On a soin de damer la houille seulement dans le voisinage des trous, afin de rendre le coke moins lourd.

La durée de l'opération dépend de la nature de la houille, et surtout de l'état de l'atmosphère. Le tas brûle d'abord à cheminées-maîtresses découvertes pendant un jour. Après qu'elles sont bouchées, la combustion continue par les ouvreaux horizontaux et par les cheminées ordinaires, terme moyen, pendant trois à quatre jours; alors on recouvre le tas de cendres et l'on étouffe au moins pendant trois jours, ou mieux pendant huit à dix jours si la fabrication n'est pas pressée; la carbonisation dure donc de sept à quinze jours. On n'arrose le coke pour le refroidir que lorsqu'on est très pressé de l'expédier. Les houilles grasses menues traitées par ce procédé, rendent de 45 à 50 p. 100 en poids de coke. Les frais de carbonisation se payent moyennement, tout compris, de 15 à 20 cent. par 100 kilogr. de coke obtenu. Ce coke est en très gros morceaux, en forme de chou-fleur, d'un gris d'acier métallique, et de très bonne qualité.

Carbonisation dans des fours. Dans quelques localités d'Allemagne, on carbonise la houille en morceaux dans des fours dont la fig. 382 représente la coupe. La chemise intérieure *a a* de ce four est construite en briques réfractaires; il est recouvert d'une petite cheminée terminée par une couronne en fonte *b b*, et que l'on ferme au moyen d'une plaque *c* également en fonte. La porte *d* fermée par une plaque en tôle sert à retirer le coke; on charge la houille partie par cette porte, partie par la cheminée. Quatre rangées d'ouvreaux *e*, *e*, pratiquées dans les parois du fourneau et distants les uns des autres de 0^{m},40 à 0^{m},50, servent à régler le tirage. Un tuyau en fonte *f*, conduit les produits de la distillation à un condenseur en bois ou en maçonnerie, dans lequel on recueille ainsi une certaine quantité de goudron. On a soin de mettre au commencement de chaque charge un lit de menu bois sur la sole du fourneau, afin de pouvoir déterminer facilement l'inflammation de la houille.

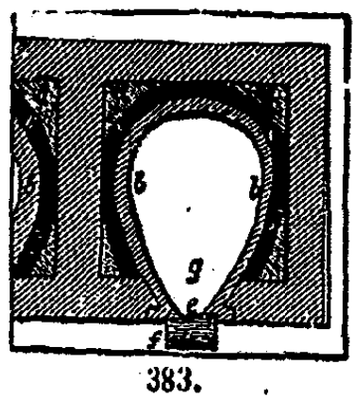


382.

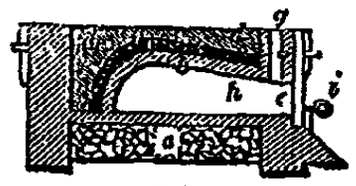
La carbonisation de la houille menue qui, comme nous le verrons à l'article HOUILLE, forme une proportion considérable du produit des houillères, et qui ne peut, la plupart du temps, trouver de débouché que lorsqu'elle a été préalablement convertie en coke, se fait presque toujours en fours.

Ces fours, dont la forme est généralement circulaire ou légèrement elliptique, et à voûte très surbaissée, sont le plus souvent à une seule porte et accolés plusieurs ensemble. Les fig. 383 et 384 donnent le plan et l'élévation d'un fourneau de ce genre, employé à *Zabrze* (Haute-Silésie) pour la carbonisation de la houille menue. *a*, est un lit en pierres sèches et en sable qui supporte la sole en briques du fourneau; *b*, est la voûte en briques réfractaires; *c*, une couverte en argile damée; *d*, une seconde couverte en sable destinée à prévenir la

déperdition de la chaleur; *e*, porte servant à charger la houille dans le four, et à en retirer le coke que l'on fait tomber le long du plan incliné *f*; la fumée et la flamme s'échappent par la cheminée *g*, ou se rendent, par l'ouvreau *h*, dans une cheminée latérale qui n'est pas figurée; *i* est un crochet en fer, placé devant la porte *e*, qui sert à l'ouvrier pour appuyer son ringard en fer. Le fourneau étant suffisamment échauffé par les opérations précédentes, on charge sur la sole la houille menue que l'on y étend sur une épaisseur de 0m,45, et qui s'enflamme bientôt par suite de la chaleur qu'ont conservée les parois du four. Au bout de 6 heures la carbonisation est achevée; on retire le coke avec un rable et on l'éteint avec de l'eau. L'air nécessaire à la combustion arrive par les jours de la porte.



383.



384.

En France, la plupart des fours sont à une seule porte. La sole est circulaire ou légèrement elliptique, faiblement inclinée vers la porte, et a environ 2m,50 de diamètre; la hauteur de la voûte est à la clef de 1 mètre; elle est percée d'une cheminée de 0m,30 de diamètre qui sert à donner issue aux produits de la distillation; c'est par ces cheminées qu'on enfourne la houille; à cet effet on adosse les fours à une terrasse de plein pied avec les voûtes des fours sur laquelle on décharge les tombereaux de houille. L'air nécessaire à la combustion arrive à l'extrémité et aux deux côtés de la sole par des évents qui communiquent avec une petite galerie qui débouche sur les deux côtés du four, et est ménagée derrière la maçonnerie réfractaire. Pour nettoyer ces évents, on jette un peu d'eau dans le four en bouchant la cheminée et la porte, la vapeur qui se dégage chasse alors les cendres qui obstruaient les évents et la galerie d'arrivée de l'air. Les portes des fours se font en briques réfractaires, maintenues par un châssis en fer. La voûte et la cheminée doivent toujours être construites en briques réfractaires; on peut à la rigueur employer de bonnes briques ordinaires pour les pieds droits qui soutiennent la voûte, et la sole. La construction d'un pareil four peut moyennement être évaluée en France à 400 francs.

Au commencement d'une campagne on allume un feu de grosse houille dans le four, et l'on compte à peu près pour rien le coke qui en provient. Une seconde opération faite de la même manière est encore imparfaite; mais les suivantes faites avec du menu sont bonnes, le four étant alors suffisamment échauffé. Si l'on voulait commencer en ne brûlant presque que du menu, il faudrait 5 à 6 opérations avant d'avoir de bon coke. A mesure que l'opération avance, on diminue de plus en plus les entrées de l'air, et l'on juge que la carbonisation est achevée lorsque la fumée ayant disparu, la flamme se raccourcit et devient claire, puis légèrement bleuâtre; on peut alors défourner immédiatement si la fabrication est pressée, sinon on laisse auparavant étouffer le coke pendant quelques heures, en fermant complétement toutes les ouvertures, y compris la cheminée; toutefois cet étouffement ne doit pas être trop prolongé, pour que la chaleur de la sole puisse embraser la houille de l'opération suivante. Ordinairement cet étouffement dure 12 heures sans que le fourneau se refroidisse trop. Quand on n'étouffe pas, on est souvent obligé avec des houilles très-chaudes, comme le sont la plupart de celles du bassin de la Loire, de laisser refroidir la sole pendant plus d'une heure avant de charger, pour ne pas surprendre la houille trop brusquement. Avec diverses houilles froides du midi de la France, au contraire, on est obligé de réchauffer la sole avec du bois ou avec du gros charbon, avant de recharger le four. Il va sans dire du reste que l'on doit toujours éteindre le coke, après le défournement, en l'arrosant d'eau.

La durée de l'opération, dans le plus grand nombre de cas, n'est que de 24 heures, et alors on défourne sans étouffer; on charge alors dans chaque four de 12 à 1,500 kil. de houille menue, qui forment sur la sole une épaisseur de 0m,16 à 0m,20. Mais il est reconnu que l'on obtient un coke plus également carbonisé et de meilleure qualité en prolongeant davantage l'opération; dans ce cas on la fait durer à peu près 48 heures, y compris l'étouffage qui est d'environ 12 heures, et l'on charge en moyenne, à la fois, 2,000 kil. de houille qui forment sur la sole une couche de 0m,24 à 0m,30 d'épaisseur. Une durée plus longue présente peu d'avantage, à moins que le coke ne soit destiné à la fabrication de l'acier, par exemple, et ne convient d'ailleurs qu'aux houilles très-chaudes. Deux ouvriers et un aide peuvent surveiller huit fours à une porte.

Dans quelques localités, comme au Creusot, on emploie de grands fours rectangulaires recouverts d'une voûte cylindrique. Pour retirer le coke, on place à l'entrée des deux portes des cadres en fer ayant des dimensions un peu moindres que la section du four, on les relie entre eux par une barre de fer placée sur l'axe de la sole avant l'enfournement, et par deux autres barres que l'on introduit alors dans le four et qu'on y assujettit à l'aide de clavettes; toutes ces barres sont réunies par des chaînes, à un câble manœuvré par un manége; la sole étant légèrement inclinée, on défourne tout le coke à la fois. Ce procédé donne une économie d'environ un tiers sur la main-d'œuvre, lorsqu'on a un assez grand nombre de fours pour occuper un cheval. (Nous renverrons à l'article COKE pour ce qui se rapporte au lavage de la houille et à la fabrication du coke destiné aux locomotives. Nous avons surtout en vue, dans le présent article, la carbonisation qui se rapporte à la production du coke employé dans la fabrication du fer.)

Les houilles grasses menues du bassin de la Loire, carbonisées en fours, donnent moyennement 60 à 62 p. 100 en poids de coke. Les frais de main-d'œuvre sont payés aux entrepreneurs, terme moyen, 0f,15 par 100 kil. de coke obtenu, y compris l'entretien des outils et des fours qui absorbent le tiers de cette somme.

Quant aux procédés suivis dans les industries où l'on obtient du coke comme produit accessoire de la distillation des houilles, nous en parlerons aux articles ÉCLAIRAGE AU GAZ, GOUDRON et NOIR DE FUMÉE.

On peut utiliser les produits de la distillation de la houille, dans le procédé de carbonisation en fours, en les brûlant avec une quantité d'air froid convenable et employant la chaleur développée par cette combustion soit à la cuisson de la chaux, soit à tout autre usage.

III. CARBONISATION DE LA TOURBE. — La tourbe se carbonise de plusieurs manières : nous l'avons vu carboniser dans l'Erzgebirge en meules, de la même manière que le bois; on obtient ainsi un charbon solide, compacte et très-lourd, qui remplace à poids égal le charbon de bois dans quelques hauts fourneaux du pays. Il faut remarquer à cet égard que ce charbon ne nous a donné que 2 à 4 p. 100 de cendres, ce qui prouve que la tourbe dont il provient est une des plus pures qui existent.

On carbonise souvent la tourbe dans un fourneau de même forme que celui que nous avons décrit ci-dessus fig. 382, au sujet de la carbonisation de la houille.

Enfin, on carbonise aussi la tourbe en vase clos. La fig. 385 représente la coupe d'un appareil de ce genre, employé à Crouy-sur-l'Ourcq, près de Meaux. La carbonisation s'opère dans le cylindre *a*, chauffé extérieurement par la flamme des foyers *c*, *c*, qui circule dans un carneau spiral *b b*. Pour conserver la chaleur dans ce carneau, il est entouré d'un espace annulaire *d* rempli d'air stagnant. On introduit la tourbe dans le cylindre *a*, par l'ouverture *e*, que l'on ferme ensuite par une plaque en fonte *f*, que l'on recouvre de cendres. Le carneau *b b* débouche au-dessus, et les gaz brûlés s'échappent par une ouverture pratiquée dans le couvercle mobile en fonte *g*. Les gaz provenant de la distillation de la tourbe s'échappent par le tuyau *k* et se rendent dans un réservoir où les produits liquides se condensent, puis les gaz non condensés sont ramenés sur les foyers *c*, *c*, qu'ils servent à alimenter en partie. Lorsque la carbonisation est achevée, on fait tomber la tourbe par l'ouverture *h*, en tirant le registre *i*, dans un étouffoir placé au-dessous. On carbonise à la fois 2^{mc} 1/2 de tourbe, et chaque opération dure 24 heures; on obtient de 35 à 40 p. 100 en poids de charbon de tourbe, non compris la dépense en tourbe de qualité inférieure que l'on brûle sur la chauffe, et qui est d'environ 35 p. 100.

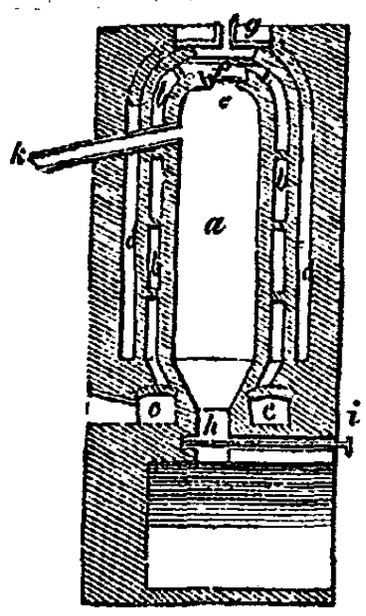


Fig. 385.

C'est dans un appareil de carbonisation analogue que l'on fabrique le charbon roux employé dans la fabrication de la poudre. P. DEBETTE.

CARDES (*angl.* cards, *all.* kratzen). Le cardage est une opération qui a pour but de disposer parallèlement les fibres de la laine, du coton, etc., pour les rendre propres à la filature. La finesse et l'uniformité des fils, et par suite la beauté des tissus qu'ils servent à fabriquer, dépendent autant de la perfection du cardage des matières premières que du soin apporté dans les opérations subséquentes. Comme le cardage s'exécute généralement aujourd'hui d'une manière tout à fait automatique au moyen de machines, sa réussite ne dépend pour ainsi dire que de la perfection et de l'agencement du mécanisme de celles-ci. Nous décrirons en détail aux articles COTON *et* LAINE, les machines à carder, nous ne traiterons ici que de l'opérateur.

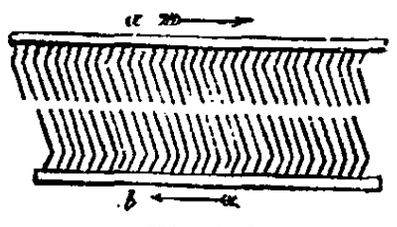


Fig. 386.

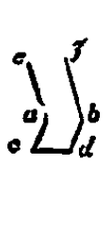


Fig. 387.

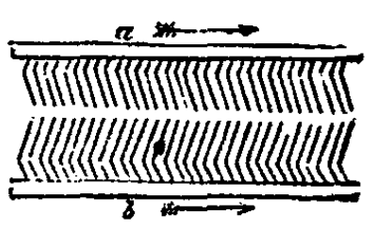


Fig. 388.

Le ruban de carde, élément de leur fabrication, se compose d'une bande de cuir tanné recouvert sur toute sa surface de dents bien régulièrement espacées, qui se font deux par deux d'un même morceau de fil de fer, et qui ont la forme indiquée en perspective fig. 387; la figure 386 représente deux cardes agissant en sens contraire, comme l'indiquent les flèches, et la figure 388 montre deux cardes agissant dans le même sens. Toutes les dents doivent être parfaitement égales en longueur, et courbées sous le même angle et à la même hauteur. Le fil de fer qui sert à les fabriquer doit être très-dur et élastique, mais non cassant. Le cuir sur lequel on *boute* les dents a environ 2 millimètres d'épaisseur, et doit présenter dans toute son étendue une épaisseur parfaitement égale, sans quoi les dents taillées exactement de la même longueur sailliraient inégalement; on consolide ces dernières en les faisant entrer en-dessous par des trous convenablement espacés, percés obliquement dans le cuir. On commence depuis quelque temps, en Angleterre, à remplacer le cuir par un fort tissu de coton enduit sur ses deux faces de caoutchouc, qui offre cet avantage : que les trous qui laissent passer les dents ne s'élargissent que très-lentement par l'usage, par suite de l'élasticité du caoutchouc, tandis que cela arrive beaucoup plus promptement avec le cuir, ce qui détermine une inclinaison inégale des dents.

On emploie des cardes d'un degré de finesse très-variable, suivant leur destination. Les plus fines renferment jusqu'à 140 dents simples ou 70 dents doubles au centimètre carré; les plus grosses, pour le coton et la laine, environ 60 dents simples ou 30 dents doubles.

Le travail des anciennes cardes à manche, dit M. Poncelet, constitue au fond le type sur lequel ont été établies les machines rotatives modernes. Pour s'en rendre compte, il suffit de remarquer que, selon le sens parallèle du mouvement de la carde mobile sur la carde fixe, les fibres, naturellement très-courtes de la laine et du coton, sont ou étirées, dressées et distribuées complétement entre les deux cardes, ou complétement enlevées à l'une d'elles par l'autre.

En enroulant par bandes égales et parallèles des cuirs armés de pareilles cardes autour de rouleaux, de tambours horizontaux parfaitement cylindriques, ainsi que l'avait tenté, dès 1748, Paul-Louis, et faisant tourner l'un vis-à-vis de l'autre, pour ainsi dire tangentiellement, ces cylindres, on a pu, selon l'inclinaison des dents, le sens et la différence des vitesses relatives, opérer d'une manière continue l'étirage, le redressement parallèle des fibres primitivement courbées, infléchies, entrelacées de mille manières, action consommant un travail de moins en moins grand à mesure que le parallélisme se produit; dégarnir alternativement le plus gros des cylindres pour en garnir l'autre, ou la succession des autres qui l'entourent extérieurement, et finalement produire, à l'aide d'un dernier cylindre délivreur, des nappes cylindriques continues, détachées au moyen d'un large peigne horizontal à manivelles extrêmes, attribué par les uns à un certain Lees, par les autres à Arkwright. Ce peigne animé, tangentiellement au dernier cylindre cardeur, d'un mouvement alternatif vertical, détache incessamment les fibres dans toute la longueur, pour en former ensuite des nappes continues ou de simples rubans par le passage au travers d'une sorte d'entonnoir, suivi de cylindres compresseurs, puis finalement enroulées en hélice autour d'un cylindre uni qui permet de les soumettre à des opérations ultérieures.

Ces diverses et ingénieuses opérations n'ont guère été modifiées, quant au principe, depuis l'époque de 1779, où elles enrichirent l'aïeul de sir Robert Peel, auquel fut délivrée une patente pour divers perfectionnements; elles furent aussi l'une des principales sources de la fortune d'Arkwright, en lui fournissant le point de départ de son

CARDES.

ingénieux système de multiplication et de mélange des rubans par doublages et étirages successifs, conception qui est devenue la base de toute filature automatique. Avant l'application de ce principe, on n'était point parvenu à produire des fils de qualités supérieures, à cause du manque d'égalité, d'homogénéité des fibres; ce qui est devenu facile en augmentant le nombre des étirages avec l'élévation du numéro du fil.

L'action de la carde, pour redresser les fibres par traction, exercée sur des fibres adhérentes entre elles et avec l'autre carde, suffit parfaitement pour les filaments courts, mais elle ne pourrait s'appliquer avec avantage aux filaments longs; elle les déchirerait, les laisserait repliés. C'est alors au PEIGNAGE qu'il faut avoir recours. Nous verrons, en parlant de la PEIGNEUSE HEILMANN (*Complément*), tous les avantages que l'on peut retirer du peignage de petites mèches successivement détachées et réunies à la masse, pour obtenir des perfectionnements que la carde seule ne permet pas de réaliser, même pour les fibres courtes.

Quoi qu'il en soit, la carde ne demeure pas moins l'outil essentiel de la filature, le moyen par excellence, dans le cas où elle est applicable, de faire entrer les fibres textiles, dans un état de préparation convenable et en quantité facile à régler, dans le courant des opérations de la filature, qui les transforme automatiquement ensuite, avec la plus grande facilité, en fils de grosseur et de torsion déterminées.

Évidemment ce n'est que la perfection et le bon marché de la fabrication des rubans de cardes, qui ont permis de tirer si grand et si utile parti de cet outil, et l'invention de la machine qui sert à les fabriquer dans ces conditions est une des bases fondamentales de la filature automatique.

La machine à bouter les cardes a été inventée en 1795 par M. Amos Whittmore des États-Unis d'Amérique, la figure 389 représente une élégante machine de cette nature qui a été admirée à l'Exposition universelle de Londres, en 1851.

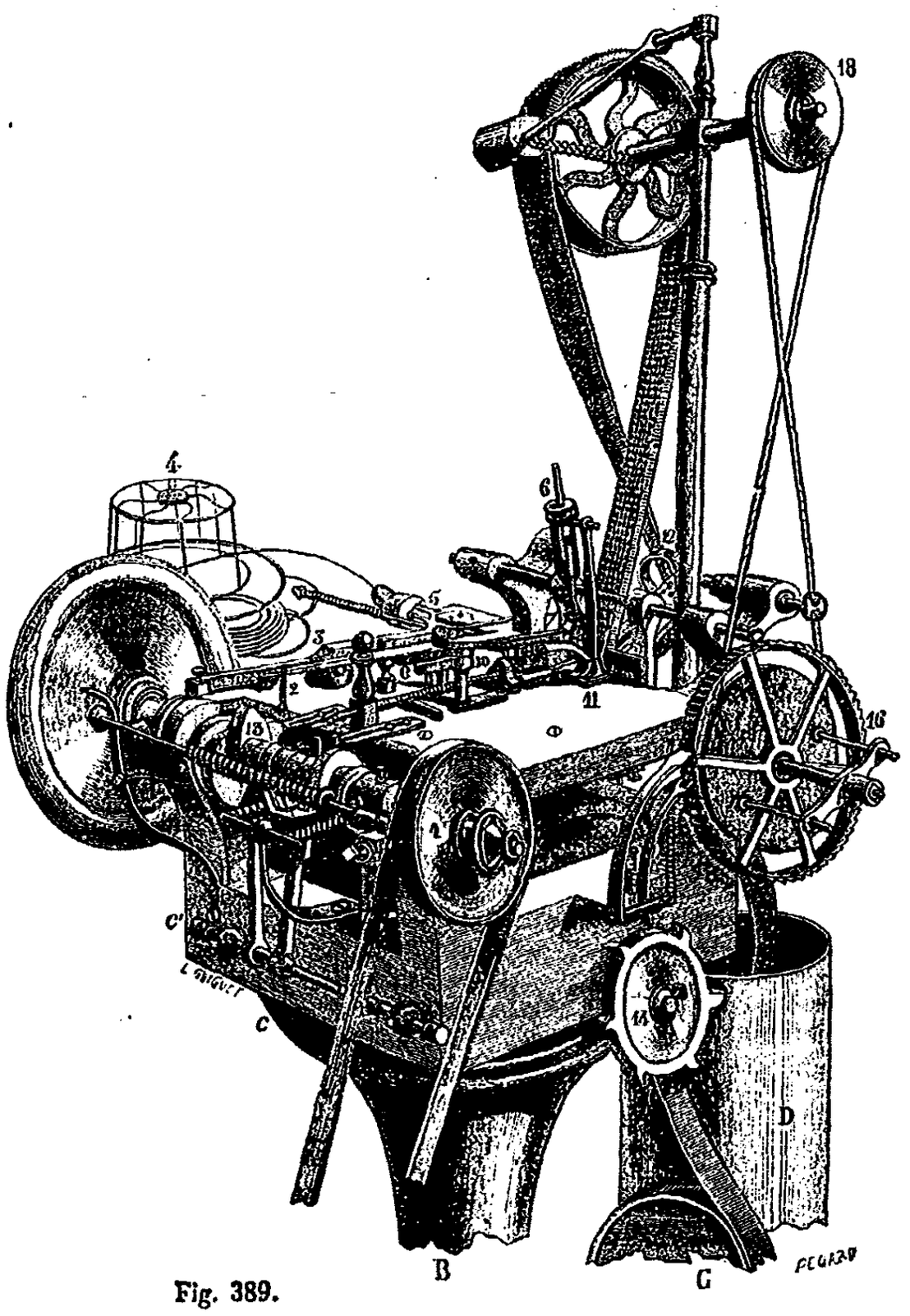


Fig. 389.

Les pièces qui se meuvent sont montées sur une base et un piédestal B en fonte, supportant une masse carrée C. Le ruban qui sert de point de départ à la fabrication de la carde se déroule d'un rouleau placé à la partie inférieure. 1 est la poulie motrice, montée sur l'extrémité d'une axe garni d'excentriques qui donnent le mouvement aux diverses pièces que nous allons décrire et que des ressorts ramènent à leur place; 2 est le *stoppeur*, qui permet d'arrêter la machine lorsque le fil de fer manque sur la bobine 4, ou pour quelque autre cause; 3, les pinces qui amènent la longueur de fil convenable; 5, les couteaux qui le coupent à la longueur voulue; 6, 7, 8, pièces qui conduisent le fil aux deux doigts 9 et 10, qui le replient carrément et l'enfoncent dans les trous percés dans le ruban; 11, l'outil *perceur* qui oscille autour d'un axe horizontal; 12, le *croqueur* qui replie les dents placées dans le ruban, qui sont ainsi *boutées*, c'est-à-dire soutenues, boutées en avant; 13, came dont la forme et l'emplacement détermine le genre de la carde; 14, roue à saillies qui met en mouvement un rochet 15, qui fait mouvoir la roue 16, qui fait monter le ruban quand les dents sont placées, en raison du degré de finesse, du nombre de dents pour l'unité de surface; 17, poulie mettant en mouvement la poulie 18, qui prend la carde finie et l'envoie dans le tambour D.

Inutile de décrire les relations mutuelles de mouvement de ces divers organes, bien faciles à concevoir, ce qui n'empêche pas leur détermination exacte et la

construction parfaite de ces élégantes machines d'être un véritable chef-d'œuvre de la mécanique moderne. Quant à la puissance et à la légèreté de ses mouvements, nous en donnerons idée en disant que ces machines placent de 2 à 300 dents par minute. Il y a dans la fabrique de M. Dyer, à Manchester, 60 machines pareilles mues par une machine à vapeur, surveillées par des jeunes filles, qui emploient chaque jour 80 à 100,000 mètres de fil de fer.

L'Exposition de 1855 montrait des machines à bouter les cardes qui produisaient encore plus rapidement que celle-ci ; mais en réalité elles consistaient en plusieurs machines qui boutaient simultanément sur le même ruban. Il nous semble que l'on doit tendre à simplifier le jeu des organes, pour mettre leur fonctionnement à l'abri de tout accident, plutôt qu'à les compliquer pour atteindre une production plus rapide par la pose d'un plus grand nombre de dents à la fois ; avantage que le moindre accroissement, dans les temps d'arrêt, rend bien facilement illusoire.

CARMIN (*angl.* carmine, *all.* karmin). D'après MM. Pelletier et Caventou, le carmin est un composé de la matière colorante de la cochenille, d'une matière animale qui y est également renfermée, et des éléments du sel qu'on y ajoute pour en déterminer la précipitation. Les principes sur lesquels repose la préparation du carmin sont aussi peu connus que sa composition, tant parce que l'emploi de cette couleur très chère est assez restreint et que sa fabrication est restée entre les mains d'un petit nombre de personnes, que parce que le prix élevé de la matière première a empêché la plupart des chimistes d'entreprendre une étude complète à cet égard. On connaît plusieurs recettes pour préparer le carmin, mais aucune d'elles ne suffit pour rendre certaine la réussite de ce travail délicat. Dans la préparation du carmin, comme du reste dans celle de presque toutes les couleurs, le succès dépend beaucoup de certains détails qu'on ne peut acquérir que par une longue expérience, comme par exemple de l'appréciation du moment exact où il faut arrêter l'ébullition de la décoction de cochenille, et pour lesquelles on ne peut donner aucune règle.

On trouve chez les marchands de couleurs trois sortes de carmin qui ont une valeur très différente. Les qualités inférieures sont souvent falsifiées par du vermillon (mercure sulfuré), ou de la laque carminée, combinaison de la matière colorante avec de l'alumine que l'on ajoute dans la précipitation ; dans le premier cas la nuance n'a pas le même éclat ; dans le second, elle est plus pâle ; ces falsifications sont d'ailleurs faciles à reconnaître, en faisant digérer la matière à essayer avec de l'ammoniaque caustique ; le carmin se dissout complétement, et l'on peut déterminer la proportion de vermillon ou de laque carminée en desséchant et pesant le résidu.

Carmin ordinaire. On prend :

Cochenille en poudre. . .	1000	grammes
Carbonate de potasse. . .	30	—
Alun pulvérisé.	60	—
Colle de poisson.	30	—

On fait bouillir la cochenille avec le carbonate de potasse dans une chaudière en cuivre contenant 20 litres d'eau, et au cas que l'ébullition soit trop vive, on la tempère en ajoutant un peu d'eau froide. Après quelques minutes de l'ébullition on enlève la chaudière et on la place sur une table, en l'inclinant de manière à pouvoir transvaser commodément la liqueur.

On y jette l'alun pulvérisé, et on remue le tout avec précaution ; la liqueur, auparavant d'un rouge cerise foncé, change aussitôt de couleur et devient d'un rouge vif de carmin. Au bout d'un quart d'heure, la cochenille s'est complétement déposée au fond, et la liqueur est tout aussi claire que si elle avait été filtrée ; on la décante alors dans une autre chaudière de même capacité, que l'on met ensuite sur le feu après y avoir ajouté de la colle de poisson préalablement dissoute dans beaucoup d'eau et passée au tamis de crin. Au moment de l'ébullition, le carmin monte à la surface sous la forme d'un coagulum, tout à fait comme dans les clarifications des liquides par le blanc d'œuf. On retire aussitôt la chaudière, on en agite le contenu avec une spatule, puis on l'abandonne à lui-même ; au bout de quinze à vingt minutes le carmin s'est déposé, on décante, on fait égoutter le carmin sur un filtre en toile fine et serrée, on le lave à l'eau et on le dessèche. Si l'opération a été bien conduite, le carmin sec obtenu s'écrase facilement sous les doigts. La liqueur dont le carmin s'est précipité, est encore très fortement colorée en rouge, et peut être avantageusement employée à la préparation des laques carminées (voyez LAQUES).

D'après une ancienne recette, on prépare le carmin au moyen de l'alun seul. On fait bouillir de l'eau, on y mêle, pendant qu'elle bout la cochenille pulvérisée, on agite le tout ensemble, et on laisse bouillir pendant six minutes ; on ajoute alors de l'alun concassé, on laisse bouillir encore pendant trois minutes ; on retire la chaudière du feu, on filtre la décoction, et on la laisse reposer pendant trois jours dans un vase plat de porcelaine ou de faïence ; le carmin se dépose sous la forme d'un sédiment rouge, on décante, on lave le sédiment et on le fait sécher à l'ombre. La liqueur décantée est encore fortement colorée en rouge, et donne par un repos subséquent une nouvelle quantité de carmin d'une qualité inférieure qu'il est préférable de précipiter par l'addition d'un peu de perchlorure d'étain. On emploie par ce procédé 580 parties d'eau de source, 16 p. de cochenille et 1 p. d'alun ; on obtient 1 1/2 à 2 p. de carmin.

Carmin obtenu par le tartre. On fait bouillir 512 parties d'eau, on y ajoute 32 p. de cochenille pulvérisée, et après une courte ébullition 2 p. de crème de tartre ; huit minutes après on ajoute encore 3 p. d'alun pulvérisé, on laisse bouillir quelques minutes, on retire du feu, on filtre, et on laisse comme ci-dessus déposer le carmin dans des vases plats en porcelaine ou en verre.

Carmin de MM. Alyon et Langlois. On fait bouillir 4 à 5 litres d'eau de source, on y ajoute 64 grammes de cochenille pulvérisée, puis une dissolution de 3 grammes de carbonate de soude dans 32 grammes d'eau, on continue l'ébullition pendant une demi-heure, on retire la chaudière du feu et on la laisse refroidir en la plaçant dans une position inclinée. On ajoute alors 3 grammes d'alun pulvérisé, et on agite vivement pendant vingt minutes environ pour en déterminer la dissolution ; puis on transvase avec précaution la liqueur, qui doit posséder une belle couleur rouge écarlate, on y ajoute la moitié d'un blanc d'œuf délayé dans 32 grammes d'eau, et on bat le tout ensemble. On remet alors la liqueur sur le feu et on la chauffe jusqu'à ce que le carmin se coagule avec le blanc d'œuf ; on la retire ensuite, et on laisse déposer le carmin pendant vingt à trente minutes. On décante la liqueur surnageante, on fait égoutter le carmin sur un filtre en toile jusqu'à ce qu'il ait atteint la consistance d'un fromage à la crème mou, on l'enlève alors avec une spatule en argent ou en ivoire, on l'étend sur une planche en bois bien unie et bien propre, on le recouvre d'une feuille de papier, et on le fait sécher à l'air libre ou dans une étuve. On retire, par ce procédé, de 32 parties de cochenille, 3 parties de carmin.

Carmin superfin de madame Cenette à Amsterdam. On fait bouillir six seaux d'eau de source, on y ajoute 1 kil. de cochenille de première qualité, pulvérisée ; après deux heures d'ébullition, on y met 0k,095 de nitre raffiné, et quelques minutes après 0k,125 de sel d'oseille (bi-oxalate de potasse). On laisse encore bouillir pendant dix minutes, puis on retire la chaudière du

feu, et on laisse reposer pendant quatre heures. La cochenille épuisée se dépose au fond et on transvase; à l'aide d'un syphon, la liqueur claire qui surnage, dans des vases plats en porcelaine, où on la laisse déposer pendant trois semaines. Au bout de ce temps, il s'est formé à la surface une pellicule de moisissure, que l'on enlève avec une baleine à l'extrémité de laquelle on attache une petite éponge; on fait ensuite écouler l'eau par un petit syphon, qu'on peut faire plonger jusqu'à la surface du carmin, parce que ce dernier forme un dépôt assez compacte. Ce carmin desséché à l'ombre est d'une beauté remarquable, et son éclat est si vif qu'il fatigue la vue.

Carmin chinois. On fait bouillir un seau d'eau de source avec 625 grammes de cochenille pulvérisée et 3 ou 4 grammes d'alun; après sept minutes d'ébullition on retire la chaudière du feu, on filtre, et on laisse reposer pendant quelque temps. On prépare, d'un autre côté, une eau régale avec 320 gr. de sel marin et 500 gr. d'eau-forte, dans laquelle on dissout par petites portions successives 120 gr. d'étain en larmes de Malaca; puis on verse cette dissolution goutte à goutte dans la décoction de cochenille, qu'on a réchauffée jusqu'à l'ébullition; le carmin ne tarde pas à se précipiter. On le décante et on le fait sécher à l'ombre, comme nous l'avons dit.

On peut améliorer le carmin ordinaire en le faisant digérer à une douce température avec de l'ammoniaque caustique, filtrant pour séparer la matière étrangère, puis précipitant le carmin, en ajoutant de l'alcool et sursaturant la liqueur par de l'acide acétique, lavant le précipité de carmin avec de l'alcool étendu d'eau, et le desséchant à l'ombre.

Le carmin est la plus belle des couleurs rouges; il est très employé, à cause de son éclat et de sa vivacité, dans la peinture en miniature, ainsi que dans la fabrication des fleurs artificielles; les confiseurs et les pharmaciens s'en servent pour colorer diverses préparations. Tantôt on le mélange simplement avec les substances à colorer, tantôt on l'emploie à l'état de teinture en le dissolvant dans l'ammoniaque caustique en excès; on laisse ensuite dissiper l'excès d'alcali, par l'évaporation spontanée, et la dissolution est propre à être employée lorsqu'elle est devenue inodore.

Pour ce qui regarde le principe colorant du carmin, voyez COCHENILLE.

CARRIÈRES. Voyez MINES.

CARTES A JOUER (*angl.* playing cards, *all.* spielkarten). Le carton employé pour la fabrication des cartes est formé de trois sortes de papiers superposés; le premier, dit papier *cartier*, recouvre le derrière de la carte; il doit être d'une couleur bien uniforme dans toutes ses parties (il est ordinairement blanc), sa pâte doit être bien égale, et ne présenter aucune tache ou autre signe qui puisse faire distinguer les cartes entre elles. Le papier intermédiaire, dit papier *main-brune*, est un papier gris bien uni et d'une teinte bien uniforme, que l'on met en double et qui sert tant à détruire la transparence du carton qu'à lui donner une certaine roideur, par suite de la propriété qu'il possède de prendre beaucoup de colle. Enfin le papier blanc, dit *papier de face*, destiné à recevoir les figures et enluminures, est un papier blanc à filigranes, que la *régie* fournit afin d'avoir une garantie contre la fraude, attendu que les cartes payent des droits considérables. Ces trois sortes de papier sont livrées en feuilles ouvertes de 0m,405 de long sur 0m,344 de large, qui forment chacune la grandeur de 24 cartes. L'impression du trait des figures se fait ordinairement avec des planches en bois; chaque fabricant a les siennes déposées dans les bureaux de la régie, où il va tirer les épreuves avec de l'encre noire ou bleue, en présence d'un préposé, sur le papier qui lui est délivré par la régie.

CARTES A JOUER.

Vient ensuite le collage des feuilles qui doivent composer les cartes : l'ouvrier étend d'abord une feuille de papier blanc, sur une planche assez épaisse et bien dressée, dite *ais à coller*. Il prend ensuite une feuille de papier de face, l'étend sur la planche et la recouvre avec une grosse brosse, qui porte une poignée sur le dos, de colle très claire faite avec un mélange de farine, d'amidon et d'eau; il applique par dessus une feuille de papier gris, l'encolle, pose dessus une nouvelle feuille de papier gris, l'encolle encore, puis deux feuilles de papier cartier qu'il pose simplement dessus. Par ce moyen, la première de ces feuilles se colle entièrement, l'autre ne se colle que par les bords, reste ainsi pendant tout le cours de la fabrication, et ne se détache que lorsqu'on rogne les bords; elle sert à garantir la feuille collée des maculatures qui pourraient la salir soit sous la presse, soit pendant tout le cours de la fabrication. On continue ainsi, et lorsqu'on a collé un nombre suffisant de cartons, on les met en presse entre deux ais. On presse peu à peu afin de donner à la colle le temps de bien s'imbiber, et lorsque la pression est à son plus haut degré, on laisse un peu le carton se tasser; on desserre la vis, et l'on enlève ou l'on *torche* avec un pinceau doux trempé dans l'eau claire, la colle excédante que la pression a fait refluer sur les bords. On sépare ensuite les cartons avec un couteau, on les livre aux éplucheuses qui enlèvent les ordures et les aspérités qu'on peut y rencontrer, puis on les porte au séchoir ordinairement à air libre. Quand les cartons sont secs ils sont prêts à être *habillés*, c'est-à-dire enluminés.

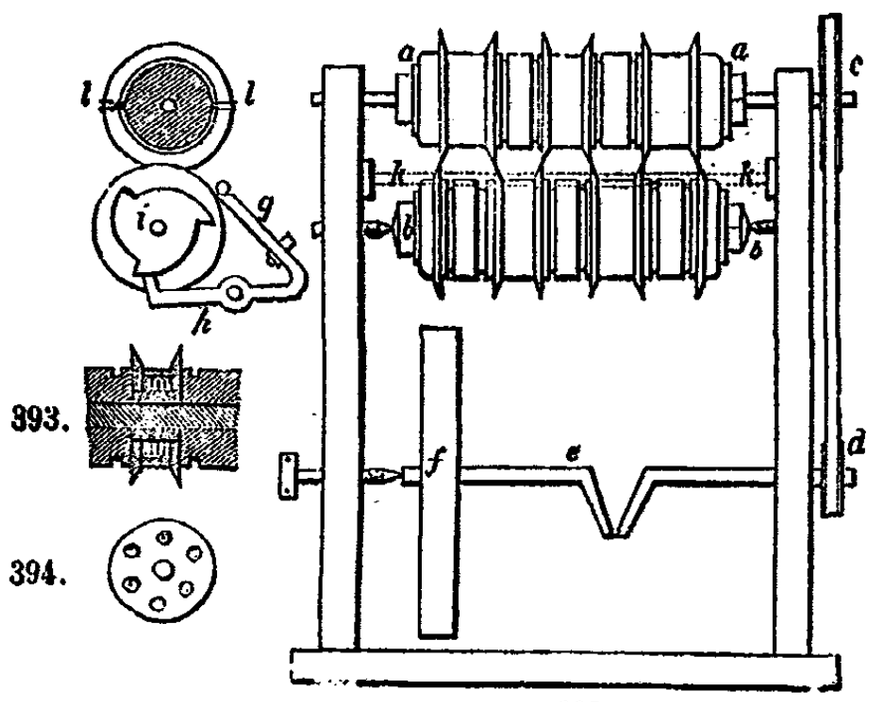
On emploie dans l'enluminure cinq couleurs en détrempe, qui sont : le *noir*, noir de fumée délayé dans de la colle claire d'amidon ou de gélatine; le *bleu*, indigo délayé dans de la colle de gélatine; le *gris*, c'est la même couleur que le bleu, mais très peu teintée et étendue d'eau gommée; le *jaune*, décoction de graine d'Avignon avec 1/8e d'alun, ou de gomme gutte; le *rouge*, mine orange (voyez PLOMB), ou vermillon très gommé. On applique successivement ces couleurs dans l'ordre suivant, rouge, jaune, noir, bleu et gris, à l'aide de brosses dures et de patrons taillés à jour; il faut une brosse et un patron pour chaque couleur; ces patrons sont taillés pour une feuille entière et découpés, à l'aide d'un outil bien tranchant, dit *pointe à patron*, suivant les contours de la couleur qu'ils servent à appliquer, dans une feuille de papier recouverte sur chaque côté de plusieurs couches de peinture à l'huile; les patrons des points se font à l'emporte-pièce. Il faut avoir bien soin en posant les couleurs de ne pas les doubler, ainsi que de ne pas laisser entre elles des espaces blancs ou *fenêtres;* il faut mettre le noir peu épais car il est sujet à couler sous la lisse, même lorsqu'il est sec.

On sèche ensuite les cartons habillés sur un poêle, on les frotte sur chaque face avec un morceau de feutre enduit de savon sec, et on les lisse au moyen d'un caillou arrondi, nommé *lissoir*. On remet les cartons sous presse pour les redresser; il ne reste plus ensuite qu'à les tailler exactement de la même grandeur.

On commence par rogner les bords des cartons, ensuite on les découpe en rubans, dits *coupeaux*, qui sont juste de la largeur des cartes et en contiennent six dans leur longueur; on découpe ensuite ces rubans en cartes séparées. Le coupeur est guidé dans ces opérations d'abord par des traits imprimés qui déterminent les limites de la séparation, puis par des guides parallèles aux ciseaux qui en sont convenablement éloignés, et contre lesquels il appuie la tranche des feuilles de carton à découper.

Nous terminerons en décrivant la machine à découper les cartes, de M. Dickinson, qui est représentée fig. 392, 393 et 394. Elle se compose d'une série de cisailles circulaires montées sur les axes en fer *a a*, *b b*, sur lesquels elles sont assujetties au moyen de man-

chons en bois. Ces cisailles sont mues par l'intermédiaire d'une courroie sans fin *cd*, qui passe sur la gorge d'une poulie fixée à l'une des extrémités de l'arbre



393.

394.

392.

coudé *e*, dont le mouvement est régularisé par un volant *f*. Afin d'obtenir un découpage bien net, les disques tranchants, montés sur l'axe inférieur *bb*, sont disposés deux par deux, comme on le voit, fig. 393, de telle sorte qu'il y ait entre les deux disques d'un même couple un fort ressort spiral en acier, qui les presse continuellement contre les disques correspondants montés sur l'axe *aa*. Les rondelles et les taillants, outre l'ouverture centrale, sont percés, comme on le voit, fig. 394, de six trous équidistants que traversent de longs boulons destinés à les recevoir. Enfin, après le découpage des cartes, il ne reste plus qu'à les trier, les assortir, éliminer celles qui sont défectueuses, et les mettre en paquets de 52 cartes pour le jeu entier, de 42 cartes pour le jeu d'hombre, et de 32 cartes pour le jeu de piquet.

CARTHAME (*angl.* carthamus, safflower, *all.* saflor). Nom donné aux fleurs du *carthamus tinctorius* de Linnée, qui croît dans le midi de la France, la Hongrie, l'Espagne, l'Égypte, l'Amérique du Sud et les Indes. Il en existe deux variétés, l'une à grandes, l'autre à petites fleurs; la première est principalement cultivée en Égypte et y forme un objet d'exportation d'une valeur considérable. Aussitôt après la floraison, on enlève les fleurs et on les fait sécher à l'ombre soit immédiatement, soit après les avoir pétries dans de l'eau, afin d'enlever la plus grande partie de la matière colorante jaune soluble qu'elles contiennent.

Le carthame renferme deux matières colorantes, l'une jaune, l'autre rouge, qui est seule employée dans la teinture. On enlève la matière colorante jaune qui est soluble dans l'eau, en introduisant le carthame dans un sac en toile que l'on malaxe sous l'eau, jusqu'à ce qu'il ne se dissolve plus rien. Le carthame de jaune rougeâtre qu'il était auparavant devient d'un rouge clair, et perd dans cette opération presque la moitié de son poids. On peut alors en extraire la matière colorante rouge qu'il renferme, et qui a reçu le nom de *carthamine*, en le traitant par une dissolution étendue de *carbonate de soude*, puis précipitant la liqueur alcaline par un acide. Le carthame ne contient que 1/2 p. 100 de carthamine.

La carthamine est une couleur d'une beauté remarquable, malheureusement elle est si altérable qu'on ne peut l'employer dans la teinture des tissus de laine et de coton; mais pour les étoffes de soie, où l'on regarde plus à la vivacité des couleurs qu'à leur inaltérabilité, on se sert beaucoup du carthame pour produire différentes nuances rouges très belles, telles que le rose, la teinte de chair, etc.

On prépare pour la teinture le bain de carthame, ainsi qu'il suit : on saupoudre 20 parties en poids de carthame bien lavé, comme nous l'avons dit ci-dessus, avec 1 p. de carbonate de soude pulvérisé et on mélange bien le tout ensemble. On place ensuite le mélange sur un tamis en toile très serrée et on le lave avec de l'eau froide, jusqu'à ce que celle-ci passe incolore. On achève d'épuiser le résidu en le retraitant de la même manière avec une faible proportion de carbonate de soude; le carthame complétement épuisé qui reste sur le tamis est coloré en jaune.

On se sert, pour décomposer la dissolution alcaline ainsi préparée et précipiter la couleur sur la soie, d'acide citrique que l'on ajoute en quantité suffisante pour faire *virer le bain* au rouge cerise. Nous renvoyons pour les précautions à prendre dans cette opération, et la manière d'obtenir les différentes nuances que cette couleur sert à préparer, à l'article TEINTURE. Nous rappellerons seulement que : les acides étendus ravivent la couleur du carthame sans la dissoudre; les carbonates alcalins la dissolvent en la jaunissant, mais l'on peut la rétablir par l'addition d'un acide; et les alcalis caustiques la détruisent.

Le prix élevé du carthame fait qu'on y ajoute souvent de l'ORSEILLE, qui devient par l'action des acides d'un rouge assez vif.

La grande sensibilité du rouge de carthame oblige d'opérer la teinture à froid et de sécher l'étoffe de soie à l'ombre.

On emploie aussi le carthame pour préparer ainsi qu'il suit une couleur extrêmement belle (rouge d'assiette), employée principalement dans la peinture des fleurs artificielles : on lave d'abord le carthame avec de l'eau froide pure ou mieux étendue de vinaigre, pour enlever entièrement la matière colorante jaune soluble. On malaxe ensuite à froid le résidu dans un poids de carbonate de soude égal au sien et 15 fois son poids d'eau de pluie. On l'exprime et on achève de le laver avec une petite quantité d'eau; la matière rouge se dissout; on passe à travers une toile serrée; on place dans la liqueur des écheveaux de coton, puis on la sature par de l'acide citrique; la matière colorante rouge se précipite à l'état d'une grande pureté sur le coton; on le sèche, on le lave, puis on le traite de nouveau par une dissolution de carbonate de soude, renfermant 5 parties d'eau en poids pour une partie de carbonate de soude cristallisé, qui redissout la matière colorante, que l'on précipite alors par une dissolution d'acide citrique : le dépôt se fait lentement; on le lave bien à l'eau froide, et on le dessèche ensuite sur des assiettes dont on l'enlève par écailles au moyen d'une pointe de couteau. Ces écailles présentent un bel éclat métallique rouge cuivré, qui les fait aisément distinguer des autres couleurs rouges.

Enfin le carthame sert à la préparation du *rouge végétal* employé pour la toilette. A cet effet on pulvérise finement du talc très blanc, que l'on mélange dans un mortier avec du *rouge d'assiette* non gommé, préparé comme il vient d'être dit. On broie ensuite le mélange avec une petite quantité de blanc de baleine, on l'humecte avec un peu d'éther sulfurique et on le met en pots. On prépare un rouge végétal de qualité inférieure en remplaçant la carthamine par du carmin.

Le carmin se distingue à ce qu'il se dissout dans l'ammoniaque en la colorant en rouge foncé, tandis que la carthamine donne une dissolution brun-jaunâtre.

CARTON (*angl.* paste-boards, *all.* pappe). Voyez PAPIER.

Le carton se fabrique avec de vieux papiers que l'on humecte et que l'on fait pourrir en tas pendant dix ou quinze jours, pour détruire les matières étrangères altérables. On les désagrége en les broyant à l'eau sous des meules verticales, et on y ajoute, pour les basses qualités, de l'argile, des ocres, etc. La pâte préparée est mise en feuilles à l'aide d'une forme, pressée entre des feutres et séchée à l'air libre. On lisse ensuite la surface, par un passage au laminoir, qui augmente la densité du carton.

CARTOUCHES (*angl.* cartridge, *all.* patrone). Lors de l'invention des armes à feu, on chargeait l'arme au moyen de la poudre et de la balle qu'on y plaçait successivement. Ce fut un grand progrès, au point de vue de la rapidité du tir, que la réunion, dans une enveloppe de papier, de la poudre et de la balle.

Pour fabriquer la cartouche de l'ancien fusil de munition, on coupe diagonalement des carrés du papier destiné à faire l'enveloppe, débités dans une grande feuille de manière à avoir des morceaux ayant environ 0m,145 de hauteur, 0m,145 de largeur à un bout et 0m,059 à l'autre.

Un de ces morceaux de papier étant étendu sur une table, on le roule autour d'un mandrin cylindrique en bois dur et sec) qui a 0m,190 de long et 0m,013 de diamètre. Le bout de ce mandrin est creusé, de manière à y loger la balle. On laisse passer le papier un peu au-delà de la balle; alors, relevant le mandrin enveloppé du papier de la cartouche, on replie celui-ci par-dessus la balle, et on l'arrondit dans un trou pratiqué à cet effet dans la table. On retire le mandrin et on verse dans le cylindre de papier la charge de poudre renfermée dans une mesure de dimension convenable. Le papier est enfin replié sur la poudre, en la comprimant assez pour éviter le ballottement des grains.

C'est cette dernière partie que le soldat déchire avec ses dents avant de verser la poudre dans le canon du fusil; il entre ensuite la balle, le papier en avant, celui-ci faisant bourre en s'appliquant sur la charge.

Cartouche à broche. Lorsque l'on essaya, pour la chasse, des fusils se chargeant par la culasse, qui semblaient si commodes et qui faisaient disparaître les dangers qui accompagnent le chargement à la baguette, surtout pour le fusil à deux coups, ils présentaient un très-grave inconvénient; nous voulons parler du crachement qui se faisait au tonnerre, au point où s'ouvrait le fusil. Il semblait impossible d'éviter cet inconvénient, car l'articulation de pièces devant s'ouvrir et se fermer à la main ne pouvant jamais être assez précise pour empêcher le passage des gaz, aussi bien des personnes jugèrent que les armes se chargeant par la culasse étaient impropres à faire un bon service.

Le succès de ces armes a prouvé, non pas que ce jugement, porté sur ces armes telles qu'elles étaient à leur origine, était faux, mais qu'on a su trouver un remède au défaut signalé. Ce remède efficace a été l'invention de la cartouche à culot et à broche, permettant aussi de supprimer la cheminée du fusil Lefaucheux. Ces cartouches sont formées par un cylindre en papier fort, dont une extrémité est engagée dans une rondelle en cuivre à bords repliés, recevant dans l'intérieur un culot en carton épais, fortement comprimé. A travers ce carton, on perce un trou qui reçoit une broche en laiton qui entre dans une capsule placée à l'intérieur de la cartouche. On appréciera le mode de construction de ces cartouches par la description qui va suivre d'un système dû à M. Chaudun pour fabriquer des cartouches de ce genre plus résistantes, inusables, qui peut trouver d'utiles applications, et qui, comme la cartouche en papier, formant un tonnerre artificiel, bouchant hermétiquement l'ouverture de jonction, ne permet plus de crachement en ce point.

Cartouche Chaudun. M. Chaudun s'était proposé ce problème: Combiner, pour le cas où l'on manquerait de cartouche à culot, une cartouche dont l'enveloppe pût servir pour un grand nombre de coups de fusil, et qui pût être établie avec les approvisionnements que l'on trouve partout, avec les capsules notamment qui servent pour tous les fusils à percussion (fig. 1 et fig. 2).

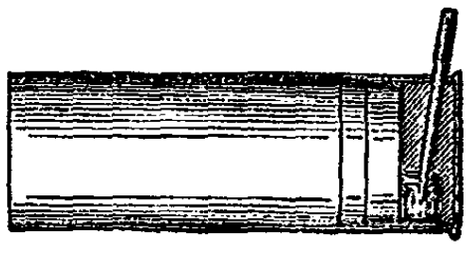


Fig. 1.

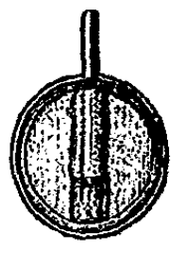


Fig. 2.

Pour obtenir ce résultat, voici comment il procède.

Dans une plaque de cuivre il découpe et obtient par emboutissage, en cinq ou six opérations successives, un tube de cuivre formé par une extrémité, sans aucune soudure, et très-résistant lorsque l'opération est bien conduite et la matière première de bonne qualité.

Cette pièce est la base de la cartouche, c'est sur elle que vient se fixer la pièce dite le culot. Placée au fond de la cartouche et supportant la majeure portion de la pression produite par l'explosion, cette pièce doit être d'une épaisseur et d'une résistance considérables; elle doit, comme le fait le carton de la cartouche en papier, posséder une certaine élasticité pour serrer sur la broche qui la traverse et sert à déterminer l'explosion; enfin elle ne doit pas se détruire, pour que la même cartouche puisse servir un grand nombre de fois.

A cet effet on prépare deux petits godets en cuivre, par l'action d'un poinçon cylindrique, sur un petit cercle de cuivre placé dans une matrice également cylindrique. On entre l'un d'eux dans le cylindre de l'autre, après avoir interposé entre eux un disque de 3 millimètres environ d'épaisseur en métal de caractères, c'est-à-dire un métal malléable, composé en grande partie de plomb, durci par de l'antimoine, autant qu'il est nécessaire pour pouvoir le découper. Ce culot, sensiblement de même calibre que la cartouche, se place dans celle-ci, et le tout est soumis au balancier.

En même temps que le tout se trouve réuni par la compression, l'extrémité du poinçon vient faire naître au fond du culot une saillie pour donner de la force au passage de la broche et une cavité pour recevoir la capsule. Extérieurement, la matrice est un cylindre portant à sa partie inférieure une petite cavité circulaire dans laquelle vient se former, par la compression, un petit bourrelet qui sert à fixer exactement la cartouche dans le canon sans qu'elle puisse trop s'enfoncer. On comprend que la cartouche ne pourrait se retirer de la matrice si celle-ci n'était pas formée de deux pièces, d'une partie cylindrique et d'un fond plat.

La cartouche amenée à cet état, il suffit de percer un petit trou près du bourrelet et d'y passer une petite broche de laiton pour qu'elle soit achevée. C'est sur cette broche, reposant sur une capsule, que vient percuter le chien, simplement terminé par une partie plate.

Les chasseurs sont restés fidèles aux cartouches à culot en papier, qu'on se procure toutes faites dans le commerce; cependant il était important de les améliorer au point de vue des applications de ces cartouches aux armes de guerre. Pour le moins grave des inconvénients qu'elles présentent, pour le crachement autour de la broche, inconvénient qu'on n'est parvenu à diminuer,

pour les chasseurs qui ne regardent pas à la dépense, qu'en ajustant avec soin la broche entre des surfaces métalliques, moyen coûteux et susceptible d'occasionner des ratés, on peut le corriger par un système proposé par M. Chaudun.

Au lieu de faire entrer la broche dans une capsule cylindrique ordinaire qui donne nécessairement un crachement par l'intervalle qui existe autour de la broche, qui assure son libre jeu, il fait faire un quart de tour à la capsule qu'il aplatit, qui devient une espèce de petit sac métallique, dont il comprime les lèvres. Dans cette disposition, l'explosion de la capsule a lieu à angle droit de la broche, et l'extrémité de celle-ci n'est plus dans la capacité de la capsule; celle-ci ne conduit pas les gaz très-chauds le long de la broche qui agit sur la face extérieure de la capsule. L'expérience a confirmé l'excellence des résultats obtenus; il suffit de mettre un papier sur la broche pour vérifier que le crachement est nul, tandis que, avec les divers systèmes des cartouches du commerce, il est considérable, comme le prouvent les espèces de diagrammes ainsi tracés sur le papier.

Cette disposition permet d'enflammer la poudre par la partie antérieure de la cartouche, en prolongeant en quelque sorte la capsule, en la réunissant à un petit cylindre de cuivre de longueur convenable. La flamme de l'explosion peut parcourir ainsi, sans inconvénient aucun, des longueurs bien plus grandes que celles dont il s'agit ici. Cette solution, en permettant facilement d'employer des poudres de vivacité différente dans une même charge, peut conduire à des résultats importants.

Les avantages de la disposition que nous venons de rappeler sont sensiblement obtenus par la cartouche à inflammation centrale sur laquelle nous reviendrons bientôt.

Cartouche Boxer. Le second et grave défaut de la cartouche à culot, qui s'est trouvé bien sensible quand on l'a appliqué à des armes de guerre, c'est la séparation qui se produit souvent, après l'explosion, entre le culot et le papier, qui, adhérant fortement, surtout s'il est humide, au canon encrassé, est difficile à retirer et paralyse ainsi l'arme entre les mains du soldat, au moment où il a le plus besoin de s'en servir. Le remède à ce défaut a été trouvé par un officier de l'artillerie anglaise, le colonel Boxer, par son ingénieuse invention de cartouches métalliques, qui ont reçu, en Europe et en Amérique, le nom de leur inventeur. Ces cartouches sont faites d'une feuille de cuivre, de clinquant, enroulée sur elle-même, et maintenue par une enveloppe de papier, le tout étant assujetti au culot par un tampon, et

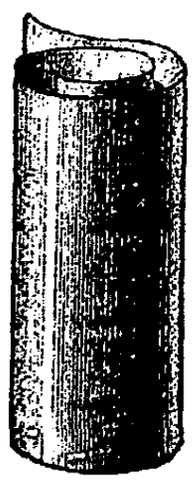


Fig. 3.

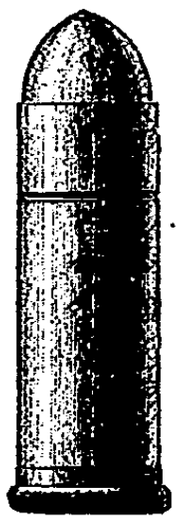


Fig. 4.

réuni aux cannelures pratiquées à la base du projectile par sertissage, par refoulement du métal sur ce dernier (fig. 3 et 4).

Ce qui fait le grand mérite de ces cartouches, c'est que le papier, collé au bord du trapèze ou rectangle de cuivre qui sert à former l'étui, permet, après l'enroulement, de maintenir, par un nouveau collage, le cylindre qui doit recevoir la poudre, hermétiquement fermé. Il offre cependant assez peu de résistance, pour se rompre au moment de l'explosion, permettant à la feuille métallique de se dilater, de s'appliquer contre les parois de l'arme lors de l'explosion et, par contre, de se contracter après celle-ci, de telle sorte que la cartouche ne peut contracter d'adhérence, et sort librement de l'arme.

Cet emploi d'une feuille de clinquant mince demande à être bien compris pour apprécier le progrès réalisé par l'invention de cette cartouche, qui n'est pas seulement, comme on pourrait le croire à première vue, plus résistante que celle à enveloppe de papier.

Cette cartouche est à inflammation centrale, disposition adoptée généralement aujourd'hui. Le milieu du culot, étant percé, reçoit l'enclume, c'est-à-dire une petite masse de cuivre, percée en son centre et évidée en arrière, qui porte la capsule et forme cheminée. Le refoulement du tampon maintient suffisamment en place cette pièce; toutefois, il y avait avantage à l'assembler plus solidement au culot, en allongeant et recourbant d'équerre sur le culot ses bords extérieurs. C'est ce qu'a fait le colonel Boxer; mais, de plus, utilisant cette disposition, il s'en est servi pour assembler avec le culot un disque de métal, qui remplace avantageusement le bourrelet produit par refoulement du métal, est plus précis de dimensions, ferme mieux le canon et ne peut se déchirer. En effet, l'expérience a prouvé que par le système usuel on fatiguait le métal, et que c'est à ce bourrelet qu'a constamment lieu la déchirure des cartouches; sa suppression a encore été un véritable progrès.

Cartouche du fusil à tabatière. Comme exemple d'une cartouche à percussion centrale, nous décrirons la cartouche de l'ancien fusil transformé, modèle 1867 (fig. 5).

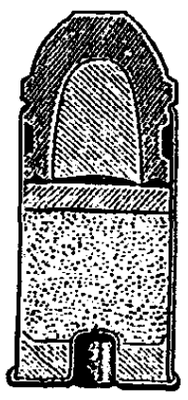


Fig. 5.

L'étui est un tube de clinquant recouvert de deux tours de fort papier, serti dans le culot. Celui-ci est en cuivre embouti; à sa partie postérieure est un bourrelet saillant qui produit l'obturation, empêche la cartouche de pénétrer trop avant dans la chambre, et permet de la retirer facilement, le coup parti. Le fond de ce culot est garni d'un bourrage de carton fortement comprimé et embouti au centre duquel se place l'amorce. Celle-ci se compose : 1° d'une *cuvette* de cuivre embouti, en forme de chapeau, sur la surface de laquelle six fentes permettent de rabattre contre le culot les intervalles formant les bords; le fond de la cuvette est arrondi et percé d'un petit trou au centre. Cette cuvette, ainsi maintenue, offre un point d'appui solide au choc du percuteur. 2° D'une *enclume* en laiton, petite tige cannelée, dont la section est en forme de croix, et qui se place dans la cuvette, de manière qu'un des bouts repose sur le fond, et que l'autre puisse être coiffé avec la capsule. 3° D'une capsule ordinaire sans rebord.

La réunion des diverses pièces est effectuée par une pression qui effectue l'emboutissage définitif du culot, l'assemblage avec celui-ci du bourrage de carton, de la cuvette et de l'étui.

Quand la capsule a reçu le choc du percuteur, la flamme glisse le long des cannelures et communique le feu à la poudre par le trou du fond de la cuvette. Une rondelle de feutre sépare la poudre de la balle. Celle-ci

porte des cannelures; l'une reçoit l'extrémité recourbée du cuivre de l'étui; l'autre, la graisse, protégée des agents extérieurs par la partie de l'étui qui la recouvre.

Cette cartouche, inspirée par la précédente mal comprise, est défectueuse. Elle tient souvent dans l'arme après rupture du bourrelet. Elle n'a pas fait honneur à la commission d'artillerie qui avait rédigé le programme de sa fabrication, et qui, ne voyant dans l'emploi du métal que la solidité, l'avait augmentée par un enroulement de papier collé qui faisait disparaître sa plus précieuse qualité, son élasticité.

Cartouches américaines. Ces cartouches sont presque toutes formées d'un tube métallique muni d'un renflement ou bourrelet à sa partie postérieure. Ce tube est embouti à la machine dans un seul morceau de cuivre ou de laiton. Au bourrelet extérieur du culot correspond, à l'intérieur, une sorte de gouttière dans laquelle on introduit, à l'aide d'une machine spéciale opérant par la force centrifuge, la composition fulminante qu'on isole de la poudre par un enduit de cire ou de vernis (fig. 6). La balle est sertie avec le tube, dont la partie supérieure isole la graisse contenue dans les cannelures. Le coup parti, le tube est extrait, en général tout à fait intact, par l'action d'un tire-cartouche automatique sur le bourrelet du culot.

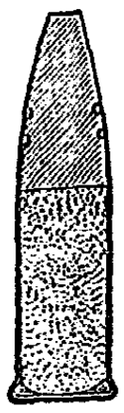


Fig. 6.

Ces cartouches sont dites à inflammation *périphérique* (comme celles des pistolets de salon Flobert). Le percuteur est disposé de façon à frapper le culot sur sa circonférence; en cas de raté, ce qui est rare, il suffit de faire tourner la cartouche sur elle-même dans son logement d'une certaine fraction de tour, et de presser de nouveau sur la détente, pour faire agir le percuteur sur un autre point du bourrelet mieux garni de fulminate, ce qui détermine l'inflammation.

La couche isolante de cire ou de vernis suffit pour protéger le fulminate qui ne s'avarie jamais par l'effet du voisinage de la poudre. La quantité de fulminate introduite ne doit pas être trop considérable, car il est important que son explosion, brisante de sa nature, ni celle de la poudre, ne déterminent pas la rupture du tube en un point quelconque du bourrelet; il en résulterait des fuites de gaz ou crachements qui incommoderaient ou même finiraient par blesser le tireur. Cela est d'autant plus à craindre que l'épaisseur du cuivre ne saurait être notable, puisqu'il faut que le percuteur écrase facilement le bourrelet. Ce système paraît donc peu susceptible d'être employé lorsque les charges sont fortes, par exemple, pour le service d'une arme à longue portée, qui exige une balle pesant au moins 25 grammes et une charge d'au moins 5 grammes de poudre vive, charge bien supérieure à celle des armes américaines qui emploient la cartouche dont nous venons de parler.

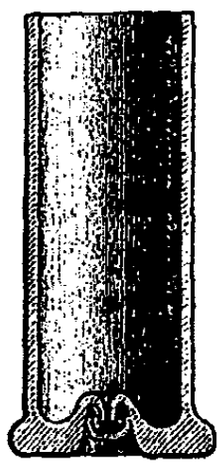


Fig. 7.

Nous citerons encore la disposition de cartouche à inflammation centrale représentée fig. 7. Le fond du culot est repoussé de manière à former à la fois un logement et une enclume pour une capsule courte qui s'applique dans le creux central; la pression du percuteur maintient cette capsule appliquée contre l'enclume, une fois le coup parti, et s'oppose aux crachements d'une manière généralement efficace.

Cartouches forme bouteille. Les cartouches à culot employées pour les fortes charges prennent une longueur qui devient gênante. On est parvenu à diminuer cet inconvénient en pratiquant une chambre d'un diamètre assez fort dans la partie du canon qui reçoit la charge (fig. 8).

Fig. 8.

Cartouches entraînées avec le projectile. Les cartouches à culot, surtout amenées au dernier degré de perfectionnement dont nous venons de parler, sont susceptibles d'un excellent emploi dans les armes de guerre. Aussi des armes qui jouissent d'une juste célébrité, le Remington, le Martini par exemple (voy. ARMES A FEU), emploient ces cartouches. Elles ferment bien le canon, et, ne se détruisant pas, sortent facilement du canon, grâce au tire-cartouches qui fonctionne en ouvrant l'arme pour la charger. La perte de temps, qui correspond à l'enlèvement des débris de la cartouche qui vient d'être tirée, est tout à fait insignifiante. On a pourtant cherché à l'éviter, surtout avant le perfectionnement des cartouches métalliques, au prix de dispositions complexes, dans le fusil à aiguille prussien et le fusil Chassepot.

Fig. 9.

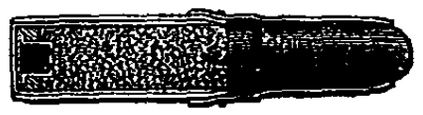
La cartouche du fusil prussien consiste en une balle allongée *a*, un sabot *b* ou culot de fort papier renfermant la matière fulminante, l'amorce, et, enfin, la charge de poudre *c*, le tout renfermé dans un même papier collé et replié à la partie supérieure (fig. 9).

L'aiguille doit donc traverser toute la charge de poudre pour aller percuter sur la balle qui fournit le point d'appui.

On a cherché à éviter ce supplément de course, qui entraîne des faussements de l'aiguille, dans la cartouche du fusil Chassepot, au moyen d'une disposition assez compliquée, qui rend la fabrication de la cartouche beaucoup plus délicate. Elle est représentée (fig. 10 et 11), en vue et en coupe.

Fig. 10. M

Fig. 11. N



La balle conique, du poids de 24^{g}, porte un renflement à la partie postérieure, qui se moule dans les rayures; la charge de poudre (de 5 grammes) est placée dans un papier résistant recouvert de gaze et replié au-dessus d'un petit disque en carton, sur lequel se place la balle recouverte d'un papier gris réuni solidement par un fil à celui de la cartouche. Ce dernier vient se coller sur un autre disque en carton, placé à l'extrémité de la cartouche opposée à la balle, disque percé d'un trou au centre pour recevoir la capsule à rebords. Cette capsule est maintenue par un papier collé sur le disque, et est remplie par un petit cylindre de caoutchouc, pour prévenir des accidents.

Du fait de la solidité du papier employé et faisant plusieurs tours, de la manière dont la poudre est maintenue entre deux disques, l'aiguille, en pénétrant dans la capsule, trouve une résistance suffisante pour faire partir le fulminate, qui enflammera d'autant plus sûrement la poudre que la capsule est percée à son fond de deux petits trous. Toutefois, le coup n'est évidemment pas sec, et il faut forcer la quantité et l'inflammabilité du fulminate pour éviter les ratés, ce qui est un inconvénient assez grave. On avait essayé, avec quelque suc-

cès, pour obtenir un point résistant, l'emploi d'un petit cylindre de poudre comprimée, placé au milieu de la poudre ; malheureusement, le placement en était incertain.

Il nous semble qu'il y aurait avantage, pour éviter la facile détérioration de cette cartouche dans les transports, à employer la combinaison suivante.

Elle consisterait à placer, au centre de la balle, une pointe de Paris (galvanisée au besoin dans un bain de zinc fondu), qui peut facilement être placée au centre du moule avant de verser le plomb. La tête de cette pointe, l'extrémité de la broche, dépassant le plomb de la longueur de la charge, fournirait, entre autres avantages, un point d'appui pour la percussion produisant l'inflammation de la capsule.

Nous avons donné une analyse détaillée de la fabrication des cartouches, non-seulement à cause de l'importance de cette industrie, mais parce que les armes à feu et les cartouches employées dans celles-ci formant un tout indivisible, les progrès accomplis dans la fabrication de ces dernières peuvent modifier la détermination de la meilleure arme de guerre. En principe, la fermeture par un culot, l'adaptation d'un tonnerre fermé, sont des avantages précieux pour des armes se chargeant par la culasse, dans lesquelles on emploie de fortes charges, auxquels on ne doit renoncer que pour des motifs graves, qui n'existent plus guère depuis les derniers progrès relatés ci-dessus.

CASSAVE (voyez AMIDON).

CASSIS. Fruit du *ribes nigra* Linn., qui sert à préparer le *ratafia* ; à cet effet on écrase 3ᵏ de cassis, on y ajoute 4 grammes de clous de girofle, 8 grammes de cannelle, 9 litres d'eau-de-vie de vin à 18° Baumé et 2ᵏ 1/2 de sucre; on introduit le mélange dans des bouteilles que l'on bouche bien, et que l'on laisse reposer pendant quinze jours, en agitant bien la bouteille une fois par jour, pendant les huit premiers jours; on passe ensuite à travers un linge, puis on filtre la liqueur sur un filtre en papier non collé, et l'on met en bouteilles.

CASTOR (*angl.* castor, *all.* biber). Animal que l'on trouve surtout dans l'Amérique du Nord, mais que l'on rencontre aussi dans plusieurs autres localités, telles que les îles qui se trouvent dans le Rhône près de son embouchure. Sa peau est très-estimée, soit comme fourrure, soit pour la fabrication des chapeaux de feutre. On classe les peaux de castor, qui forment un article de commerce assez important, en trois classes: 1° les peaux fraîches qui proviennent de castors tués pendant l'hiver avant la mue, et qui sont regardées comme une fourrure très-précieuse parce qu'elles sont garnies de poils longs, soyeux et très-fournis; 2° les peaux sèches venant de castors tués en été, qui ont perdu une partie de leurs poils et qui sont toujours moins estimées; enfin 3° les peaux grasses, provenant de castors tués en hiver, mais qui ont déjà servi de fourrures aux sauvages pendant un certain temps et qui se sont imprégnées de sueur. Ces dernières sont surtout employées pour la fabrication des chapeaux de feutre.

CASTOREUM. Nom donné à une sécrétion renfermée dans des poches placées près des organes de la génération des castors. C'est une substance analogue au musc ; sa consistance est celle du miel, son goût est âcre et amer; son odeur forte, pénétrante, fétide et très-volatile, mais en séchant elle devient inodore; elle renferme une certaine quantité d'acide benzoïque. Pour l'obtenir, on coupe les poches du castor aussitôt après sa mort et on les fait sécher. Dans cet état le castoreum est solide, d'une couleur sombre et faiblement odorant; il se ramollit par l'action de la chaleur, et devient cassant par celle d'une basse température. Il est assez employé en médecine, surtout dans les maladies nerveuses et spasmodiques.

CENDRES BLEUES (*angl.* blue verditer, *all.* blaue asche). On donne ce nom à un produit que l'on obtient en précipitant une dissolution de sulfate de cuivre (qui provient ordinairement de l'affinage des matières d'or et d'argent) par de la chaux pure, puis triturant le précipité, lorsqu'il est presque sec, avec de la chaux afin de lui donner une couleur d'un beau bleu velouté. Cette préparation est très-délicate et ne réussit qu'entre les mains d'ouvriers expérimentés.

Les *cendres bleues en pâte* se préparent en France, comme il suit : on introduit dans un tonneau défoncé par un bout 60 litres d'une dissolution aqueuse de sulfate de cuivre chaud et marquant 35° à l'aéromètre de Baumé; on y ajoute 45 litres d'une solution bouillante de chlorure de calcium marquant 4° B.; on brasse fortement, puis on abandonne le mélange à lui-même pendant douze heures. Lorsque le sulfate de chaux s'est complétement déposé, on décante la liqueur claire, on jette le dépôt sur des filtres coniques en toile écrue et serrée où on le laisse égoutter, et on le lave à l'eau jusqu'à ce que la liqueur qui passe à travers les filtres ne marque plus que 2 à 3° au plus. Toutes les solutions obtenues produisent environ 170 litres de *liqueur verte* à 2° Baumé.

D'un autre côté on pèse 25ᵏ de chaux, que l'on délaye dans 75ᵏ d'eau; on passe la bouillie qui en résulte à travers un tamis de toile métallique en cuivre; on en prend 18 à 20ᵏ (la beauté de la couleur est en raison inverse de la quantité de chaux employée) qu'on verse dans les 170 litres de liqueur verte; on agite fortement, et on laisse déposer. On s'assure que la liqueur ne renferme presque plus de cuivre, à ce qu'en en traitant une petite portion par excès d'ammoniaque, celle-ci ne prend qu'une teinte bleuâtre très-pâle: si elle prenait une couleur d'un bleu foncé, il faudrait ajouter une plus grande quantité de bouillie de chaux pour rendre la précipitation du cuivre plus complète. On lave le précipité par décantation, puis on fait égoutter sur des filtres en toile; on obtient ainsi de 125 à 135ᵏ de *pâte verte* qui est de l'oxyde de cuivre hydraté. Les eaux de lavage sont mises de côté et servent, les premières au lavage du sulfate de chaux de l'opération précédente, les dernières au premier lavage des pâtes.

On dessèche avec précaution 10 grammes de la pâte verte pour déterminer la proportion des matières sèches; si elle en renferme par exemple 27 p. 100, on en prendra 12ᵏ (si elle en renfermait *m* p. 100, on en prendrait $\frac{27}{m}$. 12ᵏ) que l'on met dans un baquet en bois dont la capacité est de 20 litres environ en y ajoutant 4ᵏ de bouillie de chaux, on agite vivement, on ajoute au mélange 0 litre 7 d'une dissolution aqueuse de potasse perlasse du commerce, à 45° B; on agite de nouveau, et on se hâte de broyer le tout dans un moulin à couleurs. La promptitude de cette opération influe beaucoup sur la beauté du produit. On fait couler la pâte broyée dans une bouteille, on y ajoute 500 grammes de sulfate de cuivre dissous dans 3 litres d'eau et 250 grammes de sel ammoniac dissous dans 4 litres d'eau, on bouche la bouteille avec un bouchon de liége que l'on lute, et on la secoue fortement.

On peut par ce procédé remplir aisément 24 bouteilles par jour. On laisse reposer pendant 4 jours; on débouche les bouteilles et on verse le produit de 4 d'entre elles dans une futaille de 400 litres de capacité, défoncée par un bout et placée sur champ; on remplit d'eau jusqu'à quelques pouces du bord et l'on mélange bien le tout avec un râble; enfin, on lave par décantation en soutirant l'eau claire à l'aide d'une cannelle jusqu'à ce que l'eau décantée ne fasse plus virer au brun la couleur du papier jaune de curcuma. Lorsque le dépôt est suffisamment lavé, on le fait égoutter sur des filtres en toile. On obtient ainsi de 45 à 60ᵏ de pâte, qui est

vendue en cet état aux fabricants de papiers peints.

On fabrique en tout trois qualités de cendres bleues en pâte ; la première qualité ou *bleu superfin* se prépare comme nous venons de le dire ; pour obtenir la seconde qualité ou *bleu fin*, on emploie 1k 1/2 de bouillie de chaux au lieu de 1k ; enfin, pour préparer la troisième qualité ou *bleu* n° 1, on prend 2l de bouillie de chaux au lieu de 1k et 500 grammes de sel ammoniac au lieu de 250 grammes.

Pour obtenir *les cendres bleues en pierre* de qualités correspondantes, il suffit de faire sécher les pâtes ci-dessus à l'ombre et à une douce chaleur. On prépare rarement des cendres bleues en pierre de troisième qualité.

CENDRES GRAVELÉES (voyez POTASSE).

CÉRUSE. BLANC DE PLOMB, BLANC D'ARGENT, BLANC DE CLICHY, CARBONATE DE PLOMB (*angl.* white lead, *all.* bleiweiss). Ce sel est, sans contredit, la couleur la plus en usage dans la peinture ; elle se mêle facilement à l'huile, la rend siccative, s'étend très bien sous le pinceau, et recouvre parfaitement les surfaces qu'on veut enduire : on l'emploie soit seule comme matière colorante blanche, soit avec d'autres couleurs pour leur servir d'excipient ou leur donner du corps.

Le carbonate de plomb est pulvérulent, blanc, insoluble dans l'eau, un peu soluble dans l'acide carbonique.

Le carbonate neutre de plomb est formé de l'équivalent de protoxyde de plomb PbO pesant 112, plus un équivalent d'acide carbonique $CO^2=22$. Ce carbonate pèse donc 134 ; il est souvent mêlé, dans la céruse du commerce, de traces de sulfure de plomb, d'acétate tribasique, et d'hydrate de protoxyde de plomb, dans des proportions variables, formant quelquefois 12 à 18 centièmes du poids total. La chaleur le décompose en acide carbonique et en protoxyde de plomb ; chauffé longtemps, au contact de l'air, à la température de 120 à 130° degrés centigr., il se convertit en *minium* très beau ; cette variété de minium est connue, dans le commerce, sous le nom de *mine-orange*.

La Hollande a été longtemps en possession de fournir exclusivement ce produit du commerce ; mais depuis vingt à vingt-cinq ans un grand nombre de fabriques de céruse se sont successivement élevées en Angleterre, en Allemagne, en Belgique et en France.

Il existe divers procédés pour la fabrication de la céruse ; néanmoins il n'y en a guère qu'un seul qui soit généralement mis en pratique ; c'est le procédé hollandais.

On avait fortement préconisé un autre mode de fabrication qui paraissait devoir offrir de grands avantages, c'est le procédé par précipitation ou de *Clichy* ; mais malheureusement les produits qu'on obtenait ainsi ne réunissaient pas toutes les qualités qu'on exige dans une céruse de bonne qualité ; aussi a-t-il été presque partout abandonné.

En traitant de la fabrication de la céruse, nous ne pouvons en disjoindre la question de salubrité, qui a si justement ému l'opinion publique. On sait en effet que les ouvriers qui fabriquent la céruse, et les peintres qui l'emploient, sont sujets à des coliques saturnines extrêmement graves, dont les effets se prolongent et sont parfois mortels. A ces points de vue, comme à celui de la description des procédés employés, nous ne saurions mieux faire que de suivre le rapport fait à l'Institut par M. Combes.

Le procédé hollandais (nous dirons quelques mots en terminant du procédé de Clichy, sans importance aujourd'hui) consiste à exposer des lames de plomb aux réactions de l'air, de l'acide acétique, de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique, qui, aidés par une température de 36 à 60°, oxydent le métal et forment de l'acétate neutre que les progrès de l'oxydation rendent tribasique. Celui-ci est alors décomposé par l'acide carbonique, forme du carbonate de plomb, et est ramené à l'état d'acétate de plomb neutre, qui de nouveau devient tribasique à mesure que le plomb s'oxyde. Les mêmes réactions, répétées un grand nombre de fois, produisent des quantités de céruse variables suivant les circonstances. Cette fabrication comprend les opérations suivantes :

1° Fusion et coulage du plomb en lames plus ou moins épaisses, ou en grilles de forme rectangulaire allongée ;

2° Mise du plomb moulé en couches alternatives avec du fumier ou de la tannée. Le plomb est placé sur des pots contenant de l'acide acétique faible. Il reste dans les *loges* ainsi remplies pendant trente-cinq ou quarante jours quand on emploie du fumier, qui élève la température et fournit de l'acide carbonique, et pendant soixante-dix à quatre-vingt-dix jours lorsqu'on fait usage de la tannée, qui ne fournit pas comme le fumier du gaz hydro-sulfurique ;

3° On découvre successivement les lits de plomb, qui est passé en partie à l'état de carbonate, séparation de la céruse de plomb non attaquée qu'elle recouvre ; première pulvérisation et criblage de la céruse pour la séparer des lamelles de plomb :

4° Broyage à l'eau de la céruse sous des meules ;

5° Moulage et dessiccation de la céruse broyée à l'eau ;

6° Pulvérisation et broyage à sec des pains de céruse ; blutage, mise en barils de la céruse destinée à être vendue en poudre ;

7° Pour la céruse qui est vendue en pâte avec de l'huile, la poudre obtenue du broyage des pains est mêlée, sans tamisage préalable, avec 7 à 10 p. 100 de son poids d'huile. Le mélange est opéré en vases clos par un agitateur ; il est ensuite passé entre plusieurs systèmes de cylindres horizontaux en fonte. La pâte, devenue fine et homogène, est reçue dans une cuve contenant de l'eau, d'où elle est retirée et mise en barils pour la vente.

I. La fusion du plomb, même des résidus qui ont échappé à l'action de l'acide carbonique, n'offre pas de danger sérieux, pourvu que la chaudière soit surmontée d'une hotte communiquant à une cheminée qui détermine un appel convenable.

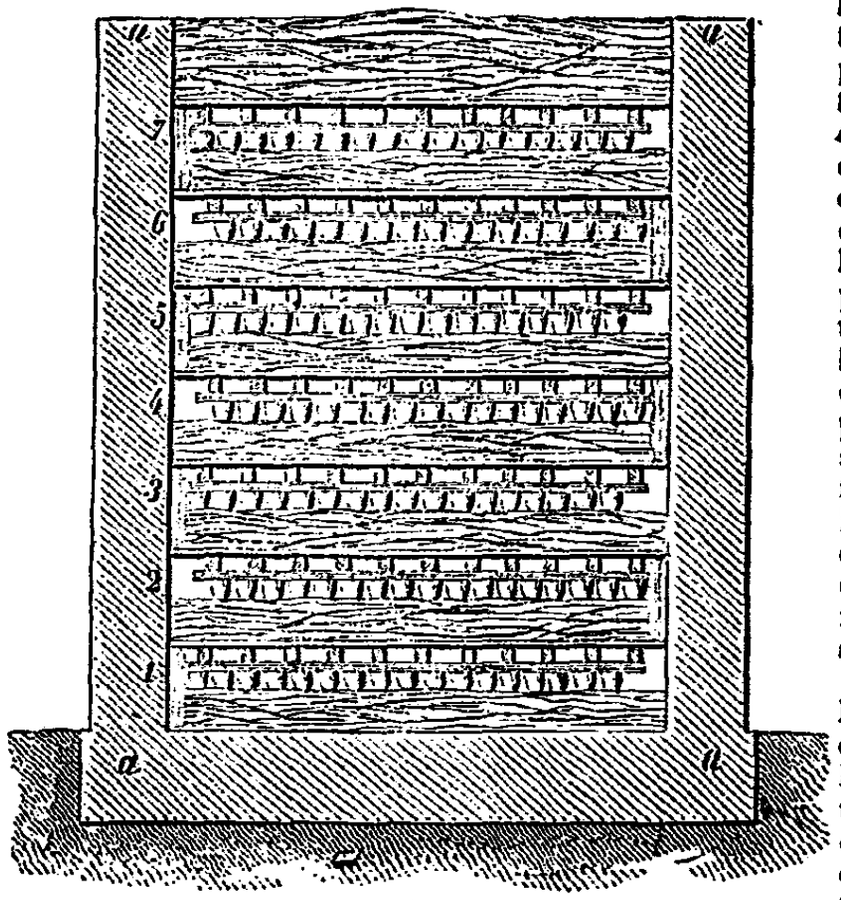
Le plomb est fondu en lames de 1 kil. environ ; ces lames ont 60 centimètres de longueur, 10 de largeur, et quelques millimètres d'épaisseur.

Dans une seule fabrique, celle de M. Besançon de Paris, on fond le plomb en grilles, en le versant dans des lingotières creusées de sillons qui se croisent à angle droit. On trouve ainsi l'avantage d'augmenter beaucoup les surfaces exposées à l'action de l'acide.

II. Les couches ou fosses à fumier doivent être construites en maçonnerie, à 1 mètre en contre-bas du sol. Elles ont en général 4 mètres de long, 4 de large et 6 de haut, c'est-à-dire une capacité de 96 mètres cubes. On met les uns sur les autres sept ou huit lits ainsi formés : sur un lit de 40 centimètres de fumier on place des pots au nombre de 1,200 ; on verse dans chaque pot un demi-litre de vinaigre (sauf 7 ou 8 pots, 1 ou 2 au milieu, 4 ou 6 aux quatre coins, qui sont remplis aux trois quarts de leur capacité). On place dans le pot une lame de plomb roulée sur elle-même ; cette lame est supportée par deux mentonnets ménagés à l'intérieur du pot, ce qui l'empêche de tremper dans l'acide.

Les pots placés sont recouverts de plaques de plomb ; au-dessus on place des latteaux en bois de 10 à 12 centimètres d'équarrissage, afin de maintenir un courant d'air, et on recouvre le tout par des planches sur lesquelles on construit une couche semblable à la première.

La fig. 4 représente la disposition que nous venons de décrire, et l'ensemble que forme une couche complète. Il faut 30 ou 35 jours si on emploie du fumier, 45 jours si on fait usage du tan épuisé provenant des tanneries, pour que la transformation du



4.

plomb en carbonate atteigne le point désirable. On voit d'après cela qu'il faut avoir un nombre de fosses égal à ce nombre (ou multiple) pour que la division du travail soit bien établie, que les brigades d'ouvriers chargées de la construction ou du démontage des fosses fassent toujours le même travail.

Il entre dans une fosse de 9,000 à 11,000 kil. de plomb, qui produisent de 4,700 à 7,600 kil. de céruse, et laissent inattaqués 3,400 à 5,000 kil. de plomb.

La mise en couches des lames de plomb avec du fumier ou de la tannée ne peut évidemment causer aucun danger.

III. La séparation de la céruse du plomb qu'elle recouvre, la pulvérisation et le criblage, sont les parties les plus insalubres de la fabrication.

L'ouvrier détache d'abord les grosses écailles ou croûtes de céruse qui sont peu adhérentes au plomb non attaqué ; il prend dans ses mains les lames recouvertes de céruse, déroule celles qui étaient placées dans les pots, les tortille en divers sens et met à part les croûtes détachées.

Cette opération, appelée *épluchage*, où les ouvriers ont les mains constamment chargées de carbonate de plomb, n'est cependant pas la partie la plus insalubre de la fabrication, parce que la céruse se détache en écailles épaisses qui produisent peu de poussière. Les lames de plomb épluchées retiennent encore par places de la céruse, qui y adhère fortement. On plaçait autrefois pour la détacher une pile de lames sur une dalle en pierre et on frappait cette pile avec une *batte* en bois ; la céruse adhérente au plomb tombait en écailles minces ou se répandait en poussière fine dans l'air respiré par l'ouvrier. Cette opération, éminemment insalubre, est appelée le *décapage*.

Le décapage est fait aujourd'hui, dans la plupart des fabriques, par des procédés mécaniques qui exposent beaucoup moins la santé des ouvriers. Les lames couvertes de céruse adhérente sont apportées près de la machine ; l'ouvrier les prend une à une, et les pose doucement sur une toile sans fin mobile qui les amène à la tête d'un plan incliné sur lequel elles glissent ; elles arrivent à un système formé de deux paires de cylindres cannelés longitudinalement, suivis d'un crible cylindrique incliné. La céruse, détachée par l'action de deux paires de cylindres, entre lesquels passent les lames, tombe sur un tablier aboutissant à une trémie, qui recueille également ce qui passe à travers les mailles du crible cylindrique. La trémie verse son contenu dans un chariot placé dans une chambre fermée par une double porte. Les lames de plomb, arrivées à l'extrémité inférieure du crible, sont conduites par un couloir à un autre chariot enfermé dans un compartiment contigu au précédent. Toutes les parties du mécanisme sont contenues dans des coffres en bois ou des gaines qui sont fermés pendant le travail, et n'offrent alors qu'une seule ouverture, celle par où passe la toile sans fin sur laquelle on dépose les lames à *décaper*. Le chariot où a été réunie la céruse est retiré de la chambre après que le travail est terminé et que la poussière est abattue. Son contenu est réuni aux écailles résultant de l'épluchage, pour subir une pulvérisation à sec.

Cette dernière opération se fait encore, dans la plupart des fabriques, sous des meules verticales en pierre tournant dans des auges à fond horizontal. La matière broyée est prise avec une pelle et versée dans la trémie d'un crible cylindrique à treillis métallique fin, enfermé dans un coffre. La céruse en poudre passe à travers la maille et tombe au fond du coffre. Les lamelles de plomb, aplaties sous la meule, arrivent à l'extrémité du crible et sont reçues dans une case séparée. La céruse tamisée est reprise pour être délayée dans l'eau et passe sous les meules qui en achèvent la trituration.

Dans quelques fabriques des environs de Lille la pulvérisation des écailles est opérée par le moyen de plusieurs paires de cylindres horizontaux, cannelés dans le sens transversal à leur axe. La matière divisée tombe sur un ou plusieurs tamis métalliques ; la céruse en poudre qui traverse ces tamis est dirigée par des trémies ou couloirs dans un encaissement où arrive un jet d'eau divisé en plusieurs filets. Les lamelles de plomb, isolées par les tamis, tombent dans une case distincte. L'ensemble des cylindres broyeurs et des tamis occupe la hauteur d'un étage : le tout est enfermé dans un coffre en bois, surmonté d'une trémie que l'on maintient pleine d'écailles de céruse, afin de prévenir l'issue de la poussière, et que l'on peut au besoin fermer avec une trappe. Ces dispositions constituent un des perfectionnements les plus importants, sous le rapport de l'hygiène, qui aient été apportés aux anciennes méthodes de fabrication.

Depuis longtemps, au dire de M. Leplay, plusieurs fabricants anglais emploient la méthode de mouiller ainsi la céruse. Comme c'est la poussière qui, en arrivant dans les voies respiratoires et digestives, est la cause principale de l'insalubrité de la fabrication de la céruse, la méthode de la travailler avec un liquide est le moyen par excellence de faire disparaître tout inconvénient.

Nous indiquons un second progrès accompli dans la même voie, dans cette même industrie, § VII.

IV. La céruse est délayée dans des cuviers avec de l'eau, de manière à former une pâte molle, que l'on fait passer successivement entre plusieurs jeux de meules horizontales qui en achèvent la trituration. Ce broyage à l'eau est absolument inoffensif. Les ouvriers ne touchent point la pâte avec les mains ; ils la

puisent dans des vases en forme d'écopes, pour la verser dans les trémies des meules supérieures.

V. La pâte molle de céruse est versée dans des pots en terre de forme conique, que l'on expose à l'action de l'air dans un séchoir. L'eau s'évapore en grande partie. Les pains prennent de la consistance et subissent un retrait qui les détache des parois, de sorte qu'on peut les retirer des pots avec facilité. Leur dessiccation est achevée dans une étuve où circule un courant d'air chauffé.

Les parois des pots se recouvrent d'une couche adhérente de céruse que l'on enlève ordinairement par un grattage exécuté à sec avec des instruments en fer. Cette opération est faite par des enfants et des femmes; elle n'est pas exempte d'inconvénients si on laisse trop sécher la pâte. On les évite, dans quelques usines, en nettoyant les pots avec de l'eau; on les diminue dans d'autres, en mettant la céruse en pâte dans des terrines plates, où les pains, d'épaisseur moindre et plus régulière, produisent, en un temps et un espace donnés, une plus grande quantité de céruse sèche.

VI. La plus grande partie de la céruse en pains doit être soumise à un nouveau broyage, suivi d'un blutage, pour être livrée au commerce. Cette seconde pulvérisation est encore exécutée aujourd'hui, dans beaucoup d'établissements, au moyen de meules verticales en pierre, tournant dans des auges à fond horizontal de même nature que les meules. La céruse broyée est versée, avec une pelle, dans la trémie d'un blutoir cylindrique en soie, renfermé dans un coffre, au fond duquel se dépose la matière en poudre fine. Celle qui n'a point traversé le tamis tombe dans une case, où elle est reprise pour être repassée sous la meule. La céruse en poudre retirée du coffre, après que la poussière est abattue, est mise dans des barils où elle est tassée, soit par une sorte de pilonnage, soit en agitant les barils.

La pulvérisation, le blutage à sec et la mise en barils de la céruse en poudre, par ces procédés, sont des opérations évidemment fort insalubres à cause de la poussière qui se répand dans les ateliers.

M. Lefebvre de Lille, un des principaux fabricants de céruse, a modifié ce mode de faire. Au lieu de meules verticales fonctionnant à l'air libre, il emploie des meules horizontables en marbre blanc qui sont enfermées dans un tambour métallique parfaitement clos. La meule inférieure est dormante; la meule supérieure fait deux cent soixante-seize tours par minute. A la partie la plus élevée est une espèce de *moulin à noix* qui divise la céruse avant qu'elle n'arrive à la meule.

La céruse réduite en poudre est rejetée par la force centrifuge vers le pourtour des meules; de là elle se rend dans un blutoir renfermé dans une armoire à doubles portes et tombe, à l'état de poudre, dans un wagon à roulettes qui peut recevoir 1,200 kil. On ne retire ce wagon, qui glisse sur un petit chemin de fer, que quand la poussière est abattue.

VII. Le progrès le plus important de tous ceux qui ont été accomplis dans la fabrication de la céruse consiste dans la coutume qui tend à se généraliser, de la livrer mélangée avec 7 ou 8 pour 100 d'huile. Diminution des inconvénients des dernières opérations, qui s'accomplissent entièrement dans des coffres fermés; disparition des dangers qui résultaient de l'embarillage, du concassage et de l'empâtage par l'ouvrier peintre, tels sont les principaux et heureux résultats de cet usage, aussi heureux pour la salubrité qu'avantageux au point de vue commercial.

Il suffit, pour cette opération, d'une machine à mélanger l'huile et la céruse, d'une espèce de *pétrin mécanique*. L'huile est mélangée avec la céruse par l'action de bras adaptés à un arbre. La pâte obtenue est ensuite passée entre des cylindres broyeurs au nombre de trois, qui l'amènent à un état convenable.

Procédé de Clichy. M. Roard avait monté à Clichy, d'après les indications de M. Thénard, une importante fabrique de céruse. Comme nous l'avons dit, le procédé qui y était suivi est à peu près abandonné aujourd'hui malgré d'importants perfectionnements, et notamment la production très économique de l'acide carbonique par l'emploi d'un four à chaux. M. Payen explique l'infériorité de cette céruse par les conditions de sa production. Prenant naissance à froid dans des solutions étendues, graduellement affaiblies, la céruse de Clichy est formée de lamelles irrégulières moins divisées, dont la superposition offre moins d'opacité que les particules plus fines de la céruse préparée par le procédé hollandais. Aussi cette dernière couvre-t-elle mieux, et par suite est-elle toujours préférée.

Ce qui paraît confirmer cette manière de voir, c'est qu'on est, assure-t-on, parvenu à obtenir des céruses ayant toutes les qualités désirables en faisant agir à chaud l'acide carbonique sur l'acétate tribasique concentré, simple modification du procédé de Clichy, que nous allons décrire.

On préparait ce sous-acétate de plomb en faisant dissoudre la litharge dans l'acide acétique concentré provenant de la distillation du bois. La dissolution était versée dans de grands bassins en bois doublés de cuivre étamé, dans lesquels l'acide carbonique était refoulé au moyen d'une vis d'Archimède. Ce gaz s'obtenait au moyen de la combustion du charbon de bois ou du coke.

Après un certain temps on décantait le liquide, et le résidu bien lavé était mis en pots et desséché.

C'est d'une fabrication de cette nature, organisée par M. Pallu, que le jury de 1855 a constaté les bons résultats. Cet ingénieur a parfaitement établi comment, sous le rapport des propriétés physiques et de la composition chimique, la céruse obtenue par le procédé de Clichy n'est pas identique à elle-même, aux différentes époques de la précipitation : celle qui se produit en premier lieu, c'est-à-dire lorsque la solution est *concentrée* et *tribasique*, par conséquent *dense*, est lourde, opaque, possède des propriétés couvrantes analogues à celles du blanc de plomb préparé par le procédé hollandais; la céruse qui se forme à la fin de l'opération, quand la solution s'est affaiblie et s'est transformée, en très-grande partie, en un mélange d'acétate neutre et d'acétate bibasique de plomb, cette céruse est infiniment moins dense, moins opaque; elle est *neigeuse*, se tient très-longtemps en suspension dans l'eau, et jouit de propriétés couvrantes infiniment moins prononcées que le blanc de plomb ordinaire. D'où il résulte que le produit de la *précipitation totale* de l'acide tribasique n'est homogène, ni au point de vue physique, ni sous le rapport de la composition chimique, et qu'il couvre moins que la céruse obtenue par la *carbonatation* du plomb dans les fosses.

La pratique des peintres a constaté, depuis longtemps, ce défaut, qui a constitué d'ailleurs jusqu'ici la céruse obtenue par précipitation dans des conditions d'infériorité marquée par rapport au blanc de plomb produit par le procédé hollandais. L'avantage immense que présente, au point de vue de la salubrité, l'exécution d'une méthode dans laquelle l'ouvrier ne manie pas la céruse, et dans laquelle il ne se produit pas de poussière métallique, a déterminé M. Pallu à la modifier. Il a obvié à l'inconvénient signalé, en restituant de l'oxyde de plomb à la solution, au fur et à mesure qu'elle en perd à l'état d'*hydrocarbonate*. Il a atteint ce but en imprimant aux solutions un mouvement de circulation continue. En effet, dans l'usine de MM. de

Launay et Bruzon, les solutions passent, par un courant continu, des cuves dans lesquelles elles se saturent d'oxyde de plomb, vers les cuves où elles sont soumises à l'action de l'acide carbonique; de celles-ci, elles retournent à leur point de départ, en déposant, dans des cuves intermédiaires, la céruse qui s'est formée. De cette façon, du nouvel oxyde de plomb remplace continuellement celui que l'acide carbonique gazeux enlève aux solutions, qui conservent ainsi leur *densité initiale* et *leur composition chimique*.

On comprend aisément que, par cette méthode, on doit être maître de produire un blanc de plomb homogène, tant par ses propriétés physiques que par sa composition chimique. On conçoit aussi qu'en faisant varier la *densité du liquide* et *sa température*, comme l'a proposé le premier M. Dumas, on devra obtenir des céruses plus ou moins denses, plus ou moins opaques. MM. de Launay et Bruzon, profitant de cette faculté, préparent du blanc de plomb dense et du blanc de plomb léger. Les échantillons de *céruse lourde en pain* et de *céruse légère en cube* qu'ils avaient exposés, avaient été produits pour démontrer l'étendue de la limite dans laquelle on peut faire varier la densité de ce produit, en changeant la nature de la solution, mais en maintenant la constance de sa composition pendant tout le temps de la précipitation.

Sauf dans la fabrication dont nous venons de parler, le procédé de Clichy est tout à fait abandonné, et nous croyons même que les propriétaires de la manufacture de *Clichy* ont été obligés d'y renoncer, et de le remplacer par le procédé hollandais.

La variété de céruse connue sous le nom de *blanc d'argent* ou *blanc de Krems*, s'obtient en choisissant les écailles les plus blanches et les plus compactes, qu'on soumet à un broyage plus long et plus soigné. Les pains sont de forme carrée.

Le carbonate de plomb qu'on rencontre dans le commerce est rarement pur. Il contient très-souvent du sulfate de baryte ou du sulfate de plomb, et même quelquefois de la craie. On reconnaît la craie par les acides azotique ou acétique qui dissolvent à la fois cette substance, et le carbonate de plomb lui-même. On précipite de la dissolution tout le plomb au moyen d'un sulfure alcalin, et enfin on précipite la chaux par un oxalate. Le sulfate de plomb et celui de baryte ne se dissolvent pas dans les acides : il est donc facile d'en reconnaître la présence et d'en constater la quantité. P. M.

CHAGRIN (*angl.* shagreen, *all.* chagrain). Sorte de cuir dont l'aspect diffère essentiellement des cuirs ordinaires. Sa surface est recouverte d'une foule d'aspérités très-serrées et cornées qui la rendent rude au toucher. Sa couleur est ordinairement noire. Le propre de la fabrication de la peau de chagrin consiste à faire naître à sa surface les grains cornés qui la distinguent. A cet effet, on choisit d'abord un cuir de cheval, d'âne ou de chameau, dont on enlève la partie inférieure du dos, de la naissance de la queue au milieu de l'échine, qui présente seule les qualités nécessaires à la fabrication. On la ramollit dans l'eau et l'on l'écharne complétement; on la tend ensuite autant que possible sur un châssis, que l'on met horizontalement à terre le côté du poil en dessus; on la couvre alors d'une couche de grains du *chenopodium album*, qui sont très-durs, noirs et brillants, puis on les y fait pénétrer en piétinant dessus; on fait ensuite sécher la peau. On détache les grains qui se sont incrustés dans le cuir en le secouant et le battant, et il ne reste plus dans le cuir tendu que les cavités qu'ils y ont produites par pression. A l'aide d'un instrument tranchant, on enlève alors la surface de la peau, jusque près du niveau du fond de ces cavités. On fait ensuite digérer le cuir, d'abord dans de l'eau, puis dans une faible lessive de carbonate de soude. Les parties précédemment comprimées se gonflent, et donnent naissance aux aspérités qui caractérisent la peau de chagrin.

Cette opération se fait aujourd'hui dans les grandes fabriques par compression directe du cuir entre des surfaces de grain convenable.

Pour colorer en noir le cuir ainsi préparé, on le saupoudre encore humide de NOIX DE GALLE pulvérisée, et lorsque sa surface s'est suffisamment imprégnée de tannin, on la rend noire en l'imbibant de sulfate de fer. Pour lui donner une couleur bleue, on en imprègne la surface à plusieurs reprises avec un mélange d'indigo, de chaux, de soude et de miel. Le rouge s'obtient avec un mélange de kermès et d'alun. Le vert se donne en imbibant le cuir d'une dissolution de sel ammoniac, le saupoudrant avec de la limaille de cuivre et le roulant sur lui-même; il se forme un sous-chlorure vert de cuivre qui s'imprègne dans la surface. Enfin, pour préparer de la peau de chagrin blanche, on passe sur la peau une dissolution d'alun, puis une bouillie de farine de blé de Turquie, que l'on enlève en lavant avec une nouvelle dissolution d'alun, et on frotte ensuite le cuir avec du suif; on en enlève après l'excédant en lavant à l'eau chaude, et on fait sécher.

CHAINE (*angl.* chain, *all.* kette). On distingue trois espèces de chaînes en fer, dont la fabrication et les usages sont très-différents : 1° les chaînes plates à mailles régulières et non soudées, flexibles seulement dans deux sens opposés, employées au lieu de courroies ou de cordes, pour la communication du mouvement dans les machines; 2° les chaînes ordinaires à mailles soudées, qui remplacent les cordes et câbles en chanvre, dans les grues, chèvres, cabestans, mouffles, etc.; 3° les chaînes à mailles étançonnées, pour le service de la marine (voyez CABLES EN FER).

L'invention des chaînes de la première espèce, formées de trapèzes accrochés les uns aux autres par des crochets qui les terminent (Voy. MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE), est due à notre célèbre mécanicien Vaucanson; mais nous ferons observer que les *chaînes à la Vaucanson*, qui engendrent plus de frottement que les courroies, ne sont pas admissibles quand il y a à vaincre une certaine résistance, parce que leurs mailles n'étant pas soudées, ne sont pas capables de supporter, sans s'ouvrir, un effort un peu considérable; de plus, dans les machines de fatigue telles que les bancs à tirer, le frottement qui a lieu incessamment à chaque articulation use les mailles et les allonge, de sorte que la denture des tambours, qui est invariable, n'étant plus exactement en rapport avec l'espacement des mailles, l'engrenement devient défectueux et même impossible au bout de très-peu de temps.

On fait d'autres chaînes à mailles non soudées, mais qui s'assemblent avec des goupilles rivées ou des boulons; telles sont : les chaînes des barillets des montres, les chaînes sans fin des machines à draguer, des norias, des chapelets, celles des bancs à tirer, etc., et enfin celles de M. *Galle* (voy. MÉCANIQUE), employées avec succès dans les mines pour l'extraction des minerais.

Les chaînes à mailles soudées se font en enroulant autour d'un mandrin, d'un diamètre égal à celui de l'intérieur de l'anneau, une tringle de fer rond d'excellente qualité et de grosseur convenable, préalablement chauffée au rouge. En coupant ensuite obliquement chacune des spires, on obtient autant d'anneaux ronds prêts à être soudés et sensiblement égaux.

La soudure se fait comme à l'ordinaire sur un petit feu de forge, et sur la pointe arrondie d'une bigorne. Le forgeur, après avoir passé l'anneau à souder dans l'anneau précédemment soudé, rapproche l'un de l'autre les deux bouts coupés obliquement et les soude en une seule chaude. Il donne en même temps à la maille

la forme ovale ou allongée qu'elle doit conserver.

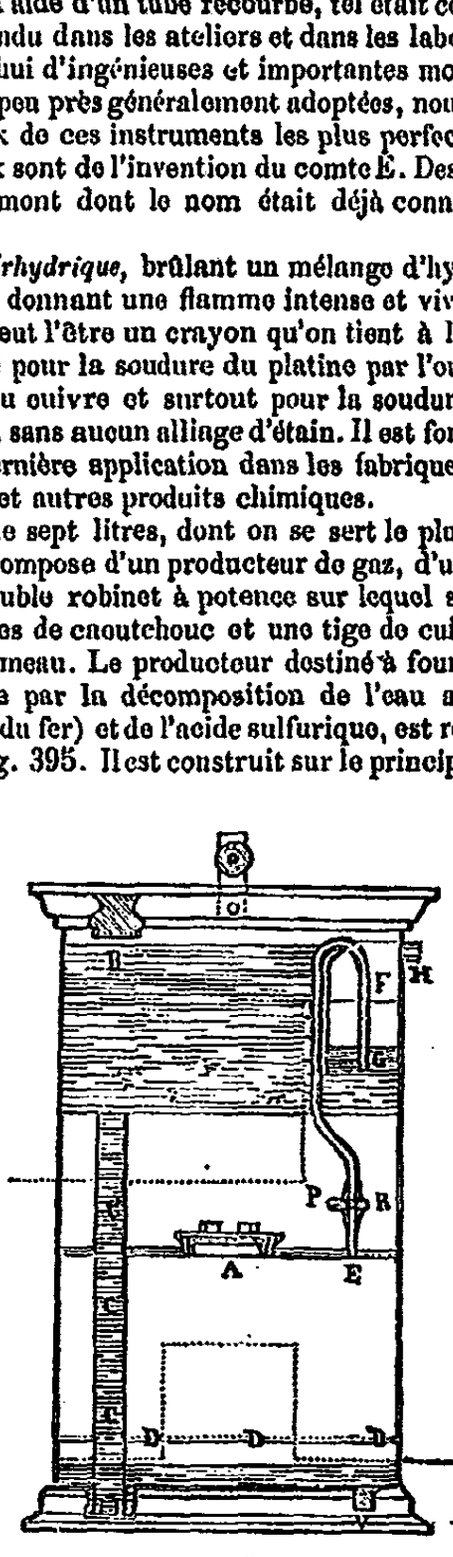
On doit essayer les chaînes en leur faisant supporter un effort au moins double de celui qui doit constituer leur charge habituelle.

CHALEUR. Nombre d'articles de ce dictionnaire sont consacrés à l'analyse des phénomènes de la chaleur. Nous avons résumé dans l'introduction les principaux résultats des travaux des physiciens, et dans le complément les progrès de la théorie mécanique de la chaleur.

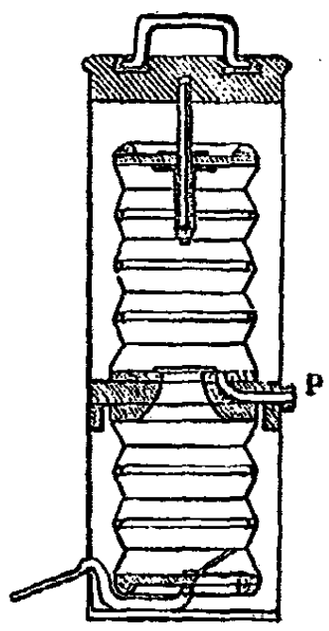
CHALUMEAU (*angl.* blowpipe, *all.* lœthrohr). Jusqu'à ces dernières années la lampe à souder appelée chalumeau était un instrument d'une construction très grossière. Une flamme d'huile ou de graisse alimentée au moyen d'une mèche plus ou moins grossière, plus ou moins massive, et dans laquelle on insufflait de l'air à pleins poumons à l'aide d'un tube recourbé, tel était cet instrument si répandu dans les ateliers et dans les laboratoires. Aujourd'hui d'ingénieuses et importantes modifications étant à peu près généralement adoptées, nous allons décrire deux de ces instruments les plus perfectionnés. Tous deux sont de l'invention du comte É. Desbassayns de Richemont dont le nom était déjà connu en chimie.

Le *chalumeau aérhydrique*, brûlant un mélange d'hydrogène et d'air et donnant une flamme intense et vive aussi mobile que peut l'être un crayon qu'on tient à la main, est employé pour la soudure du platine par l'or, pour la brasure du cuivre et surtout pour la soudure *autogène* du plomb, sans aucun alliage d'étain. Il est fort usité pour cette dernière application dans les fabriques d'acide sulfurique et autres produits chimiques.

L'appareil dit de sept litres, dont on se sert le plus généralement, se compose d'un producteur de gaz, d'un soufflet et d'un double robinet à potence sur lequel se raccordent des tubes de caoutchouc et une tige de cuivre formant chalumeau. Le producteur destiné à fournir de l'hydrogène par la décomposition de l'eau au moyen du zinc (ou du fer) et de l'acide sulfurique, est représenté dans la fig. 395. Il est construit sur le principe de la lampe de Gay-Lussac. Ainsi on remplit de rognures de zinc toute la capacité inférieure par la bouche A qu'on referme hermétiquement. On verse en B dans la capacité supérieure un mélange d'acide sulfurique et d'eau à 20° Baumé. Le mélange descendant par le tuyau C C C, remonte dans la partie inférieure jusqu'à ce que l'air qui s'y est introduit en mettant le zinc et qui se comprime ne trouvant aucune issue pour s'échapper, fasse équilibre à la colonne de liquide. Comme le zinc repose sur un double fond D D, placé précisément à la hauteur que doit atteindre le liquide retenu par l'air comprimé, il arrive que le zinc reste d'abord préservé de tout contact avec le mélange acidulé Dans cet état le producteur est ce qu'on appelle *chargé*. Veut-on faire fonctionner l'appareil et produire du gaz, on ouvre le robinet R (et ceux qui pourraient lui correspondre plus loin) de manière à donner issue à l'air comprimé. En même temps que l'air s'échappe, le liquide monte, se met en contact avec le zinc et le gaz hydrogène se dégage. En un instant l'appareil est complétement purgé d'air. Le gaz passant par E, — (le robinet R étant ouvert,) sort en G dans le flacon de sûreté F où il traverse une légère couche d'eau introduite préalablement par l'ouverture H, au moyen d'un petit entonnoir. Nous verrons plus loin comment ce gaz est brûlé. Veut-on arrêter la production du gaz, on referme le robinet R, le gaz qui continue à se développer pendant quelques instants par suite du contact du zinc avec le liquide, se comprime ne trouvant plus d'issue, pèse sur le liquide qui remonte par le tuyau C C C dans la partie supérieure, jusqu'à ce que son niveau dans la partie inférieure soit au-dessous du double fond D D. Dès lors il n'y a plus de contact entre le liquide et le zinc et par conséquent plus de dégagement de gaz. S'agit-il de remettre l'appareil en fonction, on rouvre le robinet R, le gaz comprimé s'échappe, le liquide remonte, atteint le zinc et reproduit du gaz en proportion et au fur et à mesure du besoin.



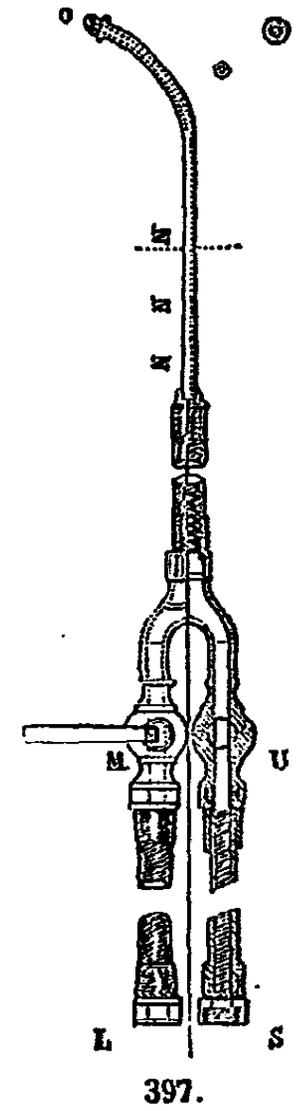
395.



396.

La fig. 396 représente le soufflet qui, mis en mouvement au moyen d'une pédale, fournit l'air nécessaire.

Que maintenant on raccorde l'extrémité L du tube de caoutchouc sur l'ouverture H du producteur et l'extrémité S sur la prise d'air P, et l'appareil (fig. 397) est prêt à fonctionner. L'ouvrier prend alors à la main la tige de cuivre N N N, il ouvre le robinet R et entr'ouvre le robinet correspondant M, le gaz qui s'échappe par l'extrémité d'un gland percé en O, étant allumé, donne d'abord une flamme molle et rougeâtre; le soudeur entr'ouvre également le robinet à air U, jusqu'à ce que la flamme devienne vive, prenne une teinte bleuâtre et s'allonge sous la forme d'un pinceau effilé.

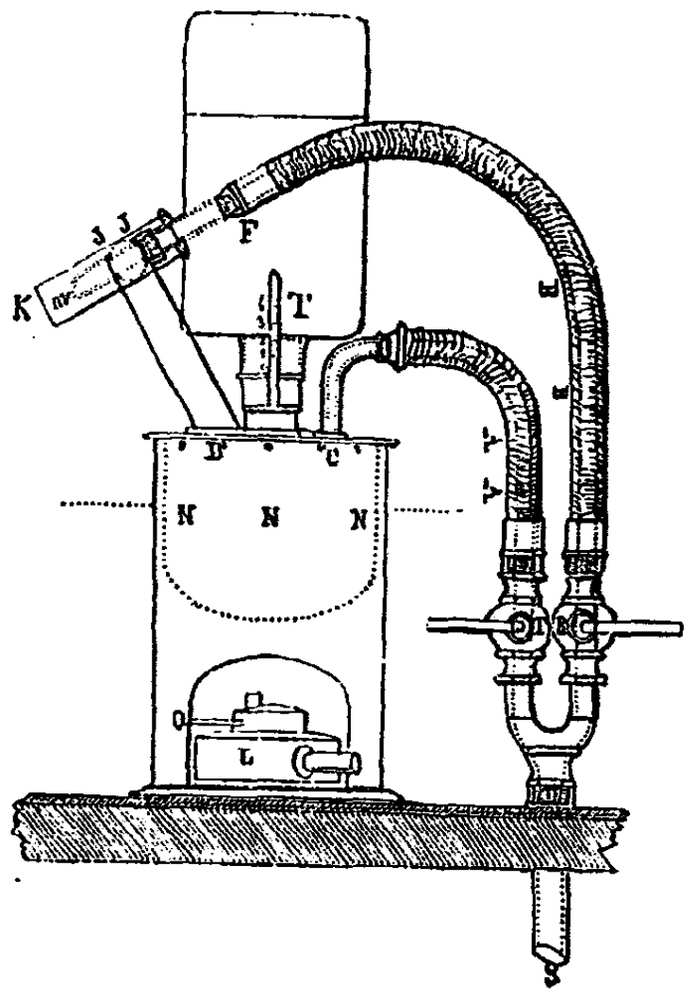


397.

On conçoit que l'ouvrier tient ainsi à la main, au bout de la tige de cuivre raccordée sur un long tube de caoutchouc, un véritable *outil de feu*. Des appareils, construits pour la marine royale, ont pu brûler plusieurs centaines de litres de gaz et d'air à la minute, soit par une seule ouverture, en un seul jet de flamme, soit par une quantité d'ouvertures rapprochées les unes des autres sur une pomme d'arrosoir. On peut se faire une idée de la puissance d'un pareil instrument de feu, qui

sous un petit volume peut toujours être appliqué sur place et dans toutes les positions possibles. Quand il s'agit de souder deux lanières de plomb, le dard de flamme en réunit les bords en une seule masse homogène par une fusion instantanée et limitée au point seul que l'on veut fondre. Nous aurons occasion de reparler plus loin, à l'article SOUDURE, des divers emplois de la flamme aérhydrique au travail du plomb, du cuivre, du zinc et du platine.

Le *chalumeau à vapeurs combustibles* (fig. 398), brû-



398.

lant des vapeurs d'essence de térébonthine chauffée, remplace l'ancien chalumeau à huile dans les ateliers si nombreux d'orfèvres, bijoutiers, fabricants de bronze, dentistes, émailleurs, etc. Un flacon de verre, à niveau constant, alimente d'essence de térébenthine une petite chaudière en cuivre sous laquelle brûle une lampe à esprit de vin L. Un thermomètre T, plongeant dans l'essence, indique la température convenable pour opérer. Un soufflet fournit en S, de l'air dans les deux tubes de caoutchouc A A et B B. En ouvrant le premier robinet R, l'air entre dans la chaudière en C au-dessus du niveau de l'essence N N N, pour en ressortir en D, entraînant avec lui des vapeurs d'essence qui viennent s'allumer en K. La flamme est d'abord molle et blanchâtre. Le second robinet r amène par le tube B B, que termine la tuyère ou chalumeau J J, un courant d'air forcé qui, s'injectant dans l'intérieur de la flamme, la rend bleuâtre et vive, et lui donne la forme d'un dard plus ou moins épanoui. Elle est alors parfaitement propre à être employée à la soudure des métaux précieux et au travail du verre.

On peut affirmer qu'au moyen de l'un ou l'autre des deux chalumeaux que nous venons de décrire, le chalumeau *aérhydrique* ou le chalumeau à *vapeurs combustibles*, il n'est pas de difficultés dans l'art de souder qui ne disparaissent entièrement. Outre l'économie, qui est considérable relativement aux moyens anciennement employés, pour la soudure du plomb notamment et pour le travail de la bijouterie; ces instruments réunissent les meilleures conditions connues de propreté et de salubrité pour les ateliers. Aussi leur usage s'est-il promptement répandu partout où on a eu occasion de les connaître, et il est probable qu'il en sera ainsi d'un procédé analogue dû au même inventeur et dont nous parlerons à l'article *fer à* SOUDER. DELBRUCK.

CHANDELLE (*angl.* talglicht, *all.* kerzen). Voyez BOUGIE.

CHANVRE (*angl.* hemp, *all.* hanf). Plante textile annuelle, dans laquelle les fleurs mâles et femelles se trouvent sur des individus séparés. La tige des pieds femelles est plus forte et plus élevée que celle du chanvre mâle (elle atteint souvent 2 et 3 mètres de hauteur), et donne une matière textile plus grossière et moins estimée. Le chanvre mûr perd en séchant à l'air de 40 à 60 p. 100 de son poids. Séché à l'air, le chanvre mâle renferme moyennement 26 p. 100 de chanvre teillé, et le chanvre femelle seulement 16 à 22 p. 100. Le chanvre teillé séché à l'air ne renferme que 60 à 65 p. 100 de filaments textiles, le reste se compose de matières étrangères solubles dans les lessives alcalines; de sorte que 100 p. de chanvre vert ne donnent que 5 à 8 p. de filaments textiles. Ces filaments sont spécifiquement plus lourds, plus grossiers et plus résistants que ceux du lin, et s'en distinguent lorsqu'ils n'ont pas été blanchis par leur teinte jaunâtre.

Le travail du chanvre est tout à fait analogue à celui du LIN (voyez ce mot).

CHAPEAUX (FABRICATION DES) (*angl.* hat manufacture, *all.* hut macherei). L'origine des chapeaux paraît ne pas remonter au-delà du douzième siècle et servait primitivement de signe distinctif au clergé; ce ne fut que deux siècles plus tard que leur usage devint général parmi les laïques.

CHAPEAUX DE FEUTRE. Les matières premières employées dans la fabrication des *chapeaux de feutre*, sont les poils de castor, de lièvre, de lapin, etc. Pour les feutres grossiers on se sert de laines d'agneau et de chameau. Le feutrage repose sur cette propriété qu'ont les poils de former, au moyen d'une légère agitation et de la pression, un tissu naturel tellement solide qu'on ne peut plus le diviser sans déchirement : c'est ce tissu qu'on appelle *feutre*.

Tous les poils ne sont pas naturellement susceptibles d'être feutrés; les poils de castor, de loutre, de lièvre et de lapin, sont dans ce cas, tandis que la laine possède cette propriété au plus haut degré; aussi quelle que soit la qualité du feutre que l'on veut obtenir, est-on toujours obligé d'ajouter une certaine quantité de laine d'agneau ou de vigogne, pour former la trame et donner de la solidité à l'étoffe; quant aux autres poils, on leur communique la propriété feutrante au moyen d'une opération particulière qu'on nomme *sécrétage*.

On commence par nettoyer ou *dégaler* les peaux au moyen du *carrelet*, petite carde très fine qu'on promène sur le poil; puis on frappe à la baguette jusqu'à ce qu'il n'en sorte plus de poussière. Cela fait, on *ébarbe*, c'est-à-dire qu'au moyen de ciseaux on coupe la *jarre* ou poil plus long qui dépasse le duvet, au niveau de celui-ci. L'ébarrage étant terminé, on soumet les peaux au travail du sécrétage qui rend les poils aptes à mieux se tortiller et à se trouver dans la meilleure condition possible, pour pouvoir se feutrer ou s'accrocher les uns aux autres. Ce travail consiste à prendre une brosse de sanglier, à la tremper dans une solution étendue de nitrate de mercure, et à frotter avec force cette brosse sur toute la surface du poil jusqu'à ce qu'il soit imbibé au moins jusqu'aux deux tiers de sa longueur. Cette solution, qui n'est pas toujours la même chez tous les fabricants, se prépare ordinairement en dissolvant 8 parties de mercure dans 64 parties d'eau forte, y ajoutant 4 parties d'arsenic blanc et 2 à 3 parties de sublimé corrosif, puis l'étendant de trois fois son volume d'eau de pluie.

CHAPEAUX.

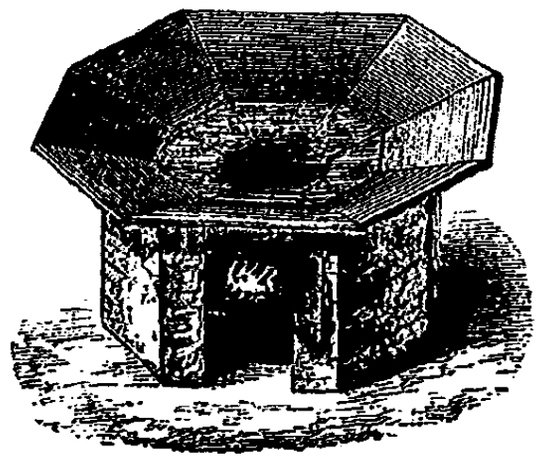
Les peaux étant bien également et suffisamment mouillées, on les réunit par paires, poils contre poils, et on les porte à l'étuve où on les sèche le plus rapidement possible. On mouille ensuite ces peaux du côté de la chair avec une éponge imbibée d'eau de chaux fort étendue, on les accole deux à deux du côté mouillé, on les empile en tas que l'on charge de pierres, et on laisse reposer en cet état pendant douze à vingt heures. La peau étant alors assouplie, on arrache le poil ou on le coupe avec un couteau tranchant très vif, ce qui se fait souvent sur les peaux de castor et de lapin, afin de laisser dans la peau la bulbe des poils.

Tous les poils coupés sont mis à part suivant leurs variétés. Les poils de castor sont les plus estimés pour la fabrication des chapeaux fins; vient ensuite le lièvre, où l'on distingue plusieurs qualités de poils : celui du dos, qui est le meilleur, puis celui de la gorge, et enfin celui du ventre. Le lapin sert à la chapellerie commune. Enfin, pour faciliter le feutrage on ajoute toujours, comme nous l'avons dit, une certaine quantité de laine d'agneau, de chameau ou de vigogne. En général, pour les chapeaux les plus fins, on forme la chaîne ou fond du feutre avec un 1/4 de laine de vigogne rouge, à laquelle on ajoute ensuite 3/4 de poil de castor, ou pour en tenir lieu, autant en poil d'arête de lièvre; si l'on diminue les proportions de ce dernier, ou qu'on y substitue du poil de chameau ou du poil de lapin, et en outre que l'on remplace la vigogne par de la laine plus grossière, le feutre perdra de plus en plus de sa finesse.

Les laines et poils étant pesés, on leur donne deux ou trois tours de cardes pour les bien diviser, puis on les passe à l'*arçonneur*; cet ouvrier doit son nom à l'*arçon*, instrument composé d'un arc fixé au plancher par son milieu, et dont les extrémités sont réunies par une corde fortement tendue, que l'on peut faire vibrer au moyen d'un fuseau ou *coche* terminée par un bouton. Les poils, placés en tas sur une claie d'osier très serrée, sont traversés par cette corde, qui, mise en vibration, les agite et les mélange intimement. Lorsque le mélange est fait on *vogue* l'étoffe, c'est-à-dire, qu'au moyen d'un brusque urçonnage, les poils, enlevés à une certaine hauteur, retombent sur la claie dans un grand état de raréfaction; on vogue encore une seconde fois afin de former une couche égale de poils, et l'on procède au *bastissage* ou premier degré de feutrage.

La quantité de poils nécessaire à la confection d'un chapeau, est divisée en plusieurs lots ou *capades*. En en supposant deux, ce qui est le cas le plus ordinaire, voici comment on agit : on humecte la *feutrière*, forte toile que l'on étend sur une table, et on y place la première capade, on applique dessus une feuille de papier mouillé, puis la seconde capade, et on replie la feutrière. Alors on plie et replie dans tous les sens, on humecte de temps en temps, pour empêcher l'adhérence du poil à la toile, et on continue jusqu'à ce que les deux capades, déjà assez consistantes pour ne point s'étendre, soient pourtant encore assez molles pour être réunies en un seul feutre par l'opération suivante, qui consiste à les remettre en feutrière, à les unir par les bordures au moyen de *marches* et *remarches* successives, et à en former une sorte de cône creux que l'on a soin d'ouvrir fréquemment pour *décrocher* et changer les plis. On entretient la moiteur et la souplesse au moyen d'aspersions fréquemment répétées. Des feuilles de papier interposées empêchent l'adhérence là où elle ne doit point avoir lieu, et lorsqu'il se présente des endroits faibles, on les fortifie avec une pièce *d'étoupage* ou morceau d'une capade destiné à cet usage.

La pièce suffisamment feutrée, et ayant déjà la forme d'un bonnet, est portée à la *foule* dont le travail la rend plus étoffée et plus ferme. La *foule* représentée en perspective fig. 399, est un atelier composé de huit bancs inclinés B, C, rangés autour d'une chaudière A, remplie d'eau acidulée par de l'acide sulfurique ou du tartre et maintenue à une température d'environ 80° C. Chaque ouvrier y plonge son feutre qu'il retire presque aussitôt,



399.

le place sur son banc où il s'égoutte, le presse d'abord avec un rouleau de bois, l'arrose d'eau froide, puis continue pendant deux à quatre heures à le presser ou fouler en tous sens, tantôt en dessus, tantôt en dessous, premièrement avec les mains nues, puis vers la fin de l'opération avec les mains garnies de *manicles* ou semelles de cuir; c'est à ce moment aussi qu'il commence à brosser l'étoffe, ce qui enlève le jarre et lui donne du lustre.

Le feutre étant foulé, on le dresse en le plaçant sur une forme dont on le force à prendre le contour en le pressant fortement avec les mains, et en ramenant toujours l'étoffe du centre à la circonférence; opération que l'on facilite en maintenant l'étoffe bien mouillée d'eau chaude. On forme les bords en attachant l'étoffe sur le bas de la forme avec une forte ficelle, en relevant les bords avec soin, et les tirant en long et en large. On laisse sécher le chapeau, puis on le polit à la pierre ponce, ensuite avec de la peau de chien, et quand il est bien uni on lui donne quelques coups d'un carrelet très doux, enfin on l'ébarre en arrachant avec des pinces les jarres qui paraissent au-dessus du feutre; en cet état on le porte à l'atelier de teinture. Le bain qui sert à la teinture, se prépare avec 1,000 parties d'eau, 25 parties de bois de campêche, 2 de gomme du pays, et 4 de noix de galle concassée; on fait bouillir pendant 2 heures et demie en agitant de temps en temps le mélange, et on ajoute 7 parties de vert-de-gris et 12 parties de sulfate de fer. Aussitôt après, on dispose les chapeaux dans le bain, par couches, en plaçant la première sur la tête, la seconde sur la forme, etc.; on couvre le tout avec des planches que l'on charge de poids. Au bout d'une heure et demie les chapeaux ont reçu la première *chaude*; on les retire, on les égoutte et on les expose à l'air pour faire passer le fer au maximum d'oxydation : c'est ce qu'on appelle donner *l'évent*. On donne ainsi aux chapeaux trois chaudes et trois évents, et l'on a soin d'ajouter à la dernière 3 parties de vert-de-gris et 4 parties de sulfate de fer, dans le bain. Pour abréger l'opération on se sert en Angleterre de nitrate de fer, et en France d'acétate ou de pyrolignite de fer. Enfin le teinturier fait bouillir les chapeaux dans de l'eau de source, pour les dégorger, les étire pour effacer les plis, relève les poils à l'aide du carrelet, et fait sécher à l'étuve; puis il brosse à sec, lustre en brossant de nouveau à l'eau froide, remet à l'étuve pendant une heure, et livre enfin à l'apprêteur.

L'apprêt est composé de gomme arabique ou d'un mélange de colle-forte et de gomme du pays. Le chapeau est placé dans le trou d'une table et ne pose que par les bords. L'ouvrier trempe une brosse dans l'apprêt, en imprègne la surface inférieure du bord sans atteindre

jusqu'au tour, et expose la partie imprégnée d'apprêt à l'action de la vapeur d'eau développée au moyen d'aspersions sur un bassin de fer poli, recouvert d'une toile et placé sur un fourneau. La vapeur fait pénétrer l'apprêt dans l'intérieur. On fait ensuite sécher à l'air libre, et le travail est terminé.

Revenons avec quelques détails sur les opérations de la chapellerie, en nous servant des renseignements spéciaux que nous devons à l'obligeance d'un des fabricants les plus habiles de Paris.

Les poils employés le plus généralement en chapellerie sont le castor, le rat musqué, le rat gondin, le lièvre, le lapin, le chameau, le cachemire, le poil de veau.

Le castor est le poil le plus fin employé en chapellerie, il est aussi le plus cher; sa valeur est de 80 à 150 fr. la livre anglaise qui équivaut à 14 onces ou 434 gram. (il nous vient de Londres, qui le reçoit du Canada). Les poils les plus estimés en castor sont ceux dont le pied est argenté ou rosé très clair; la pointe est généralement foncée, mais au tondage elle tombe et laisse voir la nuance du pied. Quant à la préparation que l'on fait subir au poil de castor, afin de pouvoir l'employer, elle consiste à le dégraisser complétement et à le souffler, c'est-à-dire qu'au moyen d'un ventilateur on débarrasse le poil de tout le gros poil dur ou jarre qui s'y trouve mêlé.

Le rat musqué est moins estimé et n'est pas si cher que le castor; son usage en chapellerie est plus ou moins restreint selon que la mode en exige l'emploi; il donne une teinte d'un bleu argenté. Le pied du poil est presque blanc et même tout à fait blanc dans les qualités supérieures et la pointe bleutée. On coupe cette pointe lorsqu'on désire une nuance claire; on la laisse, au contraire, lorsqu'on veut une nuance bleutée.

Le rat gondin est d'un usage encore moins répandu en chapellerie. Sa nuance est brune; on n'en met guère que dans les chapeaux raz de poil, afin de donner ou une nuance brune ou de la douceur au chapeau.

Nous n'avons pas parlé de la loutre ainsi que de quelques autres espèces de fourrures que la mode n'a pas fait encore employer en chapellerie, mais qui pourraient l'être si elles étaient préparées pour cela. Au reste, tous les poils dont nous venons de donner le détail ne constituent pas le corps du chapeau, ils ne servent qu'en *dorure*, à former l'extérieur.

Le poil de lièvre nous vient de Saxe et de Russie, en paquets pesant chacun 1 kilogramme. Ces paquets contiennent une certaine quantité de peaux ou petits paquets de poil, dans la position qu'ils avaient lorsqu'ils tenaient à la peau de l'animal. Ces poils sont coupés à la main, par un ouvrier, le plus près possible du pied.

Avant de couper le poil, de le séparer de la peau de l'animal, on le dégage de toute la poussière, qu'il peut contenir, au moyen d'un carrelet, et en le baguettant; ensuite on coupe le jarre (poil raide et dur qui ne peut se travailler) à la hauteur du poil; lorsque les peaux sont ébarbées on les secrète par le moyen suivant :

Pour 7 parties de mercure on prend 25 parties d'acide sulfurique; on fait dissoudre à une chaleur convenable, dans une cornue en verre, sur un feu ardent. Lorsque la fusion est opérée, on ajoute une plus ou moins grande quantité d'eau, et avec une brosse on imbibe le poil à la moitié de sa longueur. On fait ensuite sécher les peaux dans une étuve, et lorsque le poil est sec, on le coupe comme nous l'avons indiqué.

Le secrétage a pour but de provoquer dans un poil une torsion, une crispation qui le rend plus facile à feutrer, et à faire qu'un entrelacement soit produit par le foulage. Sans cette opération, il ne pourrait subir le travail de la chapellerie.

On range le poil par qualités, car tout ce qui fait partie du dos de l'animal est plus fin, et tout ce qui s'approche du ventre est plus commun.

Le prix d'un kilogramme de poil de lièvre varie de 35 à 20 fr. selon les qualités. Le poil de lièvre de France est aussi employé en chapellerie, mais il est plus court et est d'un moins grand usage pour le chapeau dit flamand que pour les chapeaux gris raz d'été, ou ceux qu'on teint en noir et qui imitent le drap.

Le poil de lapin est aussi d'un très grand usage en chapellerie; il se prépare de la même manière que le poil de lièvre, et on est aussi obligé de le secréter pour rendre son travail facile.

Il y a plusieurs qualités de poil de lapin, selon la nuance du poil de l'animal; les plus recherchés sont ceux de lapin blanc et jaune; avec ces deux nuances on fait divers chapeaux de fantaisie, blancs et nankins. Il y a également une préférence accordée au lapin de garenne, en ce que le poil est plus fourni et feutre plus aisément; aussi en met-on toujours une certaine quantité avec le lapin domestique afin d'aider au travail de ce dernier.

Quant au poil de chameau, son usage est à peu près nul dans les villes qui fabriquent la chapellerie fine; il n'y a que les petites localités qui font les chapeaux pour la campagne qui emploient ce genre de poil; il en est de même des poils de veau.

Fabrication. Pour donner un aperçu de la manière de fabriquer un chapeau, ainsi que des différentes matières qui la composent, nous commençons par le genre le plus fin, les *castors gris* fabriqués avec des poils de castor appliqués sur une carcasse composée avec des poils de lièvre et de lapin.

On fait avec un long archet appelé arçon le mélange des différents genres de poils qui composent la carcasse du castor. On bat le poil en faisant vibrer la corde de cet archet, le poil vole et se mêle. Lorsqu'on voit qu'il est assez battu, on partage en trois parties ce tas de poil; on fait voler le tiers du poil de manière à former une figure conique appelée en chapellerie une *pièce*, qui ressemble à la fig. 400; on prend ensuite le second tiers du poil; on fait une

400.

401.

figure absolument semblable; ensuite avec le dernier tas de poil on forme une bande de cette forme (fig. 401) qui doit avoir un peu plus de la largeur du bas du cône. Elle sert à mettre en bas de ce cône, qui doit devenir le bord du chapeau et qui par conséquent doit être beaucoup plus fort que le reste. Les pièces assemblées par l'ouvrier forment ce qu'on appelle le bastissage. Ce bastissage doit être naturellement deux, trois et quatre fois plus grand que le chapeau, et c'est lorsque le bastissage est fini qu'on le foule, et qu'à force de le rouler dans tous les sens en trempant dans l'eau bouillante étendue d'acide sulfurique, le feutrage le réduit à la grandeur voulue. Quand la carcasse a la taille convenable, on lui applique un apprêt imperméable et on la laisse sécher, puis on pose le castor dessus; ce castor a été au préalable arçonné et disposé en feuilles, ayant aussi la forme conique de la carcasse; on les applique l'un sur l'autre par le moyen suivant:

On a un fourneau sur lequel est une plaque en fonte; quelques fabricants emploient une plaque en cuivre chauffée par la vapeur. Sur cette plaque on met une couverte qu'on imbibe d'eau acidulée; on pose cette carcasse sur la couverte; on applique le castor

CHAPEAUX.

sur cette carcasse, et en roulant et mouillant la couverte on force le castor à prendre pied dans la carcasse. Quand l'ouvrier voit que le castor est pris suffisamment il met quatre ou six de ces carcasses (qu'on appelle en chapellerie des *fonds*) dans une grande couverture en laine, et pendant quatre ou six heures il roule ces carcasses ou fonds dans cette couverte en trempant dans l'eau bouillante acidulée. Lorsque l'ouvrier juge que le travail est suffisant, c'est-à-dire que le poil de castor est adhérent au fond, il dresse ce chapeau-castor sur un cône afin qu'il ne plisse pas. On fait sécher, et ensuite avec un peigne ou démêloir, on peigne le poil, on le fait lever, et on le tond à la longueur que l'on désire. Ensuite le fouleur reprend ces chapeaux, et d'une forme conique qu'ils avaient il leur donne celle qu'on leur destine, c'est-à-dire cylindrique et terminée par un fond plat. Il faut donc qu'il élargisse le sommet du cône de manière à l'amener à la largeur du volume de la forme à l'aide de parties cylindriques et de coins en bois, et ce qui déborde de la forme il le retrousse et en fait le bord.

Le genre le plus cher après le castor gris est le castor brossé ou flamand. On prend pour ce genre de chapeau un mélange qui varie suivant l'idée du fabricant, et qui consiste en poil de lièvre de Saxe, de lièvre de Russie et de lièvre de France. Le poil de lièvre de Saxe est moins long que celui de Russie, il forme donc la partie velue ; le russe, qui est plus long, forme chaîne en même temps qu'il fournit son poil, et le lièvre de France, qui est plus court, fait serrer le tissu. On bat bien ces trois sortes de poils, on les partage en trois parts comme pour la fabrication du fond, on en fait un bastissage et ensuite on le foule. La différence est pour ce genre de fabrication, qu'après avoir donné une certaine force au feutre en le foulant longtemps, on le brosse en tous sens. Cette brosse amène le poil qui doit faire le velu du chapeau, en même temps qu'elle serre la chaîne. Après un travail qui dure de trois à quatre heures à la foule, l'ouvrier laisse le castor brossé dans sa forme conique, le fait sécher, et ensuite tire au carrelet le poil qui est catté par l'eau. Comme il y a une quantité de jarre ou poil grossier, mêlé à celui qui sort du castor, qui ne prend pas la teinture, on le fait arracher par une ouvrière éjarreuse. Lorsque l'éjarrage est fait, on refoule un peu le chapeau, on lave bien le poil, on le brosse et on le dresse. Lorsque le chapeau est dressé on le fait sécher, on dégage de nouveau le poil avec un carrelet et ensuite on l'apprête. Lorsque l'apprêt est sec on met le chapeau en teinture.

L'apprêt dans lequel la gomme laque entre pour une forte part est imperméable, s'amollit à l'eau chaude et redevient ferme en séchant.

Les autres genres de feutres sont les gris unis et les casimirs ou chapeaux noirs imitant le drap. Leur composition varie suivant la nuance qu'on veut obtenir pour les gris : ainsi le poil de lapin s'emploie pour le gris; celui de lièvre, plus clair, s'emploie pour les qualités fines et de nuances tendres; celui de lapin blanc pour les chapeaux blancs.

Le mérite de l'ouvrier chapelier consiste donc dans la manière habile dont il forme les pièces qui composent le chapeau et les dimensions du bastissage, qui varient suivant le genre de matières qu'il a à travailler, et le genre de forme auquel on destine le chapeau qu'il fait. Le mérite du fabricant consiste dans le mélange des matières. Il doit avoir soin de ne mettre ensemble que des matières qui soutiennent le même travail.

On a importé depuis quelque temps à Paris une machine très remarquable inventée en Amérique, qui forme le bastissage d'une seule pièce. Par le moyen d'un courant d'air, le poil se trouve chassé sur un cône creux dans lequel l'air est aspiré. L'Exposition de 1855 a permis d'apprécier cette ingénieuse machine, et de bien comprendre les principes sur lesquels elle repose.

La suspension dans l'air est le moyen par excellence de séparer des poils extrêmement légers et de les répartir convenablement; nous représentons (fig. 402) l'*arçon*, l'outil curieux employé seul jusqu'à ce jour, dont nous avons expliqué le maniement plus haut.

Fig. 402.

La machine américaine opère d'une manière semblable, seulement ce n'est plus à l'aide d'une corde à boyau, mais par la ventilation, qui met les poils en mouvement, qu'elle opère, et cela avec une rapidité (peut-être trop grande, car elle entraîne quelques déchets de duvets fins) telle, qu'elle donne en trois minutes la galette ou le bastissage à une consistance très-convenable.

Voici en quoi consiste le bastissage : un cône en cuivre rouge, percé de trous serrés et de très-petit diamètre, est mis, par sa base, en communication avec un orifice qui se relie lui-même au tube d'appel d'un aspirateur à force centrifuge. Le cône, animé d'un mouvement de rotation assez lent, est placé en regard d'une trémie à section trapézoïdale; le poil est livré sur une toile sans fin qui, tournant autour de deux enroulés, forme un tablier mobile. Après avoir été comme laminé d'abord, entraîné entre deux brosses tournant en sens inverse l'une de l'autre, le poil est introduit dans le corps de la trémie. Il obéit alors, en se divisant, à l'appel produit sur la colonne d'air qui remplit la trémie.

En effet, l'air extérieur appelé par l'action de l'aspirateur se répand à travers le réseau des vides pratiqués sur le cône, et le poil vient se précipiter sur la paroi du cône, contre laquelle il est appliqué énergiquement, en même temps que ses éléments s'enchevêtrent mutuellement. Après trois minutes environ, la quantité de poil voulue pour une galette s'est déposée sur le cône, avec une épaisseur décroissante du sommet à la base; la régularisation, dans les proportions voulues pour obtenir cette épaisseur variée, est facile à obtenir par la dimension des trous qui livrent passage à l'air. Une toile imprégnée d'eau chaude acidulée est

CHAPEAUX.

jetée ensuite autour de la nappe conique, et, après une immersion complète dans l'eau chaude du cône muni encore de la galette formée, il devient facile d'enlever celle-ci afin de la porter au foulage.

La figure 403 représente la machine ci-dessus décrite. Les poils, placés bien également sur la toile sans fin T, sont entraînés par un cylindre garni de brosses disposées suivant sa longueur ; la rotation les lance dans un conduit A, où ils sont soumis à l'action d'un courant d'air, qui les met en suspension et les entraine vers l'orifice allongé qui termine ce conduit. En face de cette fente est la cloche en cuivre A, qui recouvre le cylindre tournant B le tout placé dans le socle P dans l'intérieur duquel on fait le vide. Le tout est recouvert d'un linge mouillé, et les épaisseurs de poils déposés à diverses hauteurs sont déterminées par un ouvrier qui, avec une règle, ferme telle ou telle partie de la fente A qui leur donne passage.

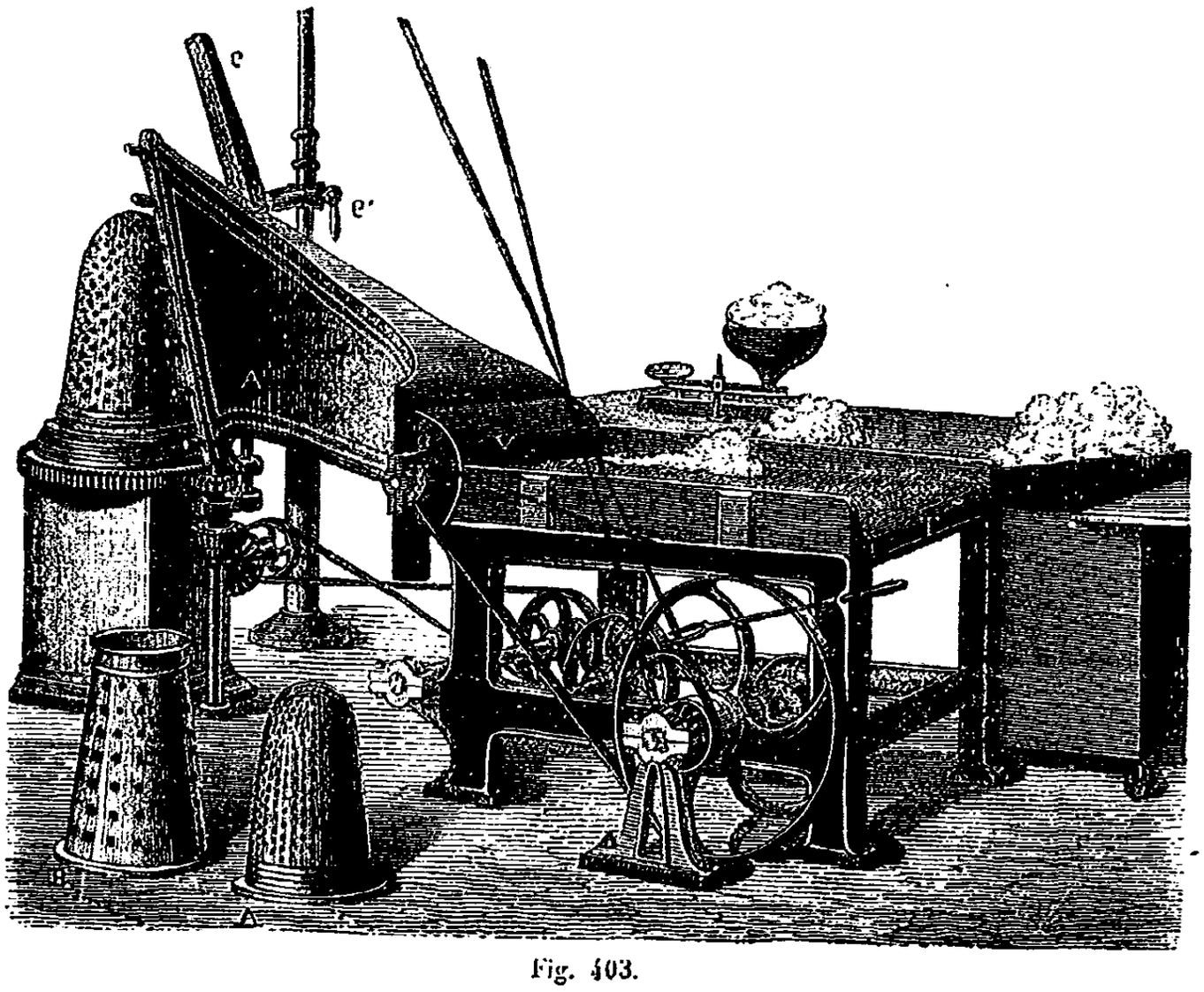


Fig. 403.

Le tissu très-léger ainsi obtenu est *assuré*, c'est-à-dire qu'on augmente sa solidité en lui faisant subir le feutrage à la main, que nous avons décrit. Le feutrage est terminé à l'aide de la machine à feutrer.

Elle repose en principe sur la combinaison d'une pression et d'une friction simultanées, l'une et l'autre pouvant être réglées et variées à volonté. L'appareil ou l'organe feutreur se compose de deux rangées de rouleaux jointifs et superposés, chaque rouleau de l'étage supérieur étant logé dans l'espèce de canal à parois cylindriques convexes, formé par deux rouleaux contigus de l'étage inférieur. Tous les rouleaux de ce deuxième étage, de même que ceux de la rangée inférieure, sont animés d'un double mouvement de rotation et de translation longitudinale alternative, les rouleaux de l'étage supérieur tournant, d'ailleurs, en sens inverse de ceux qui sont au-dessous. On comprend que les galettes, livrées à l'arrière, cheminent de l'arrière à l'avant, soumises, entre les deux rangées de rouleaux, à une pression longitudinale, aussi énergique qu'on la peut vouloir, et à des efforts de friction latérale double et inverse, chacun d'eux s'exerçant sur une face de tissu. Une bassine supérieure, remplie d'eau acidulée, est munie de robinets disposés pour verser l'eau en lame mince et large pendant toute la durée du travail ; une caisse, placée au-dessous des rouleaux, et dans laquelle ceux-ci plongeraient au besoin, reçoit le liquide fourni par la bassine supérieure.

Il est à peine besoin de dire que l'eau acidulée, chauffée par la vapeur, peut être livrée à une température très-élevée, bien supérieure à celle que la main peut supporter, et que cette condition est éminemment favorable au feutrage.

Si l'on compare tout cet ensemble aux dispositions de feutreuses mécaniques décrites à l'article LAINE, on comprendra combien celles-ci sont supérieures. Il fallait arriver à ce degré de perfection, car la qualité du produit dépend tellement de la perfection des façons, que le travail à la main des bons ouvriers donne des produits supérieurs à ceux obtenus avec cette ingénieuse machine, qui n'a pu passer aussi complétement dans la pratique courante que la première.

Le feutre est terminé par son passage à la ponce, au dressage et aux apprêts. Nous traiterons plus loin de ces dernières opérations; nous parlerons seulement ici du ponçage; pour ces diverses opérations, on place le chapeau sur des formes auxquelles il est utile d'imprimer un mouvement par quelque mécanisme semblable à celui décrit plus loin (fig. 404).

Pour le ponçage, des formes verticales, animées d'un mouvement rapide de rotation, reçoivent le chapeau, et, pendant qu'elles tournent, l'ouvrier appuie sur le feutre la ponce qui doit le polir. Le ponçage des bords se fait en plaçant le chapeau dans une forme creuse et en les rabattant sur une partie plate qui se trouve autour de la cavité.

CHAPEAUX.

CHAPEAUX DE SOIE. Nous n'avons guère qu'à mentionner la fabrication du chapeau de soie, qui donne lieu à une production deux fois plus importante que celle du feutre, mais dont la description devient très-simple après les détails donnés ci-dessus.

Les chapeaux de soie sont généralement formés de carcasses ou galettes trempées dans l'apprêt imperméable, faites en poil de lapin et une petite quantité de coton. On les arçonne, les bastit et les foule d'après les mêmes principes que les autres chapeaux. Lorsque la carcasse est faite, on la trempe dans l'apprêt imperméable ; on lui donne la forme que doit avoir le chapeau de soie, et ensuite on fait sécher cette galette sur forme. On la lisse avec un fer presque rouge, afin de griller les poils qui se lèvent, et afin d'en faire une surface unie. Quand la galette est lissée, on y met une couche de colle de peau qu'on fait sécher; par-dessus, on remet une couche de vernis qu'on fait sécher également. On prend alors une coiffe de peluche qui est cousue suivant une ligne oblique; on colle cette peluche, on la passe au fer, on la mouille, on la repasse plusieurs fois, et, lorsque le chapeau a le brillant suffisant, on le met en tournure et on le garnit. Les fabricants font ce travail eux-mêmes pour l'exportation. Les chapeliers de province et de Paris les prennent sans garnitures et leur donnent la forme qui convient à la physionomie de l'acheteur.

On remplace quelquefois, pour les produits communs, le feutre par une carcasse en toile apprêtée, c'est-à-dire formée de 2 à 3 toiles superposées, passées dans la gomme laque. On ne peut obtenir ainsi des produits qui aient la souplesse et la légèreté de ceux en feutre; mais la cherté du poil de lapin tend à faire développer de plus en plus cette fabrication.

Nous la décrirons en détail.

La galette se compose de trois parties : la partie cylindrique, le fond et les bords. La première se fait en entourant une forme cylindrique d'un morceau de toile apprêtée dont on réunit les bords en les collant l'un à l'autre. Sur le fond de cette forme, on applique un disque circulaire que l'on colle au premier morceau de toile. Pour les bords, on se sert de toiles plus fortes superposées, et l'on façonne avec elles un anneau plat qui présente, sur sa circonférence intérieure, une saillie sur laquelle on colle le reste de la galette. Pour la recouvrir, on prend une espèce de coiffe en peluche de soie, représentant la forme du chapeau, et fendue suivant une ligne oblique; on l'applique sur la galette placée sur la forme, et on la force à en épouser les contours par la pression d'un fer chaud ; la chaleur du fer fond la gomme laque qui se trouve sur la galette, et qui, par le refroidissement, les réunit parfaitement.

Parlons encore d'une industrie qui n'est pas sans importance à Paris: nous voulons parler de celle des chapeaux refaits. Ce sont les vieux chapeaux que les marchands d'habits ramassent et revendent à des fabricants spéciaux qui enlèvent la peluche de la carcasse, la dégraissent, mettent la carcasse sur des formes de mode, remettent des peluches neuves, et livrent au commerce des chapeaux qui ont belle apparence, mais qui, au bout de peu de temps, rougissent. Malgré cet inconvénient, il s'en fait une quantité assez considérable pour occuper près de la moitié des ouvriers chapeliers.

Nous donnerons, en terminant, la machine qui sert à dresser les chapeaux. Bien que la machine, généralement employée dans les ateliers parisiens, se borne, le plus souvent, à la disposition représentée en A, figure 405, au mouvement d'un axe horizontal sur lequel s'adapte le chapeau afin de le soumettre à l'action du fer, il n'est pas sans intérêt de voir les dispositions additionnelles à l'aide desquelles on peut la compléter.

Fig. 405.

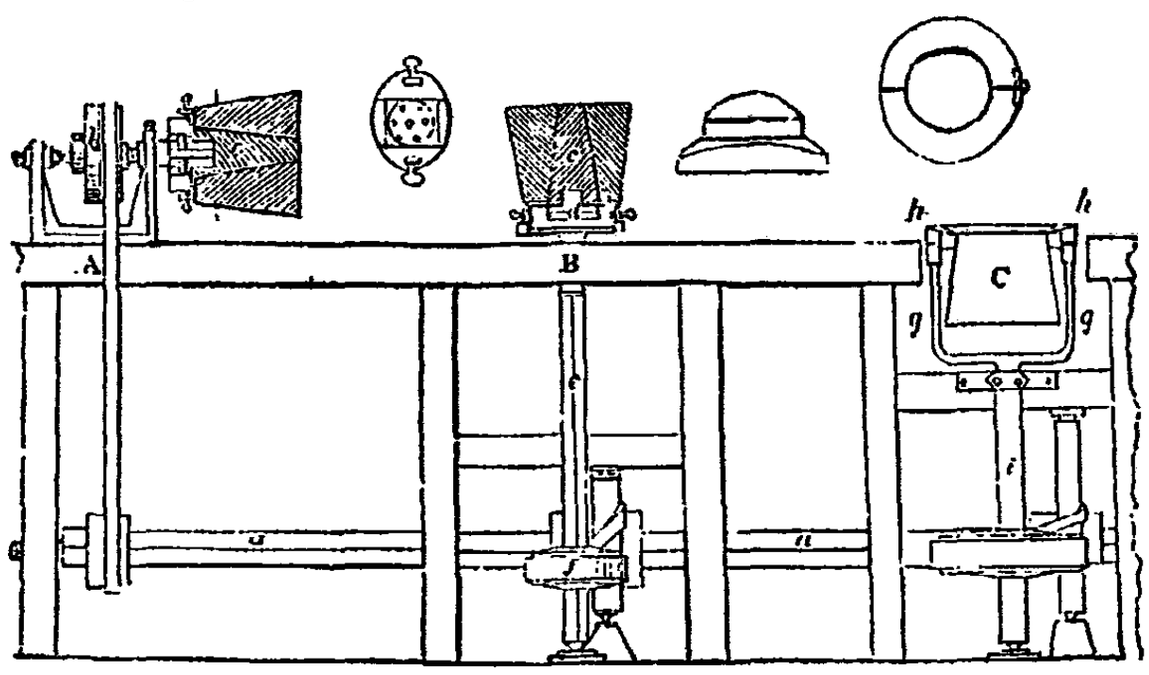


Fig. 404.

La fig. 404 est une élévation de cette machine. Trois systèmes, A, B, C, mus par l'arbre *a a*, servent à repasser les diverses parties du chapeau. A et B, qui servent pour le fond et la partie cylindrique, font vingt révolutions par minute ; C, employé pour les bords, n'en fait que dix. Les formes se composent, tantôt d'une pièce unique, tantôt de plusieurs pièces rondes extérieurement, réunies par un collier et des vis de serrage.

CHAPEAUX MÉCANIQUES. Depuis quelques années, une fabrication nouvelle est venue prendre place dans la chapellerie parisienne, et a reçu, un moment, des développements de quelque importance ; nous voulons parler des chapeaux mécaniques ou chapeaux pliants, qui offrent l'avantage de ne tenir que fort peu de place, lorsqu'ils sont fermés, quand le fond vient s'appliquer sur les bords. Cet avantage a fait rechercher ces chapeaux pour les voyages et pour les réunions nombreuses, et si leur aspect peu agréable les fait peu apprécier aujourd'hui à la ville, cependant il en est toujours fabriqué une certaine quantité.

Ces chapeaux sont toujours essentiellement composés d'un bord en feutre, sur lequel est assemblé un petit

cercle en acier portant trois ou quatre montants verticaux, qui supportent, par leur extrémité supérieure, un second cercle, également en acier, destiné à soutenir le fond du chapeau. Cette carcasse métallique est entourée d'une étoffe de laine noire, et garnie, à l'intérieur, d'une coiffe en soie.

Ce chapeau ne plie que par l'effet d'articulations placées au milieu des montants verticaux. Le premier inventeur, Gibus, avait disposé ces articulations d'une manière analogue à celle des couteaux qui se ferment, c'est-à-dire que la partie supérieure, en s'ouvrant, venait reposer sur un talon pratiqué en arrière de l'axe de rotation adapté à la partie inférieure.

Cette disposition offrait ceci de gênant, qu'il fallait secouer le chapeau pour l'ouvrir, et le presser par le milieu pour le fermer. Aussi ne rencontre-t-on plus ce système dans le commerce qu'avec un perfectionnement dû à M. Dufresne, chapelier, et qui consiste en un ressort à boudin attaché à l'axe de la branche inférieure, d'une part, et, de l'autre, à un prolongement d'équerre, à une espèce de manivelle adaptée à la branche supérieure. Le chapeau acquiert ainsi beaucoup de solidité soit pour rester ouvert, soit pour rester fermé, et, pour l'ouvrir, il suffit de déterminer le mouvement en éloignant le fond du bord; à partir d'un certain point (correspondant au point mort de la manivelle), le mouvement continue et le chapeau s'ouvre seul.

CHAPEAUX DE PAILLE. La fabrication des chapeaux de paille se divise en trois opérations tout à fait distinctes: 1° la préparation des pailles; 2° la confection des tresses; et 3° la réunion de ces tresses au moyen de la couture; ces deux dernières opérations se font à la main et n'offrent rien de particulier. La meilleure paille est celle obtenue en Toscane du froment d'été. On sème ce froment très-serré, sur des collines exposées au midi, dans un sol léger, sablonneux, travaillé avec soin, comme dans la culture maraîchère. Chaque hectare reçoit 10 hectolitres de semence, répandus bien uniformément. On obtient ainsi une végétation serrée qui force les tiges à rester minces et allongées. La récolte est faite en vert, lorsque les épis sont en partie développés et que les grains ont acquis une consistance laiteuse; on arrache avec précaution les pieds avec leurs racines, et on les étale pendant trois ou quatre jours sur le sol afin de les dessécher. On en forme ensuite des bottes, qu'on laisse à terre pendant trois ou quatre semaines, jusqu'à complète dessiccation. On les délie alors et on étend les tiges sur un pré, en ayant soin de les retourner de temps en temps, afin de les blanchir par l'action simultanée de la rosée et des rayons solaires; on sépare ensuite les racines en brisant les tiges au-dessus du nœud inférieur, et on achève de blanchir les tiges en les soufrant soit immédiatement, soit après les avoir soumises à l'action d'un courant de vapeur d'eau. Voici comment on opère le soufrage : on prend une caisse ouverte par les deux fonds, que l'on place à $0^m,15$ environ au-dessus du sol; à $0^m,15$ du bord supérieur, on pose un grillage sur lequel on étend les pailles, préalablement mouillées, par lits successifs se croisant respectivement à angle droit, puis on introduit sous une caisse un réchaud plein de charbons enflammés, et recouvert d'une plaque sur laquelle on met des morceaux de soufre; on place ensuite sur la caisse un couvercle qui ferme bien hermétiquement, on applique des lisières de drap sur toutes les jointures, et on abandonne l'appareil à lui-même pendant 3 à 4 heures. Il faut prendre garde que la combustion du soufre ne devienne trop violente, car la paille se couvrirait de taches noires que l'on ne pourrait plus faire disparaître. On retire alors les pailles blanchies, que l'on étend pendant une nuit sur le pré, afin de leur donner la souplesse nécessaire, puis on les fend avec un instrument qui se compose d'une pointe armée, vers sa tête, de plusieurs tranchants équidistants, dont le nombre est égal à celui des lanières que l'on veut obtenir; cette pointe entre dans l'intérieur de la paille et sert à diriger l'instrument. Le plus souvent, on emploie ces pailles sans les fendre, et on les trouve, dans le commerce, entières et avec leurs épis.

La fabrication toscane constitue réellement une industrie perfectionnée qui n'a rien de comparable soit pour les matières premières, soit pour les produits obtenus, avec les chapeaux grossiers qu'on fait de temps immémorial, en France, dans diverses contrées : l'Est, le Dauphiné, l'Auvergne, les Pyrénées, etc. Son imitation, installée en Suisse, dans le canton d'*Argovie*, a parfaitement réussi; et maintenant cette fabrication est, dans ce canton, une industrie prospère exportant, chaque année, des chapeaux pour plusieurs millions de francs. Ces chapeaux, en général, en paille de seigle, sont plus fins et moins solides que ceux en paille de froment de Toscane, et sont d'un prix moins élevé.

Les Anglais ont, avec des pailles moins fines, monté une fabrication de quelque importance.

Il serait vivement à désirer qu'on pût développer en France une semblable industrie. La valeur des chapeaux de paille consiste, en grande partie, en main-d'œuvre, pour des femmes restant dans leur ménage, condition précieuse à laquelle satisfont trop peu de fabrications.

APPRÊT DES CHAPEAUX DE PAILLE. M. Ludy a inventé pour l'apprêt des chapeaux de paille, pour leur donner la forme et le brillant qui en fait la valeur, une ingénieuse machine, reposant sur une curieuse application de la pression hydraulique.

Elle se compose d'une forme creuse en bronze, qui reçoit, dans son intérieur, le chapeau enduit d'un apprêt. Cette forme est chauffée par un bain de sable; le chapeau, placé dedans, reçoit une boule en caoutchouc assemblée à la partie inférieure d'une plaque de fonte, qui vient s'assembler solidement par un système de leviers tournant horizontalement, qui serrent sur des plans inclinés, avec le cylindre en fonte qui porte la forme. Tout étant ainsi disposé et le caoutchouc étant plein d'eau, on voit que, si on vient mettre celle-ci en communication soit avec un corps de pompe, soit avec un réservoir de vapeur, il s'exerce une pression hydraulique considérable transmise par le caoutchouc, en s'étendant, et qui n'écrase aucune partie saillante. En une ou deux minutes, l'apprêt, la mise en forme du chapeau de paille sont exécutés avec une rare perfection.

C'est ce procédé qui a été le point de départ du système complet et si remarquable que nous avons décrit en détail à l'article APPRÊT du *Complément*, et qui a toujours dans la chapellerie sa principale application.

PANAMA. On donne ce nom à une nouvelle espèce de chapeaux d'été, d'une souplesse et d'une légèreté infiniment plus grandes que tout ce qui avait été fabriqué antérieurement. C'est du Pérou et de l'Équateur que proviennent ces chapeaux, qui sont fabriqués par les habitants de la montagne.

La matière première de ces chapeaux est une plante-arbuste appartenant à l'espèce palmier et au genre latanier, appelée dans le pays *bombonaxa*, très-commune dans le Pérou.

Les feuilles du bombonaxa, pour être propres à ouvrer, sont cueillies, comme la paille de Toscane, avant leur entière maturité, et l'on a soin d'enlever les nervures trop saillantes. Au moyen d'un instrument armé de deux aiguilles, que l'on rapproche ou que l'on éloigne l'une de l'autre, selon le degré de finesse de la paille que l'on veut obtenir, on découpe la feuille en bandes longitudinales que l'on fait sécher et blanchir à l'air et par l'action du soufre. Le travail du tissage s'effectue en partant du centre pour arriver jusqu'aux bords.

CHAPELET HYDRAULIQUE. Cette machine qui sert à élever l'eau se compose d'une chaîne sans fin, faite de maillons de cuivre articulés, portant des disques en cuir fort, qu'on fait circuler à l'aide de deux tambours dont l'un est plongé dans l'eau. Ces disques passant successivement dans un tuyau vertical ou incliné dont le bas plonge dans l'eau, et qui a le même calibre que les disques, élèvent l'eau de la même manière qu'un piston de pompe ordinaire. Le produit de cette machine est égal à la surface d'un disque multipliée par la vitesse qu'on imprime à la chaîne; la résistance est proportionnelle à la hauteur d'élévation de l'eau.

CHARBON ANIMAL. Voyez NOIR ANIMAL.

CHARBON DE BOIS (*angl.* charcoal, *all.* holzkohle). Voyez CARBONISATION et COMBUSTIBLES.

CHARBON DE TERRE. Voyez ANTHRACITE, HOUILLE.

CHARBON DE TOURBE. Voyez CARBONISATION et COMBUSTIBLES.

CHARDON A FOULON (*angl.* teasel, *all.* kardendistel). Plante qui croît dans la Normandie et le midi de la France, et qui appartient à la famille des chardons. Chaque plante donne moyennement 10 à 15 têtes; celles-ci sont employées pour lainer les draps avant de les tondre; les plus estimées viennent des environs d'Avignon.

CHARRUE. Voyez INSTRUMENTS D'AGRICULTURE.

CHAUDIÈRE A VAPEUR (*Administration*). Les machines et chaudières à vapeur ont successivement été soumises à diverses mesures de sûreté par ordonnance des 29 octobre 1823, 7 mai 1828, 22 septembre 1829, 25 mars 1830 et 22 juillet 1829.

Avant 1823, on ne comptait en France qu'un petit nombre de ces appareils qui se sont beaucoup multipliés depuis.

Le décret du 15 octobre 1810 et l'ordonnance du 14 janvier 1815, relatifs aux établissements insalubres ou incommodes, ne s'étaient occupés des machines à vapeur, qu'ils désignaient sous le nom de pompes à feu, que par rapport aux inconvénients de la fumée pour le voisinage.

L'ordonnance du 29 octobre 1823 prescrivit plusieurs conditions de sûreté; mais elle ne concernait que les machines à haute pression, celles dans lesquelles la force élastique de la vapeur dépasse deux atmosphères.

Les ordonnances des 7 mai 1828 et 23 septembre 1829 déterminèrent des règles pour les épreuves, et y assujettirent toutes les chaudières à haute pression, ainsi que les tubes bouilleurs, et les cylindres et enveloppes de cylindres des machines.

L'ordonnance du 25 mars 1830 s'occupa spécialement des chaudières à basse pression, où la tension de la vapeur ne dépasse pas deux atmosphères au plus; elle leur appliqua quelques-unes des dispositions déjà prescrites pour la haute pression, mais en les exemptant des épreuves et de toute condition d'emplacement.

Enfin, l'ordonnance du 22 juillet 1839 a fixé des règles pour les épreuves des chaudières des machines locomotives employées sur les chemins de fer.

Les règlements faits ainsi à différentes reprises manquaient d'unité et présentaient diverses lacunes. En outre, le temps et l'expérience ont fait reconnaître que parmi les précautions exigées, il en était quelques-unes que l'on pouvait rendre moins rigoureuses et même supprimer entièrement; d'autres, au contraire, qu'il convenait d'étendre ou de compléter, de manière à concilier à la fois les intérêts de l'industrie et ceux de la sûreté publique. Il était donc nécessaire de faire un nouveau règlement à l'effet de coordonner toutes les dispositions à prescrire aujourd'hui en cette matière, d'après les renseignements donnés par la pratique et la théorie.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

Ce travail a été fait pour les machines et chaudières à vapeur employées sur terre, par l'ordonnance du 22 mai 1843; et pour les bateaux à vapeur, par celle du 23 mai de la même année. L'importance du sujet nous avait fait donner ici le texte de ces deux ordonnances dans les précédentes éditions. Mais, par un décret du 25 janvier 1865, la première de ces ordonnances a encore été modifiée dans un sens plus libéral, et les entraves de l'industrie heureusement diminuées. Par suite, nous remplacerons tout ce qui se rapporte aux chaudières et aux autorisations, par ce décret, le seul qui soit à consulter aujourd'hui par les industriels. Nous ferons voir dans quel esprit il a été conçu en reproduisant ici un extrait du rapport du ministre du commerce et des travaux publics.

La vapeur est aujourd'hui, dit-il, l'agent presque universel de l'industrie. A l'exception des usines établies sur des cours d'eau, il n'y en a en quelque sorte pas une seule qui n'ait la vapeur pour force motrice, et, en dehors des établissements industriels proprement dits, nous la retrouvons donnant le mouvement aux vaisseaux de guerre et de commerce, ainsi qu'aux locomotives des chemins de fer. Chaque jour augmente le nombre des machines à vapeur existant en France. En 1850, il y en avait 6,832; en 1863, le nombre s'en élevait à 22,516, représentant une force de 617,890 chevaux-vapeur, ou de 1,854,670 chevaux de trait, ou encore de 12,976,690 hommes de peine, c'est-à-dire supérieure à celle de tous les hommes en état de travailler qui existent dans le pays.

La vapeur est donc, ainsi qu'on l'a dit si justement, une puissance de premier ordre; mais on doit reconnaître que c'est une puissance qui a ses dangers, et qu'on ne doit en faire usage qu'avec de certaines précautions, dont l'oubli peut occasionner les plus funestes conséquences.

L'on s'explique donc qu'à l'époque où la machine à vapeur était encore peu connue, et le nombre des hommes en état de la conduire peu considérable, l'on ait assujetti l'emploi de ces machines à des prescriptions nombreuses et sévères, de nature à prévenir les accidents: c'est ainsi que, dès l'année 1810, elle a été rangée parmi les établissements insalubres et incommodes; c'est ainsi que plus tard, et sous l'impression d'accidents qui avaient coûté la vie à un grand nombre de personnes, ont été successivement rendues, en 1823, en 1828, 1829 et 1830, diverses ordonnances déterminant les mesures de sûreté auxquelles devaient être subordonné l'emploi de la vapeur, et, en dernier lieu, l'ordonnance du 22 mai 1843, qui régit encore aujourd'hui la matière, et qui a constitué un véritable progrès sur les règlements antérieurs.

Mais le temps a marché; l'industrie de la construction des machines a fait les plus remarquables progrès; la vapeur s'applique aujourd'hui dans une foule de circonstances où l'on ne supposait pas qu'elle dût jamais trouver sa place. Les appareils destinés à la recevoir se transforment de mille manières, en raison des usages variés auxquels ils sont destinés; les matériaux eux-mêmes dont les appareils sont formés se fabriquent de nos jours dans des conditions de qualité et de prix auxquelles on n'avait pas encore atteint; enfin les ouvriers propres à la conduite des machines sont plus expérimentés et plus nombreux; de là résulte que l'administration, pour suivre l'industrie dans ses progrès, a dû, usant de la faculté que le règlement lui-même lui conférait, accorder certaines dérogations aux conditions de sûreté que ce règlement prescrivait.

Mais ces concessions limitées et partielles étaient devenues insuffisantes, et chaque jour révélait l'utilité de modifications essentielles dans les règlements actuels; ces modifications ont été mises à l'étude; l'ad-

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

ministration a ouvert sur toute la surface de l'Empire une vaste enquête; les ingénieurs chargés de la surveillance, les préfets, les constructeurs, les industriels ont été consultés. Les résultats de cette enquête ont été analysés et discutés avec le soin le plus scrupuleux par la commission centrale des machines à vapeur, instituée près du ministère des travaux publics. A la suite de délibérations approfondies, cette commission a proposé le règlement ci-après qui dégage l'industrie d'entraves devenues inutiles.

Décret du 25 janvier 1865.

Art. 1er. Sont soumises aux formalités et aux mesures prescrites par le présent décret, les chaudières fermées destinées à produire la vapeur, autres que celles qui sont placées à bord des bateaux.

TITRE PREMIER.

DISPOSITIONS RELATIVES A LA FABRICATION, A LA VENTE ET A L'USAGE DES CHAUDIÈRES FERMÉES DESTINÉES A PRODUIRE LA VAPEUR.

Art. 2. Aucune chaudière neuve ou ayant déjà servi ne peut être livrée par celui qui l'a construite, réparée ou vendue, qu'après avoir subi l'épreuve prescrite ci-après.

Cette épreuve est faite chez le constructeur ou chez le vendeur, sur sa demande, sous la direction des ingénieurs des mines ou, à leur défaut, des ingénieurs des ponts et chaussées ou des agents sous leurs ordres.

Les épreuves des chaudières venant de l'étranger sont faites, avant la mise en service, au lieu désigné par le destinataire dans sa demande.

Art. 3. L'épreuve consiste à soumettre la chaudière à une pression effective double de celle qui ne doit pas être dépassée dans le service, toutes les fois que celle ci est comprise entre un demi-kilogramme et 6 kilogrammes par centimètre carré inclusivement.

La surcharge d'épreuve est constante et égale à un demi-kilogramme par centimètre carré pour les pressions inférieures, et à 6 kilogrammes par centimètre carré pour les pressions supérieures aux limites ci-dessus.

L'épreuve est faite par pression hydraulique.

La pression est maintenue pendant le temps nécessaire à l'examen de toutes les parties de la chaudière.

Art. 4. Après qu'une chaudière ou partie de chaudière a été éprouvée avec succès, il y est apposé un timbre indiquant en kilogrammes par centimètre carré la pression effective que la vapeur ne doit pas dépasser. Les timbres sont placés de manière à être toujours apparents après la mise en place de la chaudière.

Ils sont poinçonnés par l'agent chargé d'assister à l'épreuve.

Art. 5. Chaque chaudière est munie de deux soupapes de sûreté chargées de manière à laisser la vapeur s'écouler avant que sa pression effective atteigne ou tout au moins dès qu'elle atteint la limite maximum indiquée par le timbre dont il est fait mention à l'article précédent.

Chacune des soupapes offre une section suffisante pour maintenir à elle seule, quelle que soit l'activité du feu, la vapeur dans la chaudière à un degré de pression qui n'excède dans aucun cas la limite ci-dessus.

Le constructeur est libre de répartir, s'il le préfère, la section totale d'écoulement nécessaire des deux soupapes réglementaires entre un plus grand nombre de soupapes.

Art. 6. Toute chaudière est munie d'un manomètre en bon état placé en vue du chauffeur, disposé et gradué de manière à indiquer la pression effective de la vapeur dans la chaudière. Une ligne très-apparente marque sur l'échelle le point que l'index ne doit pas dépasser.

Un seul manomètre peut servir pour plusieurs chaudières ayant un réservoir de vapeur commun.

Art. 7. Toute chaudière est munie d'un appareil d'alimentation d'une puissance suffisante et d'un effet certain.

Art. 8. Le niveau que l'eau doit avoir habituellement dans chaque chaudière doit dépasser d'un décimètre au moins la partie la plus élevée des carneaux, tubes ou conduits de la flamme et de la fumée dans le fourneau.

Ce niveau est indiqué par une ligne tracée d'une manière très-apparente sur les parties extérieures de la chaudière et sur le parement du fourneau.

La prescription énoncée au paragraphe 1er du présent article ne s'applique point :

1° Aux surchauffeurs de vapeur distincts de la chaudière;

2° A des surfaces relativement peu étendues et placées de manière à ne jamais rougir, même lorsque le feu est poussé à son maximum d'activité, telles que la partie supérieure des plaques tubulaires des boîtes à fumée dans les chaudières des locomotives, ou encore telles que les tubes ou parties de cheminées qui traversent le réservoir de vapeur, en envoyant directement à la cheminée principale les produits de la combustion;

3° Aux générateurs dits à production de vapeur instantanée, et à tous autres qui contiennent une trop petite quantité d'eau pour qu'une rupture puisse être dangereuse.

Le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics peut, en outre, sur le rapport des ingénieurs et l'avis du préfet, accorder dispense de ladite prescription dans le cas où, à raison, soit de la forme ou de la faible dimension des générateurs, soit de la position spéciale des pièces contenant de la vapeur, il serait reconnu que la dispense ne peut pas avoir d'inconvénients.

Art. 9. Chaque chaudière est munie de deux appareils indicateurs du niveau de l'eau, indépendants l'un de l'autre et placés en vue du chauffeur.

L'un de ces deux indicateurs est un tube en verre disposé de manière à pouvoir être facilement nettoyé et remplacé au besoin.

TITRE II.

DISPOSITIONS RELATIVES A L'ÉTABLISSEMENT DES CHAUDIÈRES A VAPEUR PLACÉES A DEMEURE.

Art. 10. Les chaudières à vapeur destinées à être employées à demeure ne peuvent être établies qu'après une déclaration au préfet du département. Cette déclaration est enregistrée à sa date. Il en est donné acte.

Art. 11. La déclaration fait connaître :

1° Le nom et le domicile du vendeur des chaudières ou leur origine;

2° La commune et le lieu précis où elles sont établies;

3° Leur forme, leur capacité et leur surface de chauffe;

4° Le numéro du timbre exprimant en kilogrammes par centimètre carré la pression effective maximum sous laquelle elles doivent fonctionner;

5° Enfin, le genre d'industrie et l'usage auxquels elles sont destinées.

Art. 12. Les chaudières sont distinguées en trois catégories.

Cette classification est basée sur la capacité de la chaudière et sur la tension de la vapeur.

On exprime en mètres cubes la capacité de la chaudière avec ses tubes bouilleurs ou réchauffeurs, mais sans y comprendre les surchauffeurs de vapeur; on multiplie ce nombre par le numéro du timbre augmenté d'une unité. Les chaudières sont de la première catégorie quand le produit est plus grand que quinze; dans la deuxième, si ce même produit surpasse cinq et n'excède pas quinze; dans la troisième, s'il n'excède pas cinq.

Si plusieurs chaudières doivent fonctionner ensemble dans un même emplacement, et si elles ont entre elles une communication quelconque, directe ou indirecte, on prend, pour former le produit comme il vient d'être dit, la somme des capacités de ces chaudières.

Art. 13. Les chaudières comprises dans la première catégorie doivent être établies en dehors de toute maison et de tout atelier surmonté d'étages.

N'est point considérée comme un étage au-dessus de l'emplacement d'une chaudière une construction légère, dans laquelle les matières ne sont l'objet d'aucune élaboration nécessitant la présence d'employés ou ouvriers travaillant à poste fixe.

Dans ce cas, le local ainsi utilisé est séparé des ateliers contigus par un mur ne présentant que les passages nécessaires pour le service.

Art. 14. Il est interdit de placer une chaudière de première catégorie à moins de 3 mètres de distance du mur d'une maison d'habitation appartenant à des tiers.

Si la distance de la chaudière à la maison est plus grande que 3 mètres et moindre que 10 mètres, la chaudière doit être généralement installée de façon que son axe longitudinal prolongé ne rencontre pas le mur de ladite maison, ou que, s'il le rencontre, l'angle compris entre cet axe et le plan du mur soit inférieur au sixième d'un angle droit.

Dans le cas où la chaudière n'est pas installée dans les conditions ci-dessus, la maison doit être garantie par un mur de défense.

Ce mur, en bonne et solide maçonnerie, a 1 mètre au moins d'épaisseur en couronne. Il est distinct du parement du fourneau de la chaudière et du mur de la maison voisine, et est séparé de chacun d'eux par un intervalle libre de 0m,30 de largeur au moins.

Sa hauteur dépasse de 1 mètre la partie la plus élevée du corps de la chaudière, quand il est à une distance de celle-ci comprise entre 0m,30 et 3 mètres. Si la distance est plus grande que 3 mètres, l'excédant de hauteur est augmenté en proportion de la distance, sans toutefois excéder 20 mètres.

Enfin, la situation et la longueur du mur sont combinées de manière à couvrir la maison voisine dans toutes les parties qui se trouvent à la fois au-dessous de la crête dudit mur, d'après la hauteur fixée ci-dessus, et à une distance moindre que 10 mètres d'un point quelconque de la chaudière.

L'établissement d'une chaudière de première catégorie à la distance de 10 mètres ou plus des maisons d'habitation n'est assujetti à aucune condition particulière.

Les distances de 3 mètres et de 10 mètres fixées ci-dessus sont réduites respectivement à 1m,50 et 5 mètres, lorsque la chaudière est enterrée de façon que la partie supérieure de la dite chaudière se trouve à 1 mètre au moins en contre-bas du sol, du côté de la maison voisine.

Art. 15. Les chaudières comprises dans la deuxième catégorie peuvent être placées dans l'intérieur de tout atelier, pourvu que l'atelier ne fasse pas partie d'une maison habitée par des personnes autres que le manufacturier, sa famille et ses employés, ouvriers et serviteurs.

Art. 16. Les chaudières de troisième catégorie peuvent être établies dans un atelier quelconque, même lorsqu'il fait partie d'une maison habitée par des tiers.

Art. 17. Les fourneaux des chaudières comprises dans la deuxième et la troisième catégorie sont entièrement séparés des maisons d'habitation appartenant à des tiers; l'espace vide est de 1 mètre pour les chaudières de la deuxième catégorie, et de 0m,50 pour les chaudières de la troisième.

Art. 18. Les conditions d'emplacement établies par les articles 14 et 17 ci-dessus cessent d'être obligatoires, lorsque les tiers intéressés renoncent à s'en prévaloir.

Art. 19. Le foyer des chaudières de toute catégorie doit brûler sa fumée.

Un délai de six mois est accordé pour l'exécution de la disposition qui précède aux propriétaires de chaudières auxquels l'obligation de brûler leur fumée n'a point été imposée par l'acte d'autorisation.

Art. 20. Si, postérieurement à l'établissement d'une chaudière, un terrain contigu vient à être affecté à la construction d'une maison d'habitation, le propriétaire de ladite maison a le droit d'exiger l'exécution des mesures prescrites par les art. 14 et 17 ci-dessus, comme si la maison eût été construite avant l'établissement de la chaudière.

Art. 21. Indépendamment des mesures générales de sûreté prescrites au titre 1er de la déclaration prévue par les art. 10 et 11 du titre II, les chaudières à vapeur fonctionnant dans l'intérieur des mines sont soumises aux conditions spéciales fixées par les lois et règlements concernant l'exploitation des mines.

TITRE III.

DISPOSITIONS RELATIVES AUX CHAUDIÈRES DES MACHINES LOCOMOBILES ET LOCOMOTIVES.

Art. 22. Sont considérées comme locomobiles les machines à vapeur qui peuvent être transportées facilement d'un lieu dans un autre, n'exigent aucune construction pour fonctionner sur un point donné, et ne sont effectivement employées que d'une manière temporaire à chaque station.

Art. 23. Les chaudières des machines locomobiles sont soumises aux mêmes épreuves et munies des mêmes appareils de sûreté que les générateurs établis à demeure; toutefois, elles peuvent n'avoir qu'un seul tube indicateur du niveau de l'eau en verre. Elles portent en outre une plaque sur laquelle sont gravés, en lettres très-apparentes, le nom du propriétaire, son domicile et un numéro d'ordre, si le propriétaire en possède plusieurs.

Elles sont l'objet d'une déclaration adressée au préfet du département où est le domicile du propriétaire de la machine.

Art. 24. Aucune locomobile ne peut être employée sur une propriété particulière à moins de 5 mètres de tout bâtiment d'habitation et de tout amas découvert de matières inflammables appartenant à des tiers, sans le consentement formel de ceux-ci.

Le fonctionnement des locomobiles sur la voie publique est régi par les règlements de police locaux.

Art. 25. Les machines à vapeur locomotives sont celles qui, sur terre, travaillent en même temps qu'elles se déplacent par leur propre force.

Art. 26. Les dispositions de l'art. 23 sont applicables aux chaudières des machines locomotives.

Art. 27. La circulation des locomotives sur les chemins de fer a lieu dans les conditions déterminées par des règlements d'administration publique.

Un règlement spécial fixera, s'il y a lieu, les con-

ditions relatives à la circulation des locomotives sur les routes autres que les chemins de fer.

TITRE IV.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Art. 28. Les ingénieurs des mines, ou à leur défaut les ingénieurs des ponts et chaussées, ainsi que les agents sous leurs ordres commissionnés à cet effet, sont chargés, sous la direction des préfets et avec le concours des autorités locales, de la surveillance relative à l'exécution des mesures prescrites par le présent décret.

Art. 29. Les contraventions au présent règlement sont constatées, poursuivies et réprimées conformément à la loi du 21 juillet 1856, sans préjudice de la responsabilité civile que les contrevenants peuvent encourir aux termes des art 1382 et suivants du Code Napoléon.

Art. 30. En cas d'accident ayant occasionné la mort ou des blessures graves, le propriétaire ou le chef de l'établissement doit prévenir immédiatement l'autorité chargée de la police locale et l'ingénieur chargé de la surveillance.

L'autorité chargée de la police locale se transporte sur les lieux et dresse un procès-verbal qui est transmis au préfet et au procureur impérial.

L'ingénieur chargé de la surveillance se rend également sur les lieux dans le plus bref délai, pour visiter les chaudières, en constater l'état et rechercher les causes de l'accident. Il adresse sur le tout un rapport au préfet et un procès-verbal au procureur impérial.

En cas d'explosion, les constructions ne doivent point être réparées et les fragments de la chaudière rompue ne doivent point être déplacés ou dénaturés avant la clôture du procès-verbal de l'ingénieur.

Art. 31. Les chaudières qui dépendent des services spéciaux de l'État sont surveillées par les fonctionnaires et agents de ces services.

Leur établissement reste assujetti à la déclaration prévue par l'art. 10 et à toutes les conditions d'emplacement et autres qui peuvent intéresser les tiers.

Art. 32. Les conditions d'emplacement prescrites pour les chaudières à demeure par le présent décret ne sont point applicables aux chaudières pour l'établissement desquelles il aura été satisfait à l'ordonnance royale du 22 mai 1843.

Art. 33. Les attributions conférées aux préfets des départements par le présent décret sont exercées par le préfet de police dans toute l'étendue de son ressort.

Art. 34. L'ordonnance royale du 22 mai 1843, relative aux machines et chaudières à vapeur autres que celles qui sont placées sur des bateaux, est rapportée.

Ordonnance du 3 mai 1843, relative aux bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières.

Art. 1er. La construction et l'emploi des bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières sont assujettis aux dispositions suivantes.

TITRE PREMIER.

DES PERMIS DE NAVIGATION.

SECTION I. — FORMALITÉS PRÉLIMINAIRES.

Art. 2. Aucun bateau à vapeur ne pourra naviguer sur les fleuves et rivières sans un permis de navigation.

Art. 3. Toute demande en permis de navigation sera adressée, par le propriétaire du bateau, au préfet du département où se trouvera le point de départ.

Art. 4. Dans sa demande, le propriétaire fera connaître :

1° Le nom du bateau ;

2° Ses principales dimensions, son tirant d'eau à vide, et sa charge maximum, exprimée en tonneaux de 1,000 kilogr.

3° La force de l'appareil moteur, exprimée en chevaux (le cheval-vapeur étant la force capable d'élever un poids de 75 kil. à 1 mètre de hauteur dans une seconde de temps) ;

4° La pression, évaluée en nombre d'atmosphères, sous laquelle cet appareil fonctionnera ;

5° La forme de la chaudière ;

6° Le service auquel le bateau sera destiné ; les points de départ, de stationnement et d'arrivée ;

7° Le nombre maximum des passagers qui pourront être reçus dans le bateau.

Un dessin géométrique de la chaudière sera joint à la demande.

Cette demande sera renvoyée par le préfet à la commission de surveillance instituée dans le département, conformément à l'article 70 de la présente ordonnance.

SECTION II. — DES VISITES ET DES ESSAIS DES BATEAUX A VAPEUR.

Art. 5. La commission de surveillance visitera le bateau à vapeur à l'effet de s'assurer :

1° S'il est construit avec solidité et si l'on a pris toutes les précautions requises pour le cas où il serait destiné à un service de passagers ;

2° Si l'appareil moteur a été soumis aux épreuves voulues, et s'il est pourvu des moyens de sûreté prescrits par la présente ordonnance ;

3° Si la chaudière, en raison de sa forme, du mode de jonction de ses diverses parties, de la nature des matériaux avec lesquels elle est construite, ne présente aucune cause particulière de danger ;

4° Si on a pris toutes les précautions nécessaires pour prévenir les chances d'incendies.

Art. 6. Après la visite, la commission assistera à un essai du bateau à vapeur. Elle vérifiera si l'appareil moteur a une force suffisante pour le service auquel ce bateau sera destiné, et elle constatera :

1° La hauteur des eaux lors de l'essai ;

2° Le tirant d'eau du bateau ;

3° La vitesse du bateau en montant et en descendant ;

4° Les divers degrés de tension de la vapeur, dans l'appareil moteur, pendant la marche du bateau.

Art. 7. La commission dressera un procès-verbal de la visite et de l'essai qu'elle aura faits du bateau à vapeur, et adressera ce procès-verbal au préfet du département.

Art. 8. Si la commission est d'avis que le permis de navigation peut être accordé, elle proposera les conditions auxquelles ce permis pourra être délivré.

Dans le cas contraire, elle exposera les motifs pour lesquels elle jugera qu'il est convenable de surseoir à la délivrance du permis, ou même de le refuser.

SECTION III. — DÉLIVRANCE DU PERMIS DE NAVIGATION.

Art. 9. Si après avoir reçu le procès-verbal de la commission de surveillance, le préfet reconnaît que le propriétaire du bateau à vapeur a satisfait à toutes les conditions exigées, il délivrera le permis de navigation. Ce permis ne sera valable que pour un an.

Art. 10. Dans le permis de navigation seront énoncés :

1° Le nom du bateau et du propriétaire ;

2° La hauteur de la ligne de flottaison, rapportée à des points de repère invariablement établis à l'avant, à l'arrière et au milieu du bateau ;

3° Le service auquel le bateau est destiné ; les points de départ, de stationnement et d'arrivée ;

4° Le nombre maximum des passagers qui pourront être reçus à bord ;

5° La tension maximum de la vapeur, exprimée en atmosphères et en fractions décimales d'atmosphère, sous laquelle l'appareil moteur pourra fonctionner ;

6° Les numéros des timbres dont les chaudières, tubes bouilleurs, cylindres et enveloppes des cylindres auront été frappés, ainsi qu'il est prescrit à l'article 24.

7° Le diamètre des soupapes de sûreté et leur charge telle qu'elle aura été réglée conformément aux articles 29 et 30.

Art. 11. Le préfet prescrira dans le permis toutes les mesures d'ordre et de police locale nécessaires. Il transmettra copie de son arrêté aux préfets des autres départements traversés par la ligne de navigation, lesquels prescriront les dispositions du même genre à observer dans ces départements ; le tout sans préjudice de l'exécution des lois et règlements concernant la navigation dans la circonscription des arrondissements maritimes.

Art. 12. Si le préfet reconnaît, d'après le procès-verbal dressé par la commission de surveillance, qu'il y a lieu de surseoir à la délivrance du permis, ou même de le refuser, il notifiera sa décision au propriétaire du bateau, sauf recours devant notre ministre des travaux publics.

Art. 13. A chaque renouvellement du permis de navigation, la commission de surveillance sera consultée, comme il est dit ci-dessus.

SECTION IV. — DES AUTORISATIONS PROVISOIRES DE NAVIGATION.

Art. 14. Si le bateau a été muni de son appareil moteur et mis en état de naviguer dans un département autre que celui où il doit entrer en service, le propriétaire devra obtenir du préfet du premier de ces départements une autorisation provisoire de navigation, pour faire arriver le bateau au lieu de sa destination. La commission de surveillance sera consultée sur sa demande.

Art. 15. L'autorisation provisoire ne dispensera pas le propriétaire du bateau de l'obligation d'obtenir un permis définitif de navigation, lorsque le bateau sera arrivé au lieu de sa destination.

SECTION V. — DISPOSITION TRANSITOIRE.

Art. 16. Il est accordé aux détenteurs actuels de permis de navigation un délai de trois mois, à dater de la publication de la présente ordonnance, pour se conformer aux dispositions qui précèdent, et demander un nouveau permis, qui leur sera délivré, s'il y a lieu, par l'autorité compétente. Passé ce délai, les anciens permis de navigation seront considérés comme non avenus.

TITRE II.

DES MACHINES A VAPEUR SERVANT DE MOTEUR AUX BATEAUX.

SECTION Ire. DISPOSITIONS RELATIVES A LA FABRICATION ET AU COMMERCE DES MACHINES EMPLOYÉES SUR LES BATEAUX.

Art. 17. Aucune machine à vapeur, destinée à un service de navigation, ne pourra être livrée par un fabricant, si elle n'a subi les épreuves ci-après.

Art. 18. Les épreuves seront faites à la fabrique, par ordre du préfet, sur la déclaration du fabricant.

Art. 19. Les machines venant de l'étranger devront être pourvues des mêmes appareils de sûreté que les machines d'origine française, et subir les mêmes épreuves. Ces épreuves seront faites au lieu désigné par le

destinataire dans la déclaration qu'il devra faire à l'importation.

SECTION II. — ÉPREUVES DES CHAUDIÈRES ET DES AUTRES PIÈCES CONTENANT LA VAPEUR.

Art. 20. Les chaudières à vapeur, leurs tubes bouilleurs et les réservoirs à vapeur, les cylindres en fonte des machines à vapeur et les enveloppes en fonte de ces cylindres, ne pourront, sauf l'exception portée à l'article 28, être établis à bord des bateaux sans avoir été préalablement soumis par les ingénieurs des mines, ou, à leur défaut, par les ingénieurs des ponts et chaussées, à une épreuve opérée à l'aide d'une pompe de pression.

L'usage des chaudières et des tubes bouilleurs en fonte est prohibé dans les bateaux à vapeur.

Art. 21. La pression d'épreuve prescrite par l'article précédent sera *triple* de la pression effective, ou, autrement, de la plus grande tension que la vapeur pourra avoir dans les chaudières, leurs tubes bouilleurs et autres pièces contenant la vapeur, diminuée de la pression extérieure de l'atmosphère.

Art. 22. On procédera aux épreuves en chargeant les soupapes de sûreté des chaudières de poids proportionnels à la pression effective, et déterminés suivant la règle indiquée en l'article 31.

A l'égard des autres pièces, la charge d'épreuve sera appliquée sur la soupape de la pompe de pression.

Art. 23. L'épaisseur des parois des chaudières cylindriques, en tôle ou en cuivre laminé, sera réglée conformément à la table n° 1, annexée à la présente ordonnance.

L'épaisseur de celles de ces chaudières qui, par leurs dimensions et par la pression de la vapeur, ne se trouveraient pas comprises dans la table, sera déterminée d'après la règle énoncée à la suite de ladite table ; toutefois cette épaisseur ne pourra dépasser 15 millimètres.

Les épaisseurs de la tôle devront être augmentées s'il s'agit de chaudières formées, en partie ou en totalité, de faces planes ou bien de conduits intérieurs, cylindriques ou autres, traversant l'eau ou la vapeur, et servant soit de foyers, soit à la circulation de la flamme. Ces chaudières et conduits devront de plus être, suivant les cas, renforcés par des armatures suffisantes.

Art. 24. Après qu'il aura été constaté que les parois des chaudières ont les épaisseurs voulues, et après l'épreuve, on appliquera aux chaudières, à leurs tubes bouilleurs et aux réservoirs à vapeur, aux cylindres en fonte des machines à vapeur et aux enveloppes en fonte de ces cylindres, des timbres indiquant, en nombre d'atmosphères, le degré de tension intérieure que la vapeur ne devra pas dépasser. Ces timbres seront placés de manière qu'ils soient toujours apparents.

Art. 25. L'épreuve sera renouvelée après l'installation de la machine dans le bateau ; 1° si le propriétaire la réclame ; 2° s'il y a eu pendant le transport, ou lors de la mise en place, quelques avaries ; 3° s'il a été fait à la chaudière des modifications ou réparations quelconques depuis la première épreuve ; 4° si la commission de surveillance le juge utile.

Art. 26. Les chaudières à vapeur, leurs tubes bouilleurs et autres pièces contenant la vapeur, devront être éprouvés de nouveau toutes les fois qu'il sera jugé nécessaire par les commissions de surveillance.

Quand il aura été fait aux chaudières et autres pièces des changements ou réparations notables, les propriétaires des bateaux à vapeur seront tenus d'en donner connaissance au préfet. Il sera nécessairement procédé dans ce cas, à de nouvelles épreuves.

Art. 27. L'appareil et la main d'œuvre nécessaires pour les épreuves seront fournis par les propriétaires des machines et chaudières à vapeur.

Art. 28. Les chaudières qui auront des faces planes seront dispensées de l'épreuve mais sous la condition

que la force élastique ou la tension de la vapeur, ne devra pas s'élever dans l'intérieur de ces chaudières, à plus d'*une atmosphère et demie*.

SECTION III. — DES APPAREILS DE SURETÉ DONT LES CHAUDIÈRES A VAPEUR DOIVENT ÊTRE MUNIES.

§ Ier. — DES SOUPAPES DE SURETÉ.

Art. 29. Il sera adapté à la partie supérieure de chaque chaudière deux soupapes de sûreté. Ces soupapes seront placées vers chaque extrémité de la chaudière, et à la plus grande distance possible l'une de l'autre.

Le diamètre des orifices de ces soupapes sera réglé d'après la surface de chauffe de la chaudière et la tension de la vapeur dans son intérieur, conformément à la table n° 2 annexée à la présente ordonnance.

Art. 30. Chaque soupape sera chargée d'un poids unique, agissant soit directement, soit par l'intermédiaire d'un levier.

Chaque poids recevra l'empreinte d'un poinçon apposé par la commission de surveillance. Les leviers seront également poinçonnés, s'il en est fait usage. La quotité du poids et la longueur du levier seront énoncées dans le permis de navigation.

Art. 31. La charge maximum de chaque soupape de sûreté sera déterminée en multipliant 1k,033 par le nombre d'atmosphères mesurant la pression effective, et par le nombre de centimètres carrés mesurant l'orifice de la soupape.

La largeur de la surface annulaire de recouvrement ne devra pas dépasser la trentième partie du diamètre de la surface circulaire exposée directement à la pression de la vapeur, et cette largeur dans aucun cas ne devra excéder 2 millimètres.

Art. 32. Il sera de plus adapté à la partie supérieure des chaudières à faces planes, dont il est fait mention à l'article 28, une soupape atmosphérique, c'est-à-dire ouvrant du dehors en dedans.

§ II. — *Des manomètres.*

Art. 33. Chaque chaudière sera munie d'un manomètre à mercure, gradué en atmosphères et en fractions décimales d'atmosphère, de manière à faire connaître immédiatement la pression de la vapeur dans la chaudière.

Le tuyau qui amènera la vapeur au manomètre sera adapté directement sur la chaudière, et non sur le tuyau de prise de vapeur ou sur tout autre tuyau dans lequel la vapeur serait en mouvement.

Le manomètre sera placé en vue du chauffeur.

Art. 34. On fera usage du manomètre à air libre, c'est-à dire ouvert à sa partie supérieure toutes les fois que la pression effective de la vapeur ne dépassera pas deux atmosphères.

Art. 35. On tracera sur l'échelle de chaque manomètre, d'une manière très apparente, une ligne qui répondra au numéro de cette échelle que le mercure ne devra pas habituellement dépasser.

§ III. — *De l'alimentation et des indicateurs de niveau de l'eau dans les chaudières.*

Art. 36. Chaque chaudière sera munie d'une pompe alimentaire bien construite et en bon état d'entretien.

Indépendamment de cette pompe, mise en mouvement par la machine motrice du bateau, chaque chaudière sera pourvue d'une autre pompe pouvant fonctionner, soit à l'aide d'une machine particulière, soit à bras d'homme, et destinée à alimenter la chaudière, s'il en est besoin, lorsque la machine motrice du bateau ne fonctionnera pas.

Art. 37. Le niveau que l'on doit avoir habituellement dans la chaudière sera indiqué, à l'extérieur, par une ligne tracée d'une manière très apparente sur le corps de la chaudière, ou sur le parement du fourneau.

Cette ligne sera d'un décimètre au moins au-dessus de la partie la plus élevée des carneaux, tubes ou conduits de la flamme et de la fumée dans le fourneau.

Art. 38. Il sera adapté à chaque chaudière, 1° deux tubes indicateurs en verre, qui seront placés un à chaque côté de la face antérieure de la chaudière; 2° l'un des deux appareils suivants, savoir : un flotteur d'une mobilité suffisante; des robinets indicateurs, convenablement placés à des niveaux différents. Les appareils indicateurs seront, dans tous les cas, disposés de manière à être en vue du chauffeur.

SECTION IV. — DES CHAUDIÈRES MULTIPLES.

Art. 39. Si plusieurs chaudières sont établies dans un bateau, elles ne pourront être mises en communication que par les parties toujours occupées par la vapeur, et cette communication sera disposée de manière que les chaudières puissent, au besoin, être rendues indépendantes les unes des autres.

SECTION V. — DE L'EMPLACEMENT DES APPAREILS MOTEURS.

Art. 40. L'emplacement des appareils moteurs devra être assez grand pour qu'on puisse facilement faire le service des chaudières et visiter toutes les parties des appareils.

Cet emplacement sera séparé des salles des passagers par des cloisons en planches, très solidement construites et entièrement revêtues d'une doublure en feuilles de tôle, à recouvrement, d'un millimètre d'épaisseur au moins.

TITRE III.

DE L'INSTALLATION DES BATEAUX A VAPEUR, DES AGRÈS, APPAREAUX ET DES ÉQUIPAGES.

Art. 41. Le pont de chaque bateau devra être garni de garde-corps d'une hauteur suffisante pour la sûreté des passagers.

Toutes les ouvertures pratiquées au-dessus des machines et des chaudières, qui ne sont pas habituellement fermées par un panneau plein, seront munies d'un grillage en fer ou en bois.

Art. 42. De chaque côté du bateau il y aura un escalier d'embarquement (en bois ou en fer), avec une rampe ou une corde à nœuds solidement fixée.

Art. 43. Les tambours qui, de chaque côté du bateau, enveloppent les roues motrices, seront munies d'une défense en fer, descendant assez près de la surface de l'eau pour empêcher les embarcations de s'engager dans les palettes des roues.

Art. 44. Lorsque la cheminée sera mobile, et qu'elle ne se trouvera pas disposée de manière à être en équilibre sur son axe de rotation dans toutes les positions il sera établi, sur le pont du bateau, un support suffisamment élevé, pour arrêter la cheminée en cas de chute et prévenir tout accident.

Art. 45. La ligne de flottaison indiquant le maximum du chargement, sera tracée d'une manière apparente sur le pourtour entier de la carène, d'après les points de repère déterminés par le permis de navigation.

Art. 46. Le nom du bateau sera inscrit en gros caractères sur chacun de ses côtés.

Art. 47. Il y aura dans chaque bateau :

1° Deux ancres, au moins, pouvant être jetées immédiatement ;

2° Un canot à la traîne ou suspendu à des palans, de manière à pouvoir être, au besoin, mis immédiatement à l'eau ; les dimensions de ce canot seront déterminées par le préfet, d'après l'avis de la commission de surveillance ;

3° Une bouée de sauvetage en liége, suspendue sous l'arrière ;

4° Une hache en bon état, à portée du timonier,

5° Une cloche pour donner les avertissements nécessaires ;

6° Une botte fumigatoire, pour administrer des secours aux asphyxiés ;

7° Des manomètres de rechange, ainsi que des tubes indicateurs de rechange.

Art. 48. Si le bateau est exposé accidentellement à être poussé à la mer, il sera muni des cartes et des instruments nautiques nécessaires à cette navigation.

Art. 49. Indépendamment du capitaine, maître ou timonier, et des matelots ou mariniers formant l'équipage, il y aura à bord de chaque bateau un mécanicien et autant de chauffeurs que le besoin de l'appareil moteur l'exigera.

Art. 50. Nul ne pourra être employé en qualité de capitaine ou de mécanicien, s'il ne produit des certificats de capacité, délivrés dans les formes qui seront déterminées par notre ministre des travaux publics.

TITRE IV.

MESURES DIVERSES CONCERNANT LE SERVICE DES BATEAUX A VAPEUR.

SECTION Ire. — STATIONNEMENT, DÉPART ET MOUILLAGE DES BATEAUX.

Art. 51. Dans toutes les localités où cela sera possible, il sera assigné aux bateaux à vapeur un lieu de stationnement distinct de celui des autres bateaux.

Art. 52. Lorsque la disposition des lieux le permettra, il pourra être accordé à chaque entreprise de bateau à vapeur un emplacement particulier et dont elle aura la jouissance exclusive, à charge par elle d'y faire, à ses frais, les ouvrages nécessaires pour faciliter l'embarquement et le débarquement des voyageurs et des marchandises.

Cette autorisation, toujours révocable, sera accordée par le préfet, qui en déterminera les conditions.

Art. 53. En cas de concurrence entre deux ou plusieurs entreprises, les heures de départ seront réglées par le préfet, de manière à éviter les accidents qui peuvent résulter de la rivalité.

Art. 54. Pour chaque localité, un arrêté du préfet déterminera les conditions de solidité et de stabilité des batelets destinés au service d'embarquement et de débarquement des passagers, le nombre des personnes que ces batelets pourront recevoir, et le nombre des mariniers nécessaires pour les conduire.

Le maire de la commune délivrera le permis de service, après s'être préalablement assuré que les batelets sont conformes aux dispositions de sûreté prescrites, et que les mariniers remplissent les conditions exigées par l'art. 47 de la loi du 6 frimaire an VII.

Art. 55. Sur les points où le service des batelets serait dangereux, les préfets pourront en interdire l'usage.

Art. 56. Aucun bateau à vapeur ne quittera le point de départ et les lieux de stationnement pendant la nuit, ni en temps de brouillard, de glace ou de débordements, à moins d'une permission spéciale délivrée par l'autorité chargée de la police locale.

Art. 57. Les préfets prescriront les dispositions nécessaires pour éviter, dans chaque localité, les accidents qui pourraient avoir lieu au départ et à l'arrivée des bateaux.

SECTION II. — MARCHE ET MANŒUVRE DES BATEAUX.

Art. 58. Si deux bateaux à vapeur marchant en sens inverse viennent à se rencontrer le bateau descendant ralentira son mouvement, et chaque bateau serrera le chenal de navigation à sa droite. Si les dimensions de

ce chenal sont telles qu'il ne reste pas entre les parties les plus saillantes des bateaux un intervalle libre de quatre mètres au moins, le bateau qui remonte s'arrêtera, et attendra, pour reprendre sa route, que celui qui descend ait doublé le passage. Dans les rivières à marées, le bateau qui vient avec le flot est censé descendre.

Si la rencontre a lieu entre deux bateaux à vapeur marchant dans la même direction, celui qui sera en avant serrera le chenal de navigation à sa droite ; celui qui sera en arrière serrera ce chenal à sa gauche.

Si les dimensions du chenal ne permettent pas le passage des deux bateaux, le bateau qui se trouvera en arrière ralentira son mouvement, et attendra que la passe soit franchie pour reprendre toute sa vitesse.

Des arrêtés des préfets désigneront les passes dans lesquelles il est interdit aux bateaux à vapeur de se croiser ou de se dépasser, et détermineront, relativement à des points facilement déterminables, les limites de chacune de ces passes.

Art. 59. Les préfets détermineront également les précautions à prendre à l'approche des ponts, pertuis et autres ouvrages d'art, tant pour la sûreté des passagers que pour la conservation de ces ouvrages.

Art. 60. Les capitaines des bateaux à vapeur ne feront aucune manœuvre dans le but d'entraver ou de retarder la marche des autres bateaux à vapeur, ou de toute autre embarcation. Ils diminueront la vitesse de leurs bateaux, ou même ils les feront arrêter, toutes les fois que la continuation de la marche de ces bateaux pourrait donner lieu à des accidents.

Art. 61. Tout bateau à vapeur navigant pendant la nuit tiendra constamment allumés deux fanaux placés, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière. Ces deux fanaux seront à *verres blancs* lorsque le bateau descendra, et à *verres rouges* lorsqu'il remontera.

En cas de brouillard, le capitaine fera tinter continuellement la cloche du bateau pour éviter les abordages.

Art. 62. Les capitaines des bateaux à vapeur pourront, sauf le cas prévu par l'art. 55, prendre ou déposer en route des voyageurs ou des marchandises, qui seront transportés dans des batelets ; mais ils devront faire arrêter l'appareil moteur du bateau, afin que les batelets puissent accoster sans danger. Ces batelets, avant d'aborder, seront amarrés au bateau à vapeur, et celui-ci ne devra continuer sa navigation que lorsqu'ils auront été poussés au large.

Art. 63. Les capitaines rendront compte à l'autorité chargée de la police locale, des faits qui pourront intéresser la sûreté de la police locale.

SECTION III. — CONDUITE DU FEU ET DES APPAREILS MOTEURS.

Art. 64. Le mécanicien, sous l'autorité du capitaine, présidera à la mise en feu avant le départ ; il entretiendra toutes les parties de l'appareil moteur ; il s'assurera qu'elles fonctionnent bien, et que les chauffeurs sont en état de bien faire leur service. Pendant le voyage, il dirigera les chauffeurs, et s'occupera constamment de la conduite de la machine.

Art. 65. Il sera tenu, à bord de chaque bateau, un registre dont toutes les pages devront être cotées et paraphées par le maire de la commune où est situé le siége de l'entreprise, et sur lequel le mécanicien inscrira d'heure en heure :

1° La hauteur des manomètres ;

2° La hauteur d'eau dans la chaudière, relativement à la *ligne d'eau* ;

3° Le lieu où se trouvera le bateau.

A la fin de chaque voyage, le mécanicien signera ces indications, dont il certifiera l'exactitude.

Art. 66. Il est défendu aux propriétaires de bateaux

à vapeur et à leurs agents, de faire fonctionner les appareils moteurs sous une pression supérieure à la pression déterminée dans le permis de navigation, et de rien faire qui puisse détruire ou diminuer l'efficacité des moyens de sûreté dont ces appareils seront pourvus.

SECTION IV. — DISPOSITIONS RELATIVES AUX PASSAGERS.

Art. 67. Il est interdit de laisser aucun passager s'introduire dans l'emplacement de l'appareil moteur.

Art. 68. Indépendamment du registre du mécanicien, il sera ouvert dans chaque bateau à vapeur un autre registre, dont toutes les pages seront, comme il est dit article 65, cotées et paraphées, et sur lequel les passagers auront la faculté de consigner leurs observations, ou ce qui pourrait concerner le départ, la marche et la manœuvre du bateau, les avaries ou accidents quelconques, et la conduite de l'équipage : ces observations devront être signées par les passagers qui les auront faites. Le capitaine pourra également consigner sur ce registre les observations qu'il jugerait convenables, ainsi que tous les faits qu'il lui paraîtrait important de faire attester par les passagers.

Art. 69. Dans chaque salle où se tiennent les passagers, il sera affiché une copie du permis de navigation et un tableau indiquant :

1° La durée moyenne des voyages, tant en montant qu'en descendant, et en ayant égard à la hauteur des eaux ;

2° La durée des stationnements ;

3° Le nombre maximum des passagers ;

4° La faculté qu'ils ont de consigner leurs observations sur le registre ouvert à cet effet ;

5° Le tarif des places.

TITRE V.

DE LA SURVEILLANCE ADMINISTRATIVE DES BATEAUX A VAPEUR.

Art. 70. Dans les départements où existeront des bateaux à vapeur, les préfets institueront une ou plusieurs commissions de surveillance.

Les ingénieurs des mines et les ingénieurs des ponts et chaussées feront nécessairement partie de ces commissions.

Art. 71. Les commissions de surveillance, indépendamment des fonctions qui leur sont attribuées par les articles 5, 6, 7, 8 et 14 ci-dessus, visiteront les bateaux au moins tous les trois mois, et chaque fois que le préfet le jugera convenable.

Les membres de ces commissions pourront, en outre, faire individuellement des visites plus fréquentes.

Art. 72. La commission de surveillance s'assurera, dans ses visites, que les mesures prescrites par la présente ordonnance et par le permis de navigation sont exécutées.

Elle constatera l'état de l'appareil moteur et celui du bateau; elle se fera représenter le registre tenu par le mécanicien, et le registre destiné à recevoir les observations des passagers.

Art. 73. La commission adressera au préfet le procès-verbal de chacune de ses visites. Dans ce procès-verbal, elle consignera ses propositions sur les mesures à prendre si l'appareil moteur ou le bateau ne présente plus de garanties suffisantes de sûreté.

Art. 74. Sur les propositions de la commission de surveillance, le préfet ordonnera, s'il y a lieu, la réparation ou le remplacement de toutes les pièces de l'appareil moteur ou du bateau dont un plus long usage présenterait des dangers. Il pourra suspendre le permis de navigation jusqu'à l'entière exécution de ces mesures.

Art. 75. Dans les cas où, par suite d'inexécution des dispositions de la présente ordonnance, la sûreté publique serait compromise, le préfet suspendra et, au besoin, révoquera le permis de navigation.

Art. 76. Les maires, adjoints ou commissaires de police, les officiers de port ou inspecteurs de la navigation, exerceront une surveillance de police journalière sur les bateaux à vapeur, tant aux points de départ et d'arrivée qu'aux lieux de stationnement intermédiaires.

Art. 77. Les propriétaires des bateaux à vapeur seront tenus de recevoir à bord et de transporter gratuitement les inspecteurs de la navigation, gardes de rivières ou autres agents, qui seraient chargés spécialement de la police et de la surveillance de ces bateaux.

Art. 78. S'il était survenu des avaries de nature à compromettre la sûreté de la navigation, l'autorité chargée de la police locale pourra suspendre la marche du bateau ; elle devra sur-le-champ en informer le préfet.

En cas d'accident, elle se transportera immédiatement sur les lieux, et le procès-verbal qu'elle dressera de sa visite sera transmis au préfet, et, s'il y a lieu, au procureur du roi.

La commission de surveillance se rendra aussi sur les lieux sans délai, pour visiter les appareils moteurs, en constater l'état, et rechercher la cause de l'accident : elle adressera, sur le tout, un rapport au préfet.

TITRE VI.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Art. 79. Les machines et les chaudières à vapeur, employées à un usage quelconque sur les bateaux stationnaires, sont soumises à toutes les conditions de sûreté prescrites par la présente ordonnance.

Art. 80. Si, à raison du mode particulier de constructions de certaines machines ou chaudières à vapeur, l'application, à ces machines ou chaudières, d'une partie des mesures de sûreté prescrites par la présente ordonnance devenait inutile, le préfet, sur le rapport de la commission de surveillance, déterminera les conditions sous lesquelles ces appareils seront autorisés. Dans ce cas, les permis de navigation ne seront délivrés par le préfet que lorsqu'ils auront reçu l'approbation du ministre des travaux publics.

Art. 81. Les propriétaires de bateaux à vapeur seront tenus d'adapter aux machines et chaudières employées dans ces bateaux les appareils de sûreté qui pourraient être découverts par la suite, et qui seraient prescrits par des règlements d'administration publique.

Art. 82. Il sera publié par notre ministre secrétaire d'État au département des travaux publics, une instruction sur les mesures de précaution habituelles à observer dans l'emploi des machines et des chaudières à vapeur établies sur des bateaux.

Cette instruction devra être affichée à demeure dans l'emplacement où se trouvent ces machines et chaudières.

Art. 83. La navigation et la surveillance des bateaux à vapeur de l'État sur les fleuves et rivières sont régies par des dispositions spéciales.

Art. 84. Les attributions données aux préfets des départements par la présente ordonnance seront exercées par le préfet de police dans toute l'étendue du département de la Seine, et dans les communes de Saint-Cloud, de Meudon et de Sèvres, du département de Seine-et-Oise.

Art. 85. Les ordonnances royales des 2 avril 1823 et 25 mai 1828, concernant les bateaux à vapeur et les machines et les chaudières à vapeur employées sur les bateaux à vapeur, sont rapportées.

Art. 86. Notre ministre secrétaire d'État au département des travaux publics est chargé de l'exécution de la présente ordonnance, qui sera insérée au Bulletin des Lois.

TABLE N° I. — *Table des épaisseurs à donner aux chaudières à vapeur cylindriques en tôle ou en cuivre laminé* (1).

Diamètre des chaudières	NUMÉROS DES TIMBRES exprimant les tensions de la vapeur.						
	2 atmosph.	3 atmosph.	4 atmosph.	5 atmosph.	6 atmosph.	7 atmosph.	8 atmosph.
mètres.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
0,50	3,90	4,80	5,70	6,60	7,50	8,40	9,30
0,55	3,99	4,98	5,97	6,96	7,95	8,94	9,93
0,60	4,08	5,16	6,24	7,32	8,40	9,48	10,56
0,65	4,17	5,34	6,51	7,68	8,85	10,02	11,19
0,70	4,26	5,52	6,78	8,04	9,30	10,56	11,82
0,75	4,35	5,70	7,05	8,40	9,75	11,10	12,45
0,80	4,44	5,88	7,32	8,76	10,20	11,64	13,08
0,85	4,53	6,06	7,59	9,12	10,65	12,18	13,71
0,90	4,62	6,24	7,86	9,48	11,10	12,72	14,34
0,95	4,71	6,42	8,13	9,84	11,55	13,26	14,97
1,00	4,80	6,60	8,40	10,20	12.00	13,80	15,60

CHAUDIÈRE A VAPEUR

CHAUDIÈRE A VAPEUR (industrie). Les chaudières à vapeur (*angl.* boilers, *all.* dampf kesseln) servent à produire de la vapeur d'eau à une tension plus ou moins élevée que l'on utilise, soit comme force motrice dans les machines à vapeur, soit comme moyen d'échauffement dans les ateliers de teinture, etc. On les construit en fonte, en cuivre laminé ou en tôle de fer.

L'usage des chaudières en fonte est défendu sur les bateaux, et actuellement on n'en construit plus guère devant fonctionner sur terre : leur prix étant peu inférieur à celui des chaudières en tôle, par suite de l'épaisseur plus grande qu'on est obligé de leur donner, et leur emploi étant beaucoup plus dangereux et occasionnant une dépense en combustible plus considérable.

Comme d'après les règlements, on est obligé de donner aux chaudières en cuivre laminé une épaisseur égale à celle qu'elles devraient avoir si elles étaient en tôle de fer, leur prix est beaucoup plus élevé, et elles ne sont généralement employées que dans le cas où les seules eaux d'alimentation que l'on peut se procurer sont très corrosives, et détruiraient rapidement les chaudières en tôle.

La tôle de fer est presque exclusivement employée pour la fabrication des chaudières, par suite de sa plus grande ténacité et de son prix peu élevé.

TABLE N° II. — *Table pour régler les diamètres à donner aux orifices des soupapes de sûreté* (2).

SURFACE de chauffe des CHAUDIÈRES.	NUMÉROS DES TIMBRES INDIQUANT LES TENSIONS DE LA VAPEUR.									
	1 1/2 atmosph.	2 atmosph.	2 1/2 atmosph.	3 atmosph.	3 1/2 atmosph.	4 atmosph.	4 1/2 atmosph.	5 atmosph.	5 1/2 atmosph.	6 atmosph.
mètres carrés	centim.	centim.	centim.	centim.	centim	centim.	centim.	centim.	centim.	centim
1	2,493	2,063	1,799	1,616	1,479	1,372	1,286	1,214	1,152	1,100
2	3,525	2,918	2,544	2,286	2,092	1,941	1,818	1,716	1,630	1,555
3	4,317	3,573	3,116	2,799	2,563	2,377	2,227	2,102	1,996	1,905
4	4,985	4,126	3,598	3,232	2,959	2,745	2,572	2,427	2,305	2,200
5	5,574	4,613	4,023	3,614	3,308	3,069	2,875	2,714	2,578	2,459
6	6,106	5,054	4,407	3,958	3,624	3,362	3,149	2,973	2,823	2,694
7	6,595	5,458	4,760	4,276	3,914	3,631	3,402	3,211	3,045	2,910
8	7,050	5,835	5,089	4,571	4,185	3,882	3,637	3,433	3,260	3,111
9	7,478	6,189	5,398	4,848	4,438	4,117	3,857	3,641	3,458	3,299
10	7,882	6,524	5,690	5,110	4,679	4,340	4,066	3,838	3,645	3,478
11	8,267	6,843	5,967	5,360	4,907	4,552	4,265	4,025	3,823	3,648
12	8,635	7,147	6,233	5,598	5,125	4,754	4,451	4,204	3,993	3,810
13	8,987	7,439	6,487	5,827	5,334	4,949	4,636	4,376	4,156	3,965
14	9,325	7,720	6,732	6,047	5,536	5,138	4,811	4,541	4,312	4,124
15	9,654	7,990	6,968	6,259	5,730	5,316	4,980	4,701	4,464	4,259
16	9,970	8,253	7,197	6,464	5,918	5,490	5,143	4,854	4,610	4,399
17	10,277	8,506	7,418	6,663	6,100	5,659	5,302	5,004	4,752	4,534
18	10,575	8,753	7,633	6,841	6,277	5,823	5,455	5,149	4,890	4,666
19	10,865	8,993	7,842	7,044	6,449	5,982	5,605	5,290	5,024	4,794
20	11,147	9,227	8,046	7,227	6,616	6,138	5,750	5,428	5,154	4,918
21	11,423	9,454	8,245	7,389	6,780	6,289	5,892	5,564	5,282	5,040
22	11,691	9,677	8,439	7,580	6,939	6,437	6,031	5,692	5,406	5,158
23	11,954	9,894	8,629	7,750	7,095	6,582	6,167	5,820	5,527	5,274
24	12,211	10,107	8,814	7,917	7,248	6,723	6,299	5,845	5,646	5,388
25	12,463	10,316	8,996	8,080	7,397	6,862	6,429	6,069	5,763	5,499
26	12,710	10,520	9,174	8,240	7,544	6,998	6,556	6,188	5,877	5,608
27	12,952	10,720	9,349	8,397	7,776	7,132	6,681	6,306	5,989	5,715
28	13,190	10,917	9,520	8,551	7,828	7,262	6,804	6,422	6,099	5,819
29	13,423	11,110	9,689	8,703	7,967	7,391	6,924	6,535	6,207	5,922
30	13,653	11,300	9,855	8,854	8,103	7,517	7,043	6,648	6,313	6,024

(1) Pour obtenir l'épaisseur que l'on doit donner aux chaudières, il faut multiplier le diamètre de la chaudière, exprimé en mètres et fractions décimales de mètre, par la pression effective de la vapeur, exprimée en atmosphères, et par le nombre fixe 18 : prendre la dixième partie du produit ainsi obtenu et y ajouter le nombre fixe 3. Le résultat exprimera en millimètres et en fractions décimales de millimètre, l'épaisseur cherchée.

(2) Pour déterminer les diamètres des soupapes de sûreté, il faut diviser la surface de chauffe de la chaudière, exprimée en mètres carrés, par le nombre qui indique la tension maximum de la vapeur dans la chaudière, en atmosphères, préalablement diminué du nombre 0,412 ; prendre la racine carrée du quotient ainsi obtenu, et la multiplier par 2,6 : le résultat exprimera, en centimètres et fractions décimales de centimètre, le diamètre cherché.

La résistance, qui est la première condition à laquelle doivent satisfaire les générateurs, résulte et du choix du métal et des formes, comme des dimensions de ceux-ci. Ce sont là les éléments de leur étude, à l'un des deux points de vue auquel on doit les considérer. En effet, les générateurs de vapeur, qui nous fournissent le moyen de transformer en travail mécanique la chaleur que nous produisons à l'aide de la houille, qui s'extrait des entrailles de la terre, ou du bois qui en couvre la surface, doivent être étudiés au point de vue mécanique de leur résistance aux pressions et au point de vue physique. C'est ce dernier, tout spécial aux chaudières, qui nous occupera surtout dans cette étude. Terminons d'abord ce qui se rapporte au premier, pour apprécier les éléments sur lesquels reposent les tables réglementaires qui précèdent.

La forme et les dimensions d'une chaudière étant déterminées pour obtenir un bon chauffage, on découpe les feuilles de tôle en parties de grandeur convenable, et on les assemble au moyen de rivets appliqués à chaud, comme nous le décrivons à l'article CHAUDRONNERIE.

L'épaisseur à donner aux parois de la chaudière varie avec sa forme, ses dimensions, la ténacité du métal employé et la *pression effective* de la vapeur, c'est-à-dire l'excès de la pression intérieure de la vapeur sur la pression atmosphérique extérieure. Prenons d'abord une chaudière cylindrique, et cherchons la force qui tend à déterminer la rupture suivant une des génératrices. Soit P la pression effective sur l'élément de surface et qui lui est normale ; la chaudière formant un ensemble que l'on doit regarder comme rigide et invariable de forme, la force qui tendra à déterminer la rupture de la chaudière, suivant le plan GG' (fig. 406), sera égale, pour un élément de surface ε incliné d'un angle α sur ce plan, à $P\varepsilon\cos.\alpha$ ou P multiplié par la projection de l'élément ε sur ce plan ; et la somme de toutes ces composantes sera $P \times D$, D étant le diamètre de la chaudière ; soit e l'épaisseur de la tôle, et t la résistance à la rupture de l'unité, il faudra que l'on ait $et > PD$, d'où $e > \frac{PD}{t}$ pour qu'il n'y ait pas rupture.

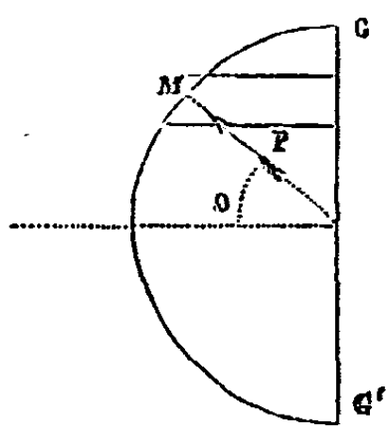


Fig. 406.

Si e est l'épaisseur de la tôle en millimètres ; d, le diamètre de la chaudière ; n, la pression intérieure de la vapeur exprimée en atmosphères ; $n-1$ sera la pression effective, et les règlements d'administration prescrivent de déterminer e par la formule :

$$e = 1{,}8d(n-1) + 3,$$

établie en réduisant à 3 kilogrammes par millimètre la résistance du fer, qu'on peut charger en toute sécurité, mais à froid, d'un poids de 6 kilogrammes par millimètre carré.

Lorsque les chaudières offrent des parois planes, ces parois, se bombant facilement, doivent présenter une résistance plus grande que dans le cas des chaudières cylindriques terminées par des calottes sphériques ; on doit alors donner à la tôle qui les compose une épaisseur plus considérable, et la renforcer, en outre, par des armatures suffisantes, des tirants en fer qui s'opposent aux déformations. Si ces chaudières sont employées à basse pression, c'est-à-dire si la tension intérieure de la vapeur ne doit pas y dépasser une atmosphère et demie, ces chaudières sont exemptées de l'épreuve à la pompe de pression exigée par les règlements ; mais elles doivent être munies de soupapes dites atmosphériques parce qu'elles s'ouvrent de dehors en dedans pour laisser rentrer l'air dans l'intérieur, et prévenir toute déformation par la pression atmosphérique extérieure, lorsque, par suite du refroidissement de la chaudière, la tension de la vapeur finit par y devenir presque nulle.

Avant leur mise en activité, et toutes les fois que leur état ou de nouvelles réparations le rendent nécessaire, les chaudières sont éprouvées sous une pression triple de celle qu'elles doivent supporter ; cette épreuve se fait comme il est indiqué dans la section II du titre II des ordonnances des 22 et 23 mai 1843 ; et lorsque la tôle a l'épaisseur voulue par les règlements, et que la chaudière est bien construite, cette pression d'épreuve n'est que le quart, au plus, de celle qui déterminerait la rupture.

Passons à l'étude physique ; et d'abord décrivons d'une manière générale les principaux types de chaudières.

L'élément principal à considérer dans une chaudière, c'est l'étendue de la surface qui se trouve en contact avec les produits de la combustion du combustible chargé sur la grille. Les produits de la combustion se dépouilleront d'autant mieux de la chaleur qu'ils renferment, et par suite l'effet utile du combustible sera d'autant plus élevé, que la surface de chauffe sera plus grande par rapport à la quantité de combustible consommé dans l'unité de temps. On augmente cette surface en faisant passer la flamme et la fumée dans des conduits ou *carneaux*, qui tantôt circulent autour de la chaudière, tantôt traversent la masse d'eau qu'elle renferme. Le foyer est ordinairement placé au-dessous de la chaudière, pour utiliser la chaleur de rayonnement, d'autant mieux que cette action dure plus longtemps, que la combustion n'est pas très-rapide ; mais comme la quantité d'eau vaporisée par heure et par mètre carré varie avec l'intensité du feu, les dimensions de la chaudière doivent être alors d'autant plus grandes pour produire une même quantité de vapeur Ordinairement, on vaporise de 30 à 40 kil. d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure ; mais, dans certaines circonstances, quand le feu est très-intense, comme c'est le cas pour les chaudières tubulaires des locomotives, où l'on détermine un tirage artificiel très-actif, en faisant arriver un courant de vapeur dans la cheminée, cette quantité peut aller à 100 kilogrammes et même au delà. Dans d'autres chaudières, au contraire, où l'on regarde surtout à l'économie de combustible, cette quantité n'est que 15 à 20 kil. et même quelquefois moindre. L'emplacement dont on peut disposer influe aussi beaucoup sur la forme et les dimensions des chaudières. Il en est de même de la condition qui leur est imposée dans les bateaux à vapeur et les locomotives, de posséder, sous un faible volume, une grande puissance de vaporisation.

C'est en se basant sur les résultats d'expériences qu'on détermine les dimensions à donner à chaque chaudière, connaissant la quantité de vapeur à produire.

Les principales formes de chaudières sont les suivantes :

La chaudière de Newcomen à fond hémisphérique, dont la concavité est tournée vers le foyer, que nous citerons seulement. Elle est complétement abandonnée.

Chaudière de Watt ou *chaudière à tombeau*. Cette chaudière, dont les fig. 416 et 417 représentent une coupe longitudinale et une section transversale, a une forme prismatique et est terminée par deux fonds plats. Elle est généralement employée pour produire de la vapeur à de basses pressions. Le foyer est extérieur et la flamme circule dans des carneaux également extérieurs ; quelquefois, cependant, on voit de ces chaudières avec des carneaux intérieurs.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

Chaudière cylindrique à bouilleurs. — La fig. 418 représente la section transversale, et la fig. 419 la coupe longitudinale d'une chaudière de cette espèce. L'usage en est très-répandu en France pour produire de la vapeur à haute pression. La flamme lèche d'abord les *bouilleurs*, placés près du combustible, à une distance bien moindre que celle qu'on pourrait admettre pour une chaudière cylindrique d'un fort diamètre, sans mettre obstacle à l'activité de la combustion; puis les produits de la combustion circulent autour du corps de la chaudière dans des carneaux extérieurs. Les bouilleurs communiquent avec la chaudière par un ou deux tuyaux verticaux; il serait dangereux, dans beaucoup de circonstances, et surtout sur les bateaux à vapeur, de n'établir la communication entre le corps de la chaudière et chaque bouilleur que par une seule tubulure, parce qu'alors il pourrait arriver que, par suite des oscillations du bateau, de la vapeur ne se logeât à l'une des extrémités des bouilleurs, qui, n'étant plus alors en contact avec l'eau, pourrait rougir et déterminer par suite, lorsque l'eau y reviendrait, un dégagement considérable de vapeur susceptible de produire une explosion. Les bouilleurs s'usant beaucoup plus rapidement que le corps des chaudières, doivent être assemblés de manière à pouvoir se démonter facilement sans détruire le massif de maçonnerie dans lequel les chaudières sont encastrées; à cet effet ils portent des tubulures assemblées au moyen d'un manchon et liées souvent par du *mastic de fer*. Ce mastic, quoiqu'il puisse résister à la pression d'épreuve, ne doit pas être regardé comme établissant entre les deux pièces réunies une jonction suffisamment solide pour résister indéfiniment à la pression de la vapeur. Il a d'abord l'inconvénient d'attaquer le fer sur lequel il est appliqué; c'est pourquoi on ne doit en faire usage que pour des tubulures épaisses en fonte de fer, et non pour des tubulures en tôle. Il est en outre cassant, et son adhérence, qui est fort énergique, peut être détruite accidentellement par le déplacement de la chaudière, par un choc, ou par un mouvement brusque de dilatation. Il est donc indispensable, quand on s'en sert, que les pièces assemblées soient, en outre, réunies par des armatures en fer suffisamment fortes pour prévenir, à elles seules, la disjonction, dans le cas même où l'adhérence due au mastic serait entièrement détruite.

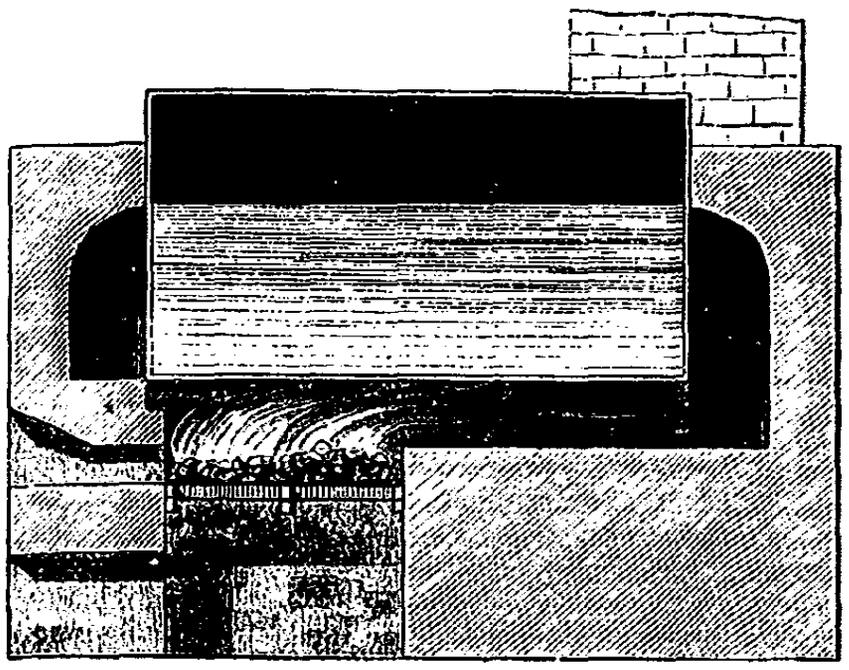


Fig. 416.

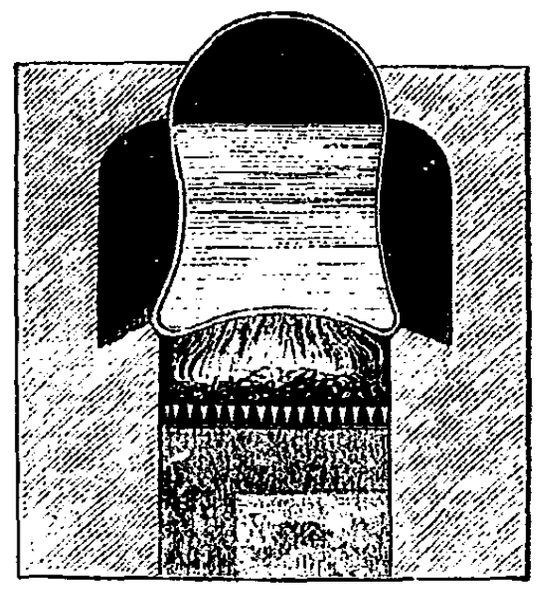


Fig. 417.

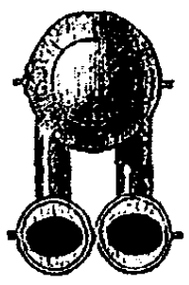


Fig. 418.

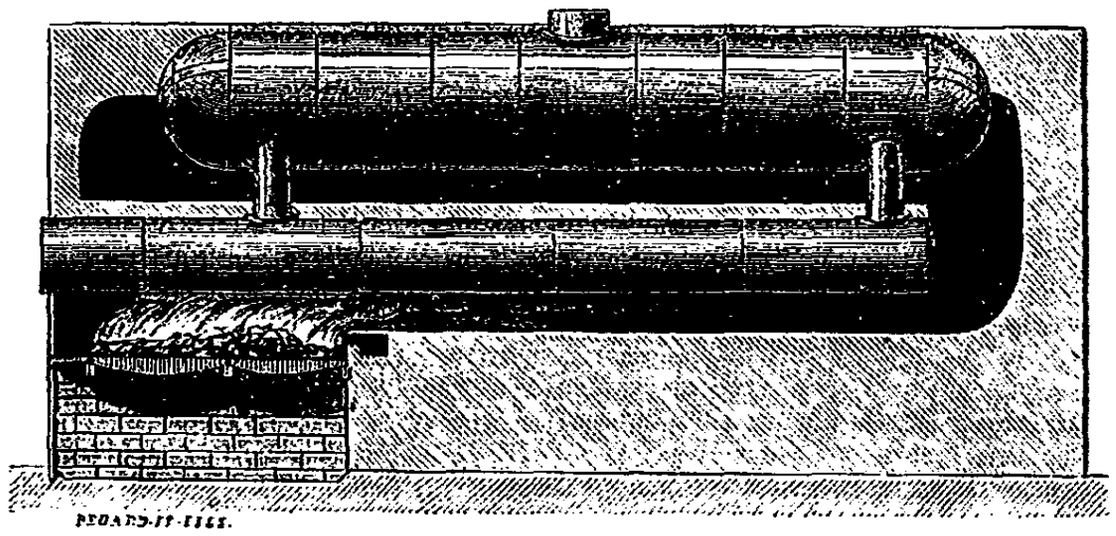


Fig. 419.

On donne aux chaudières cylindriques une longueur qui est 3 à 4, et quelquefois même jusqu'à 10 fois leur diamètre; ce dernier ne doit pas dépasser 1 mètre. Au delà il est préférable d'employer plusieurs chaudières. Voici les dimensions généralement adoptées pour ces chaudières, d'après la force nominale en *chevaux-vapeur* des machines qu'elles doivent alimenter.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

FORCE NOMINATIVE.	Corps de la chaudière.		Bouilleurs.	
	Longueur.	Diamètre.	Longueur.	Diamètre.
ch. vap.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
2	1,65	0,66	1,75	0,28
4	2,10	0,70	2,20	0,30
6	2,45	0,75	2,60	0,35
8	2,80	0,80	2,95	0,38
10	3,25	0,80	3,40	0,35
15	5,00	0,80	5,15	0,44
20	6,80	0,85	7,00	0,50
25	8,50	0,85	8,65	0,50
30	9,20	1,00	9,50	0,60
40	10,00	1,10	10,30	0,60

Avec ces chaudières on vaporise ordinairement de 5 à 7 kil. d'eau par kilogramme de houille

Chaudières à tubes. Bien souvent dans les chaudières à bouilleurs le corps de la chaudière est trop court pour refroidir suffisamment les produits de la combustion. De semblables chaudières produisent de grandes quantités de vapeur, mais elles ont le grave défaut de ne pas être économiques. On cherche à y remédier, en imitant pour les chaudières fixes le système qui a été appliqué avec succès aux LOCOMOTIVES, c'est-à-dire l'emploi de tubes de fumée permettant d'accroître dans de très-grandes proportions les surfaces de chauffe. Aujourd'hui c'est en général le corps cylindrique que l'on fait traverser par des tubes, comme le montre la fig. 407. On a varié de bien des manières ce genre de construction, en plaçant les tubes plus ou moins loin du foyer, et donnant des formes un peu compliquées à ce genre de chaudières, qui donnent des résultats satisfaisants, mais qui sont coûteuses d'achat et surtout d'entretien.

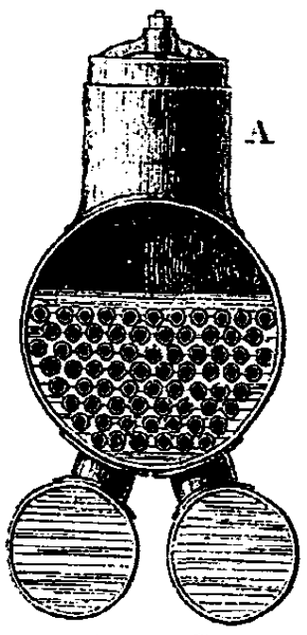


Fig. 407.

FOURNEAUX. Les fourneaux dans lesquels se produit la combustion qui fournit la chaleur génératrice de la vapeur doivent être disposés pour empêcher la déperdition de la chaleur à l'extérieur, pour qu'elle passe dans l'eau, aussi complétement que possible, doivent être construits à l'aide de substances conduisant mal la chaleur, et susceptibles de résister à de hautes températures. Comme chacun sait, et sauf dans quelques cas spéciaux sur lesquels nous reviendrons, les fourneaux se construisent en briques; l'intérieur du foyer et le carneau qui le suit doivent toujours être en briques réfractaires liées entre elles par de la terre à briques; pour le reste du fourneau on peut employer des briques ordinaires réunies par du mortier à sable siliceux.

Il est bon d'élever les maçonneries à la hauteur des tubulures qui portent les différents appareils de niveau, de sûreté, etc., afin de diminuer la perte de chaleur par le rayonnement de la partie supérieure de la chaudière. La voûte qui sépare les bouilleurs du corps cylindrique doit passer au-dessus de ceux-ci ou toucher au plus la partie supérieure.

La dilatation des briques et l'absence presque complète de liaison entre elles produisent, dans les fourneaux des mouvements qui ne sont point accompagnés de retrait lors du refroidissement et qui, à la longue, déforment complétement les maçonneries. Pour prévenir la prompte détérioration des fourneaux, on les consolide souvent, à l'extérieur, avec des barres de fer, qu'on désigne sous le nom d'*armatures*, et qui ont pour objet de s'opposer aux dislocations qui tendent à se produire.

On distingue trois parties distinctes dans un fourneau : 1° le foyer et la grille sur laquelle on brûle le combustible ; 2° les carneaux, qui conduisent les gaz chauds autour de la chaudière; 3° la cheminée qui reçoit l'air, en partie refroidi, mais encore assez chaud et, par conséquent, assez léger pour établir un courant ascensionnel de vitesse suffisante, et appeler dans le foyer, à travers la grille et le combustible, une colonne d'air froid qui en entretient la combustion. La quantité de combustible qui peut brûler en une heure sur la grille dépend évidemment de la quantité d'air qui la traverse et, par conséquent, de la section, de la hauteur de la cheminée, de la vitesse du courant d'air qui la traverse.

Dimensions relatives des diverses parties des fourneaux. L'orifice d'accès de l'air, le cendrier, doit avoir une section au moins égale à celle de la cheminée, pour être certain qu'il n'y a aucun ralentissement du mouvement de l'air possible de son fait. Il n'y a aucun inconvénient à la faire beaucoup trop grande, surtout si la prise d'air est extérieure et si l'air n'arrive dans le foyer qu'après avoir parcouru un long canal.

Des grilles. Les grilles sont formées de barres de fer ou de fonte, plus étroites du bas que du haut, placées parallèlement. Leur épaisseur et leur écartement sont déterminés par une plus grande largeur de leurs extrémités. Pour les grands foyers, on donne généralement aux barreaux une largeur de 3 centimètres, et on laisse entre eux un intervalle d'environ 1 centimètre; il est avantageux de diminuer l'écartement des barreaux quand on brûle des menus de houille.

Dans le plus grand nombre des foyers, l'intervalle entre les barreaux est à peu près le quart de la surface de la grille, et la surface totale répond à peu près à une consommation de 1 kilog. de houille par décimètre carré et par heure. Cependant, il y a des foyers dont les grilles sont beaucoup plus grandes, et d'autres où elles sont beaucoup plus petites ; les limites extrêmes correspondent à des consommations, par heure, de $0^k,2$ à $1^k,5$ par décimètre carré. La nature du combustible et la grosseur des morceaux expliquent en partie ces variations ; mais leur cause principale réside dans l'adoption par le constructeur du système de combustion lente ou de combustion vive, comme le montre fort bien Grouvelle dans les lignes suivantes que nous lui empruntons.

Réduction de la grille. Si l'on diminue de moitié la surface de la grille et son passage libre, le courant d'air, comme il arrive à un courant d'eau gêné par un obstacle, sollicité par le même appel de la cheminée, prendra, pour traverser la grille, une vitesse presque double, et, en définitive, il passera toujours à peu près la même quantité d'air à travers la grille, sauf la réduction due à la résistance des passages rétrécis, par suite, en traversant en quantité égale, mais avec une plus grande vitesse, une quantité de combustible moindre, il opérera sur ce point une combustion beaucoup plus intense. La température du foyer s'élèvera beaucoup ; mais la même quantité de combustible sera toujours brûlée, dans le même temps, par la même quantité d'air.

Augmentation de la grille. Si, au contraire, on emploie avec les mêmes carneaux et la même cheminée une grille double en surface, la quantité d'air qui la traversera en une heure ne sera pas changée. Mais elle traversera une section de grille double avec une vitesse

moitié moindre et en quantité moitié moindre en chaque point. L'air, rencontrant la même couche de houille, produira une combustion lente et une température beaucoup moins élevée; mais il y aura encore sur la grille, dans le même temps, à peu près la même quantité de houille brûlée parce qu'il y passera la même quantité d'air.

Il arrive pourtant quelquefois que l'on dépasse les limites pour lesquelles ce qui précède est vrai, et l'on rencontre quelquefois des grilles trop petites pour brûler la quantité voulue de combustible, soit à cause de dimensions par trop petites, soit parce que le tirage par la cheminée est trop faible pour vaincre l'excès de résistance dû aux passages trop étroits des barreaux et à une trop grande accumulation de combustible. Il y a avantage alors à augmenter la grille.

Du foyer proprement dit. L'espace qui est au-dessus de la grille doit avoir une étendue suffisante pour contenir le combustible et permettre à la flamme de se développer. L'intervalle qui sépare le combustible de la grille et de la chaudière n'est pas arbitraire; si la chaudière était trop rapprochée, comme elle est à une température beaucoup moins élevée que la flamme, elle l'éteindrait et, par suite, on aurait une mauvaise combustion; si, au contraire, elle était trop éloignée, elle ne recevrait pas toute la chaleur qu'elle peut recevoir par rayonnement, et les gaz de la combustion conserveraient une température trop élevée.

On a reconnu par expérience, suivant Péclet, que, pour les foyers à houille, il faut mettre entre la grille et la chaudière ou le fond des bouilleurs une distance de 30 à 35 centimètres, et de 40 pour les très-grands foyers. Cette distance doit être de 70 à 75 centimètres dans les foyers à bois, et de 60 environ dans ceux où l'on brûle du coke; dans ces deux cas, l'épaisseur du combustible est beaucoup plus grande.

Carneaux. Dans la plupart des chaudières fixes, l'air brûlé parcourt d'abord toute la partie inférieure de la chaudière, et fait ensuite le tour complet de sa partie latérale. On donne ordinairement aux carneaux qui reçoivent les produits de la combustion et chauffent la paroi de la chaudière dans la partie qui renferme de l'eau, car s'il n'y avait que de la vapeur elle rougirait, la section de la cheminée à son sommet, en évitant de les faire trop larges, car alors le courant n'aurait lieu qu'à leur partie supérieure et on perdrait une grande partie de la surface de chauffe indirecte. Souvent alors tous les produits de la combustion tendent à passer par un seul carneau, celui qui offre le moins de résistance. Il est utile, à l'aide d'une brique ou d'un registre, de rétablir l'égale division de la fumée entre les deux carneaux. Disons aussi qu'il importe que la section des carneaux soit partout la même pour éviter les remous et les résistances qui résultent des étranglements.

Voici comment M. Grouvelle calcule l'effet des carneaux pour la plupart des cas. Supposons que la température moyenne du courant d'air qui traverse les carneaux soit de 580°. Celle du foyer où la combustion est active est de 2,000° environ. La température de la vapeur à trois atmosphères, comme on l'emploie ordinairement dans les machines à moyenne pression, est de 138. Ainsi la différence de température du foyer et de l'eau de la chaudière est de 1862°, et la différence entre la fumée à la sortie des carneaux et l'eau de la chaudière est seulement de 362°, ou cinq fois moins grande. Or, la quantité de chaleur qui passe à travers une surface donnée est à peu près proportionnelle à la différence de température des deux milieux: le produit de chaque mètre carré de chaudière dans les carneaux ne peut être supérieur au cinquième de celui obtenu par l'action directe du feu: et, en outre, comme la surface des carneaux est verticale, tandis que la surface directe est horizontale, que d'ailleurs le rayonnement disperse un

tiers de la chaleur totale dégagée par le combustible, le produit d'un mètre de carneaux doit être un septième ou un huitième du produit d'un mètre de surface directe.

Ainsi, si, moyennement, 1 mètre carré de surface directe donne 40 à 45 kil. de vapeur par heure, 1 mètre carré de chauffe indirecte donnera 6,50 de vapeur. Ce chiffre ne doit pas beaucoup s'écarter de la vérité; il est faible pour des combustibles à longue flamme et des chaudières trop courtes, lorsque la flamme arrive dans les carneaux; mais il s'agit alors de chaudières mal proportionnées dont la surface de chauffe directe est insuffisante ou dont on force la production de vapeur.

COMPARAISON DES SYSTÈMES DE CHAUDIÈRES. Nous avons indiqué les principaux types de chaudière avant de les comparer; il faut maintenant passer à cette étude si importante pour les manufacturiers, afin d'indiquer les avantages que l'on doit retirer de l'établissement de la chaudière la plus convenable, et ne pas donner la préférence, comme on le fait trop souvent, à la plus économique d'achat, consommant quelquefois moitié en plus de combustible que la première, pour alimenter une même machine.

Cette étude capitale a été commencée dans plusieurs ouvrages, pour quelques cas particuliers, mais dans aucun d'une manière aussi satisfaisante que dans le bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, dans l'excellent rapport fait sur un prix proposé par cette Société, par MM. Dubied et Burnat. Nous passerons ici en revue les procédés d'expérimentation et reproduirons les calculs de ces ingénieurs en cherchant à les compléter en quelques points; nous donnerons ainsi la mesure de chaque élément à considérer et indiquerons la manière d'opérer aux ingénieurs qui voudraient utilement multiplier de semblables recherches pour les divers systèmes de chaudières, ce qui n'a été fait dans l'excellent travail dont nous parlons que pour trois types principaux, comme nous le dirons ci-après.

Nature de la houille. La première condition est de déterminer la nature de la houille, qui varie considérablement d'un puits et surtout d'une mine à une autre. La déduction des parties schisteuses et terreuses est surtout importante à faire, et c'est ce qui permet de faire assez exactement la pesée des cendres en tenant compte des escarbilles ou charbon non brûlé qui s'y rencontrent. Dans les expériences dont il s'agit, on employait de la houille de Ronchamp dont la composition était la suivante:

Carbone combustible industriellement.	73,10	Parties combustibles ou volatiles. . .	86,20
Carbone, ou escarbilles non brûlées sur les grilles. . .	5,40		
Hydrogène.	4,55		
Oxygène.	1,79		
Azote.	1,00		
Eau hygrométrique.	0,36	Scories	
Scories et cendres.	13,80	et cendres.	13,80
	100,00		100,00

La houille de Ronchamp donne, par sa distillation, environ 250 litres de gaz par kilogramme, et laisse, comme résidu, un coke de qualité médiocre.

Puissance calorifique déduite de l'analyse chimique. En ne tenant pas compte de la chaleur de dissociation des hydrocarbures qui se trouvent tout formés dans la houille, quantité relativement peu importante, on peut déduire la puissance calorifique d'une houille, du carbone réellement brûlé et de l'hydrogène, en excès sur l'oxygène, répondant à l'état d'eau, qu'elle renferme. Partant donc des chiffres 8080 et 34462 pour les puissances calorifiques du carbone et de l'hydrogène (voy. COMBUSTION et PRODUCTION DE LA CHALEUR), nous trouvons que le nombre d'unités de chaleur produit

par chaque kilogramme de la houille de Ronchamp s'élève à:

Carbone. . . . . $0^k,731 \times 8080 = 5906$ cal.

Hydr. $(0{,}0455 - \frac{0{,}0179}{8}), 0{,}043 \times 34462 = 1481$ cal.

7387 cal.

Nous retranchons de ce chiffre la chaleur totale contenue à 0° dans $0^k,4408$ de vapeur d'eau que renferment les produits de la combustion, quantité évaluée ci-après, à raison de 602,5 unités par kilogramme d'eau $0{,}440 \times 602{,}5 =$. . . . . 247 cal.

Reste. . . . . 7140 cal.

Nous avons admis, pour simplifier tous les calculs qui vont suivre, qu'un kilogramme de vapeur contenait à toutes les pressions 650 calories. La chaleur spécifique de la chaleur d'eau étant égale à 0,475, on en déduit pour la chaleur totale d'un kilogramme de vapeur à zéro, $(650 - 100) \times 0{,}475 = 602{,}5$.

Du calcul ci-dessus il résulte que le maximum théorique de vaporisation de cette houille, au lieu d'être $\frac{8080}{650} = 12{,}4$ kilog. d'eau n'est que $\frac{7140}{650} = 10{,}98$, un peu moins de 11 kil. d'eau.

Mesure du tirage. Nous appelons ainsi la quantité d'air admise par le foyer pour chaque kilogramme de houille brûlée. Pour la mesurer exactement, il faut employer un anémomètre (voy. VENTILATION) placé, non près du cendrier, mais dans un ajutage à demeure aboutissant sous le cendrier. Voici la disposition indiquée pour une expérience. Un tuyau vertical en zinc, de $0^m,500$ de diamètre, aboutissait d'une part sous la grille de la chaudière (de côté pour ne pas gêner le chargement), de l'autre dans l'atmosphère. Dans sa partie verticale, ce tube renfermait l'anémomètre, que l'on pouvait consulter à volonté et sans établir la communication avec l'atmosphère, au moyen d'une porte vitrée latérale. Un cône suspendu à une corde pouvant fermer le tuyau; plus ou moins rapproché de l'ouverture, il permettait de faire varier les quantités d'air et assurait le parallélisme des veines fluides qui se rendent au cendrier.

La quantité d'air qui entre sous un foyer, même lorsqu'il est alimenté d'une manière bien constante pour produire un travail bien uniforme (ce qui est rarement le cas), varie trop, d'un instant à l'autre, pour qu'il convienne de faire autrement que de déterminer directement la quantité totale d'air entré dans la journée, au moyen d'un appareil totalisateur enregistrant les vitesses de l'air à chaque instant.

Pour établir la vitesse moyenne de l'air dans le tuyau, lorsqu'on a observé le nombre de tours de l'axe des ailettes de l'appareil, il faut connaître le temps durant lequel celui-ci a fonctionné. On note donc le moment où la chaudière a été mise en feu, celui où le travail étant achevé, on a fermé définitivement le registre, et on déduit le temps consacré aux nettoyages. Il serait utile d'ajouter les entrées d'air qui ont lieu lors du chargement, pendant lequel l'anémomètre s'arrête, tandis que l'air s'engouffre dans le foyer par la porte.

Chaleur enlevée par les gaz et volume d'air nécessaire à la combustion. On trouve facilement qu'il faut $7^m,637$ d'air pour brûler théoriquement un kilogramme de houille Ronchamp, savoir:

Pour brûler $0^k,731$ de carbone à raison de $8^{mc},300$ par kilogramme = ... 6,050

(L'acide carbonique étant formé de 27,27 de carbone et 72,73 d'oxygène, 1 kil. de carbone exige $72{,}73 : 27{,}27 = 2^k,667$ d'oxygène pour passer à l'état d'acide carbonique. L'air renfermant en poids 23,10 d'oxygène et 76,90 d'azote, $2^k,667$ d'oxygène répondent à $2^k,667 \times \frac{76{,}9}{23{,}1} = 8{,}09$ d'azote, soit $10^k,758$ d'air, et $\frac{10{,}75}{1{,}29} = 8^{mc},3$).

Pour brûler 0,043 d'hydrogène à raison de $26^{mc},300$ par kilogramme = ... 1,131

(L'eau étant formée de 11,1 d'hydrogène et de 88,9 d'oxygène, 1 kil. d'oxygène exige pour sa combustion $88{,}9 : 11{,}1 = 8^k$, d'oxygène, qui, pris dans l'air, répondent à $25^k,9$ d'azote et $25{,}9 + 8$ ou $\frac{33{,}9}{1{,}29} = 26{,}3$).

$7{,}181^{mc}$

En admettant que la combustisn soit complète au moyen de l'introduction de $7^{mc},181$ d'air par kilogramme de houille, et que l'on ne trouve dans la fumée ni oxyde ni carbone (qui est quelquefois en quantité notable comme nous le dirons), ni hydrogènes carbonés non brûlés ou décomposés en carbone et hydrogène, mais seulement de l'acide carbonique, de l'azote et de la vapeur d'eau sans oxygène libre, les produits volatils de la combustion seront composés comme suit en poids:

Produits de *la combustion du carbone.* $0^k,731$

Acide carbonique produit par la combustion de $0^k,731$ carbone $= 0{,}731 \times 3^k,67$. . . . . $2^k,688$

Azote accompagnant les $2^k,67$ d'oxygène brûlant un kilogramme de carbone $= 0{,}731 \times (2{,}67 \times \frac{77}{23}) =$ 6,527

Produits de la *combustion de l'hydrogène. Vapeur* d'eau produite à raison de 9 kil. par kilogr. d'hydrogène brûlé, $0{,}043 \times 9$. . . . 0,387

Azote accompagnant les 8 kil. d'oxygène brûlant un kilogramme d'hydrogène, $0{,}043 \times 8 \times \frac{76}{23}$. 1,150

Azote libre. 0,010

Eau totale contenue dans la houille avant la combustion. 0,023

Total du poids des produits volatils résultant de la combustion d'un kilogramme de houille Ronchamp, avec $7^{mc},181$ d'air (volume théorique). . . . . $10^k,785$

En réunissant en une seule somme tous les chiffres relatifs à un même produit volatil, et en multipliant le poids de chaque gaz par sa chaleur spécifique, on obtiendra, en faisant la somme des produits, le nombre d'unités de chaleur contenues dans l'air brûlé pour chaque degré de température.

Produits volatils.	Capacité spécifique.	Produit en calories.
Acide carbonique.	$2^k,688 \times 0{,}216 = 0{,}581$	calories
Azote.	$7{,}687 \times 0{,}244 = 1{,}875$	»
Vapeur d'eau. . . .	$0{,}410 \times 0{,}475 = 0{,}195$	»
	$10^k,785$ kil.	2,651 calories

Peut-on admettre, même lorsque la combustion est incomplète, lorsqu'il passe dans la cheminée de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène libres, que les gaz chauds entraînent 2,651 calories par degré de température?

L'air introduit restant le même, les produits volatils de la combustion pèseront toujours $10^k,785$ pour le volume théorique d'air; leur composition seule aura changé. On aura de l'oxyde de carbone et de l'oxygène dont le poids équivaudra à celui de l'acide carbonique qui résulterait d'une combustion plus complète du charbon avec le même volume d'air. La chaleur spécifique de ces deux gaz étant de 0,218 et 0,243, tandis, que celle de l'acide carbonique est de 0,216, il n'y a pas de différence sensible dans le nombre d'unités de chaleur entraînées dans

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

les deux cas par l'acide carbonique, ou par le même poids d'oxygène et d'oxyde de carbone.

Par sa combinaison avec 8 kil. d'oxygène, chaque kilogramme d'hydrogène contenu dans la houille produit 9 kil. de vapeur d'eau. Cette vapeur contient pour chaque degré de température $9 \times 0{,}475$, soit 4,275 calories. Si la combustion n'a pas lieu et si les deux gaz se rendent non combinés dans la cheminée,

Le kilogramme d'hydrogène contiendra.	$1 \times 3{,}404$	= 3,40 unités
Les 8 kilog. d'oxygène contiendront.	$8 \times 0{,}22$	= 1,76 »
	Total. . .	5,16 unités

au lieu de 4,275. Différence 0,885 pour chaque kilogramme d'hydrogène brûlé. Par kilogramme de houille, la différence n'est que de $0{,}043 \times 0{,}885 = 0{,}038$, c'est-à-dire complétement insignifiante. Ce chiffre est d'ailleurs un maximum qu'on ne pourrait admettre qu'au cas où l'hydrogène tout entier échapperait à la combustion.

Nous sommes donc fondés à admettre que, lorsque l'on introduit sous la grille $7^{mc},481$ d'air pour chaque kilogramme de houille Ronchamp, les produits volatils entraînent sensiblement avec eux dans la cheminée 2.651 calories par degré de température, lors même que la combustion n'est pas complète.

Cela posé, on pourra, dans le cas où le volume d'air introduit dépassera le chiffre théorique, ou lui sera même un peu inférieur, se rendre compte de la chaleur totale emmenée dans la cheminée. Il suffit d'estimer le nombre d'unités de chaleur emportées dans la cheminée par degré et par chaque mètre cube d'air introduit en sus du volume théorique, de multiplier ce chiffre par le nombre de mètres cubes d'air en excès et d'y ajouter 2,651. La somme représentera le nombre d'unités de chaleur contenues dans les produits de la combustion par chaque degré de température.

Or, chaque mètre cube d'air introduit en sus pèse $1^k,299$ et emporte par conséquent par degré :

$$1{,}299 \times 0{,}237 = 0{,}308 \text{ calories.}$$

Mesure de la houille. Une observation à faire sur ce point, c'est qu'à l'inscription des quantités de houille, il est bon aussi d'ajouter celle du nombre des charges, qui n'est pas sans influence sur le rendement.

Mesure de l'eau d'alimentation. Le jaugeage exact de l'eau introduite dans l'appareil d'évaporation est un des points les plus importants des expériences sur les chaudières à vapeur. Il suffit d'employer un compteur à eau dont les indications soient rigoureuses, ce à quoi on peut toujours arriver, en recevant l'eau passant par le compteur dans des récipients de capacité connue, en opérant dans des conditions voisines de celle des expériences.

La hauteur de l'eau dans la chaudière doit être prise chaque matin avant l'allumage et le soir à la fin de chaque journée, autrement les résultats pourraient être faussés par des fuites.

Température de la combustion. Dimensions de la grille. Au point où la combustion s'effectue, la température est toujours celle qui répond à la température du corps, et qui, pour le charbon, approche de 2,000° (voy. COMBUSTION). Mais si ce point est isolé, et voisin de corps plus froids, la dilatation des gaz brûlés et le rayonnement, surtout sur un corps froid placé au milieu de la flamme comme un générateur de vapeur, font baisser rapidement cette température; il se fait un équilibre jusqu'au point où l'activité de la combustion est égale à l'action du refroidissement. C'est ce qui constitue la combustion vive et la combustion lente, les variations du rouge sombre (700°) au blanc vif du charbon (1500°) près de la grille, variations qui se produisent en raison des proportions du fourneau dont la marche peut s'analyser d'après la règle ci-après posée par Grouvelle. « La cheminée et les carneaux déterminent par leurs dimensions la quantité de combustible qui est brûlée (une insufflation d'air fixe directement la quantité de celui-ci). Les dimensions de la grille augmentent ou diminuent l'activité et la température de la combustion. » Si l'on observe de plus que la dissociation de l'acide carbonique ne se produit que vers 1200°, on en déduira que ce n'est que pour une combustion très-vive et une grande épaisseur de combustible sur la grille, empêchant le refroidissement rapide du charbon soumis au courant d'air, que la conversion d'acide carbonique en oxyde de carbone se produit. (Voy. DISSOCIATION.)

La couleur de la combustion sur la grille suffit en général pour déterminer dans quel cas se trouve le fourneau observé; il serait utile toutefois d'être fixé par une observation spéciale. Nous ne connaissons pas de recherche dans cette voie et recommanderons l'analyse des gaz pour y rechercher de l'oxyde de carbone, s'il n'a dû être brûlé par un excès d'air et une expérimentation directe analogue à celle dont nous allons parler.

Détermination de la température de la fumée. Pour mesurer cette température, on suspend dans les carneaux un cylindre en fer d'un poids de 2 à 3 kilogrammes; on le laisse plonger dans le courant un temps suffisamment long, puis on le sort et on le plonge dans un vase en tôle d'une capacité de 25 à 30 litres. On agite convenablement l'eau; puis, lorsque le cylindre en fer est refroidi, on prend la température de l'eau et on calcule, au moyen de la formule suivante, la température de la fumée : $x = \frac{(M + P'c)(t - t')}{Pc'} + t'$, t représentant la température initiale de l'eau, t' sa température finale, M le poids de l'eau, P' celui du vase et de son agitateur, P celui du cylindre en fer et c la chaleur spécifique du fer à la température ordinaire et c' la valeur moyenne de cette chaleur spécifique entre x et t.

Le poids du vase étant connu, on a $M + P'c$. La température de l'eau et du vase a augmenté de $t' - t$ degrés, ils ont donc absorbé $(M + P'c)(t' - t)$ calories. La température du fer s'est abaissée de x à t'°, ce fer a donc perdu une quantité de chaleur égale à $Pc'(x - t')$. Or

$$(M + P'c)(t' - t) = Pc'(x - t'),$$

d'où la formule ci-dessus.

Détermination de l'eau vésiculaire entraînée avec la vapeur. Les moyens d'effectuer cette détermination sont malheureusement fort délicats pour un genre d'expériences qu'il faudrait pouvoir multiplier dans les ateliers, et notamment pour constater l'imperfection de chaudières à combustion très-vive et à petit réservoir de vapeur, pour lesquelles cet entraînement d'eau est considérable. Nous dirons comment opère M. Hirn, en partant de ce principe que, lors de la condensation de la vapeur formée, l'eau entraînée à l'état vésiculaire ne dégage pas de chaleur latente.

Son appareil consiste en un vase cylindrique en tôle, muni d'un couvercle par lequel pénètre un tuyau en cuivre portant une très-petite ouverture à son extrémité inférieure. Sur la partie latérale du tuyau de la vapeur qu'on veut essayer, il faut adapter un robinet fermant parfaitement, portant à son extrémité libre un petit tuyau en cuivre coudé, de manière à regarder en bas, percé à son extrémité d'une très-petite ouverture ($0^m,001$ de diamètre environ), que l'on réunit, pour chaque expérience, au tube de l'appareil, au moyen d'une bride. Une rondelle de caoutchouc vulcanisée sert à rendre la jonction hermétique. Le réservoir en tôle doit être posé sur un trépied en bois ayant la hauteur convenable, de manière que le tube mobile plonge à fond lorsqu'il est fixé au coude du robinet.

Pour faire une expérience, on remplit d'eau froide (à

un décimètre près) le réservoir en tôle ; on adapte le couvercle, après y avoir placé l'agitateur, et on introduit le tuyau de cuivre. On pèse alors tout l'appareil, on joint les deux tubes, on prend la température de l'eau au moyen d'un thermomètre traversant le couvercle. On ouvre le robinet; et, pendant que la vapeur afflue, on remue, à l'aide de l'agitateur, et on observe le thermomètre. Lorsque celui-ci s'est élevé d'une trentaine de degrés, on ferme le robinet et l'on continue d'agiter l'eau, en observant le thermomètre jusqu'à ce qu'il devienne stationnaire, puis on sépare la bride et on pèse le thermomètre avec tous ses accessoires.

Il est évident que l'expérience ne doit être faite que quand le générateur travaille à son régime régulier et normal, car la proportion d'eau entraînée varie avec la dépense de vapeur. Elle est presque nulle si cette dépense est faible.

Si nous nommons P le poids initial, comprenant le poids de l'eau et celui de l'appareil traduit en eau, et P' le poids final de l'appareil, il est bien clair que $P' - P = d$ sera le poids de l'eau et de la vapeur ajoutés. Désignons par i la température initiale, par f la température finale de l'eau, et par p le poids de l'eau entraînée que nous cherchons, nous aurons l'égalité suivante entre la chaleur apportée et celle qui se trouve dans l'appareil :

$$(d-p)\,(606+0{,}305\,(T-f))+p\,(T-f)=P\,(f-i),$$

$$\text{d'où } p=\frac{(d\,(606{,}5+0{,}305\,(T-f))-P\,(f-i)}{606{,}5-0{,}695\,(T-f)},$$

formule dans laquelle T représente la température de la vapeur, donnée par les tables, lorsqu'on connaît la pression de la chaudière.

Le rapport de p à d donne la proportion d'eau entraînée pour 100.

Il est clair que cette détermination, fort délicate, dépend : 1° de la précision des pesées pour lesquelles convient un hydrostat (espèce de grand aréomètre) pouvant peser 30 kil. à un gramme près ; 2° de l'observation de i et de f pour laquelle un thermomètre divisé en dixièmes de degré est indispensable.

Pour arriver à des résultats satisfaisants, il faut que la température f soit à fort peu près d'autant de degrés en excès, sur celle de l'appartement où l'on opère, que la température i était au-dessous de cette même température. On évite ainsi une correction fort difficile à faire.

Il en est encore une autre que l'on ne peut négliger. Lorsque la vapeur cesse d'affluer, l'appareil se refroidit, et la valeur observée pour f est trop faible. Ce qu'il y a de mieux à faire, c'est de compter le temps avec une montre à secondes, à partir du moment de la fermeture du robinet ; on note l'instant où le thermomètre est devenu stationnaire, puis on laisse écouler le même intervalle de temps, en agitant l'eau sans cesse, et l'on observe de nouveau. Je suppose qu'au bout de deux minutes le thermomètre, devenu fixe, ait marqué 45°, et qu'au bout de deux autres minutes il tombe à 44°,8. Le refroidissement par minute peut être regardé comme constant et de 0°,1 ; il faut donc ajouter 0°,2 à 45 pour avoir la vraie valeur de f.

ÉQUATION D'UNE CHAUDIÈRE. La solution complète d'un problème de physique doit conduire à une équation dans laquelle entrent tous ses éléments. Pour un générateur de vapeur, elle se réduit à poser que la quantité de chaleur produite (égale au poids de houille pure Q, diminué du poids des cendres, multiplié par 8000) est égale à la chaleur contenue dans le poids V de vapeur formée ou à $(606{,}5+0{,}305\,T)\,V$, plus à la quantité de chaleur emportée par le poids de la fumée F ou $2{,}165\,t\,F$, plus enfin la chaleur perdue par rayonnement R, ou dispersion par cause quelconque, ou

$$Q\times 8\,000=(606{,}5+0{,}305\,T)\,E+2{,}165\,t\,F+R.$$

Avec des expériences, pour déterminer les éléments de cette équation pour les divers systèmes de chaudières, on connaîtrait celles-ci parfaitement; malheureusement, on en possède bien peu de complètes. Toutefois, le second terme, celui qui répond à la quantité de vapeur formée, le plus important, et qu'il s'agit de rendre un maximum, se trouve assez bien connu pour la plupart des systèmes, pour que leur comparaison soit possible, sans danger d'erreur grave.

Passons en revue les divers termes de l'équation, afin de résumer les principes sur lesquels reposent les combinaisons diverses que l'on rencontre dans les ateliers.

1° *Valeur de Q.* La combustion d'une quantité de houille déterminée dans le fourneau, dans l'unité de temps, est le point de départ de l'emploi industriel de tout appareil à vapeur. En général le choix du combustible est fixé par la position de l'usine, qui doit employer celui qui lui revient au meilleur marché. La seule question du ressort de l'ingénieur est de déterminer ce qu'il peut produire en raison de sa composition, du carbone et de l'hydrogène qu'il contient, ainsi que nous l'avons dit plus haut, et le but à atteindre est que cette combustion s'effectue le plus utilement possible pour la production de la vapeur. Deux conditions sont à remplir à cet effet : transmission de chaleur par surfaces de formes et d'étendue convenables, et bonne combustion en rapport avec ces surfaces, sans production d'oxyde de carbone qui ne soit pas brûlé sous le générateur.

La transmission de la chaleur se faisant en raison : 1° de la distance du feu et de la surface à chauffer; 2° de l'étendue des surfaces; 3° de la différence des températures, donne la raison des dispositions que nous allons passer en revue : des bouilleurs placés au milieu de la flamme, du volume des grandes chaudières et de la multiplication des tubes destinés à augmenter ces surfaces, des moyens propres à assurer la circulation de l'eau, pour faire avancer l'eau froide des parties les moins chaudes des réchauffeurs vers les plus chaudes, etc., questions que nous allons étudier en traitant des principaux systèmes de chaudières.

La combustion, sans production d'oxyde de carbone, exige une température modérée sur la grille, mais, de plus, le combustible y demeurant un temps plus long que si elle était plus vive, le rayonnement transmet au corps chauffé, de ce fait, bien plus de chaleur dans le premier cas que dans le second ; c'est le caractère propre à la combustion lente comparée à la combustion vive.

2° *Valeur de E.* La seule observation sur la valeur E, qu'il s'agit de rendre un maximum, en rendant minima les autres termes qui entrent dans le second membre de l'équation, est d'éviter l'entraînement de l'eau, qui, dans les expériences, est souvent confondue avec de l'eau vaporisée; ce qui ne s'obtient que par de grands réservoirs de vapeur, dans lesquels elle demeure assez de temps pour que l'eau entraînée par l'ébullition ait le temps de s'en séparer, ou par des appareils de surchauffage de vapeur, dont l'effet principal est de vaporiser l'eau entraînée (voy. SURCHAUFFE, *Complément*).

3° *Valeur de Ft.* On peut diminuer la valeur de cette expression en agissant soit sur t, soit sur F.

Le moyen de diminuer la température des gaz abandonnés dans la cheminée consiste dans l'emploi des réchauffeurs, très-heureuse disposition au moyen de laquelle on n'alimente plus la chaudière qu'avec de l'eau amenée à 100°, en utilisant une chaleur autrefois perdue et qui peut s'élever au septième de la chaleur qu'entraîne la vapeur.

Pour diminuer F, il faut se rapprocher du volume d'air théorique nécessaire à la combustion, et ne pas admettre un volume au moins double, qui était considéré, et l'est encore par trop de personnes, comme nécessaire, à cause de la diminution de la fumée qui sort par la chemi-

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

née, fumée dont les masses noires ne répondent qu'à une très-minime fraction du combustible. C'est un fait bien constaté par les expériences de MM. Dubied et Burnat. Nous citerons ici le texte de leur mémoire.

« La quantité d'air qui convient au maximum de rendement n'est pas, pour nos chaudières à bouilleurs, celle qui a été admise jusqu'ici. Nos chiffres diffèrent complétement, à cet égard, de ceux que l'on peut trouver dans les ouvrages spéciaux. Ainsi nous avons trouvé qu'il convenait de brûler la houille de Ronchamp avec 7 à 8 mètres cubes d'air seulement sous nos chaudières à bouilleurs du type le plus généralement adopté.

« Péclet paraît avoir, le premier, pour une houille de composition moyenne, indiqué un chiffre qui a été répété depuis lors bien souvent, et, dans la plupart des cas, sans nouvelles expériences. Le savant professeur avait analysé des gaz pris à l'issue de cheminées de chaudières; il avait reconnu que la moitié de la quantité d'air qui traverse le foyer n'avait pas été altérée : c'est en partant de ce fait qu'il a déduit par le calcul les 16 et même 18 mètres cubes auxquels il arrive comme étant nécessaires à la combustion d'un kilogramme de houille de composition moyenne. Mais ce procédé ne peut être considéré comme rationnel; rien ne prouve, en effet, que les chaudières expérimentées fussent dans de bonnes conditions. Le chiffre de 7 à 8 mètres cubes, que nous avons trouvé être le plus convenable pour nos chaudières à bouilleurs, est remarquable, si on le rapproche de celui que nous avons déduit de l'analyse de la houille de Ronchamp, qui nous a conduits à un volume de $7^{m},181$.

« En résumé, il résulte de nos expériences que, lorsque le tirage est même médiocrement énergique, le volume d'air qui circule autour de la chaudière est trop considérable pour pouvoir être convenablement refroidi, et que ce fait donne lieu à une perte bien plus considérable que celle qu'amène une combustion imparfaite.

« Ceci est la condamnation de nombre d'appareils fumivores. Appliqués à une chaudière quelconque, sans modification dans la surface de chauffe ou dans la quantité de houille brûlée sur la grille, les dispositions, qui se réduisent à augmenter l'alimentation de l'air, sont vicieuses, étant d'ailleurs bien démontré que l'économie qui résulte du seul fait de la combustion de la fumée est réellement minime. »

4° *Valeur de R.* Comme dispositions propres à rendre les pertes par rayonnement et communication de chaleur les moindres qu'il est possible, on doit citer les massifs de briques pour les fourneaux, les enveloppes pour les parties découvertes, et surtout les foyers intérieurs, qui ne sont admissibles que pour de très-grandes chaudières ou quand on emploie des courants d'air forcé, autrement les produits de la combustion étant trop refroidis, la combustion languit, le tirage devenant défectueux,

Parmi les pertes de chaleur qu'on peut éviter, on doit citer celles dues aux rentrées d'air à travers la maçonnerie du fourneau, surtout quand celle-ci s'est dégradée. Les infiltrations d'air se produisent fréquemment par les bouchons des regards disposés pour permettre les réparations, et l'on ne saurait apporter trop d'attention à les visiter souvent et à les regarnir au besoin avec de la terre à four employée en très-petite épaisseur; tous les joints épais se fendillent, et les quantités d'air qu'ils laissent passer sont considérables.

Mais c'est surtout par rayonnement que se produit le refroidissement, et principalement par celui de la partie supérieure du générateur, pour laquelle d'ailleurs les règlements n'admettent pas l'existence d'un briquetage, qui, en cas d'explosion, pourrait, par la projection des matériaux, augmenter les dangers. On emploie avec avantage, pour protéger ces surfaces, le calorifuge plastique de M. Pimont, de Rouen, composé de terre argileuse, de poils d'animaux et de farine de colza, qui est d'un bon emploi. Le calorifuge plastique, lisons-nous dans un rapport des ingénieurs de la marine, adhère parfaitement aux surfaces sur lesquelles il est appliqué; la surface est lisse et polie ; elle est recouverte d'une couche de peinture et de vernis. Une épaisseur de 6 centimètres suffit pour arrêter presque complétement le rayonnement de la chaleur. Le mode d'application est très-simple : on mouille le plastique sec de manière à lui donner la consistance d'un mortier ; on l'applique sur les surfaces à recouvrir, par couches très-légères d'abord, et ensuite plus épaisses, jusqu'à 6 centimètres, en interposant au milieu de la masse des lattes de bois mince de un demi-centimètre à 1 centimètre.

Les étoffes feutrées, la paille, le chanvre en cordes peu serrées peuvent être employés dans le même but. C'est surtout pour les tuyaux de vapeur que ces soins doivent être pris avec le plus grand soin; car, à surface découverte, ils constituent de véritables appareils de déperdition de chaleur, comme on le voit à l'article CHAUFFAGE.

Nous passerons maintenant à l'étude des principaux systèmes de chaudières, aux renseignements qui sont les plus précieux pour les industriels qui ont presque constamment à se préoccuper de l'établissement ou de l'entretien de générateurs à vapeur.

Nous laisserons de côté les chaudières à plat fond, concave ou convexe, qui conviennent pour les appareils d'évaporation, mais non pour des appareils qui doivent résister à des pressions un peu élevées, comme celles qu'on emploie généralement aujourd'hui.

Chaudières cylindriques. Les chaudières cylindriques, à extrémités hémisphériques, peuvent, comme nous l'avons dit plus haut, résister à des pressions considérables avec une épaisseur de tôle faible et un diamètre relativement petit, l'accroissement de la longueur permettant d'atteindre un volume considérable sans augmenter le diamètre. Il est évident que le minimum d'épaisseur réglementaire, calculé largement pour résister à la pression intérieure, doit être strictement observé, la transmission de la chaleur à travers les parois se faisant d'autant mieux que celles-ci sont plus minces.

L'action du foyer sur le cylindre du générateur occasionne quelquefois des coups de feu, un gonflement de la tôle, pour peu que la qualité de celle-ci laisse à désirer ou surtout que l'alimentation ait été insuffisante, que le niveau de l'eau ait trop baissé. Aussi, pour les grands générateurs, emploie-t-on généralement les bouilleurs qui reçoivent l'action la plus vive du feu, et qui, au besoin, peuvent être facilement remplacés.

Chaudières à bouilleurs. La fig. 403 représente la chaudière de Wesserling, dont MM. Dubied et Burnat ont vérifié la production. Ces chaudières sont timbrées à 5 atmosphères ; elles ont deux bouilleurs et sont accompagnées de réchauffeurs formés par des tubes placés horizontalement sous la chaudière. Au sortir du foyer, la flamme lèche le dessous des bouilleurs, puis, après avoir fait le tour du corps cylindrique, elle descend dans le réchauffeur, composé de quatre rangées superposées, formées chacune par six tubes en fonte placés à côté les uns des autres. Ces tuyaux ont $0^{m},100$ de diamètre intérieur, et $0^{m},120$ extérieurement. Ils sont préalablement essayés à une pression de 45 atmosphères. Les brides d'assemblage sont dressées avec soin, et les joints faits au mastic noir. L'air chaud marche en sens inverse de l'eau d'alimentation, qui est introduite à la fois dans les six tuyaux à la partie inférieure du réchauffeur. Il est dirigé dans sa marche par des cloisons horizontales formées au moyen de plaques juxtaposées et reposant sur les tuyaux. On peut les enlever pour la facilité des réparations et nettoyages.

Les grilles ont une grande surface, plus de deux mè-

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

tres carrés. Les barreaux sont très-minces : leur largeur n'est que de 15 millimètres : ils sont espacés de 5 à 6 millimètres. La surface de l'admission de l'air est donc de 0m,60.

La surface de chauffe des bouilleurs et de la chaudière est de 15m,40; celle du réchauffeur, de 48 mètres. La combustion est lente, mais dans de bonnes conditions économiques. Les flammes s'élèvent verticalement ; elles atteignent rarement les bouilleurs, distants de 0,550 de la grille. La flamme n'étant pas trop vite refroidie, la combustion est bien complète, et on brûle ainsi environ 100 kil. par heure.

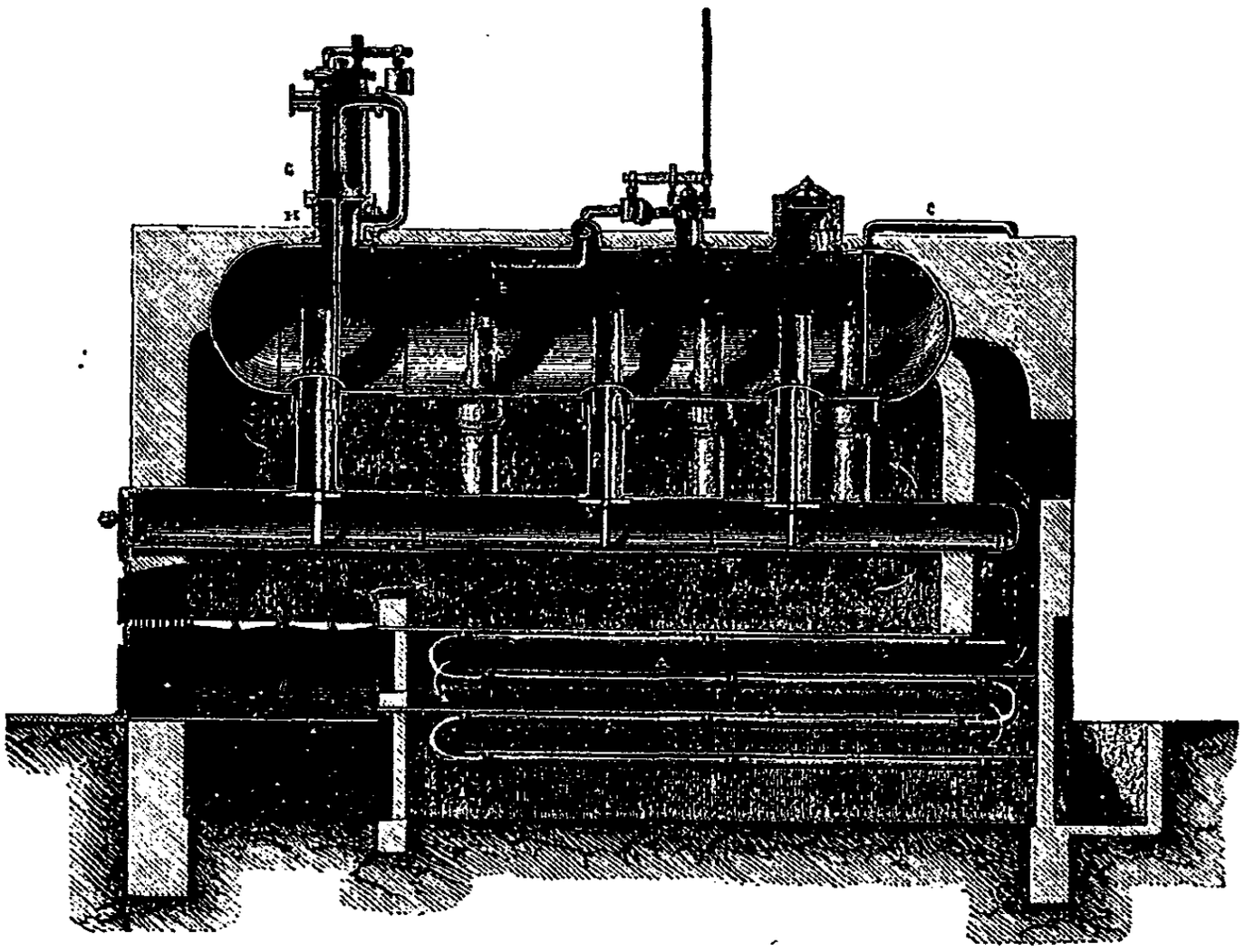


Fig. 408.

Les carneaux n'ont, nulle part, moins de 0m,40. La cheminée a 28 mètres, sa section inférieure 2m,25, la supérieure 0m,64; la vitesse moyenne de la fumée, depuis la grille jusqu'au faite de la cheminée, est de 0m,746 par seconde.

Les tubulures des bouilleurs, par une disposition spéciale, sont prolongées dans l'intérieur de la chaudière, par un ajutage dépassant de 0m,10 le niveau de l'eau et surmonté d'un chapeau, ce qui facilite le dégagement de la vapeur et diminue l'entrainement de l'eau. Chaque bouilleur est alimenté par trois tubes traversant les tubulures.

On est disposé à multiplier les tubulures pour faciliter le dégagement de la vapeur; on en avait placé trois dans la chaudière dont nous parlons ; mais bientôt les fuites sont apparues, les dilatations de la chaudière et du bouilleur, si différemment chauffés, ne pouvant être semblables. On n'a conservé pour plusieurs générateurs qu'une seule tubulure, puis en dernier lieu on a partagé chaque bouilleur en deux parties ayant chacune une tubulure; mais, en général, on en conserve deux, assez voisines, placées sur la même feuille de tôle pour éviter des déchirements. La production de vapeur étant très-abondante à la partie antérieure, près du foyer, la vapeur sort par la première tubulure, et l'eau rentre par la seconde. Les tubes indiqués ci-dessus ont pour but de parer à la difficulté de la circulation, en sens contraire, de l'eau et de la vapeur.

Les résultats moyens de deux séries d'expériences ont fourni 7,75 et 8,55 d'eau vaporisée par kilogramme de houille Ronchamp d'assez bonne qualité ; le réchauffeur portait l'eau de 7° à 97 et 106°; l'économie procurée par le réchauffeur était 13,72 et 15,41 0,0. L'air introduit était d'environ 15 mètres par kilogramme de houille et la fumée peu intense.

Ces chaudières sont donc excellentes, et nous allons voir que l'emploi des dispositions complexes les mieux imaginées n'a pu conduire à des résultats supérieurs à ceux que fournissent celles-ci.

Comme dans ce genre de chaudières, si appréciées dans les usines, toute la fatigue, toutes les réparations se rapportent aux bouilleurs qui sont continuellement soumis à l'action du feu le plus ardent, nous donnerons quelques détails sur les précautions à prendre pour la partie délicate de leur placement, pour leur masticage.

Les bouilleurs ne doivent jamais être assemblés par rivets avec le corps de la chaudière, parce que, pour les remplacer, il faudrait couper les rivets, ce qui exposerait à déchirer les tôles. On doit employer les brides à vis, comme on le voit en S (fig. 408), et un masticage de fonte le long d'un collet. Le mastic de fonte, formé de proportions un peu variables, selon les ateliers, de tournure de fonte, de fleur de soufre et de sel ammoniac (1000 fonte, 20 soufre, 40 ammoniac (Cail); 1000 fonte, 40 soufre, 40 ammoniac (Marine)), prend en séchant une extrême dureté quand il est bien employé. Il faut avoir soin de donner à l'espace destiné au masticage une largeur de 12 ou 15 millimètres environ, afin de pouvoir y entrer facilement les burins quand on voudra démonter le bouilleur, et de faire agir sur lui un acide sans ronger les bords. Le mastic doit être employé par petites parties, et fortement chassé avec un

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

mattoir de fer, jusqu'à ce que l'intervalle soit entièrement rempli. On le laisse alors sécher trois ou quatre jours avant de remplir la chaudière.

Chaudière Farcot. — Les chaudières de ce constructeur (fig. 409) consistent dans un cylindre en tôle de

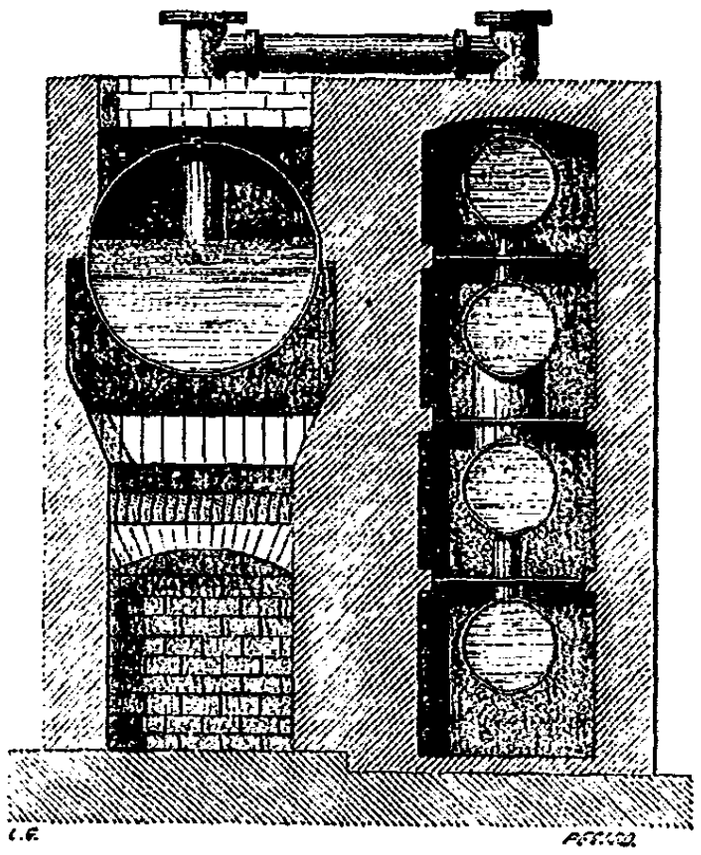


Fig. 409.

8 à 10 mètres de longueur et de 1 mètre de diamètre. Les bouilleurs, ou plutôt les réchauffeurs, de 0m,60 de diamètre, ne sont pas attachés à la chaudière, mais placés au nombre de deux, le plus souvent, rarement de trois ou quatre, à côté de la chaudière, et au-dessus l'un de l'autre. Ces bouilleurs sont réunis de l'un à l'autre par deux culottes longues et un peu flexibles placées à l'une et à l'autre extrémité du bouilleur. Le bouilleur supérieur communique avec la chaudière par un tuyau en fonte de 10 ou 12 centimètres de diamètre, par lequel la vapeur produite dans les bouilleurs se réunit à celle de la chaudière ; le bouilleur inférieur reçoit à une de ses extrémités l'eau d'alimentation froide envoyée par la pompe alimentaire. Cette eau passe d'un bouilleur dans un autre, en les parcourant dans toute leur longueur, et arrive enfin dans la chaudière par le tuyau qui part du bouilleur supérieur, et qui va plonger dans l'eau de la chaudière où il porte l'eau d'alimentation fortement chauffée, et, en même temps, la vapeur produite.

Le principe du système est de donner une surface de chauffe indirecte considérable et égale à celle des chaudières de Cornouailles, d'employer de très-grandes grilles, et une combustion lente; enfin, un courant descendant de fumée, qui passe d'un bouilleur à l'autre en sens contraire du mouvement de l'eau d'alimentation.

Comme dans les chaudières de Cornouailles, la surface de chauffe est de 2 mètres carrés par cheval et au minimum de 1m,80. La grille a deux décimètres carrés par kilogramme de houille à brûler. Toutes les parties de la chaudière et de ses tuyaux exposés à l'air sont ici, comme dans les machines de Cornouailles, enveloppées avec les plus grands soins. Les parois des fourneaux sont très épaisses; les carneaux ont, de plus, une section considérable, qui permet à la fumée d'y marcher très-lentement ; on entretient sur la grille un feu qui dort, et qu'on alimente par petites quantités et quand la pression commence à baisser dans les chaudières; comme le registre est presque fermé et les carneaux de très-grand section, la fumée les parcourt avec la plus grande lenteur et en descendant en sens contraire de l'eau d'alimentation, ce qui la dépouille d'une portion considérable de sa chaleur.

Pour éviter le refroidissement profond que les fourneaux et les générateurs éprouvent pendant la nuit par le passage continu d'un courant d'air froid appelé par la cheminée, malgré le meilleur registre, le cendrier est clos hermétiquement, au moyen d'une porte intérieure fermant sur une partie dressée à la machine à raboter, et par deux loquets manœuvrés du dehors. Ce tampon est mis en place à l'instant où on arrête l'emploi de la vapeur ; aussi, dans une expérience, après douze heures d'arrêt, la pression n'est-elle tombée que de deux atmosphères sur cinq.

Dans ces conditions, les chaudières Farcot produisent 7k,20 de vapeur par kilog. de houille, et même 8 kilog. avec de la gaillette de première qualité.

Chaudières tubulaires. Le désir de diminuer le volume des chaudières et surtout d'augmenter les surfaces de chauffe fait combiner fréquemment des chaudières tubulaires, non-seulement pour les BATEAUX A VAPEUR et les LOCOMOTIVES pour lesquels ils sont de nécessité absolue, mais encore pour les machines fixes. Elles ont cependant un défaut capital qui doit les faire repousser dans bien des cas, défaut auquel, malgré bien des inventions, on n'est pas parvenu à remédier pratiquement jusqu'ici, nous voulons parler des dépôts qui se forment autour des tubes, des incrustations qui s'y attachent, alors que le nettoyage de ces tubes est rendu presque impossible par leur rapprochement et par la difficulté d'accès dans l'intérieur de l'appareil.

Plusieurs constructeurs ont proposé une disposition du foyer amovible, système propre à séparer facilement le foyer et les tubes, du corps de la chaudière et, par suite, à rendre le nettoyage facile. De semblables dispositions sont toujours bien compliquées pour de grands appareils, mais peuvent être très-utiles dans quelques cas spéciaux, pour les locomobiles par exemple.

Si toutefois ces chaudières offraient des économies notables de combustible, il y aurait à se préoccuper beaucoup des moyens propres à en rendre l'emploi moins gênant, mais les expériences de Mulhouse ont montré qu'il n'en était rien, et cela devait résulter nécessairement de la possibilité de donner aux chaudières à bouilleurs, munies de réchauffeurs, tout le développement de surface de chauffe suffisant pour refroidir la fumée autant qu'il est possible de le faire utilement, lorsque leurs dimensions sont suffisantes pour que la combustion y soit modérée. Nous donnerons ici le résumé de ces expériences pour deux chaudières tubulaires, parce qu'elles sont parfaitement comparables à celles faites sur la chaudière à bouilleurs.

Chaudière à tubes verticaux de M. Zambaux. Cette chaudière (fig. 410) se compose : 1° d'un foyer ou boîte à feu cylindrique établie à la partie inférieure, et ayant pour ciel une plaque tubulaire d'où part un faisceau de 216 tubes verticaux en laiton, de 48mm de diamètre intérieur sur 2m,50 de longueur totale; 2° d'un corps cylindrique, entouré de corps non conducteurs, qui enveloppe le foyer et les tubes, assez écarté de ces derniers, et qui se termine à la plaque tubulaire supérieure ; 3° d'une boîte à fumée établie à la partie supérieure et surmontée par la cheminée.

La prise de vapeur est pratiquée dans le haut du corps cylindrique, à 0m,700 environ au-dessus du niveau de l'eau, qui est à 1 mètre en contre-bas de la plaque tubulaire supérieure. Pour éviter l'entraînement de l'eau, autour des tubes, est placée une chemise en tôle galvanisée I, I, qui s'élève jusqu'à 0m,10 en contre-bas de la plaque tubulaire supérieure. Un capuchon cylindrique K; K, un peu plus large que la chemise, est rivé à la plaque tubulaire supérieure, et à une hauteur

suffisante pour que sa partie inférieure plonge dans

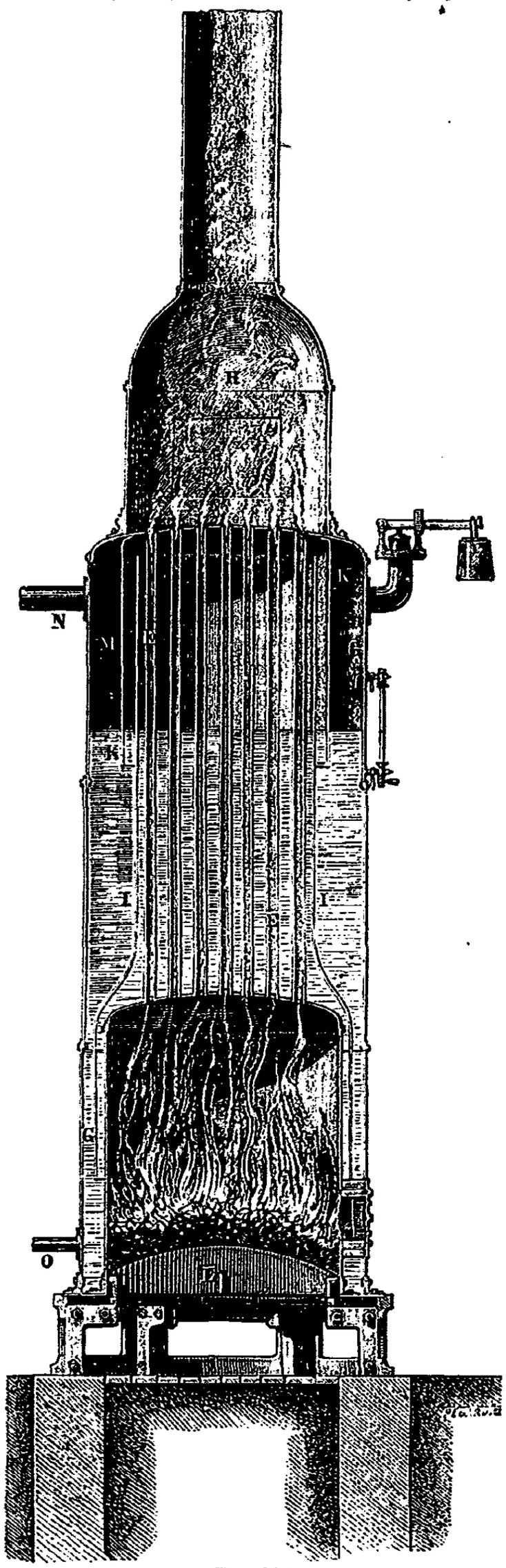


Fig. 410.

l'eau. Il est percé dans toute sa hauteur, du côté opposé

au tuyau de prise de vapeur, de trous de 40mm de diamètre.

Voici, d'après le constructeur, comment fonctionne l'appareil. La vapeur produite par le foyer et les tubes forme, avec l'eau contenue dans l'intérieur de la chemise, une masse aquo-vaporeuse d'un poids spécifique moindre que l'eau extérieure, qui n'est pas en contact avec les surfaces de chauffe. Par suite de cette différence de densité, l'eau intérieure mêlée à la vapeur incessamment formée s'élève jusqu'au sommet des tubes et les empêche d'atteindre une température qui pourrait les altérer. Le mélange, en arrivant au sommet de la chaudière, rencontre le capuchon qui l'oblige à changer brusquement de direction. L'eau se sépare alors de la vapeur, redescend dans l'intervalle de la chemise et du capuchon le long de leurs parois, tandis que cette dernière traverse les trous pratiqués dans le capuchon, se rend dans le réservoir et de là dans le tuyau de conduite.

L'eau froide est introduite dans la chaudière à sa partie inférieure, elle s'élève à mesure qu'elle s'échauffe en laissant déposer le carbonate de chaux dissous dans l'eau, par suite du dégagement de l'acide carbonique. Mais il ne peut en être de même pour le sulfate de chaux qui se rencontre dans bien des eaux et qui viendrait incruster les tubes. Cette chaudière ne pourrait servir avec des eaux de cette nature.

L'appareil essayé, qui avait 89 mètres carrés de surface de chauffe, n'a évaporé pendant les essais que 8 à 10 kilog. par mètre carré et par heure, soit 8,600 litres en 12 heures. Il eût certainement suffi à une évaporation plus considérable. Voici les résultats des essais.

En 12h,06 de marche de la machine à vapeur, 12h,26 de la chaudière, à la pression de 4atm,27, pour une machine de 43,18 chevaux-vapeur, on a brûlé 1,089 kil. pour évaporer 8834 kil. d'eau, soit 7k,68 par kil. de houille.

La quantité d'air par kilogramme de houille reçue dans le foyer n'a été que de 7mc,23.

Petites chaudières. L'essai précédent est fort intéressant parce qu'il se rapporte à un genre de chaudières qui est très-multiplié, celui des générateurs servant pour les machines de petits ateliers, de la force de 2, 3, 4 chevaux-vapeur. Trop petites pour qu'on puisse les construire avec des étendues de surface de chauffe suffisantes ; devant, avant tout, être livrées à bon marché, au moins serait-il désirable que la production de la vapeur s'y fît dans des conditions un peu passables, la machine à vapeur qu'elles desservent étant elle-même établie dans les mêmes conditions de grande économie, c'est-à-dire utilisant assez mal la vapeur produite.

Les meilleurs systèmes du genre d'appareils dont nous parlons n'ont pu être construits avec des tubes verticaux multipliés, à cause des incrustations; on se borne en général à l'emploi d'un tube central conique et de grande dimension. Mais pour que les produits de la combustion ne passent pas de suite dans la cheminée, diverses combinaisons ont été employées pour produire des remous dans les gaz et les appliquer sur les parois. La meilleure consiste dans l'emploi d'un ou plusieurs bouilleurs transversaux sur lesquels les produits de la combustion viennent frapper en les entourant.

Dans une étude sur les meilleurs systèmes de chaudières nous ne pouvons indiquer celles pour lesquelles on s'écarte sciemment, par économie de prix d'établissement, des conditions du maximum. C'est par l'expérience des ateliers qu'un fabricant peut alors, à chaque moment, acquérir la moins mauvaise machine de ce genre que construit un mécanicien expérimenté, celle qui se rapproche le plus des conditions normales.

Disons toutefois que les dispositions propres à assurer la circulation de l'eau sont surtout importantes pour ces appareils, dans lesquels une combustion très-vive est la conséquence forcée de leurs petites dimensions et, par suite, où il importe beaucoup que la fumée rencontre toujours des surfaces les plus froides qu'il est possible. C'est une condition parfaitement satisfaite au moyen des tubes Field, qui fournissent sous un très-petit volume une très-grande étendue de surface de chauffe directe très-rapprochée du combustible incandescent.

Chaudière Field. Nous montrerons le mode d'action de ces tubes en décrivant la chaudière combinée par l'inventeur pour obtenir, par suite d'une circulation extrêmement rapide, une vaporisation de l'eau en couches très-minces, en quelque sorte instantanée.

L'appareil (fig. 411) se compose d'une chaudière

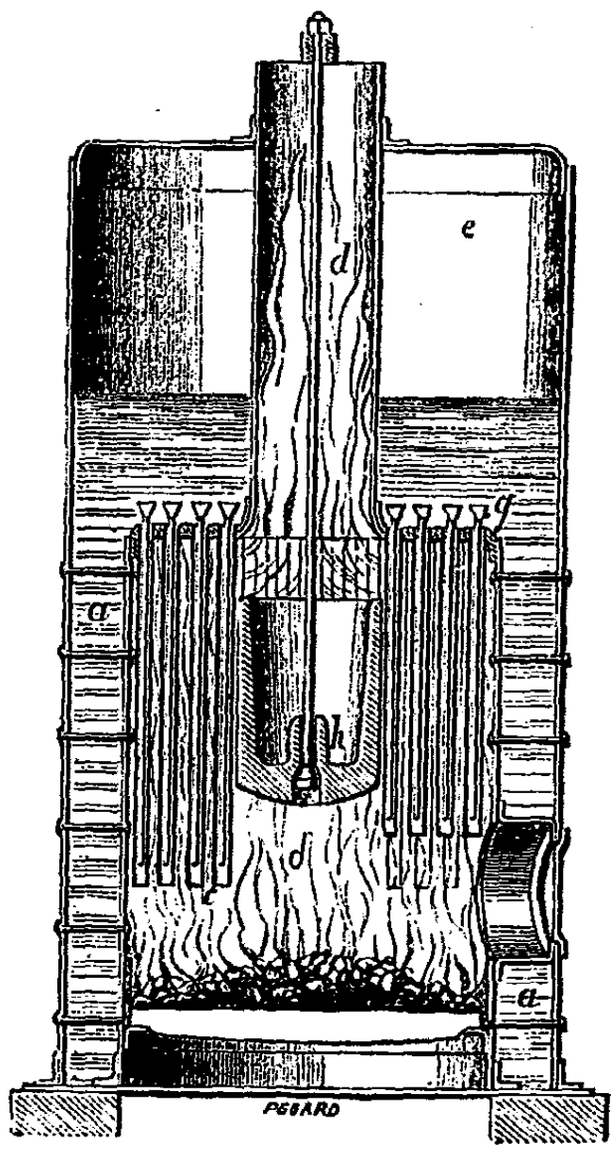


Fig. 411.

verticale de forme cylindrique, à l'intérieur de laquelle se trouve un foyer entouré d'eau. Le ciel du foyer est percé de trous assez rapprochés et légèrement coniques, où l'on introduit un certain nombre de tubes en fer ou en cuivre, d'une longueur telle qu'ils restent suspendus à une certaine hauteur au-dessus de la grille dans le foyer, ces tubes étant bouchés par le bas. Avec un mandrin d'acier également conique, sur lequel on frappe à coups de marteau, on élargit ensuite l'entrée de chaque tube, déjà rendue un peu conique à l'avance, et on les force à s'incruster, s'emboutir et se river dans la tôle du foyer.

Dans ces premiers tubes, on en descend d'autres ouverts aux deux extrémités et de diamètre moitié plus faible (leur épaisseur est insignifiante), s'arrêtant à quelques centimètres du fond des premiers ; leur extrémité est évasée en entonnoir, et ils sont suspendus librement dans les premiers, chacun par deux petites ailettes qui agissent comme les couteaux d'une balance, et les arrêtent au niveau voulu pour que les petits entonnoirs soient de quelques centimètres au-dessus des orifices de ces premiers tubes. Cette disposition, mieux entendue que celle assez semblable qui avait déjà été proposée par Perkins, maintient entre les deux tubes un espace annulaire où l'eau peut passer librement en dépassant le plus petit d'une certaine hauteur, suivant la capacité de l'appareil. Lorsqu'on allume le feu, voici ce qui se produit :

Une rapide circulation de l'eau dans tous ces tubes résulte de l'échauffement ; elle est assez active pour empêcher complétement la formation de dépôts calcaires et produire, de ce chef, une économie notable de combustible.

Le mouvement du liquide est d'ailleurs produit par des circonstances physiques très-simples. Aussitôt que la chaleur vient frapper les parois du tube extérieur, l'eau contenue dans l'espace annulaire s'échauffe, se dilate et devient plus légère qu'auparavant, tandis que la colonne d'eau contenue dans le tube intérieur conserve sa température, sa densité et partant son poids. L'équilibre hydrostatique est donc rompu ; la colonne intérieure chasse la colonne extérieure, prend sa place, subit bientôt la même action qu'elle, et cède à son tour à la pression d'une nouvelle colonne intérieure qui la rejette dans la chaudière où elle viendra bientôt la suivre sous l'influence de la même cause (différence de densité entre deux colonnes liquides, de même longueur et de même nature, mais de températures différentes).

Mais bientôt, l'eau de la chaudière ayant atteint la température de l'ébullition, la vapeur commence à se produire, et alors la vitesse de la circulation augmente singulièrement.

En effet, au lieu d'être mise en mouvement par la différence de pression entre deux colonnes liquides communiquant entre elles et ne différant que par quelques degrés de température, l'eau se meut sous l'influence d'une différence de pression infiniment plus grande, puisque les deux colonnes ne sont pas de même nature. La colonne intérieure ne contient toujours que de l'eau chaude, tandis que la colonne extérieure contient à la fois de l'eau et des bulles de vapeur en si grand nombre, que leur volume est plus de deux fois celui de l'eau. Dans ces conditions, la vitesse de l'eau dans des tubes de 1m,20 de longueur (dimension le plus en usage) est d'environ 4 mètres par seconde et assez forte pour amener à la surface du liquide de la grenaille de plomb mise préalablement au fond de quelques tubes. Toute l'eau (2,500 lit.) d'une chaudière de 80 chevaux, construite sur ce principe, traverse les tubes, comme on a pu le constater, en quelques secondes.

Il importe que les tubes soient soumis à l'action directe du feu et entourés par la flamme. C'est dans ce but que, dans la chaudière représentée figure 411, la pièce massive *h* empêche les produits de la combustion de se rendre directement dans la cheminée, les contraint à tourner à travers tout le faisceau de tubes, avant d'arriver dans celle-ci.

Nous avons donné, en parlant des pompes à incendie à vapeur, les résultats remarquables obtenus, grâce à l'adoption de ce genre de chaudières, pour obtenir très-rapidement de grandes quantités de vapeur. Celles construites par MM. Merryweather frères, à Londres, pour de semblables pompes (voyez POMPES), ne pèsent que 1730 kilogr., y compris la chaudière pleine d'eau, et la machine produit un travail de 25 chevaux.

Le temps nécessaire pour obtenir une pression de 6 atmosphères 1/2 est, d'après l'expérience, de 10 minutes, à partir de l'allumage du feu.

On voit que les tubes de Field constituent une disposition vraiment remarquable pour obtenir de puis-

sants appareils de vaporisation d'un poids minime, et fournissent un précieux moyen d'améliorer, en y étant adaptés, les petites chaudières dont les surfaces de chauffe sont insuffisantes.

Chaudière Molinos et Pronier, tubulaire avec insufflation d'air. Ce générateur se compose d'une boîte à feu analogue à celle d'une locomotive, mais dont la grille est séparée de la plaque tubulaire par un mur en briques formant autel. Le corps cylindrique placé à la partie inférieure derrière ce mur est complétement rempli de tubes en fer, de $2^m,60$ de longueur sur 40^{mm} de diamètre intérieur. La chambre de vapeur est placée au-dessus de la boîte à feu, de manière que le corps cylindrique soit toujours maintenu plein d'eau. Elle est formée par un cylindre en tôle avec lequel viennent se raccorder normalement les parois de la boîte à feu. La distance verticale entre la grille et le dessous de la porte du foyer est de $0^m,30$ environ, épaisseur de la houille que l'on charge sur la grille. Pendant la marche le cendrier est hermétiquement fermé. Les parois latérales du foyer sont percées chacune d'une double rangée de tubes formant entretoises et sur les orifices extérieurs desquels se meut un registre au moyen duquel on peut régler à volonté l'ouverture des tubes. Les extrémités de ces tubes-entretoises sont enfermées dans des boîtes appliquées contre les parois extérieures de la chaudière, et dans lesquelles on envoie de l'air, au moyen d'un ventilateur F, par les tuyaux C. Un autre tuyau E introduit sous la grille l'air soufflé par le ventilateur. Les gaz à la sortie des tubes se réunissent dans une boîte à fumée et se rendent par un tuyau dans une cheminée, qui ne sert qu'à leur dégagement et qui peut, par conséquent, n'avoir qu'une faible hauteur. Les inventeurs, tout en cherchant à tirer le meilleur parti du combustible, ont encore voulu éviter la production de la fumée maintenant proscrite des capitales. Voici comment ils ont atteint ce but.

L'air chassé sous une couche épaisse de combustible la traverse en se brûlant complétement et en se transformant en oxyde de carbone et en acide carbonique. L'oxyde de carbone et les hydrogènes carbonés, produits par la distillation de la houille, rencontrent les veines d'air qui sortent des tubes-entretoises un peu au-dessus de la couche de combustible et qui les traversent dans toute leur masse. Ces gaz brûlent dans un parcours relativement court et s'éteignent dans la capacité placée derrière l'autel, où le mélange avec l'air s'est complété, en sorte qu'il ne pénètre dans les tubes aucune flamme pouvant devenir fuligineuse par leur refroidissement. Aussi cet appareil est-il à peu près fumivore, la fumée n'étant noire que le temps du chargement; mais ce résultat n'est obtenu qu'en insufflant un excès d'air notable.

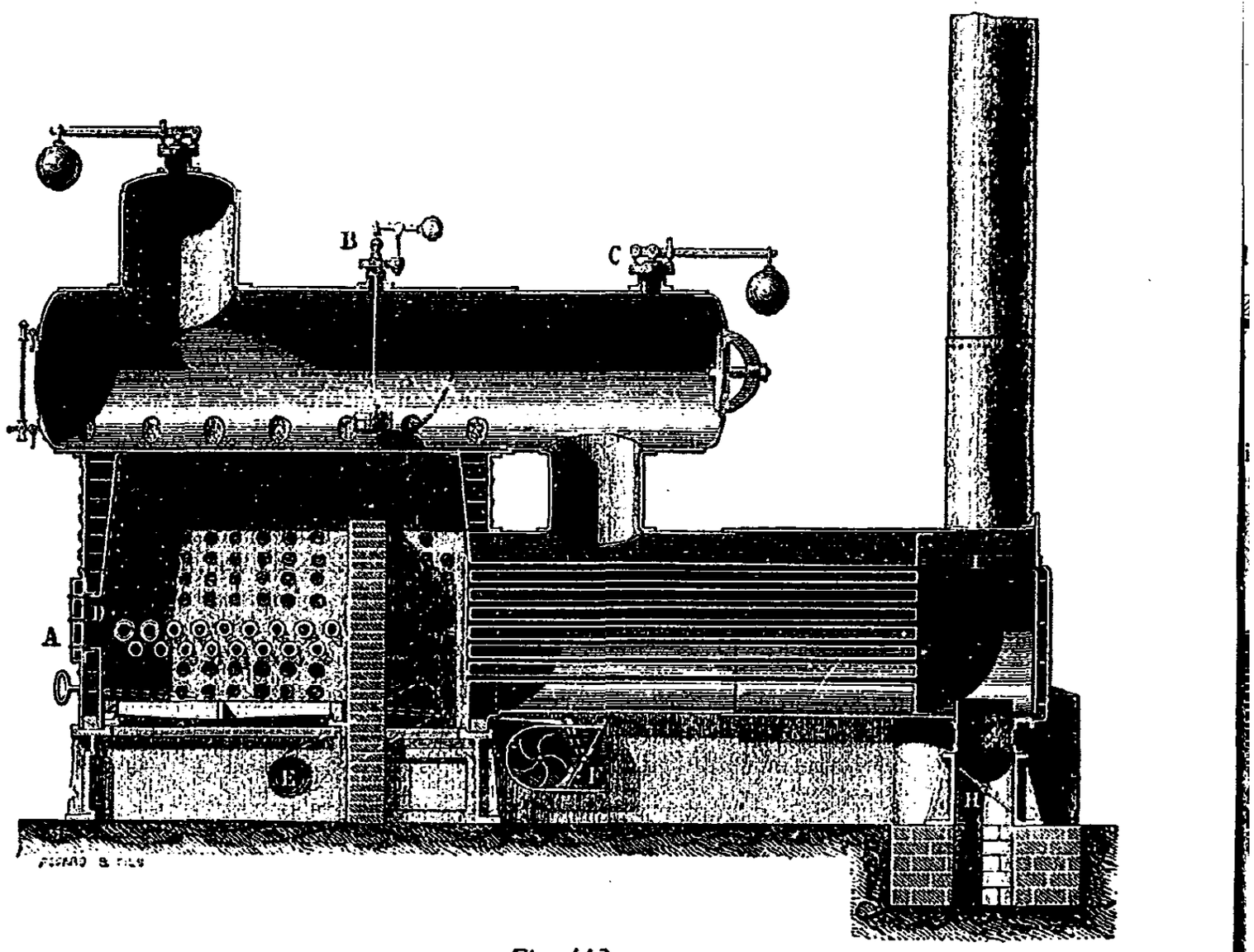


Fig. 412.

On voit que ce système se rapproche de l'appareil Beaufumé, décrit à l'article COMBUSTION, qu'il est fondé, comme celui-ci, sur la production et l'utilisation des gaz combustibles, et l'imitation des dispositions qui ont bien réussi dans les locomotives.

On peut se demander s'il n'y aurait pas une disposition plus simple à employer pour résoudre le problème; mais le mode de conversion de la houille en gaz combustible S, qui a si bien réussi pour les chauffages à haute température, réussit moins bien pour le chauffage des chaudières, les gaz s'éteignant facilement au contact des parois froides, quand on emploie les appareils les plus convenables pour cette conversion, les fours Siemens.

On peut brûler dans cet appareil, de 50 mètres de surface de chauffe ou 50 chevaux, 100 kil. à l'heure par mètre de grille.

Le ventilateur consomme de 20 à 80 kilogrammètres par seconde, selon que les valves de sortie sont closes ou complétement ouvertes.

Voici les résultats moyens des essais:

La machine alimentée (de 45 chevaux-vapeur, la même pour les diverses chaudières) ayant marché 12ʰ,02 et la chaudière 12ʰ,54, la pression moyenne de la vapeur à la chaudière étant de 4^{atm},70, on a brûlé 1198 kilos de houille, et chaque kilogramme a vaporisé 7ᵏ,73 d'eau.

Résumé. Nous pouvons déduire des résultats des épreuves des deux systèmes précédents, tous deux, et surtout le dernier, inspirés par l'exemple des locomotives, qu'il n'y a pas lieu d'imiter, pour les machines fixes, les dispositions qui ont réussi pour des appareils mobiles. La nécessité d'avoir des appareils d'un poids modéré, dans lesquels se produisit une rapide vaporisation, qui eussent de grandes surfaces de chauffe sous un faible volume, a conduit à des appareils extrêmement remarquables, mais qui ne doivent pas être préférés aux appareils à bouilleurs. Ce n'est pas seulement parce qu'ils sont coûteux, d'entretien surtout, d'un nettoyage souvent presque impossible, que nous arrivons à cette conclusion; c'est principalement parce qu'ils ne sont pas plus économiques en tant que producteurs de vapeur. Dans des conditions analogues, deux excellentes chaudières tubulaires ont vaporisé 7,75 et 7,66 kil. d'eau par kil. de houille, et la chaudière à bouilleurs avec réchauffeurs de Vesserling, 8 kilog. et 8ᵏ,50 d'eau par kilogramme de houille de Ronchamp, ce qui, sûrement, eût conduit à plus de 9 kil. avec de la bonne houille de Mons.

Chaudières à foyers intérieurs. Les systèmes précédemment étudiés ont emprunté aux locomotives, où il est de nécessité absolue, le système de foyers intérieurs; celui-ci était depuis longtemps appliqué aux grandes chaudières de Cornwall, qui ont donné d'excellents résultats souvent constatés. Toutefois l'expérience a montré que ce système n'était pas supérieur à celui des foyers en briques, surtout dès qu'on abandonne les grandes dimensions, et, dans notre pays, partout où le poids des fourneaux en briques n'en interdit pas l'emploi, on a adopté et on emploie les chaudières métalliques enveloppées de foyers et de carneaux en briques. Il doit en être nécessairement ainsi avec nos règlements qui contraignent à donner à la paroi extérieure une épaisseur trop considérable, pour une partie qui ne reçoit pas l'action du foyer.

Avec l'avantage d'éviter des pertes de chaleur par rayonnement extérieur, ces chaudières ont des défauts assez graves; ainsi il est évident que la principale surface de chauffe d'un générateur doit être exposée à l'action directe et verticale du feu, et c'est là que la majeure partie de l'effet utile se produit. Or, le diamètre extérieur que l'on peut donner à une chaudière étant limité, et ne pouvant guère dépasser 1ᵐ,30 ou 1ᵐ,50, le diamètre du cylindre intérieur qui contient le foyer, et par conséquent la surface exposée directement, ne peuvent être que fort réduits. De plus, cette surface, au lieu d'être placée tout entière à peu près horizontalement au-dessus du foyer, l'enveloppe latéralement, dans une grande partie de son développement, et ne reçoit, par conséquent, son action que d'une manière indirecte et désavantageuse. Il n'y a que la moitié supérieure du cylindre qui puisse être considérée comme surface de chauffe; toute la partie inférieure, placée au-dessous des grilles, chauffe mal et est couverte immédiatement de cendres et de suie. Pour compenser ces inconvénients, on est obligé de multiplier les circulations à travers l'eau, et alors le rapport entre la surface directe et la surface indirecte est très-peu avantageux.

Ces dispositions ont d'autres défauts encore. On a reconnu, en effet, que la combustion souffrait toujours du contact d'une surface métallique sans cesse refroidie extérieurement par de l'eau.

En Angleterre, et surtout dans le Cornouailles, on a donné des diamètres énormes aux chaudières et à leurs tubes intérieurs, en tête desquels se trouve placé un foyer de très-grande dimension. Avec le principe de brûler à basse température, et en multipliant autant qu'on le fait la surface de chauffe, on arrive à avoir ainsi un très-bon emploi du combustible, avec des appareils qui ne peuvent toutefois être employés que pour des pressions peu élevées.

La figure 413 représente la chaudière de Cornwall,

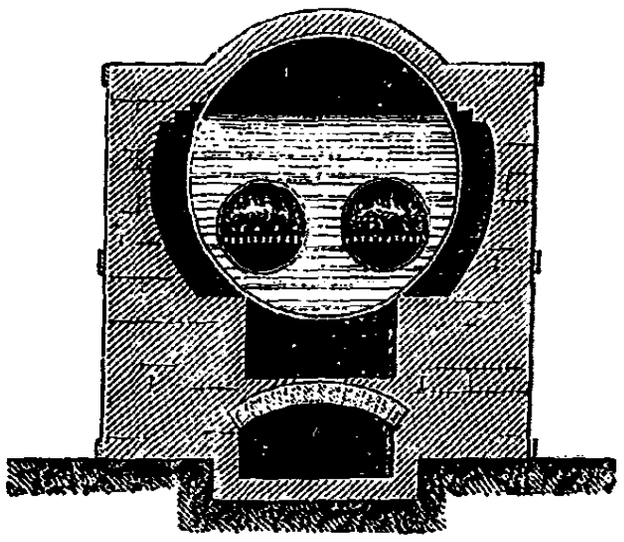


Fig. 413.

à deux foyers, telle que l'établit Fairbairn. Elle consiste en un cylindre de 1ᵐ,50 à 2 mètres de diamètre, avec deux tubes intérieurs, contenant chacun un foyer. Elle présente une grande surface de chauffe, et les tubes, qui sont rivés aux deux fonds plats de la chaudière, augmentent considérablement la résistance de ces faces. Dans nos habitudes françaises, la surface de chauffe de ces chaudières nous paraît faible; mais avec la grandeur très-considérable des grilles et la combustion lente, elles donnent d'excellents résultats.

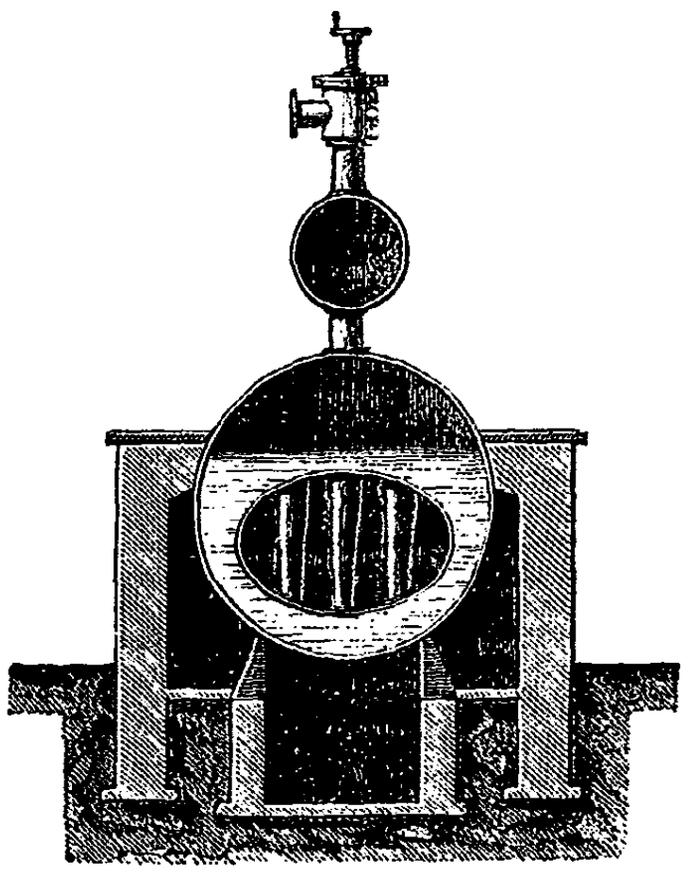


Fig. 414.

Un perfectionnement important apporté à ces chaudières est celui dû à M. Galloway, représenté fig. 414;

il a disposé, à l'extrémité du tube central, des tubes presque verticaux, qui forment bouilleurs, sur lesquels la colonne des produits de la combustion vient se briser, ce qui augmente d'une manière très-notable la vaporisation. Cette disposition a été appliquée à un grand nombre de chaudières en Angleterre.

Expériences de Wicksteed sur les chaudières de Cornwall à foyers intérieurs. Ces expériences, souvent citées, qu'il ne faut pas considérer comme tout à fait comparables à celles rapportées ci-dessus, pour lesquelles, notamment, on a dû faire usage d'excellente houille anglaise, ont été faites sur de puissantes chaudières, de 8 mètres de longueur, ayant des grandes grilles et des surfaces de chauffe très-considérables; aussi le combustible y est-il fort bien utilisé.

Les résultats généraux observés sont les suivants :

Kilogrammes brûlés par mètre carré de surface de grille et par heure	44,76
Kilogrammes de charbon par mètre carré de surface de chauffe et par heure	4,04
Eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe	8,68
Eau vaporisée par kilogramme de combustible .	8,35

Chaudières à circulation. Nous devons parler maintenant des chaudières à circulation, dont les inventeurs varient à l'infini les dispositions. En principe, il y a évidemment avantage à appliquer à l'échauffement de l'eau le principe de déplacement qui donne de si beaux résultats dans l'épuisement des matériaux renfermant une substance soluble, à faire marcher l'eau en sens contraire de la propagation de la chaleur ; les dispositions des réchauffeurs servant à chauffer l'eau d'alimentation, comme nombre d'appareils industriels, reposent sur ce principe. Mais, quand il s'agit de vaporisation et non d'échauffement de l'eau, on peut généralement considérer les conditions théoriques comme satisfaites quand les dispositions de l'appareil permettent le facile dégagement de la vapeur formée, surtout dans les parties les plus voisines du foyer, là où la vaporisation est la plus considérable, puisque, du fait de celle-ci, la température ne s'y élève guère au-dessus de 100° pour des pressions de 2 à 3 atmosphères. C'est ce qui explique l'insuccès de bien des systèmes de chaudières, tentés dans la voie que nous indiquons; toutefois, ces essais n'ont pas été sans utilité.

Pour fractionner les colonnes d'eau, on a été conduit à employer des tubes en fer, à faire usage de chaudières tubulaires très-différentes de celles dont il a été parlé ci-dessus, dans lesquelles l'eau est renfermée dans l'intérieur des tubes chauffés extérieurement. Perkins avait montré déjà que l'emploi des tubes en fer de petit diamètre, dont la résistance est très-grande, était très-convenable pour produire de la vapeur à très-haute pression, et l'industrie produit aujourd'hui ces tubes à bon marché. Il y a là un nouvel élément de construction qui permet de poursuivre deux importants résultats.

Le premier est, en plaçant dans le foyer un grand développement de tubes en fer, dans lesquels on fait circuler l'eau, d'obtenir des chaudières produisant en très-peu de temps de la vapeur sous pression, grâce à l'étendue de la surface directe de chauffe, avantage très-grand surtout pour la marine militaire.

Le second, bien plus important, est de remédier aux dangers des explosions, qui semblaient inhérents à l'emploi des générateurs de vapeur. Des tubes en fer malléable, de petit diamètre, peuvent tout au plus s'ouvrir et laisser sortir de l'eau chaude, mais ne sauraient donner lieu à des explosions foudroyantes. C'est ce qu'a prouvé M. Séguier, en soumettant à des causes d'accidents de ce genre sa chaudière à circulation d'eau dans des tubes inclinés. La projection d'eau chaude peut même être évitée avec des chaudières ne contenant pas d'eau. Nous avons donné à l'article CHAUDIÈRE A VAPEUR du *Complément* la description de l'appareil le plus remarquable de ce genre, de la chaudière Belleville. Nous n'y reviendrons pas ici. Nous dirons seulement que ces appareils ne sont pas économiques, n'étant pas établis dans les conditions de la meilleure utilisation de la chaleur, ce qui explique pourquoi l'industrie ne les a pas adoptés, sauf dans des circonstances particulières.

Chaudières de bateaux à vapeur. Pour compléter cette étude des générateurs employés dans l'industrie, nous rapporterons ici les données principales de la construction des chaudières des bateaux à vapeur et de l'appareil de vaporisation des locomotives, à la description desquels des articles spéciaux sont d'ailleurs consacrés.

A l'origine de la navigation à vapeur, on employa les mêmes générateurs que pour les machines fixes ; mais bientôt leur emploi dans des conditions toutes spéciales conduisit à les modifier. Longtemps on a employé des chaudières à foyer intérieur et à galeries rectangulaires, dont on a varié les dispositions. Dans ces appareils, la fumée et l'air parcourent, à la sortie du foyer, une suite de carneaux rectangulaires en tôle, dans lesquels ils abandonnent leur chaleur à l'eau de la chaudière.

Les chaudières généralement adoptées aujourd'hui sont des générateurs tubulaires dans lesquels la flamme et les gaz se rendent au fond de la chaudière, pour revenir en avant de la cheminée par un grand nombre de tubes. La grille inclinée est formée de deux rangs de barreaux, et les boîtes à fumée sont séparées

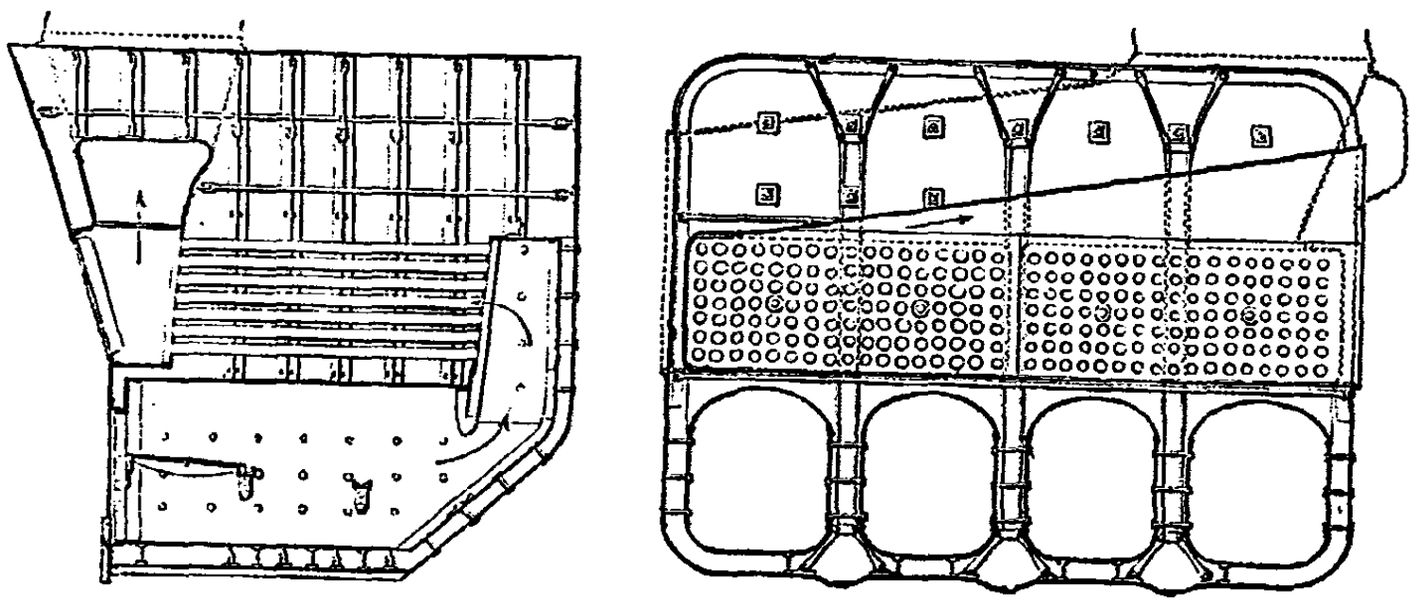


Fig. 415.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

entre elles par des lames d'eau, qui augmentent la surface de chauffe (fig. 415).

L'appareil de vaporisation, dans les grands bateaux à vapeur, se compose d'un certain nombre de corps de chaudières placés les uns à côté des autres. En France, aujourd'hui, chaque corps de chaudière est calculé pour une production de vapeur correspondant à une puissance de 100 chevaux environ. La largeur des grilles est de 0m,80, et leur longueur d'environ 2 mètres.

Les tubes en fer ou en laiton ont 0m,075 à 0m,085 de diamètre et 1m,50 à 2 mètres de longueur.

La question des incrustations, si capitale à la mer, a été traitée dans des articles spéciaux; nous n'y reviendrons pas ici, nous contentant d'observer que les recherches des constructeurs sont tournées vers l'amélioration des condenseurs à surface qui, permettant d'alimenter à l'eau pure, conduisent à la possibilité de l'emploi des hautes pressions à la mer, et, par suite, à l'établissement de générateurs qui se rapprocheront beaucoup de ceux des locomotives.

Résultats d'expériences. Tous les progrès de la construction ont tendu à augmenter les surfaces de chauffe, et le service des appareils de la marine militaire peut se résumer dans les chiffres suivants :

Rapport de la surface de chauffe à la surface de la grille.	23
Combustible brûlé par mètre carré de surface de grille	50 à 70k
Combustible brûlé par mètre carré de surface de chauffe	3 à 4
Eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe	25
Combustible brûlé par mètre carré de section des tubes	400
Combustible brûlé par mètre carré de section de cheminées	650

Ce sont à peu près les mêmes allures que celles des chaudières à bouilleurs.

Chaudières des locomotives. L'article LOCOMOTIVE donne l'historique de l'invention et des perfectionnements qu'a reçus cette machine qui se confond, pour une bien grande partie, avec celle de l'appareil évaporatoire, par suite d'un tirage très-énergique, qui en est l'âme ; car c'est l'invention des moyens propres à produire rapidement une vaporisation considérable qui a permis la création de la puissante locomotive à grande vitesse. Nous n'y reviendrons pas ici; mais nous reproduirons encore les renseignements ci-après qui résument les publications faites relativement aux dimensions de l'appareil de vaporisation des principaux types de locomotives.

Toutes ces chaudières sont tubulaires, à un seul faisceau de tubes, conduisant directement à la cheminée ; on peut les caractériser par les indications suivantes :

Rapport entre la surface de chauffe et la surface de grille	75
Combustible brûlé par mètre carré de surface de grille.	280 kil.
Combustible brûlé par mètre carré de surface de chauffe	4
Eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe.	35
Eau vaporisée (et entraînée) par kilogramme de combustible	8k,50

Quant aux relations entre la dépense de combustible et la canalisation de la fumée, elle se trouve définie comme il suit :

Combustible brûlé par heure et par mètre carré de section de cheminée	2500 kil.
Combustible brûlé par heure et par mètre carré de section de tubes.	4750

Le fonctionnement des machines locomotives est surtout remarquable par la rapidité des courants gazeux, engendrés par la puissance de l'échappement de la vapeur, et il ne donne une bonne utilisation de la chaleur développée qu'à la faveur d'une surface de chauffe très-grande par rapport à la surface de la grille.

Nous avons rapporté à l'article TIRAGE les expériences qui permettent d'évaluer les effets de la vapeur employée pour produire une véritable insufflation. M. Siemens a démontré l'avantage qu'il y avait, au point de vue de l'économie de la vapeur, à imiter les dispositions de l'injecteur, c'est-à-dire à faire arriver la vapeur par un conduit central, entouré par l'air affluent qui l'accompagne et prend la même vitesse que la vapeur, sans produire de remous, cause principale de résistances dans les mouvements de l'air. Il a pu, à l'aide de cette disposition, améliorer son four à gaz combustibles. Une petite quantité de vapeur, projetée ainsi sur le combustible, active la combustion et accroît utilement la pression intérieure de l'appareil.

ALIMENTATION DES CHAUDIÈRES. — L'alimentation d'eau se fait ordinairement d'une manière continue au moyen d'une pompe alimentaire mise en mouvement par la machine que dessert la chaudière. Il est indispensable que, quelque élevée que puisse être accidentellement l'intensité du feu, la quantité d'eau fournie à la chaudière soit toujours suffisante; en conséquence, on calcule les dimensions de la pompe alimentaire, de telle sorte qu'elle amène un volume d'eau double de celui vaporisé dans le même temps. Soit B la surface du piston de la pompe alimentaire supposée à simple effet, h sa course, et n le nombre de coups de piston par minute; soit, d'un autre côté, S la surface de chauffe de la chaudière, et v la quantité d'eau vaporisée par minute sur l'unité de surface; on aura, entre n, h et B, la relation $nBh = 2Sv$, qui servira à les déterminer. La quantité d'eau admise dans la chaudière est réglée par des mécanismes mis en jeu au moyen de flotteurs, ou par un robinet qui est à la disposition du chauffeur. L'excès d'eau amenée retourne à la bâche.

Lorsque le jeu de la pompe alimentaire est intermittent, le chauffeur ou mécanicien peut, à volonté, l'empêcher de fonctionner, soit en décrochant la tige du piston, soit en relevant le clapet d'aspiration, ou en fermant un robinet adapté au tuyau d'aspiration. Il ne doit pas négliger de faire jouer la pompe dès le moment où le niveau de l'eau, dans la chaudière, est descendu à la hauteur de la ligne d'eau tracée à l'extérieur. Il peut d'ailleurs profiter, pour alimenter la chaudière, des instants où la tension de la vapeur, accusée par le manomètre, est un peu plus élevée qu'à l'ordinaire.

L'alimentation continue est préférable, sous le rapport de la sécurité; le tuyau de décharge d'une pompe à jet continu peut même être disposé de manière à faire apercevoir les dérangements qui seraient survenus à cette pompe.

Dans les machines locomotives, quand on n'emploie pas l'INJECTEUR, l'alimentation des chaudières est toujours intermittente. Des robinets d'épreuve, adaptés aux tuyaux alimentaires, permettent aux mécaniciens de vérifier si les pompes ne sont pas dérangées et foulent de l'eau dans les chaudières.

La fig. 424 représente un appareil d'alimentation continue: l est le piston de la pompe alimentaire ll; u, u une soupape s'ouvrant de bas en haut, placée dans le tuyau d'aspiration ce, et une autre soupape s'ouvrant dans le même sens et laissant passer l'eau aspirée, dans la chaudière, par le tuyau d'alimentation ff; un robinet a, convenablement disposé, sert à régler l'alimentation. Un autre robinet f sert à fermer le tube de communication avec la chaudière toutes les fois que l'on veut visiter les soupapes u, u. Au lieu de fermer l'ouverture h par une plaque maintenue par une vis de pression, il convient mieux de disposer cette plaque comme une soupape de sûreté, en la maintenant par un levier

i i, portant un poids *k*. Sans cette précaution, si le chauffeur tourne la clef du robinet *f*, sans avoir fermé préa-

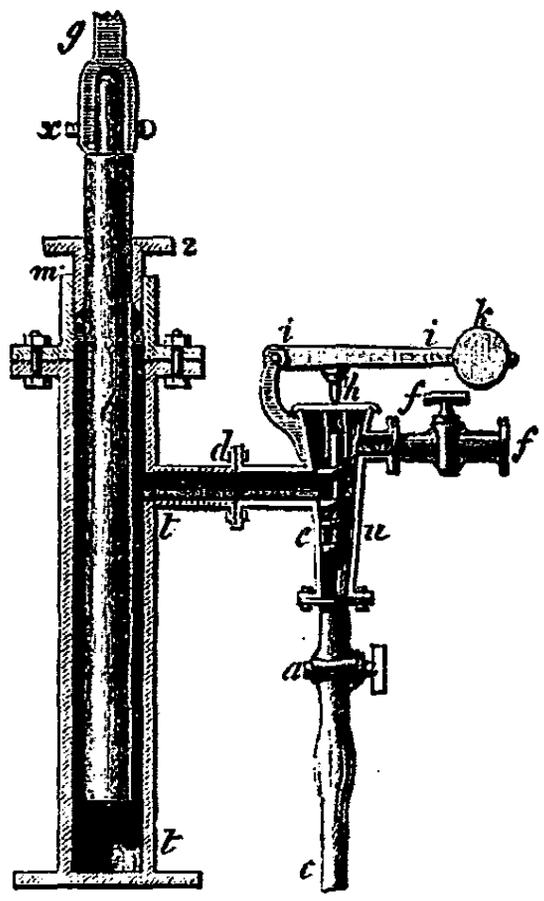


Fig. 424.

lablement le robinet d'aspiration *a*, l'eau refoulée par le mouvement du piston, ne trouvant aucune issue pour s'échapper, résiste comme un corps solide; et les tiges qui font mouvoir le piston sont nécessairement pliées ou brisées.

On emploie souvent, pour régler l'alimentation, dans les chaudières à haute pression, l'appareil représenté fig. 425, qui est mû par le flotteur E, fixé à l'une des

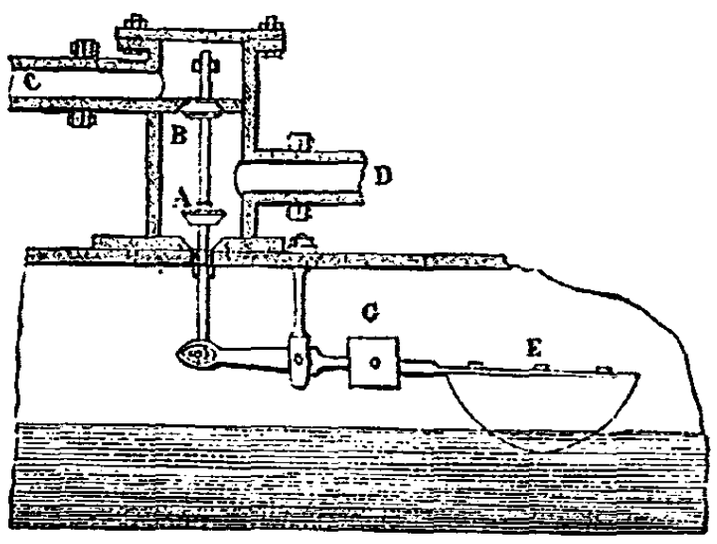


Fig. 425.

extrémités d'un levier G; D est le tuyau de communication avec la pompe alimentaire; lorsque le flotteur s'élève, le levier qu'il porte ferme le clapet A, et ouvre le clapet B, de sorte que l'eau d'alimentation repasse dans la bâche par le tube de décharge C.

Les chaudières à vapeur destinées au chauffage des habitations ou à d'autres usages, et qui ne sont pas jointes à des machines, sont alimentées par des *retours d'eau* ou des appareils appropriés à la nature des opérations que l'on exécute à l'aide de la vapeur.

La fig. 426 représente un de ces appareils à quatre robinets. Lorsque l'on veut le mettre en jeu on ouvre les deux robinets 4 et 3 pour remplir de vapeur d'eau

le réservoir R et donner écoulement à l'air qu'il renferme. On ferme ensuite ces robinets, on ouvre 2, qui

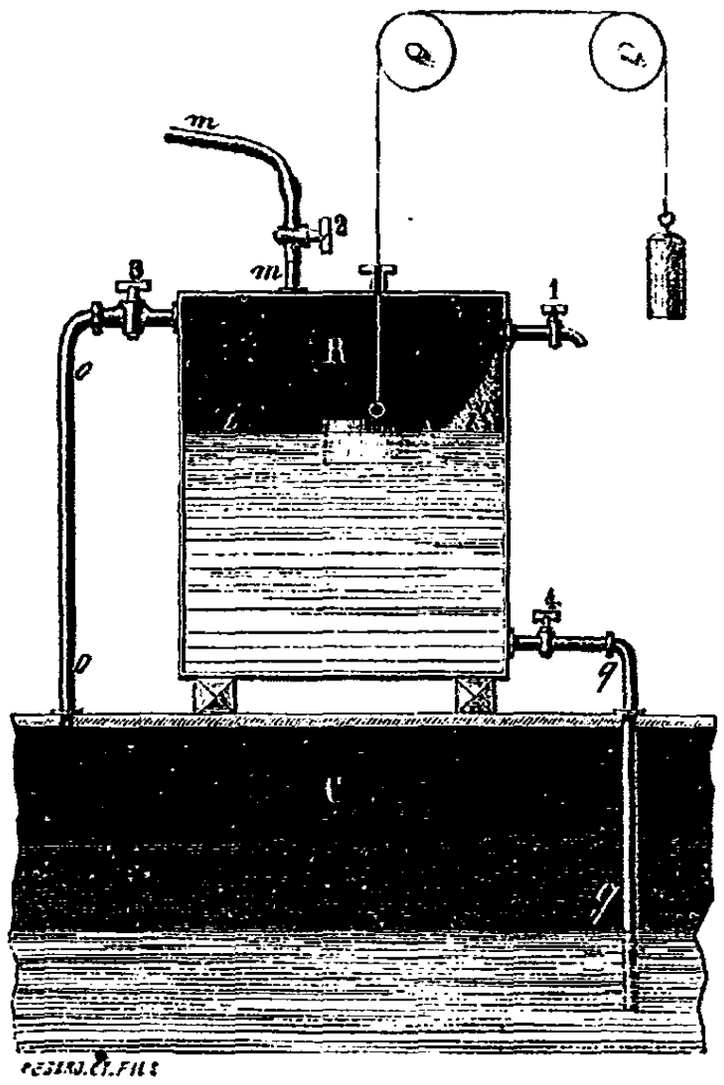


Fig. 426.

communique avec la source d'alimentation : le réservoir se remplit d'eau. On ferme alors le robinet 2, et on ouvre 3 et 4; l'eau se trouvant alors pressée en dessus et en dessous par la pression intérieure de la vapeur, s'écoule par son propre poids dans la chaudière C, à travers le tuyau *q q*. Un flotteur à contre-poids sert à indiquer le niveau de l'eau dans le réservoir R.

Dans les chaudières où la tension de la vapeur est très-peu élevée, on emploie quelquefois, au lieu de retour d'eau, un appareil d'alimentation dit *à colonne d'eau*, qui peut servir en même temps de soupape de sûreté, et fournir une issue à la vapeur dans le cas où les soupapes ayant été surchargées, la tension dépasserait la limite de force élastique pour laquelle la chaudière a été construite. On fixe sur la chaudière un tube vertical CD (*fig.* 427), qui pénètre dans son intérieur, et plonge de $0^m,10$ environ au-dessous du niveau moyen de l'eau. Ce tube s'élève à une hauteur plus ou moins grande, selon le degré de la pression sous laquelle la chaudière doit fonctionner; ainsi, pour une pression maximum de 1/2 atmosphère, à l'intérieur, la hauteur totale du tube, à partir du niveau de l'eau, doit être égale à 5^m. L'extrémité supérieure de ce tube est terminée par un évasement qui porte le nom de cuvette et auquel aboutissent deux conduits *t* et *t'*. L'un sert à amener dans la cuvette l'eau qui est continuellement fournie par le réservoir d'alimentation ou la pompe alimentaire; l'autre sert à donner écoulement à l'excès d'eau amenée. Un flotteur MN, suspendu à un fil métallique qui passe au travers d'une boite à étoupes et vient s'attacher à l'extrémité d'un petit levier *a* B, fixé sur le bord de la cuvette, ouvre ou ferme, suivant qu'il descend ou qu'il monte, la soupape *m* qui permet à l'eau d'alimentation de s'introduire dans la chaudière.

Dans le cas où le jeu de la pompe alimentaire se se-

rait dérangé, et où la quantité fournie par cette pompe ne serait plus suffisante, aussitôt que le niveau se sera abaissé dans la chaudière, au-dessous du tube vertical, la vapeur s'échappera par ce tube, ce qui avertira le

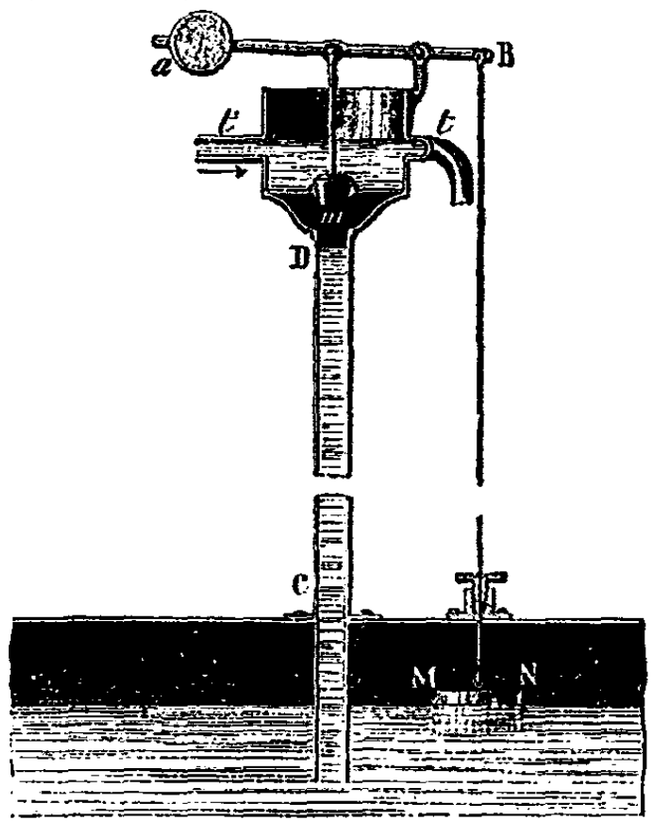


Fig. 427.

chauffeur de l'abaissement du niveau, avant que l'eau ait baissé suffisamment pour que les parois chauffées aient pu rougir et qu'il y ait danger d'explosion. D'un autre côté, lorsque la tension de la vapeur s'élève au-dessus de celle correspondant à la hauteur du tube CD, l'eau de la chaudière sera refoulée dans la cuvette, et s'échappera par le tuyau de décharge *t* en répandant des vapeurs dans la chambre de la chaudière; en même temps, le niveau baissera jusqu'à ce qu'il soit descendu au-dessous de l'extrémité du tube, qui donnera alors issue à la vapeur.

Réservoir et prise de vapeur. La vapeur d'eau entraîne toujours mécaniquement une quantité considérable d'eau, à l'état vésiculaire, dont la proportion est quelquefois de 20 à 30 p. 100 de son poids. C'est surtout en donnant une grande dimension au réservoir de vapeur, à la capacité dans laquelle on emmagasine celle déjà formée, qu'on donne à l'eau entraînée le temps de se déposer; outre que celle-ci se trouve en moindre quantité, par ce motif, les variations de pression étant peu sensibles, on évite les ébullitions tumultueuses qui se produisent par des diminutions notables de pression, et qui donnent lieu aux grands entraînements d'eau. Il n'est pas besoin de remarquer que cette régularité de pression importe, au plus haut degré, au bon fonctionnement de la machine à vapeur. On cherche, en outre, à diminuer cet entraînement mécanique en éloignant autant que possible la prise de vapeur de la surface de l'eau en ébullition, et en la plaçant dans un dôme placé au-dessus de l'arête culminante de la chaudière, et faisant corps avec elle. On a soin aussi de prendre la vapeur dans ce réservoir, par un tuyau terminé par un entonnoir vertical dont l'ouverture est tournée vers le haut. Il est essentiel d'empêcher, autant que possible, le refroidissement de la vapeur dans le tuyau qui la conduit à la machine, ce qui en ferait passer une portion plus ou moins grande à l'état vésiculaire; à cet effet, dans les locomotives, on dispose ce tuyau de manière à ce qu'il traverse l'espace occupé par la vapeur dans l'intérieur de la chaudière, pour se rendre dans la boîte à fumée, sans se trouver en contact avec l'air extérieur. On a trouvé avantage à chauffer les

tuyaux de conduite de vapeur au moyen de la chaleur perdue des produits de la combustion, qui se rendent des carneaux à la cheminée, et qui possèdent encore une température de 200 à 300°, et même plus. Par ce moyen, on fait passer à l'état de vapeur l'eau entraînée à l'état vésiculaire (voy. SURCHAUFFE).

APPAREILS DE SURETÉ. Les chaudières à vapeur doivent, en vertu des ordonnances des 22 et 23 mai 1843, être pourvues des appareils de sûreté suivants :

1° *Soupapes de sûreté.* Il doit être adapté à la partie supérieure de chaque chaudière deux soupapes de sûreté, une vers chaque extrémité de la chaudière. *s* désignant la surface totale de chauffe de la chaudière en mètres carrés, et *n* étant le numéro du timbre qui exprime en atmosphères la tension de la vapeur, le diamètre *d*, exprimé en centimètres, que doit avoir chacune des soupapes de sûreté, est donné par la formule :

$$d = 2{,}6\sqrt{\frac{s}{n-0{,}412}}$$

L'expérience a fait voir qu'une seule soupape, dont l'orifice avait un diamètre déterminé par la formule empirique précédente, suffisait pour débiter toute la vapeur qui pourrait se former dans la chaudière, à la tension de *n* atmosphères, sous l'influence du feu le plus actif. Ainsi, quand une chaudière sera munie de deux soupapes ayant les dimensions prescrites et fonctionnant bien, on n'aura point à craindre que la tension de la vapeur dépasse la limite assignée, sauf peut-être le cas où l'eau, par suite d'un défaut d'alimentation, viendrait à atteindre des parois rouges.

Chaque soupape doit être chargée d'un poids unique, agissant soit directement, soit par l'intermédiaire d'un levier; la quotité du poids et la longueur du levier doivent être réglées de manière à ce que, le poids étant placé à l'extrémité du levier, la soupape soit chargée de 1k,033 par centimètre carré de surface de l'orifice et par atmosphère de pression effective.

La figure 428 représente la coupe verticale d'une soupape de sûreté. Le disque mobile et la tête de la tubulure sur laquelle il s'applique sont en bronze; le prolongement de la tubulure qui s'adapte à la chaudière est en fonte; le levier et les autres pièces sont en fer forgé; le disque est ordinairement guidé, soit par une lanterne venue à la fonte en-dessous de ce disque, et qui pénètre dans la tubulure, soit par trois ou quatre ailettes dont les plans se croisent suivant l'axe perpendiculaire au plan du disque, et dont les bords touchent le contour cylindrique intérieur de la tubulure. Les ailettes sont préférables à la lanterne, parce que celle-ci obstrue en partie le passage de la vapeur, et qu'elle paraît plus sujette à s'engager dans la tubulure. La face inférieure du disque est fouillée sur le tour. Par suite de cette construction, le disque ne peut faire *tou-chon* dans la tubulure, et ouvre, dès qu'il se soulève, une issue aussi libre que possible à la vapeur. La tige-guide qui est venue à la fonte avec le disque de la soupape est tournée avec lui, afin que son axe soit exactement perpendiculaire au plan du disque et passe par son centre; elle se termine, à sa partie supérieure, par une surface conique à pointe émoussée, sur laquelle presse le levier. Ce levier tourne autour du boulon ou goupille dont l'axe doit être situé exactement dans le

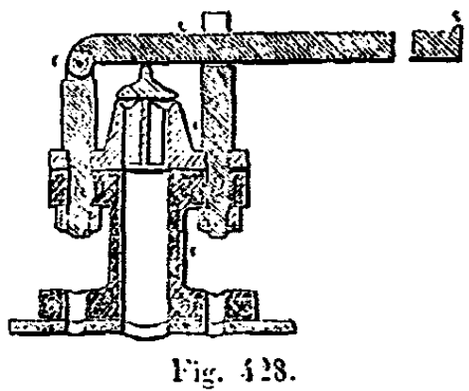


Fig. 428.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

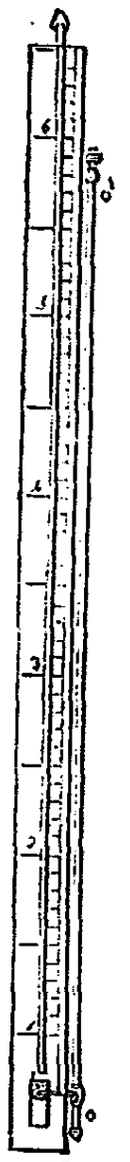
prolongement du plan tangent au sommet de la tige du disque de la soupape reposant sur son siége. Au moment où celui-ci commence à se soulever, les points du levier, sur lesquels s'appuie la tige, décrivent des arcs de cercle verticaux; il n'y a pas glissement des surfaces en contact l'une sur l'autre, et, par conséquent, aucun frottement ne tend à incliner le disque de la soupape d'un côté ou de l'autre, et à faire frotter les ailettes contre le contour de la tubulure. Le levier LL' est guidé dans une seconde fourchette K, pour prévenir les mouvements dans le sens horizontal; il se termine à son extrémité libre par une saillie S, destinée à retenir le poids qui y est suspendu.

Les soupapes des chaudières des machines locomotives sont pressées par des ressorts dont le mécanicien peut à volonté augmenter ou diminuer la tension; une échelle divisée indique les charges ou tensions correspondantes aux diverses longueurs du ressort; les manomètres ou thermomanomètres, dont ces chaudières sont pourvues, offrent un moyen facile de vérifier la graduation.

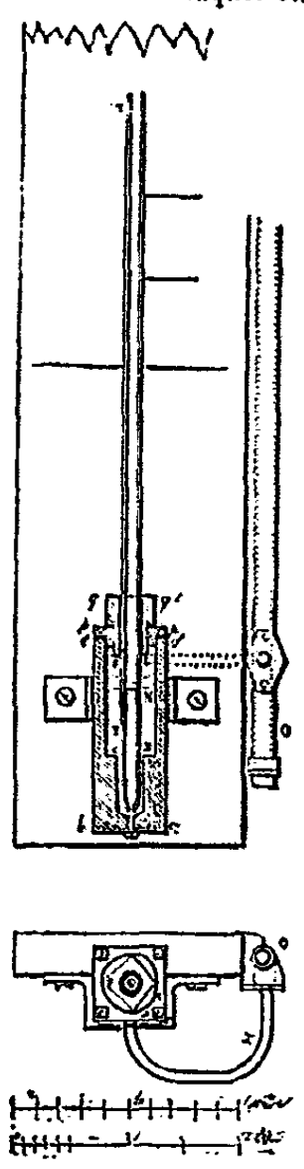
2° *Manomètres*. L'expérience a fait voir que les manomètres à air comprimé sont tellement sujets à se détériorer, que la plupart des appareils de ce genre, adaptés aux chaudières de machines à vapeur, ne donnent plus, au bout de fort peu de temps, des indications exactes. C'est pourquoi les dernières ordonnances prescrivent l'usage de manomètres à air libre pour toutes les chaudières timbrées à 5 atmosphères et au-dessous. Elles permettent de remplacer, pour les chaudières de machines locomobiles et locomotives, le manomètre à air libre par un manomètre fermé ou un thermomanomètre, et n'exigent le manomètre à air libre dans les chaudières établies sur des bateaux que pour des pressions inférieures à 2 atmosphères.

La cause principale qui met hors de service, en très peu de temps, les manomètres fermés, consiste en ce que l'oxygène de l'air confiné dans la partie supérieure du tube est absorbé par le mercure, en donnant lieu à de l'oxyde de mercure qui se dissout dans le mercure métallique; il en résulte d'abord que la graduation de l'instrument est faussée, et, ensuite, que les pellicules de mercure oxydé s'attachent à la paroi du tube en verre qu'elles salissent au point qu'on n'aperçoit plus l'extrémité de la colonne mercurielle. Il est facile de construire des manomètres fermés qui soient exempts de ces inconvénients. Il suffit, pour cela, d'introduire dans la chambre manométrique de l'azote que l'on obtient, en faisant passer de l'air dans un tube en verre à travers de la tournure de cuivre métallique chauffée au rouge, ce qui le prive complétement de son oxygène.

La fig. 429 représente à l'échelle de 1/50 un manomètre à air libre, à cuvette et à tube en verre, pouvant accuser des pressions qui vont jusqu'à 6 atmosphères 1/2. La fig. 430 est une section de la cuvette et du tube par un plan vertical passant par l'axe de la cuvette, à l'échelle de 1/5. La fig. 431 est une section, à la même échelle, du manomètre et de la monture par le plan horizontal XY de la fig. 430. La cuvette *a b c d* est en fer forgé; elle est formée d'un prisme de fer à base carrée de 0m,06 de côté, et de 0m,17 de hauteur. On a foré, suivant l'axe du prisme, la cavité cylindrique N, de 0m,04 de diamètre et de 0m,106 de profondeur; et au fond de celle-ci, toujours suivant l'axe du prisme, la cavité cylindrique d'un diamètre moindre *n n*, dans laquelle doit pénétrer l'extrémité du tube en verre TT'. Cette cuvette est fermée à sa partie supérieure par une plaque en fer carrée *p p'*, formant bouchon, et fixée aux quatre angles, sur les bords de la cuvette, par les vis *v*, *v*, *v*, *v*. La pression de ces vis ferme hermétiquement, au moyen d'un peu de mastic au minium interposé entre les surfaces de contact de la plaque et des bords supérieurs de la cuvette. L'ouverture cylindrique ménagée suivant l'axe de la plaque *pp'*, est taraudée en forme d'écrou et remplie par le bouchon en fer et à vis *qq'*, suivant l'axe duquel on a foré un



429.



431.

trou cylindrique d'un diamètre un peu supérieur au diamètre extérieur du tube en verre. Vers le bas, ce trou se rétrécit de manière à ne plus laisser que très peu de jeu entre lui et le contour extérieur du tube, afin que le mastic avec lequel on scellera le tube en verre dans la cavité cylindrique percée à travers le bouchon *qq'*, soit retenu par les bords tranchants de cette cavité.

Un trou S, est percé à travers une des parois verticales de la cuvette, immédiatement au-dessous du bouchon rentrant *qq'*; à ce trou est adapté, au moyen d'une bride *r r*, et de deux vis *u*, *u*, un petit tuyau *x x*, courbé dans un plan horizontal, qui met la cuvette en communication, par sa partie supérieure, avec un tube en fer creux *o o*, de 0m,015 de diamètre intérieur, fixé sur le côté du madrier de sapin sur lequel l'instrument est monté. Le tube en fer creux *o o*, se prolonge de quelques centimètres en dessous du tuyau courbe *x x*; là il est fermé par un bouchon à vis et en fer; il a une hauteur verticale de 4m; il est fermé également en haut par un bouchon à vis; immédiatement au-dessous de ce bouchon, il est percé latéralement d'un trou autour duquel est la bride à laquelle vient s'adapter l'extrémité du tuyau de communication avec l'intérieur de la chaudière.

Le tube TT' est en cristal; il doit avoir environ 0m,003 de diamètre intérieur et de 0m,009 à 0m,010 de diamètre extérieur; sa longueur dépend du maximum de la pression que le manomètre doit mesurer.

Cet instrument doit être rempli de mercure et monté sur place. Le madrier de sapin auquel sont attachés la cuvette en fer et le tube en fer creux *o o'*, est fixé par des crampons contre un mur vertical. Le tube en verre étant enlevé, on verse d'abord dans la cuvette, par le trou percé dans le bouchon à vis *qq'*, la quantité de

CHAUDIÈRE A VAPEUR

mercure convenable, laquelle dépend du diamètre intérieur du tube en cristal et de sa longueur; il faut que, lorsque le mercure s'élèvera dans le tube jusqu'au point qu'il ne devra pas dépasser, le niveau du mercure dans la cuvette recouvre d'un demi-centimètre au moins les bords supérieurs de la cavité rétrécie *n n*. Soit N N', la surface de niveau du mercure versé ainsi dans la cuvette. Après avoir introduit le mercure, on met en place le tube en cristal; pour cela, on l'enfonce à travers le bouchon *qq'*, jusqu'à ce que son extrémité inférieure arrive à 4 ou 5^mm^ du fond de la cavité *n n*. On fixe le tube au madrier par quelques brides légères, placées de mètre en mètre, par exemple, en ayant soin d'interposer un peu de coton entre le tube et le madrier, et de serrer les brides assez peu pour que le tube puisse glisser entre ces brides, dans le sens de sa longueur. On lute ensuite le tube au bouchon *qq'*, en ayant soin, pendant cette opération, d'échauffer ce dernier en le serrant entre les branches d'une pince ou tenaille de maréchal, préalablement chauffée au rouge sombre.

Le tube de verre étant scellé, on attend que la cuvette et le mastic soient refroidis; on ôte le bouchon à vis qui ferme le tube en fer O, à son extrémité supérieure, et l'on remplit complétement ce tube avec de l'eau, qui, passant par le petit tuyau de communication *xx'*, se répand aussi dans la cuvette au-dessus du mercure, puis on remet en place le bouchon de fermeture du tube O O'; la pression de la colonne d'eau fait monter le mercure, dans le tube de cristal jusqu'à une hauteur déterminée qui est le point de départ de l'échelle du manomètre et est marquée du chiffre 1 (une atmosphère). A partir de ce point on divise le madrier, sur sa hauteur, en parties égales, dont chacune représente 1/10 d'atmosphère. L'intervalle de deux divisions doit être égal à 76^mm^ divisés par l'unité augmentée du rapport du carré du diamètre intérieur du tube en cristal au carré du diamètre de la cuvette. Il faut que les longueurs du tube en verre et du madrier divisé soient suffisantes pour que le manomètre puisse mesurer des pressions supérieures d'une atmosphère ou d'une atmosphère et demie à celle que la vapeur ne devra pas dépasser dans la chaudière.

Le *thermomanomètre* est un thermomètre à mercure construit de manière à accuser des températures qui vont jusqu'à 200° centigrades environ, et dont la tige est divisée en atmosphères et fractions décimales d'atmosphère, d'après les relations connues de la vapeur d'eau à son maximum de densité et les températures correspondantes, qui sont données par la table ci-jointe, résultat d'expériences faites avec le plus grand soin, par MM. Dulong et Arago. Voy. MANOMÈTRE.

La boule du thermomanomètre ne doit pas être plongée dans la vapeur de la chaudière, attendu que la pression fausserait les indications thermométriques. Elle est renfermée dans un tube métallique fermé par le bas et rentrant dans la chaudière, aux parois de laquelle il est fixé par une bride, au moyen de vis et d'écrous; on remplit l'espace restant entre la boule et les parois du tube métallique avec de la limaille de cuivre, ou tout autre corps bon conducteur du calorique.

3° *Indicateurs du niveau de l'eau et flotteur d'alarme.* Les indicateurs les plus simples sont des robinets placés les uns au-dessus, les autres au-dessous, et enfin un dernier à la hauteur même du niveau moyen que doit avoir l'eau dans la chaudière. Le chauffeur ouvre de temps en temps et successivement ces robinets, et juge de la hauteur du niveau de l'eau, selon qu'ils laissent échapper un jet d'eau ou de vapeur. Le bouillonnement de l'eau rend quelquefois incertaines les indications de cet appareil, qui du reste ne dispenserait pas dans les chaudières établies à bord des bateaux de l'établissement de tubes indicateurs. Ces *tubes indicateurs* sont en verre, placés verticalement et mastiqués dans deux tubes en cuivre qui se recourbent horizontalement, et viennent se fixer

Table des forces élastiques de la vapeur d'eau, à son maximum de densité, et des températures correspondantes de 1 à 24 atmosphères.

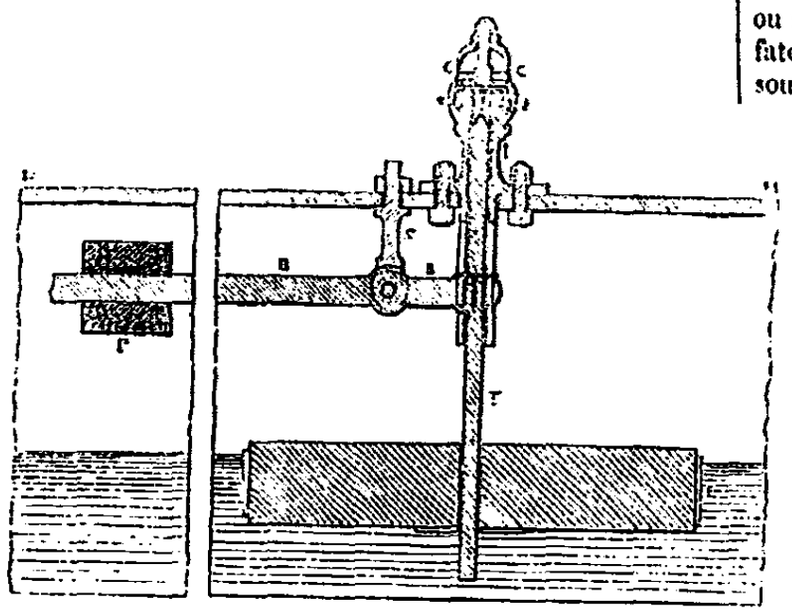
FORCE élastique de la vapeur, en prenant la pression de l'atmosphère pour unité	HAUTEUR de la colonne de mercure (à 0°) qui mesure la force élastique de la vapeur	TEMPÉRATURE correspondante exprimée en degrés du thermomètre centigrade à mercure
atmosphères	mètres	degrés
1	0,76	100,00
1 1/2	1,14	112,20
2	1,52	121,40
2 1/2	1,90	128,80
3	2,28	135,10
3 1/2	2,66	140,60
4	3,04	145,40
4 1/2	3,42	149,06
5	3,80	153,08
5 1/2	4,18	156,80
6	4,56	160,20
6 1/2	4,94	163,48
7	5,32	166,50
7 1/2	5,70	169,37
8	6,08	172,10
9	6,84	177,10
10	7,60	181,60
11	8,36	186,03
12	9,12	190,00
13	9,88	193,70
14	10,64	197.19
15	11,40	200,48
16	12,16	203,60
17	12,92	206,57
18	13,68	209,40
19	14,44	212,10
20	15,20	214,70
21	15,96	217,20
22	16,72	219,90
23	17,48	221.90
24	18,24	224,20

contre la chaudière, de manière à ce que le tube indicateur soit en communication par l'une de ses extrémités avec la vapeur, et par l'autre avec l'eau. Les tubulures qui portent les tubes indicateurs en verre doivent être munies de robinets qui permettent de nettoyer ces tubes, et de prévenir l'écoulement de la vapeur et de l'eau, en cas de rupture accidentelle du tube. Dans les chaudières établies sur les bateaux, il doit y avoir deux tubes indicateurs, un sur chaque côté du foyer, de manière à ce que leur comparaison simultanée puisse indiquer au chauffeur la position du niveau de l'eau dans la chaudière, quelle que soit l'inclinaison du navire.

Les *flotteurs* se composent ordinairement d'une pierre, habituellement cerclée en fer, qui est équilibrée presque en totalité par un contre-poids convenable, de manière à plonger en partie dans l'eau de la chaudière et à s'élever ou s'abaisser en même temps que le niveau de l'eau. Tantôt ce flotteur porte une tige qui sort de la chaudière, et qui se meut en regard d'une échelle fixe qui indique la hauteur du niveau de l'eau, tantôt le flotteur est suspendu à un fil de cuivre qui traverse une boîte à étoupes, et vient passer sur une poulie extérieure sur laquelle il est tendu par un contre-poids; l'axe de cette poulie porte alors sur une aiguille qui se meut sur un cadran et indique la position du flotteur. (V. *Complément.*)

Toute chaudière doit être pourvue de l'un des appareils décrits ci-dessus, et, en outre, d'un *flotteur d'a-*

larme destiné à avertir, par un bruit aigu, un chauffeur qui aurait négligé d'entretenir la chaudière convenablement remplie d'eau. On a construit des flotteurs d'alarme de formes très diverses : ils consistent tous en un flotteur qui fait mouvoir, au moment où la surface de l'eau s'abaisse dans la chaudière jusqu'au niveau des carneaux, un petit orifice par lequel la vapeur jaillit sur les bords d'un timbre ou d'une lame métallique vibrante, dont le bruit très aigu ne peut manquer d'être entendu par le chauffeur. Nous décrirons, comme exemple, le flotteur d'alarme que la commission centrale des machines à vapeur a fait exécuter pour ses expériences, et qui peut être employé, quelle que soit la tension de la vapeur. La fig. 432 représente la section



432.

verticale de ce flotteur. L M, est la paroi supérieure de la chaudière, sur laquelle on fixe, à l'aide de vis, le bout de tuyau en cuivre I, qui est terminé par un appareil semblable au sifflet des chaudières de machines locomotives. Une pierre F F', ou tout autre corps d'un poids spécifique supérieur à celui de l'eau, est suspendue à la tige verticale T, dont l'extrémité supérieure ferme le petit canal *o;* la pierre F F' est équilibrée en partie par le contre-poids P et le balancier B B' ; celui-ci porte par un couteau sur les branches de la fourchette, qui termine le support S fixé à la chaudière. Le contre-poids P est mobile le long du balancier B ; on le fixe par une vis de pression en un point tel qu'il puisse soutenir la pierre F F', lorsque celle-ci est plongée dans l'eau jusqu'aux 3/4 ou aux 5/6 de son épaisseur verticale. La longueur de la tige T étant d'ailleurs déterminée de manière à ce que les 3/4 ou les 5/6 de la pierre soient au-dessous du plan d'eau normal dans la chaudière, quand l'extrémité supérieure de la tige forme le petit canal *o*, si le niveau de l'eau vient alors à baisser, le poids de la pierre F F' devient prépondérant, la tige T s'abaisse et démasque l'orifice *o;* la vapeur se répand par plusieurs trous, tels que *b b*, dans l'espace annulaire *a a*, d'où elle sort par la fente circulaire et très étroite *m n*. qui la dirige sur les bords du timbre ou petite cloche renversée C C. Le poids de la pierre F F', lorsqu'elle est émergée par suite de l'abaissement du niveau de l'eau, doit l'emporter sur le contre-poids P, et, en outre, surmonter la pression effective de la vapeur sur l'orifice *o* ; il faut donc donner à cet orifice un diamètre très petit, surtout lorsque la pression effective de la vapeur doit être considérable, afin de ne pas être obligé de donner à la pierre F F' des dimensions trop grandes, qui pourraient être gênantes.

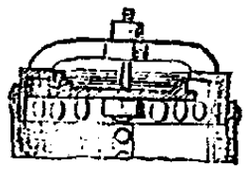
Pour les chaudières dans lesquelles la pression effective de la vapeur ne dépasse pas 1/2 atmosphère, on

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

peut se dispenser de l'emploi d'un flotteur, et placer simplement le sifflet d'alarme sur l'orifice supérieur d'un tuyau vertical de 0m,04 à 0m,05 de diamètre intérieur ouvert par le bas, qui traverserait le dôme de la chaudière et s'enfoncerait jusqu'au niveau au-dessous duquel la surface de l'eau ne devrait pas descendre. Sa longueur serait suffisante pour que la colonne d'eau, élevée dans son intérieur et comptée à partir du niveau normal de l'eau, fît équilibre à la pression effective que la vapeur ne devrait pas dépasser. Ce tuyau pourrait en même temps servir à l'alimentation, comme nous l'avons dit plus haut.

Dépôts qui se forment dans l'intérieur des chaudières. Les eaux dont on se sert pour alimenter les chaudières contiennent toujours en dissolution une quantité plus ou moins grande de sels terreux, ordinairement du sulfate de chaux, et quelquefois, lorsqu'elles n'ont pas été soumises à un échauffement préalable, du carbonate de chaux, qui se déposent par l'effet de la concentration contre les parois de la chaudière et y forment une croûte terreuse plus ou moins dure, dont l'épaisseur va sans cesse en augmentant, et qui, si on ne l'enlevait pas, occasionnerait une prompte destruction des parois. Pour troubler la cristallisation du sulfate de chaux et obtenir un dépôt boueux qui n'adhère pas à la chaudière, on y introduit de temps en temps une petite quantité d'argile bien lavée et très fine ou de pommes de terre. Dans ce dernier cas, il paraît que tout l'amidon renfermé dans les pommes de terre se convertit rapidement en dextrine ; car l'iode n'en fait plus reconnaître la présence dans l'eau de la chaudière au bout d'un temps très court.

On vide la chaudière tous les huit ou quinze jours, selon les circonstances, pour enlever l'eau vaseuse qui en occupe le fond, par un robinet placé dans le bas, en ayant soin d'éteindre le feu immédiatement auparavant ; l'eau en sortant avec vitesse, par suite de la pression de la vapeur, entraîne la plus grande partie des dépôts. On enlève alors la plaque qui ferme le *trou d'homme* dans les chaudières sans bouilleurs, et le tampon à vis (fig. 433) qui ferme la tubulure en fonte qui termine l'une des extrémités des bouilleurs, s'il y en a, et on les balaie pendant que le foyer est encore chaud : le tartre qui s'est déposé éprouve alors une véritable cuisson, en remplissant ensuite la chaudière ou les bouilleurs d'eau froide, et les maintenant pleins pendant quelques jours (ce qui peut se faire toutes les fois qu'il y a deux chaudières marchant alternativement), le sulfate de chaux se gonfle en absorbant de l'eau, et se dissout en partie ; il perd de son adhérence, et s'enlève facilement en grandes plaques sous le choc des outils. Lorsque le chômage doit être très court, on projette de l'eau froide dans les bouilleurs lorsqu'ils sont encore chauds, afin de fissurer le tartre que l'on enlève aussitôt. Il est à remarquer que ces dépôts durs se forment, toutes choses égales d'ailleurs, beaucoup plus facilement dans les chaudières à basse pression, par suite même de la lenteur d'évaporation qui permet mieux au sulfate de chaux de cristalliser que dans celles à haute pression. Dans ces dernières, on peut souvent éviter un nettoyage complet, en introduisant une quantité suffisante de fécule ou d'argile et vidant régulièrement ces dépôts pendant que la chaudière est en pression. C'est un procédé analogue, mais continu, celui des *pompes à saumure de Maudslay,* qui est employé dans les chaudières des BATEAUX A VAPEUR alimentées avec de l'eau de mer, et qui a pour but d'éviter le dépôt de sel marin qui s'y formerait



433.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

infailliblement par suite de la concentration de l'eau de mer. (Voy. INCRUSTATION).

Dépôts qui se forment dans les carneaux ou conduits de fumée. Les carneaux s'obstruent par la suie qui s'attache à leurs parois, et par les cendres entraînées par le tirage; il est rare qu'ils n'aient pas besoin d'être nettoyés tous les deux ou trois mois, ou même plus souvent.

Une mauvaise combustion produit beaucoup de fumée, et par conséquent beaucoup de suie qui s'attache aux parois des chaudières et des carneaux. Nous parlerons à l'article FUMÉE des moyens de la prévenir. La quantité de cendres entraînées est d'autant plus grande jusqu'à une certaine limite que le tirage est plus actif, mais lorsqu'il devient très énergique, comme dans les chaudières tubulaires des locomotives, il n'est plus nécessaire de ramoner les tubes intérieurs; cet avantage est bien compensé, il est vrai, par l'usure extrêmement prompte des parois que les escarbilles de coke frottent avec une grande rapidité, au point de les user entièrement en un ou deux ans.

Emploi des eaux corrosives pour l'alimentation des chaudières. Les règlements administratifs exigent que, dans le cas de l'alimentation au moyen d'eaux corrosives, les propriétés corrosives de ces eaux soient neutralisées par une distillation préalable, ou par tout autre moyen reconnu efficace, toutes les fois que la pression effective de la vapeur dans la chaudière dépassera 1/2 atmosphère.

La plupart des eaux corrosives sont des eaux extraites des mines ou carrières par les machines d'épuisement et dont une partie sert à l'alimentation des chaudières de ces machines; elles ne contiennent pas d'acides libres et renferment en général d'après les recherches de M. Le Châtelier :

Des sulfates { d'alumine, de peroxyde de fer, de protoxyde de fer de chaux, de magnésie, de potasse et de soude

Des chlorures alcalins,

Et de la silice gélatineuse.

Les sulfates doivent leur formation à la décomposition des matières pyriteuses par l'action simultanée de l'air et de l'eau, qui donne naissance à des sulfates métalliques et à de l'acide sulfurique à l'état naissant qui réagit énergiquement sur les éléments des roches voisines. Nous avons recueilli nous-même en Bohême, sur l'affleurement d'un petit filon de pyrites qui traversait le calcaire de transition des environs de Prague, de très beaux cristaux de gypse, qui devait évidemment sa formation à la décomposition spontanée des pyrites, et à la réaction de l'acide sulfurique formé sur la roche calcaire. Il est à remarquer qu'en général dans ces eaux, le fer qui s'y trouve à l'état de sulfate de protoxyde passe par le contact prolongé de l'air à l'état de sous-sulfate de peroxyde et se précipite, ce qui n'aurait pas lieu si elles n'étaient pas chimiquement neutres. Les recherches de M. Le Châtelier ont montré que les eaux concentrées dans les chaudières ne renferment plus ni *alumine*, ni *peroxyde de fer*, et qu'elles sont chargées de sulfate de protoxyde de fer qui, dans certains cas, n'existait pas dans l'eau d'alimentation. Il en résulte donc qu'en présence du fer métallique qui forme les parois de la chaudière, les sulfates d'alumine et de peroxyde de fer sont décomposés en oxydes qui se précipitent (dans quelques cas il paraîtrait se former des sous-sulfates insolubles), et en acide sulfurique libre qui dissout une quantité correspondante de fer aux dépens des parois de la chaudière, en formant du sulfate de protoxyde de fer. Lorsqu'en outre on alimente avec de l'eau froide qui tient toujours en dissolution une certaine quantité d'oxygène, ce dernier réagit sur le sulfate de protoxyde de fer, et donne lieu à la précipitation d'une proportion correspondante de peroxyde de fer et à la dissolution d'une nouvelle quantité de fer métallique par l'acide sulfurique qui a déjà réagi. On évite ce dernier effet en alimentant avec de l'eau de condensation, ou en chauffant longtemps et fortement l'eau dans une bâche avant de l'introduire dans la chaudière. Les mêmes phénomènes ont lieu dans les chaudières en cuivre laminé, s'il entre du fer dans leur composition.

La destruction des chaudières par l'action des eaux corrosives, indépendamment des dépenses considérables et des pertes de temps qu'elle occasionne, n'ayant pas lieu d'une manière uniforme dans toutes les parties, est une source d'accidents très graves. Le plus souvent, il est vrai, lorsque la tôle n'a pas assez d'épaisseur pour offrir une résistance suffisante, il se fait une petite fente, et la fuite qui se déclare annonce qu'il faut réparer la chaudière; mais il peut arriver que la chaudière soit corrodée de telle façon, qu'une ou plusieurs fentes se fassent à la fois sur une grande longueur, et que le reste de la tôle n'offrant plus assez de résistance, il y ait rupture de la chaudière avec projection de ses parties, sous une tension de la vapeur qui ne serait pas supérieure à la charge des soupapes de sûreté.

Il est facile de voir, en se reportant aux réactions qui ont lieu dans les chaudières, que l'on peut toujours les préserver de l'action corrosive des eaux d'alimentation en neutralisant complétement ces eaux. Cependant, lorsque sur une mine ou sur une carrière dont les eaux seront corrosives, il y aura possibilité, même en faisant une dépense notable de force, d'aller emprunter à une rivière, à un étang, ou même à des puits, des eaux douces exemptes de sels de peroxyde de fer, d'alumine et de sulfate de chaux, on devra toujours se décider à faire les frais d'installation et la consommation de force nécessaire. De même, toutes les fois que l'eau de la mine sera dans toutes les saisons assez abondante pour la condensation, il conviendra d'employer un condenseur fermé, dans lequel la vapeur sera condensée et reprise par la pompe alimentaire pour être renvoyée à la chaudière, quelque complication qu'il doive en résulter par l'installation de grands réservoirs destinés à contenir l'eau servant à la condensation, et de citernes devant recueillir l'eau de pluie nécessaire pour réparer les pertes d'eau et de vapeur. Dans les autres cas, on pourra employer des chaudières de cuivre dans le cas où les eaux formeront peu de dépôts. On met souvent dans ces chaudières une certaine quantité de ferraille, sur laquelle les eaux réagissent de préférence, et qui par conséquent préserve le cuivre; mais, en général, il sera plus économique de se servir de chaudières de tôle, en ayant soin de neutraliser l'action corrosive des eaux. A cet effet, ce qu'il y a de plus économique, est d'introduire dans la chaudière une certaine proportion de craie bien lavée et exempte de sable; cette substance décompose facilement à la température de l'ébullition les sulfates de peroxyde de fer et d'alumine dont elle précipite les bases en formant du sulfate de chaux; en outre, lors de l'ébullition elle se tient en suspension dans l'eau et ne peut rester adhérente aux parois des chaudières et bouilleurs; il est aussi probable que le précipité qui se forme lors de l'emploi de la craie tend à troubler la cristallisation du sulfate de chaux et à donner des dépôts moins tenaces. On emploie également le zinc métallique, qui agit tout à fait de la même manière, seulement il donne lieu à une dépense un peu plus considérable.

Des explosions. Des expériences faites par le comité de Philadelphie, il résulte que la ténacité de la tôle croît de 1/6 à peu près, de 0 à 205° C; mais qu'au-delà elle décroît rapidement, de telle sorte qu'à 715° ou au rouge.

elle n'est plus que les 0,30 de la ténacité à zéro. Il y aura donc danger d'explosion toutes les fois qu'une partie des parois d'une chaudière pourra être portée au rouge, ce qui arrivera toutes les fois que l'extérieur étant en contact avec la flamme, l'intérieur le sera avec de la vapeur seulement, par suite d'une alimentation d'eau insuffisante ou d'une mauvaise forme de chaudière. Si alors, par suite de la tension qu'acquiert la vapeur, une soupape vient à s'ouvrir, l'eau de la chaudière éprouve un bouillonnement et est projetée sur les parois rougies, ce qui peut donner lieu à un dégagement subit et trop considérable de vapeur, qui ne pouvant sortir immédiatement par les soupapes de sûreté, quelles que soient leurs dimensions, détermine un excès de pression qui fait rompre la chaudière dans les points portés au rouge où la ténacité est considérablement diminuée. D'ailleurs il est à remarquer qu'il ne sort pas seulement de la vapeur par la soupape, il y a en même temps une très grande proportion d'eau, entraînée à l'état vésiculaire, qui emporte beaucoup moins de chaleur que la vapeur. L'expérience montre que le manomètre monte lorsque l'on ouvre la soupape, et même il y a d'autant plus de chances d'explosion, dans le cas précité, que les soupapes sont plus grandes. Ces phénomènes sont faciles à expliquer : la température intérieure étant supérieure à 100° et la pression de plusieurs atmosphères, lorsqu'une soupape vient à s'ouvrir, la pression diminue d'abord subitement, et une grande partie de l'eau se réduit par suite instantanément en vapeur, tandis que la force vive qu'acquiert par cela même l'eau qui ne s'est pas vaporisée peut être suffisante pour rompre la chaudière, si l'espace intérieur est assez considérable. Si par suite de l'emploi d'eaux corrosives, ou toute autre cause, la ténacité des parois n'offre plus en certains points une résistance convenable, et qu'il se forme une fente ou issue à la vapeur, dans une chaudière à haute pression, il s'ensuivra une explosion par suite de laquelle les parties de la chaudière pourront être projetées à des distances considérables, comme cela est arrivé à Avrillé, près d'Angers, le 27 avril 1839.

La formation de dépôts terreux adhérents aux chaudières est aussi une cause d'explosion ; on conçoit en effet que lorsque ces dépôts ont acquis une certaine épaisseur, la tôle qu'ils recouvrent peut rougir, et par suite faire fendiller ces dépôts et mettre en contact avec l'eau, des parois métalliques portées au rouge.

Enfin, on conçoit qu'une surcharge des soupapes de sûreté, ou une mauvaise construction des chaudières puisse donner également lieu à des explosions. Il est rare cependant, dans ce dernier cas, que l'épreuve à la pompe de pression exigée par les règlements ne fasse pas découvrir les vices de construction.

Nous terminerons enfin cet article par quelques règles *générales que l'on doit suivre dans l'installation des chaudières à vapeur et la conduite du feu.*

On doit toujours disposer les chaudières eu égard au local dont on dispose, de manière à ce qu'elles offrent le moins d'inconvénients possible pour le voisinage. Comme en cas d'explosion, c'est ordinairement dans la direction de l'axe de la chaudière que les fragments sont lancés avec le plus de violence par l'action de la vapeur, on doit, autant que faire se peut, disposer cet axe parallèlement aux murs des habitations ou à la voie publique.

La hauteur minimum des cheminées de chaudières à vapeur est déterminée dans les villes, d'après les localités, de manière à atténuer autant que possible les inconvénients de la fumée pour le voisinage. Toutes choses égales d'ailleurs, il vaut mieux augmenter la section des cheminées que leur hauteur, tant sous le rapport économique que sous celui du tirage. Les cheminées en tôle, quoique beaucoup moins coûteuses à établir que celles en briques, s'usent très rapidement et sont quelquefois emportées par les coups de vent ; en définitive, leur emploi n'est pas à recommander.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

On donne ordinairement aux cheminées une section égale à la somme des vides qui existent entre les barreaux de la grille, et qui forment environ le tiers de la surface totale de celle-ci. La section totale de la cheminée est ordinairement 1/25 à 1/30 et la surface totale de la grille 1/8 à 1/10 de la surface de chauffe de la chaudière.

Lorsqu'au lieu de houille grasse pour alimenter le feu, on emploie des houilles sèches, de l'anthracite, de la tourbe ou du bois, on augmente l'épaisseur de la couche de combustible chargé sur la grille, et on place celle-ci à une plus grande distance, en contre-bas de la chaudière ; on diminue en même temps de 1/3 l'espacement des barreaux.

Lors de la mise en feu, le chauffeur commencera par ouvrir le registre de la cheminée ; il ouvrira ensuite les portes du foyer, tisera, découvrira le feu, et chargera du combustible frais sur la grille. Le feu doit être conduit d'une manière égale, afin d'éviter une augmentation de chaleur trop brusque, ou un refroidissement trop rapide. Dans l'un et l'autre cas, les parties de la chaudière exposées à l'action du feu éprouveraient des dilatations inégales, qui pourraient occasionner des déchirures ou des fuites d'eau entre les feuilles de tôle assemblées par des rivets. La mise en feu ne doit donc pas être poussée avec trop de rapidité, surtout quand le foyer a été tout à fait refroidi. Quand le feu est arrivé au degré d'activité convenable, on doit charger le combustible sur la grille à des intervalles réguliers et par quantités à peu près égales.

Si la chaudière, par suite d'une interruption momentanée du travail ou de toute autre cause, doit cesser de fournir de la vapeur, le chauffeur fermera d'abord le registre de la cheminée, et ouvrira immédiatement après les portes du foyer. Si l'interruption se prolonge, il devra, en outre, retirer le combustible de dessous la grille. Si, malgré ces précautions, la tension de la vapeur augmente au point de faire lever les soupapes de sûreté, il soulèvera un peu l'une d'elles, et la maintiendra dans cette position pour donner à la vapeur une libre issue, jusqu'à ce que le mercure soit descendu dans le manomètre, au-dessous du niveau où il se tient habituellement. Un chauffeur qui, dans ces circonstances, calerait ou surchargerait les soupapes pour les empêcher de s'ouvrir, exposerait la chaudière à une explosion, dont il en serait la première victime, comme on en a eu plusieurs exemples.

Lorsque l'heure approche où le jeu de la machine doit être définitivement suspendu, le chauffeur diminuera d'avance les charges de combustible, de façon à maintenir seulement la vapeur au degré de tension strictement nécessaire, et à atteindre la fin de la journée avec une petite quantité de combustible sur la grille. Au moment de la suspension du travail, il couvrira les derniers restes du combustible avec des cendres, fermera ensuite le registre de la cheminée et les portes du foyer, et ne quittera la chaudière qu'après s'être assuré que la pression de la vapeur amenée par le manomètre continue à diminuer.

Comme il est de la plus haute importance que le niveau de l'eau soit maintenu, dans la chaudière à une hauteur à peu près constante, et toujours supérieure aux conduits ou carneaux de la flamme et de la fumée, le chauffeur devra examiner très fréquemment les indicateurs du niveau de l'eau, s'assurer de leur bon état, et régler, d'après leurs indications, le jeu de l'appareil alimentaire. Un dérangement qui serait survenu dans cet appareil se manifestera aux yeux d'un chauffeur attentif, bien avant qu'il ait pu donner lieu à un accident. Ce dérangement reconnu, le chauffeur doit remettre l'appareil en ordre, en arrêtant, au besoin, le jeu de la

machine; en agissant autrement il mettrait la chaudière en danger. Si, malgré toutes les précautions ci-dessus, le chauffeur, trompé par des appareils indicateurs, qui seraient défectueux à son insu, venait à reconnaître que l'eau est descendue accidentellement dans la chaudière au-dessous du niveau supérieur des carneaux, il devrait immédiatement fermer le registre de la cheminée et ouvrir les portes du foyer, afin de ralentir l'activité de la combustion et faire tomber la flamme; il se garderait bien de soulever les soupapes de sûreté et maintiendrait les portes du foyer ouvertes, jusqu'à ce que le jeu de l'appareil alimentaire eût fait remonter l'eau dans la chaudière à son niveau habituel, tracé sur le parement extérieur du fourneau, et qui doit être au moins d'un décimètre au-dessus de la partie la plus élevée des carneaux, tubes ou conduits de la flamme et de la fumée. P. DEBETTE.

CHAUDRONNERIE. La chaudronnerie est l'art de confectionner les vases métalliques destinés au chauffage des corps, ou pour mieux dire on comprend sous le nom de chaudronnerie le travail de tous les métaux en feuilles, soit qu'il s'applique à la confection de vases divers dont a besoin la grande industrie ou l'économie domestique, soit à la confection d'une foule de produits que l'on fabrique avantageusement en employant des feuilles métalliques et surtout la tôle de fer. On peut diviser les procédés employés en trois classes :

1° Ceux où la forme est donnée par estampage au balancier et matrices successives. Ce sont ces procédés d'emboutissage qui servent exclusivement à la fabrication des ustensiles en FER BATTU (voyez ce mot), et dans nombre d'industries; nous en traitons dans divers articles (voyez notamment BANC A TIRER). Dans ce dernier article, le banc à repousser de M. Palmer qui y est décrit constitue essentiellement un mode d'emboutissage sans choc, mais sauf cette différence est de même nature que les procédés que nous rangeons dans cette division.

2° Ceux qui ont pour base le travail au marteau, à l'aide d'outils simples et peu nombreux, et où les pièces sont réunies par soudure. Telle est la chaudronnerie de cuivre qui sert à la confection de presque tous les ustensiles de cuisine. Nous l'appellerons la *petite chaudronnerie;*

3° Ceux qui ont pour cachet la réunion des pièces par rivets et qui s'appliquent surtout à la confection des chaudières à vapeur, fabriquées en général en forte tôle. Ils constituent les procédés de la *grosse chaudronnerie,*

PETITE CHAUDRONNERIE. Le cuivre rouge, qui est le plus souvent employé, est un métal très bon conducteur de la chaleur. Il est trop mou quand il n'a pas été écroui par un martelage, par un battage en froid sur une enclume; cette condition est remplie tout naturellement par le travail, puisque c'est en profitant de la malléabilité du cuivre qu'on lui donne par le martelage les formes voulues.

L'opération la plus difficile du chaudronnier, celle dans laquelle excellent quelques habiles ouvriers, est l'opération de la *retreinte* ou du *retreint*. Elle a pour but de façonner avec le marteau une plaque de cuivre, de manière à lui faire prendre une forme concave sans soudure. On *emboutit* d'abord la plaque en frappant au milieu, sur un tas, avec un marteau à tête ronde. Quand le métal a pris de la dureté, on le *recuit* en le faisant rougir au feu, puis on laisse refroidir. On réitère cette opération autant de fois qu'il est nécessaire. Lorsque la plaque a été suffisamment emboutie par ce travail, on pose la partie concave sur une bigorne ronde et l'on frappe en dehors, afin d'étendre le cuivre en ménageant toujours les bords.

Il faut éviter de laisser tomber le marteau plusieurs fois sur la même place; il vaut mieux, à chaque coup de marteau, faire tourner tant soit peu le vaisseau. En laissant tomber le marteau trop souvent à la même place, on risque de la voir bomber en travaillant la place suivante, parce que le cuivre sera devenu trop dur, aura perdu toute malléabilité. A chaque tour on doit obtenir une surface bien planée, bien unie, ce qui a lieu seulement quand tous les coups de marteau ont porté bien également; sinon, au second tour, cette surface se déformera. C'est le seul moyen d'éviter les plis, les déchirures du cuivre, qu'on s'efforce, quand il y a lieu, de cacher à l'aide de la soudure, ce qui ne donne jamais qu'une pièce défectueuse et sans valeur.

Bien que par la retreinte on puisse faire en cuivre rouge (ou en autres métaux malléables, car le procédé est le même pour la fabrication de bien des pièces d'ORFÉVRERIE) des pièces de formes assez compliquées, cependant il est plus simple et plus économique d'assembler diverses parties par soudure.

Pour l'opérer, on découpe les bords qu'on veut joindre en tenons et mortaises, avec le soin convenable pour qu'après avoir soudé ces bords l'épaisseur soit partout de même. Ensuite on joint les bords et on les lie pour les maintenir momentanément ensemble; on couvre les joints avec du borax mouillé et l'on dispose du côté intérieur les grains de soudure. On expose à un coup de feu, la soudure fond et coule dans les interstices. La pièce est alors aussi solide que si on l'avait retreinte. C'est en opérant comme nous venons de le dire qu'on rapporte un fond circulaire sur une partie cylindrique, opération qu'il faut répéter pour la fabrication de presque tous les vases culinaires.

Nous avons supposé dans ce qui précède qu'il s'agissait d'appliquer la soudure forte, qui permet de forger les pièces soudées comme si elles étaient d'un seul morceau. Cette soudure est ordinairement formée de huit parties de laiton et une partie de zinc. Voici comment on la prépare : on fait fondre le laiton dans un creuset et l'on y jette le zinc chauffé; on agite le mélange et on le verse sur un balai de bouleau qu'on tient au-dessus d'un vase d'eau. Cette soudure en grenaille est fusible et très malléable.

On peut augmenter la proportion de cuivre qui entre dans cette soudure; elle devient d'autant plus forte et moins fusible. On peut aller jusqu'à 16 parties de cuivre pour 1 partie de zinc.

Pour les soudures qui ne nécessitent pas une grande résistance on se contente de la soudure tendre, c'est-à-dire de la soudure ordinaire des plombiers, composée de plomb et d'étain, dont on fait varier les proportions en raison de l'ouvrage à exécuter. Les bords à réunir, préalablement décapés et étamés, sont réunis et la soudure appliquée très rapidement à l'aide d'un soudoir. Le travail est le même que celui des ferblantiers, qui réunissent les pièces grâce à la facile adhésion de la soudure avec l'étain qui recouvre la surface du ferblanc.

Nous ne dirons rien ici de la grosse chaudronnerie de cuivre, qui emploie des outils plus puissants que le marteau mû à la main; nous en traitons à la fin de l'article GROSSE CHAUDRONNERIE, qui va suivre. Nous ajouterons seulement un détail au sujet de la fabrication des tubes de locomotives, dont nous donnons plus loin la description. Elle se rapporte à la manière de disposer la soudure sur une longueur aussi grande que celle d'un tube de locomotive.

On prend une petite gouttière demi-ronde, de 15 millimètres de diamètre environ et de la longueur du tube à souder; on la remplit rase de soudure forte préalablement baignée dans de l'eau. Cela fait, on recouvre cette soudure d'une couche de borax en poudre, puis on introduit la gouttière dans le tube, de manière que son milieu corresponde à la ligne de réunion des bords.

Quand la gouttière est introduite on la retourne, et ce qu'elle contenait se dépose sur les faces à réunir, le borax en dessous et la soudure en dessus.

Il ne reste plus qu'à porter le tuyau dans un feu de forge et à le faire avancer progressivement à mesure que la soudure fond.

On fabrique depuis quelque temps avec assez de succès des tubes en cuivre jaune, non soudés, d'une seule pièce. Ces tubes, excellents quand le travail a été conduit avec assez de soin pour que le métal ne soit pas déchiré, se fabriquent directement avec des bancs-à-tirer très puissants, en partant d'une masse de laiton fondue d'une assez grande longueur et percée en son centre suivant le sens de la longueur.

Nous nous trouvons encore ramenés de la chaudronnerie à l'emboutissage, et en effet la chaudronnerie n'est en réalité, comme nous l'avons dit en commençant, que l'emploi du marteau pour utiliser la ductilité, la malléabilité des métaux.

On voit par ce qui précède que la simplicité des moyens de fabrication rend bien compte de ce fait que la petite chaudronnerie s'exerce dans de petits ateliers, où le plus souvent la vente au détail et la fabrication sont réunies dans les mêmes mains. Cela n'empêche pas le travail de l'artisan de pouvoir quelquefois être extrêmement remarquable ; ses procédés sont exactement ceux avec lesquels des artistes orfèvres ont exécuté des chefs-d'œuvre en *repoussé*. L.

GROSSE CHAUDRONNERIE. Passons maintenant à la grosse chaudronnerie, à celle qui traite de la fabrication de ces puissants appareils sans lesquels seraient impossibles les merveilleux développements de la grande industrie et la création des gigantesques appareils à vapeur, dont la puissance croît à mesure que les moyens de les produire se perfectionnent.

La grande chaudronnerie, celle dont nous avons à parler, s'exerce principalement sur le fer, le cuivre, le platine et le plomb : ces deux derniers métaux ne sont cependant pas employés d'une manière générale, l'un à cause de l'élévation de son prix, l'autre en raison de son peu de résistance. Les chaudières ou vases de platine ne servent que dans la préparation de certains produits chimiques ; la confection des chambres ou réservoirs de plomb employés dans des cas analogues ne constitue pas une industrie spéciale : c'est donc au sujet du platine, et aux divers articles relatifs aux préparations chimiques, que nous nous occuperons de la disposition et de la fabrication des grands récipients en platine ou en plomb.

Notre but est de traiter spécialement ici de la chaudronnerie de fer, ou en d'autres termes de l'emploi de la tôle principalement en ce qui est relatif à la construction des chaudières à vapeur ; nous parlerons ensuite de la chaudronnerie de cuivre.

La première condition à remplir pour faire de bons ouvrages en tôle, c'est d'employer des matières premières qui satisfassent le mieux possible aux usages auxquels on les destine. Il ne suffit cependant pas que la tôle soit de nature à résister aux efforts qu'elle aura à supporter dans l'objet fabriqué, qu'une chaudière à vapeur, par exemple, ne se déchire pas par l'action de la pression à laquelle elle sera soumise ; il faut, surtout et avant toutes choses, que la matière supporte sans altération toutes les opérations qu'elle a à subir pour être mise en œuvre.

Les tôles doivent se traiter facilement à chaud, et surtout ne pas être cassantes à froid ; il faut qu'elles soient à la fois tenaces et flexibles. — Les fers forts et durs conviennent, en général, pour les tôles fortes ou moyennes, tandis que les tôles minces réclament l'emploi des fers les plus doux. En France, ces dernières se font presque toujours en fers affinés au charbon de bois ; pour les autres, on emploie indifféremment des fers

puddlés ou affinés ; mais les seconds sont toujours préférés par les fabricants de chaudronnerie et se vendent à un prix plus élevé.

Les tôles minces et les tôles moyennes de petites dimensions se font généralement sans corroyage ; les grandes tôles et les tôles épaisses ne peuvent au contraire être fabriquées qu'en fer corroyé, c'est-à-dire qu'elles sont composées de plusieurs pièces affinées séparément et réunies par des soudures.

Les tôles, même celles qui sont composées de fer d'excellente qualité, puisent une grande partie de leurs défauts dans les imperfections de ce dernier mode de fabrication. Les tôles *mal soudées* se rencontrent très fréquemment dans le commerce, et c'est assurément l'un des vices qui nuisent le plus à leur emploi : non seulement elles ne présentent pas à l'usage toute la résistance que l'on est en droit d'attendre de leur épaisseur, mais elles supportent même fort mal les épreuves de leur mise en œuvre. Un fabricant de chaudronnerie doit donc s'attacher par dessus tout à avoir des tôles parfaitement soudées : la bonté de son travail, l'économie de sa fabrication et la belle apparence de ses produits dépendent en grande partie de l'existence de cette qualité dans les matières qu'il emploie.

Nous n'attachons pas une importance aussi grande à la distinction que l'on établit entre les *tôles puddlées* et celles en *fer affiné*. La différence de qualité qui existe entre ces deux genres de produits est cependant un fait que nous ne voulons pas nier ; mais s'il subsiste, la cause doit évidemment en être plutôt attribuée à l'imperfection des procédés de fabrication qu'à la supériorité de l'un des moyens d'affinage sur l'autre : cette supériorité pourrait certainement être contre-balancée par le traitement ultérieur du métal, et l'on doit reconnaître que l'industrie du fer fait chaque jour de grands progrès dans cette voie.

Les tôles sont livrées au commerce en feuilles rectangulaires de dimensions très variables, et fort souvent au-dessous des besoins des grandes constructions de chaudières, bateaux, etc. Le travail de la chaudronnerie pourrait être souvent simplifié si les forges livraient aux ateliers des produits mieux appropriés aux exigences de la construction : ce fait tient en grande partie à l'imperfection et à la faiblesse des appareils de fabrication employés dans les usines à fer : elles ont évidemment un progrès à faire sous ce rapport, et nous hésitons d'autant moins à leur en signaler l'urgence que nous avons la conviction qu'elles y trouveraient une nouvelle source de bénéfices.

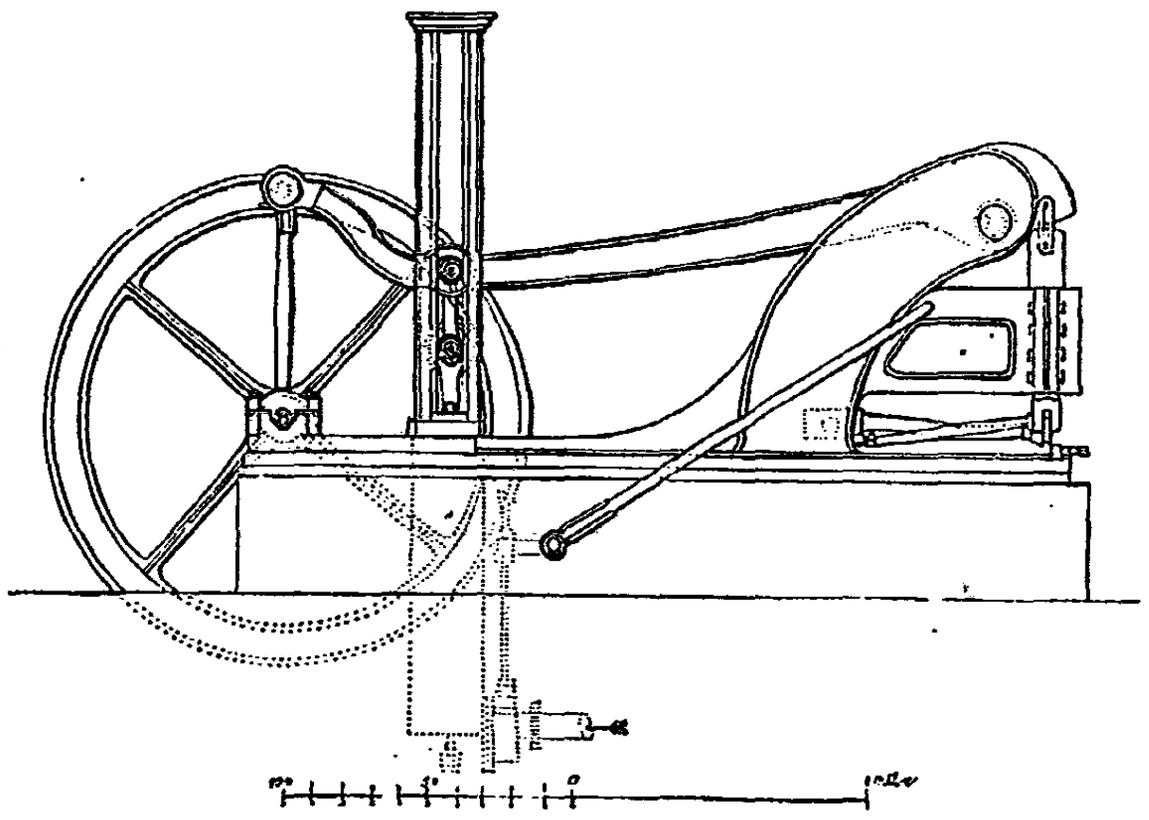
Les différentes observations que nous venons de présenter sur la qualité des tôles et sur leurs dimensions, tendent à prouver que cette fabrication n'est pas aujourd'hui très avancée : elle demande à être perfectionnée pour satisfaire d'une manière plus complète aux exigences si variées de la construction des machines.

Les ouvrages de chaudronnerie étant composés de feuilles de tôle assemblées entre elles par des rivets, ces feuilles doivent être coupées, percées, courbées et clouées de manière à prendre des dimensions et des formes en harmonie avec la position qu'on leur destine dans l'appareil dont elles font partie. Jusqu'à ces derniers temps, et avant le grand développement que la construction des chaudières à vapeur et des bateaux en fer a imprimé aux travaux de la chaudronnerie, ces opérations s'exécutaient avec des outils fort imparfaits, et tout à fait au-dessous des progrès de la mécanique. Il n'en est plus de même aujourd'hui ; grâce aux efforts de quelques fabricants éclairés, cette industrie se perfectionne chaque jour ; les outils mécaniques viennent peu à peu remplacer le travail manuel des ouvriers, et la perfection des produits est la conséquence immédiate de cette lente et difficile transformation des méthodes de travail.

L'art de la chaudronnerie n'était pas il y a quelques

CHAUDRONNERIE.

années beaucoup plus avancé en Angleterre qu'en France; depuis cette époque nous avons fait de grands progrès, et les outils de quelques-uns de nos fabricants nous paraissent même supérieurs à ceux de leurs concurrents anglais : M. *Lemaître*, fabricant de chaudières à la Chapelle-Saint-Denis, auquel nous devons la communication des différents outils dont nous allons donner la description, et auquel nous sommes heureux de pouvoir témoigner ici toute notre gratitude pour l'extrême obligeance avec laquelle il nous a accueilli, est un de ceux qui ont pris le plus à cœur la substitution du travail mécanique au travail manuel, et la bonté de ses produits, est une preuve évidente de la perfection des appareils qu'il a imaginés, et de la commodité de leur emploi. Tous les outils de M. Lemaître sont basés sur le principe de l'*emploi direct de la pression de la vapeur*. Ce principe que M. Cavé a le premier appliqué à la mise en mouvement des machines à percer et à cisailler, présente de grands avantages dans tous les outils à travail intermittent, surtout lorsque les pièces soumises à leur action sont difficiles à manier, et doivent lui être présentées dans certaines positions qui varient à chaque instant suivant la nature du travail. Dans une machine à percer, par exemple, il est évident que l'outil ne doit agir que lorsque le poinçon se trouve parfaitement au-dessus du point marqué sur la tôle; il faut donc que l'ouvrier ait le temps de placer convenablement sa pièce : c'est ce qui a lieu avec un appareil à action directe, tandis qu'avec un mouvement continu, il lui serait souvent difficile de faire arriver la tôle sous le poinçon, juste au moment où le coup va être donné.



434.

L'emploi de l'action directe de la vapeur reçoit d'ailleurs chaque jour de nouvelles applications, et celle qui en a été faite par M. Bourdon du Creuzot, au soulèvement des marteaux, est une nouvelle preuve des bons effets que l'on peut en obtenir.

L'ordre généralement suivi par le fabricant de chaudronnerie dans la série de ses opérations est le suivant :

1° Faire le tracé de l'appareil qu'il veut construire, et déterminer la véritable grandeur de toutes les pièces qui doivent y figurer;

2°. Découper ses feuilles d'après les épreuves ou les patrons qu'il a établis;

3° Percer ces mêmes feuilles suivant les indications tracées sur la pièce.

4° Donner aux feuilles la forme qu'elles doivent affecter dans l'appareil : dans certains cas, le cintrage s'exécute avant le percement des traces de rivets;

5° Assembler les différentes feuilles et les clouer avec les rivets préparés à l'avance;

6° Enfin, garnir l'appareil de tous ses accessoires, en fonte, fer ou cuivre; le soumettre aux épreuves de la réception; vernir les tôles, etc.

Nous n'avons point à entrer ici dans le détail du *tracé des épures* : ce genre de travail s'exécute sur un plancher convenablement disposé et ne présente de difficultés qu'en ce qui concerne l'arrangement des feuilles de tôle; il faut chercher à les disposer avec symétrie, tâcher d'avoir le moindre déchet possible, placer convenablement les lignes de rivets, et s'attacher aussi à éviter la multiplicité des modèles ou patrons. Il est impossible d'indiquer à cet égard une méthode générale; la manière de procéder dépend non seulement de la forme de l'appareil, mais encore et surtout de la dimension des tôles dont on dispose, de la nature des outils que l'on emploie; en un mot le talent de l'opérateur consiste à rendre le travail aussi facile et aussi économique que possible, et chacun suit à cet égard les inspirations de son intelligence ou les données de sa propre expérience.

Quand les patrons sont déterminés, on en reporte le tracé sur les feuilles, qu'on livre alors aux *cisailleurs* chargés de les découper. Nous donnons ici (fig. 434) le croquis de la cisaille employée pour cet objet.

Cette machine se compose comme il suit :

1° Une semelle en fonte portant un support recourbé à l'avant, et présentant en ce point la forme d'une fourchette traversée par un axe; à l'avant de la semelle se trouve la lame fixe de la cisaille; à l'arrière est un cylindre à vapeur;

2° Un levier engagé par son extrémité antérieure entre les deux branches du support est susceptible de se mouvoir autour de l'axe qui le traverse et le maintient; à la tête du levier se rattache, par deux chapes, une forte tige en fer se mouvant verticalement entre des guides fixés au bâti et portant à son extrémité inférieure la seconde lame de la cisaille. Lorsque la tête du levier descend, elle appuie sur la tige, et fait descendre la lame qui tranche la pièce de tôle qu'on lui présente.

Le levier est rattaché à sa partie postérieure, d'abord à la tige du piston du cylindre à vapeur, puis à une manivelle forgée avec un arbre horizontal portant un petit volant et se mouvant sur des paliers venus à la semelle du bâti;

3° Le cylindre à vapeur est à simple effet; il est facile de voir qu'en introduisant la vapeur sous le piston, ce dernier se soulève, enlève la partie postérieure du levier, fait baisser la tête et descendre la lame supérieure de la cisaille; la manivelle ne sert ici qu'à limiter la course du piston;

4° L'accessoire indispensable de cet appareil est une

CHAUDRONNERIE.

table en fonte située à la hauteur du bâti sur laquelle on fixe les feuilles à rogner. Cette table est portée sur un cadre à glissière et peut, au moyen d'une crémaillère qui engrène avec un pignon dont l'arbre est muni d'une petite manivelle, se mouvoir horizontalement et parallèlement aux lames de la cisaille. C'est par ce moyen que l'on présente successivement à l'action de l'outil les parties qui doivent être tranchées.

Quand les feuilles doivent être coupées circulairement, on fixe la feuille sur la table par une extrémité seulement, et on rattache l'autre bord à un système de petits leviers dont l'action combinée avec le mouvement rectiligne de la table, tend à faire décrire à la pièce un mouvement circulaire en harmonie avec la forme de la courbe, suivant laquelle elle doit être cisaillée.

Le mode d'attache de la lame supérieure avec la tige verticale présente, dans la figure ci-dessus, une disposition particulière, mais elle n'a pas donné les résultats satisfaisants que l'on en attendait, et elle a été abandonnée. La lame doit être simplement fixée avec la plus grande solidité possible à l'extrémité de la tige; c'est le seul moyen d'obtenir un travail parfaitement régulier.

Quand les feuilles sont découpées, on trace la place que doivent occuper les rivets; en général, les trous sont percés à un diamètre double de l'épaisseur de la tôle et espacés les uns des autres d'une quantité égale à trois fois leur diamètre. On laisse entre l'axe du trou et l'arête supérieure du chanfrein, que présente la feuille de tôle à son extrémité, une distance égale à une fois et demie l'épaisseur du rivet. Le chanfrein qu'on laisse sur l'extrémité visible de chaque feuille donne aux objets fabriqués une meilleure apparence. Il suffit, pour cisailler en chanfrein, de donner à la lame fixe la forme d'un plan incliné, et de présenter les tôles parallèlement à cette face.

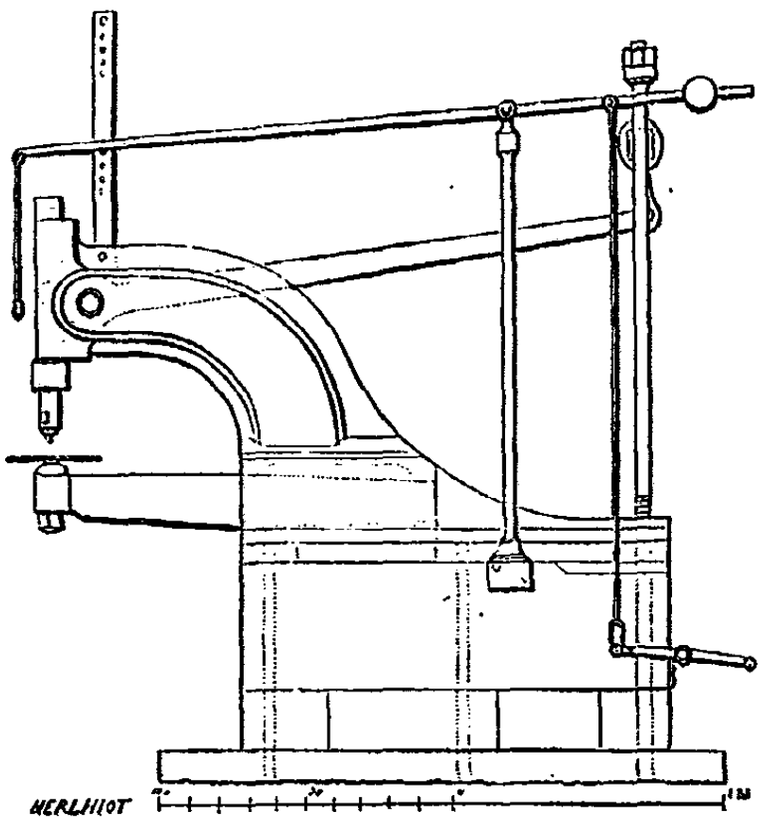
Les trous que l'on perce dans la tôle sont quelquefois tout à fait cylindriques, mais il vaut mieux leur donner une *forme conique*, de telle sorte que le rivet mis en place présente la forme de deux troncs de cône adossés par leur petite base, qui doit se trouver à la ligne de jonction des deux feuilles. Cette forme concourt, avec les deux têtes du rivet, à assurer le serrage des deux pièces, et permet au rivet de produire encore son effet, alors même que ces têtes auraient été enlevées.

Pour percer des trous légèrement coniques, il suffit d'ailleurs que la matrice, sur laquelle est placée la feuille, présente un diamètre un peu plus fort que le poinçon qui perce le trou. Le fer enlevé présente alors la forme d'un tronc de cône qui laisse dans la feuille un vide de même forme.

Les machines à percer sont disposées de la même manière que la cisaille dont nous avons donné la description. La lame inférieure est remplacée par une matrice, et la lame supérieure par un poinçon; seulement on se dispense de limiter la course du piston au moyen d'une manivelle, parce qu'elle est naturellement déterminée par la longueur du poinçon, dont l'embase supérieure vient buter contre les bords du trou quand ce dernier est percé.

Les feuilles de tôle sont d'ailleurs portées sur un chariot mobile, absolument comme pour le cisaillage.

D'après cette disposition, on conçoit que le peu de place qui existe entre l'axe du poinçon et le bâti de l'appareil ne permet de percer des trous que sur le bord des feuilles, et il se présente des cas dans lesquels il faut procéder différemment. L'outil dont nous donnons un croquis (fig. 435) a pour but de satisfaire à ces nécessités. La matrice fixée à l'extrémité d'une pièce rigide, est située à $0^m,65$ du bâti, de sorte que l'on peut engager la feuille de tôle de $0^m,65$ sous l'appareil, et percer des trous à cette distance du bord; ce but n'est cependant pas le motif principal de la forme que l'on a adoptée; elle l'a surtout été en vue de percer des tôles déjà cintrées que l'on présente à la machine suivant l'axe de leur courbure.



435.

Supposons, par exemple, qu'après avoir percé les trous de rivets sur l'un des bords d'une feuille, cette feuille soit pliée pour en faire rejoindre les deux extrémités, dont l'une n'est pas encore percée: on engagera ce cylindre sur le porte-matrice et on pourra en donnant une longueur suffisante au poinçon, percer les trous du bord intérieur à travers ceux du bord extérieur.

La disposition de l'outil est évidemment d'une grande utilité, car, en pliant la tôle pour en faire un cylindre après avoir percé les deux lignes de trous parallèles, il est difficile, avec quelque soin que l'on opère, que tous ces trous se retrouvent après le pliage parfaitement au droit les uns des autres; il faut donc les ramener par force au fur et à mesure que l'on opère la rivure, au moyen d'un mandrin conique en acier que l'on enfonce à coups de marteau dans les deux trous qui doivent se correspondre, et qui, en étirant la tôle d'un côté, en la comprimant de l'autre, finit par opérer la correspondance des deux ouvertures.

Cette manière d'opérer, qui d'ailleurs est la plus générale, a évidemment des inconvénients que tout le monde peut facilement apprécier, et il est préférable, sous tous les rapports, de percer la seconde ligne de trous après le pliage et à travers les trous existants. De cette manière, leur parfaite coïncidence est toute naturelle; et l'importante opération de la rivure ne s'en opère qu'avec plus de facilité et de précision.

La longueur du porte-matrice n'est pas suffisante dans cette machine pour satisfaire à tous les cas de la pratique, puisqu'il n'a que $0^m,65$; mais on trouvera dans la machine à river, dont nous allons bientôt parler, une disposition supplémentaire qui permet de la faire fonctionner comme machine à percer, pouvant opérer sur des pièces de plus de $2^m,50$ de longueur.

Le *cintrage des feuilles de tôle*, qui ne sont pas employées droites, dépend tout à fait de la nature des courbes qu'elles doivent affecter. Quand elles sont irrégulières, on coule des formes en fonte sur lesquelles on applique la tôle à chaud en la battant au marteau.

C'est par un procédé analogue que l'on emboutit les

CHAUDRONNERIE.

calottes sphériques qui terminent les chaudières cylindriques ; cette opération demande à être exécutée avec beaucoup de précaution, parce qu'elle a presque toujours pour résultat de produire des pièces d'inégale épaisseur, attendu que la matière se refoule du centre à la circonférence. Il existe des *machines à emboutir*, mais en général elles sont peu employées, et ce travail s'exécute presque toujours à la main. Les machines de ce genre, que nous avons vues en Angleterre, se composent :

1° D'une matrice concave en fonte, fixée entre deux montants en fonte, reliés à leur partie supérieure par une traverse horizontale de même nature.

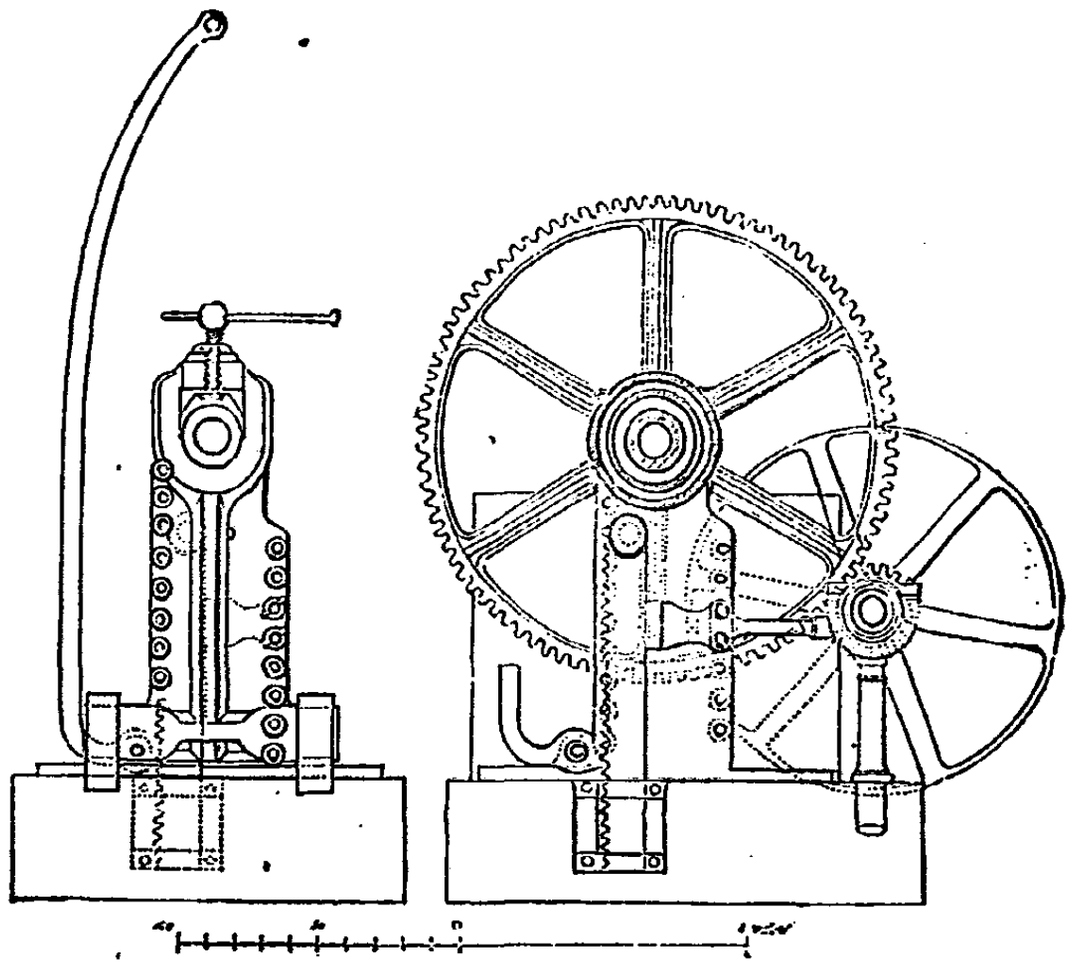
2° La traverse supérieure, ou chapeau, est traversée par une forte vis en fer portant à son extrémité inférieure un mandrin en fonte ou en fer d'une forme convexe semblable à celle de la matrice.

Cette vis pouvant être mise en mouvement au moyen d'une machine, on présente la feuille de tôle convenablement chauffée entre la matrice et le mandrin, on fait descendre ce dernier, et la tôle est obligée de se courber suivant la forme affectée par la matrice.

Ces mêmes machines servent également à donner aux pièces de tôle toutes les formes réclamées par les besoins de la construction ; pour cintrer des tôles à chaudières cylindriques, par exemple, on conçoit qu'il suffit de donner à la matrice la forme d'un demi-cylindre creux, tandis que le mandrin est disposé de manière à s'y emboîter exactement. Au lieu de courber les tôles dans des formes concaves, il est préférable, suivant beaucoup de praticiens, de les plier sur des formes convexes, ou en d'autres termes de les *rétreindre ;* en opérant ainsi, on peut conserver à la feuille une épaisseur uniforme sur tous les points, et on altère beaucoup moins la texture du métal. Ce procédé est d'ailleurs très fréquemment employé dans la chaudronnerie.

Dans toutes ces opérations, il est indispensable que la tôle soit convenablement chauffée avant d'être soumise à l'action mécanique qui doit modifier sa forme ; ce réchauffage se pratique dans des espèces de fours dormants chauffés à la houille, et doit être d'autant plus énergique que l'on opère sur des tôles plus épaisses ou de moindre qualité ; les tôles très douces peuvent en effet se travailler à un faible degré de chaleur, tandis que les autres ne peuvent être traitées qu'au rouge cerise, sous peine de les voir se gercer et se fendre, ce qui les met hors d'emploi.

Nous donnons ici (fig. 436 et 437) le croquis de la *machine à cintrer*, employée chez M. Lemaître ; elle fonctionne parfaitement bien ; les tôles que l'on soumet à son action sont chauffées au four, quand elles sont épaisses ; lorsqu'elles sont minces, on les échauffe légèrement dans une boîte en fonte où l'on fait arriver un jet de vapeur.



436.

437.

Cette machine se compose comme il suit :

1° Deux bâtis en fonte portant des paliers dans lesquels se meuvent les tourillons du cylindre, sur lequel doivent s'enrouler les feuilles de tôle. L'un de ces bâtis sert en même temps de point d'appui aux engrenages qui communiquent le mouvement à l'appareil.

2° Un cylindre en fonte un peu plus long que les feuilles à courber, et d'un diamètre égal à celui du cercle suivant lequel elles doivent être pliées.

3° Une barre de fer rectangulaire placée sous le cylindre, et rattachée à ses extrémités par deux chapes qui la rendent solidaire de la première pièce. C'est entre cette barre et le cylindre que l'on engage les feuilles, et qu'on les fixe solidement au moyen des chapes à coins et à vis que nous venons de mentionner.

4° Un autre cylindre en fonte parallèle au premier est soutenu un peu à l'arrière, au moyen de deux crémaillères verticales situées près des bâtis.

Ces crémaillères sont susceptibles de se mouvoir verticalement au moyen d'un levier denté qui se manœuvre à la main : cette disposition sert à rapprocher ou à écarter à volonté le cylindre inférieur du cylindre mobile dans les différentes périodes de l'opération ; voici d'ailleurs comment on procède.

La feuille de tôle est enlevée par son milieu au moyen d'une potence, et le bord en est engagé entre le cylindre plieur et la barre de fer inférieure, en ayant soin de le placer bien parallèlement à l'axe de la machine. On serre alors les chapes avec force, et on fixe solidement la feuille de tôle entre le cylindre et la barre. Au moyen des leviers dentés qui agissent sur les supports du rouleau, on relève ce dernier de manière à l'appuyer fortement sous la feuille pour le forcer à se coller contre le cylindre. On fixe les leviers pour qu'ils ne se dérangent plus, et on donne le mouvement à la machine : la tôle, entraînée par le mouvement du cylindre et constamment serrée contre sa circonférence par l'action du rouleau, s'applique parfaitement contre sa surface, en prend exactement la forme et la conserve.

Quand l'autre bord de la feuille, par suite du mouvement du cylindre, a échappé le rouleau, on arrête la machine, on baisse le rouleau, on desserre les chapes et la barre qu'elles maintiennent ; puis on en-

lève la pièce et l'on procède à une nouvelle opération.

On voit qu'avec cette machine, la tôle prend exactement la forme du cylindre sur lequel elle s'applique, et que par conséquent il faut changer ce cylindre suivant la courbure que l'on veut donner aux feuilles. Il existe d'autres machines à cintrer composées de trois cylindres parallèles et disposés de telle sorte, qu'en réglant convenablement leur écartement respectif, on peut obtenir des courbures de rayons variés, mais l'expérience a prouvé que le résultat de leur travail n'est jamais aussi bon que celui de l'appareil que nous avons décrit. En effet, c'est toujours par tâtonnements que l'on règle l'écartement relatif des trois cylindres, et il est fort rare que l'on arrive à produire exactement le diamètre voulu ; toutefois, et entre les mains d'ouvriers qui s'en servent continuellement, ces machines peuvent encore donner de bons produits, et on les emploie assez fréquemment ; mais il est certain que leur action ne peut jamais être aussi sûre et aussi régulière que celle qui résulte de l'emploi d'un cylindre d'une courbure précisément égale à celle que l'on veut donner à la tôle.

Les différentes opérations dont nous venons de nous occuper sont celles qui précèdent l'*assemblage des tôles* entre elles, ou avec d'autres pièces de fonte ou de fer. Ces pièces supplémentaires sont employées dans tous les cas où il serait trop difficile de donner à la tôle elle-même les formes auxquelles on est obligé de se conformer ; jamais, par exemple, on ne coude les tôles à angle droit, parce qu'elles perdraient de leur solidité ; les feuilles sont assemblées, dans ce cas, sur des fers d'angles ou *fers à cornières*, que l'on fabrique spécialement pour cet objet dans les forges à laminoirs.

De même, quand il s'agit de donner de la rigidité à de grandes surfaces, on assemble de distance en distance les feuilles de tôle sur des fers dont la section présente la forme d'un T, ou sur *deux fers à cornières* accolés sur l'une de leurs faces, ce qui produit le même effet.

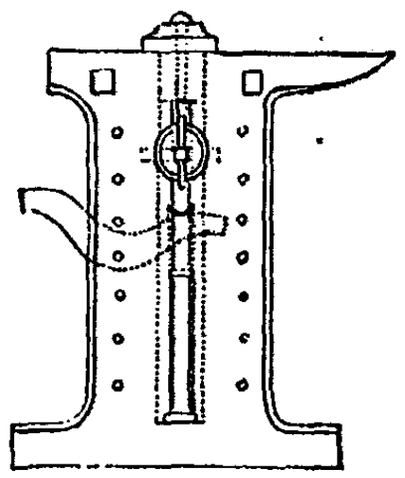
Tous les assemblages de chaudronnerie s'exécutent, comme nous l'avons déjà dit, au moyen de rivets ou clous à deux têtes posés à chaud, et dont le refroidissement opère sur les pièces à réunir un serrage excessivement énergique. Les *rivets* doivent être faits en fer doux et nerveux se travaillant bien à chaud et non cassant à froid : ils se fabriquent comme les clous, mais on emploie avec avantage le petit appareil suivant :

Cet appareil (fig. 438, 439, 440) se compose d'une masse en fonte de $0^m,60$ à $0^m,70$ de hauteur, évidé dans le milieu et présentant à sa partie supérieure la forme d'une enclume ordinaire, tandis que l'extrémité inférieure se termine par un empâtement qui repose sur une chabotte en bois. Le vide ménagé au milieu de la masse est occupé : 1° par la clouière dans laquelle on engage la tringle en fer qui forme le rivet ; 2° par une tige en fer appuyée par sa base sur le socle de l'enclume, et portant à son extrémité supérieure une douille au fond de laquelle vient s'appuyer le bout du rivet ; 3° par un levier qui prend son point d'appui sur l'enclume même, et dont une extrémité est engagée dans une fourchette disposée sur le milieu de la tringle.

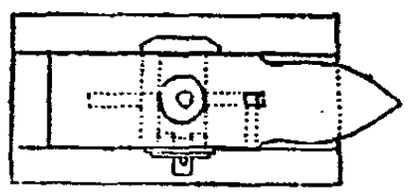
On voit facilement qu'après avoir forgé la tête du rivet, il suffit d'appuyer sur le levier pour soulever la tringle, et par conséquent pour faire sortir le rivet de la clouière : cette disposition accélère beaucoup le travail.

On change la clouière et la tringle à douille suivant le diamètre et la longueur des rivets que l'on fabrique : cet outil convient également au forgeage des boulons de diverses longueurs ; il suffit d'avoir une douille d'une longueur suffisante, les trous ménagés sur les deux

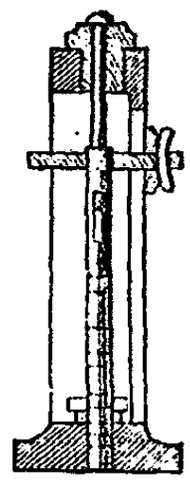
CHAUDRONNERIE.



438.



439.



440.

faces de l'enclume permettant de placer le levier à la hauteur voulue par la longueur du boulon.

La disposition de cet appareil rend la fabrication des rivets très régulière et très rapide ; cependant on peut aussi les faire par un *procédé mécanique*, et nous croyons devoir donner à la page suivante (figure 441) le croquis de la machine que M. Lemaître emploie pour cet objet.

Cette machine est disposée dans le genre des machines à percer et fonctionne de la même manière. Sur le bâti de la machine on a disposé une pièce de fonte circulaire, mobile autour de son axe et portant à sa circonférence une série de matrices que l'on peut faire passer successivement sous la bouterolle engagée dans la partie mobile de l'appareil : cette auge en fonte est remplie d'eau afin qu'elle ne s'échauffe pas trop vite.

Le jeu de cette machine est facile à concevoir : après avoir placé le rivet dont on veut faire la tête dans une des matrices, on l'amène sous l'outil que l'on fait agir immédiatement et qui d'un seul coup forme la tête du rivet : pendant ce temps on a placé d'autres rivets dans les matrices et on les amène successivement sous l'outil, tandis qu'au moyen du levier disposé sous le bâti, les rivets déjà terminés sortent immédiatement de leur forme.

Cet appareil peut, comme on le voit, fonctionner avec une grande rapidité, et donner des produits d'une forme parfaitement régulière.

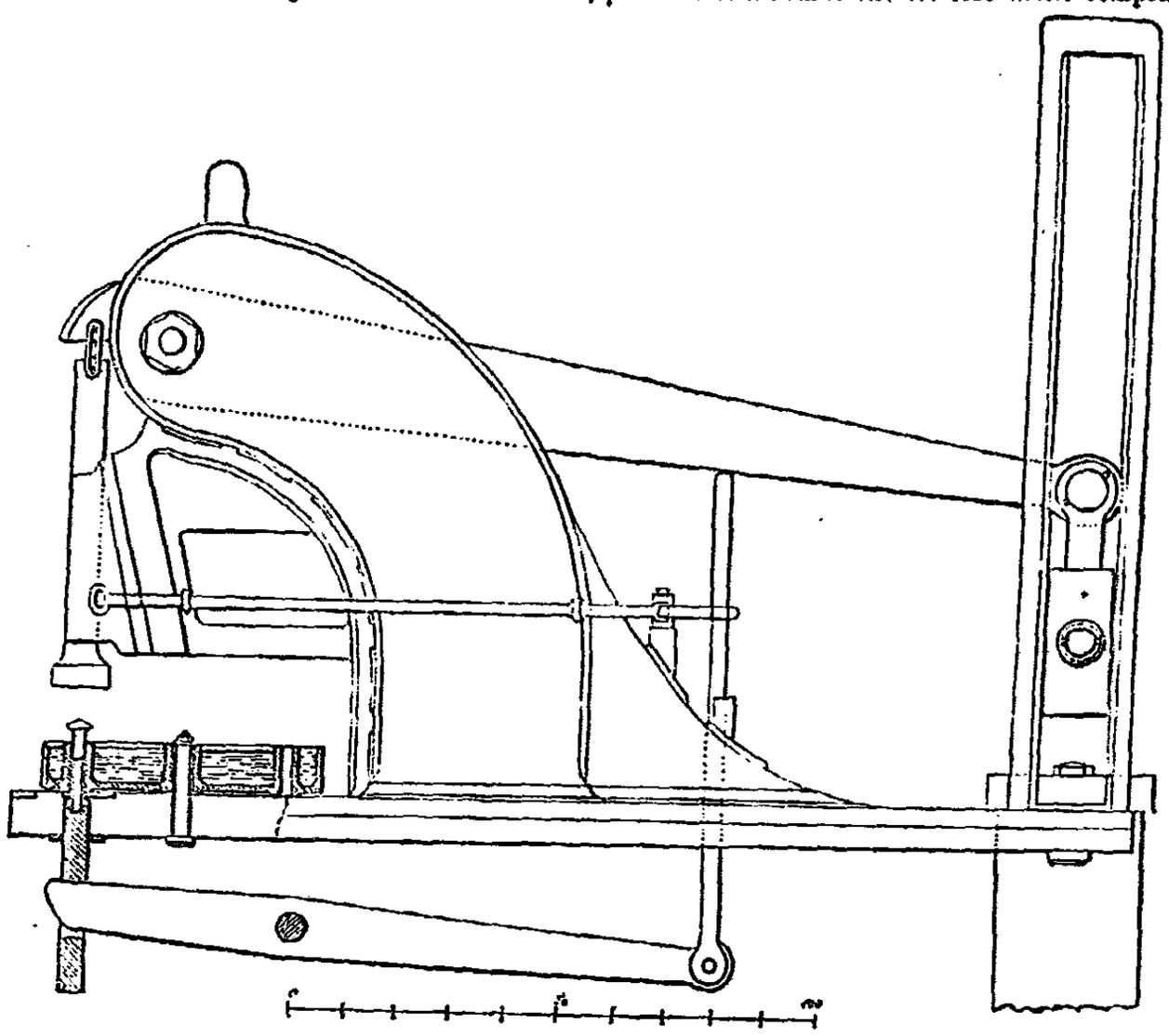
Les différentes opérations que nous venons de mentionner, telles que le cisaillage et le cintrage des pièces, le percement des trous et la fabrication des rivets exercent évidemment une grande influence sur le résultat définitif du travail ; mais l'assemblage des pièces et la pose des rivets est assurément celle qui exige le plus de soin et qui demande à être exécutée avec le plus de perfection, puisque c'est de là que dépend essentiellement la solidité et la beauté des ouvrages. Autrefois, et aujourd'hui encore dans un grand nombre d'ateliers, la *rivure des tôles* se fait à bras d'homme, mais on a réussi à faire des machines qui exécutent ce travail avec beaucoup de célérité et avec un grand avantage sur l'ancienne méthode. Nous donnons à la page suivante (figure 442) le croquis d'une de ces machines.

Cette machine fonctionne comme tous les appareils employés par M. Lemaître par l'action directe de la vapeur, et ce système déjà si heureusement imaginé pour les cisailles et les machines à percer, convient mieux

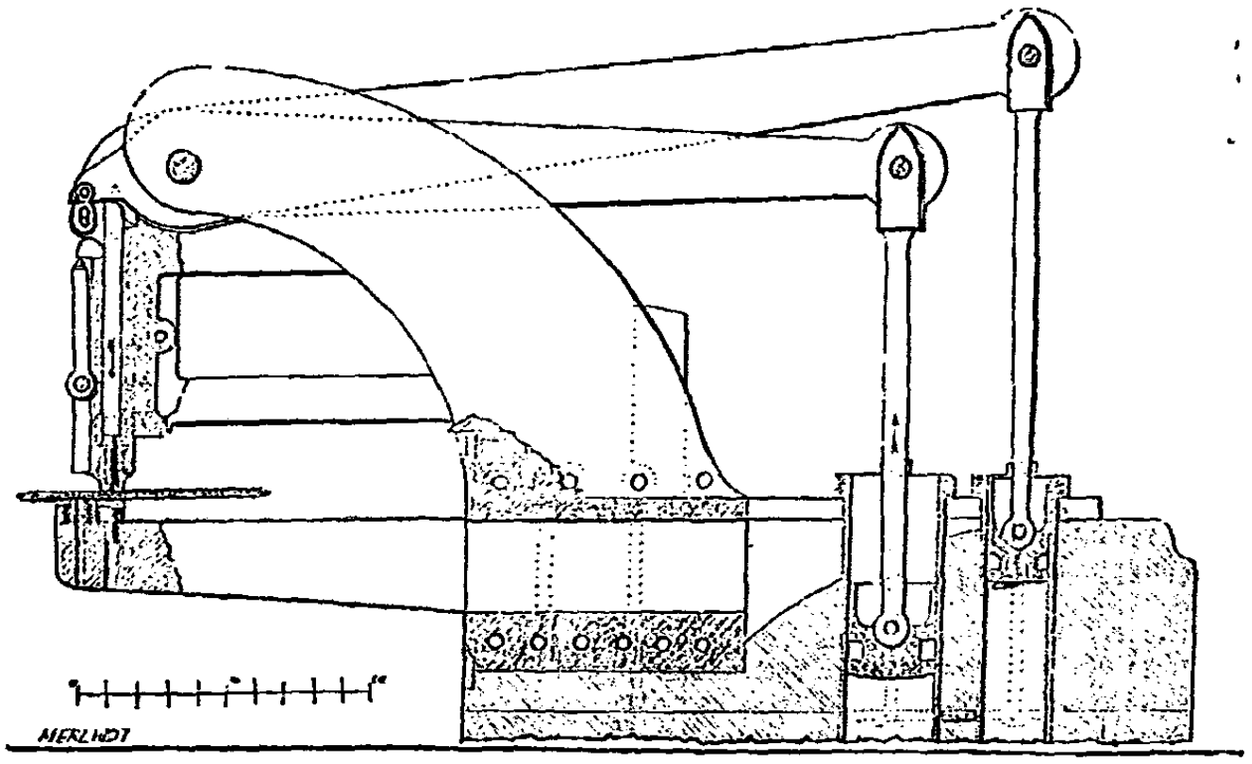
encore au rivage, parce que cette dernière opération doit être exécutée avec la plus entière perfection. Il faut que le rivet ne soit frappé qu'au moment où les pièces, souvent lourdes et embarrassantes que l'on a à manier, se trouvent dans une situation parfaitement convenable,

CHAUDRONNERIE.

La grande différence qui distingue la machine de M. Lemaître de toutes celles que nous avons eu l'occasion d'examiner, provient de sa double action qui consiste à ne faire la tête du rivet, que lorsque déjà les deux feuilles de tôle à réunir ont été fortement comprimées l'une



441



442.

et ce n'est qu'avec la plus grande difficulté que l'on obtiendrait ce résultat si l'on employait des appareils fonctionnant d'une manière régulière et continue, dans lesquels l'outil serait poussé par une manivelle ou un excentrique fixé sur un arbre de rotation

contre l'autre. Il est évident, en effet, que le rivet sera d'autant mieux appliqué que les tôles seront mieux serrées l'une contre l'autre, et leur serrage direct et préalable est bien plus énergique que celui qui se fait indirectement par la tête du rivet : l'expérience a d'ailleurs

parfaitement confirmé les prévisions si rationnelles de M. Lemaître, et nous nous sommes assurés par nous-même que les rivets placés sans serrage préalable de la tôle rendaient moins de fer dans la tête que ceux que l'on appliquait en se servant de la double action de la machine. Le moindre volume de la tête du rivet, dans le premier cas, indique positivement que le corps du rivet conserve un peu plus de longueur et que par conséquent les deux tôles sont soumises à une juxta-position moins intime. Ce mode de rivure joint à la forme conique des trous, dont nous avons déjà parlé, produit un travail excellent, et dont on peut parfaitement juger en coupant les deux feuilles de tôle par le milieu du rivet: les trois pièces de métal (les deux feuilles et le rivet), s'appliquent si bien les unes contre les autres, que l'on ne saisit pas sans peine leurs lignes de séparation respectives.

Pour qu'on puisse comparer le mode d'opérer qu'il a adopté avec la fabrication ordinaire, nous décrirons l'ancienne machine de Fairbain toujours fort employée. Elle consiste essentiellement en une came ou excentrique, montée sur l'arbre mis en mouvement par un moteur de puissance suffisante; cette came soulève l'extrémité d'un fort levier qui vient appuyer sur l'extrémité du rivet, dont la tête appuie contre une borne inébranlable et vient l'y écraser. La pièce soutenue en l'air à l'aide d'un palan est mue à bras, pour venir présenter successivement les divers rivets à l'action du levier.

Disons aussi que, surtout pour la construction des ponts en tôle qui a donné lieu à des travaux de chaudronnerie d'une extrême importance, M. Gouin a inventé une machine à forets multiples, tournant par un même moteur, à peu près comme les bobines d'un banc à broches, pour accélérer le perçage, en effectuant une file de 20 ou 30 trous à la fois à l'aide d'outils coupants; ce qui ne fausse pas la tôle comme une opération de poinçonnage, et rend par suite la rivure bien plus résistante, l'application des surfaces bien plus complète.

La machine à river de M. Lemaître (fig. 442) se compose d'un bâti à supports courbes, dans la semelle duquel est solidement emmanché l'arbre en fer qui porte la bouterolle fixe sur laquelle se place la tête inférieure du rivet. La fourchette du support reçoit un clou qui sert d'axe de rotation à deux leviers distincts correspondant chacun à un cylindre à vapeur. L'un de ces leviers fait agir le mandrin qui serre les deux tôles, l'autre porte la bouterolle mobile qui fait ensuite la tête du rivet.

Lorsque la machine travaille comme machine à percer, on adapte au mandrin du premier levier un poinçon qui correspond à une matrice placée à l'extrémité de l'arbre en fer.

En supposant que l'on veuille river un corps de chaudière ou de bouilleur, on commence par l'emmancher sur l'arbre qui porte la bouterolle en le soutenant par son extrémité au moyen d'une grue ou d'un palan; un enfant apporte le rivet convenablement chauffé, l'introduit avec sa tenaille dans l'intérieur de la chaudière que l'on soulève un peu, de manière à pouvoir placer le rivet de dedans en dehors dans le trou qui lui est destiné, puis on donne un ou deux coups de vapeur pour le premier levier, pour serrer les tôles, et enfin on fait agir le levier qui porte la bouterolle pour faire la tête du rivet. Cette opération s'exécute avec une grande rapidité : deux hommes et un enfant qui chauffe et présente les rivets, suffisent au service de la machine.

D'après la disposition de cet appareil, il est clair que l'on ne peut pas y river des pièces d'une longueur plus grande que le double de celle de l'arbre qui porte la bouterolle fixe; que de plus, si ce sont des corps cylindriques que l'on assemble, il faut que leur diamètre soit assez grand pour que l'on puisse venir placer le rivet dans l'intérieur du cylindre : cette dernière nécessité limite évidemment l'emploi de cette machine. Pour assembler des cylindres d'une plus grande longueur et d'un faible diamètre, il faudrait : 1° que le support fût beaucoup plus long; 2° que le rivet se plaçât de dehors en dedans et que la machine exécutât la tête intérieure.

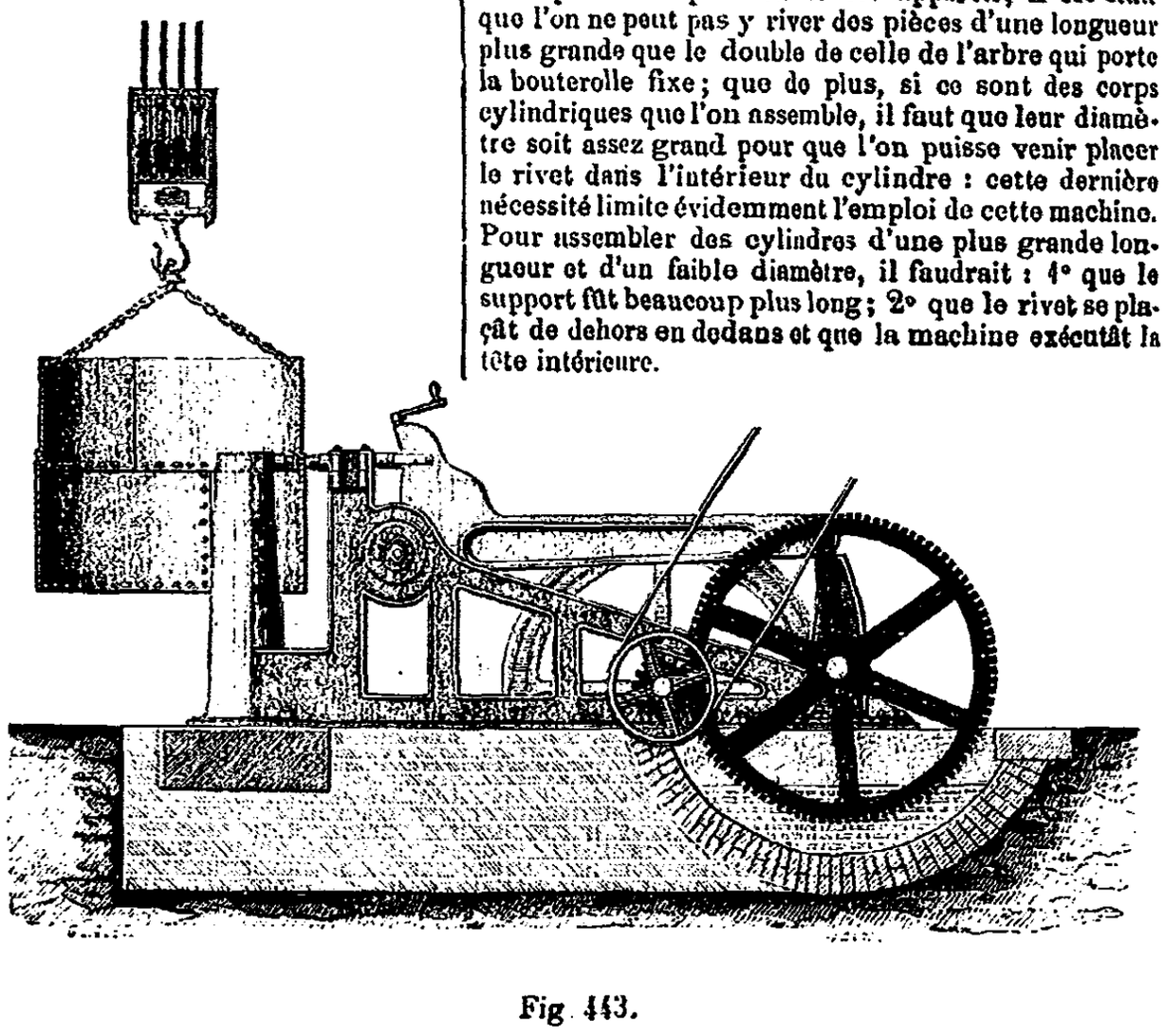


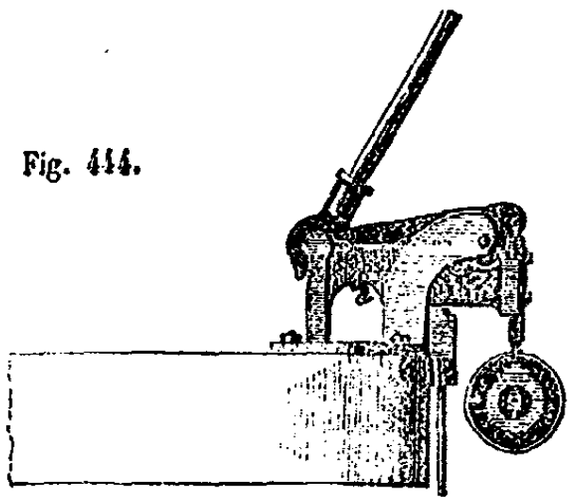
Fig. 443.

Ce problème présentait évidemment de grandes difficultés, mais il a été résolu avec un grand succès par l'habile mécanicien dont nous avons déjà parlé, et il est parvenu à river avec sa machine des tubes cylindriques de 0,25 à 0,30 de diamètre et de 7 à 8 mètres de long: nous allons essayer de donner une idée des ingénieuses dispositions qu'il a imaginées.

La pièce principale (*fig. 444, 444 bis, 444 ter*) est un tuyau conique en fonte fixé horizontalement par son extrémité la plus large sur un massif, et présentant une longueur d'environ 3m,60 à 4m,00 en porte à faux. Le tube est percé perpendiculairement à son axe vers le sommet du cône et reçoit en ce point une bouterolle en acier qui s'appuie sur deux coins placés dans l'intérieur du tube; l'un de ces coins fait suite à une tige en fer qui passe dans l'intérieur de la pièce et se termine, à l'autre extrémité (côté du massif), par une crémaillère qui engrène avec un levier denté. En relevant ou en abaissant le levier, on fait donc descendre ou

monter la bouterolle. Si l'on imagine maintenant qu'au-dessus de cette bouterolle, on ait disposé à l'extrémité d'une tige verticale une autre bouterolle dont l'axe correspond exactement à celui de la première, et qui

Fig. 444.



soit susceptible de se mouvoir suivant ce même axe, au moyen d'un levier convenablement disposé, on aura

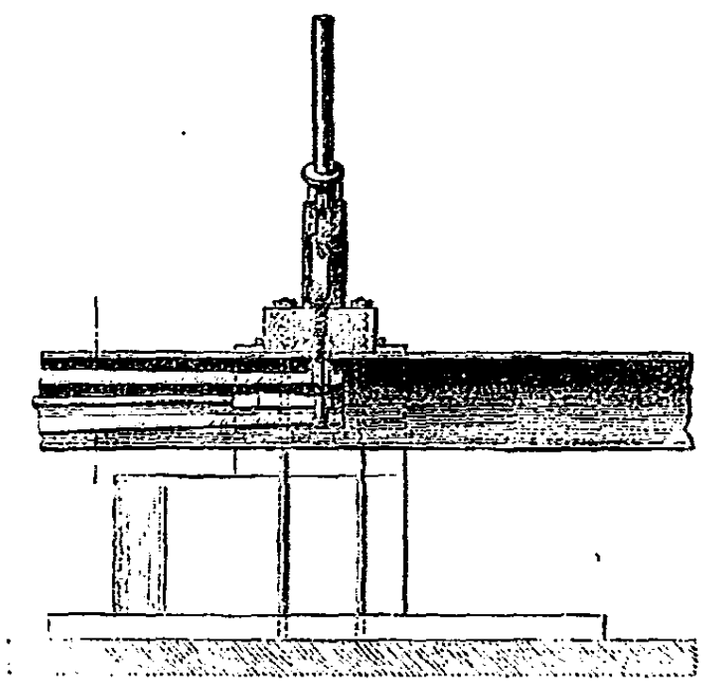


Fig. 444 bis.

une idée à peu près complète de l'ensemble de l'appareil. Quant à la manière de le faire fonctionner, elle

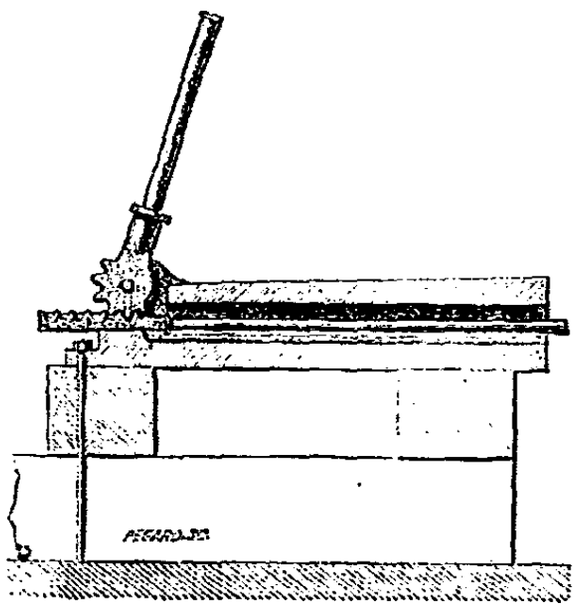


Fig. 444 ter.

est fort simple : on emmanche le tube à river sur le tuyau de fonte, en le tenant suspendu par une chaîne dont l'extrémité s'attache à un chariot mobile, et on amène le trou à remplir au droit de deux bouterolles ;

un enfant place le rivet de dehors en dedans, et l'on fait aussitôt agir la bouterolle supérieure sur la tête déjà faite, de sorte que l'extrémité inférieure du rivet pénètre dans le vide où doit se mouvoir la bouterolle inférieure. Celle-ci est à son tour subitement relevée par l'action du levier qui agit sur le coin qui la porte, et la tête intérieure du rivet se trouve immédiatement formée.

Au moyen de cet ingénieux appareil, qui fonctionne d'ailleurs avec une extrême régularité, on exécute dans le même temps et avec le même nombre d'ouvriers environ quatre fois autant de travail que par les procédés ordinaires.

On conçoit que ces différentes machines ne peuvent être employées que pour l'assemblage partiel des feuilles de tôle, et qu'un grand appareil ne peut pas être entièrement terminé de cette manière ; mais c'est déjà beaucoup que d'avoir pu diminuer de moitié, ou des trois quarts, le travail manuel, et de n'y recourir que pour l'assemblage définitif des différentes parties entre elles.

Pour river au marteau, le rivet est introduit dans le trou qu'il doit occuper par l'intérieur du corps de la chaudière, et maintenu dans cette position au moyen d'un levier en fer dont l'extrémité serre la tête intérieure du rivet, tandis que deux hommes placés en dehors forment à coups de marteau sa tête extérieure. Cette dernière opération se fait généralement avec des marteaux ordinaires que les deux riveurs font fonctionner avec la plus grande rapidité possible ; mais M. Lemaître exécute aujourd'hui toutes ses rivures à la bouterolle.

Le principal ouvrier commence seulement à former la tête du rivet en quelques coups, puis il y applique la bouterolle sur laquelle son frappeur frappe à coups de masse. L'opération se fait ainsi avec beaucoup de rapidité, et les têtes de rivet présentent une régularité de forme que l'on n'obtient que fort difficilement par l'ancienne méthode.

Travail du cuivre. Le travail du cuivre a pris dans ces dernières années un assez grand développement par suite des nombreux appareils que l'on exécute pour les sucreries indigènes ou exotiques ; mais son prix élevé réduira toujours ses usages aux cas où la tôle de fer ne peut pas lui être substituée.

La chaudronnerie de cuivre présente beaucoup moins de difficultés que celle de fer, parce que la ductilité de ce métal permet de le travailler sans peine à la température ordinaire. On conçoit d'ailleurs que tous les outils et appareils que nous avons décrits pour la tôle de fer s'appliquent parfaitement au traitement des feuilles de cuivre.

Le cuivre s'emploie généralement à l'état de *feuilles laminées* ; dans quelques cas seulement on se sert de *plaques coulées* que l'on traite ensuite au marteau pour resserrer la matière et lui donner du corps. Les fonds de chaudière sont travaillés au martinet dans les usines à cuivre, et seulement achevés dans les ateliers.

Toutes les pièces sont généralement travaillées au marteau à main, sur la bigorne ou le tas, et l'on conçoit facilement la lenteur de cette manière de procéder. MM. Cail et Cie, dont la chaudronnerie est exécutée avec une perfection qui ne laisse rien à désirer, ont adopté l'emploi d'un appareil fort simple pour substituer l'action mécanique au travail manuel dans ce genre d'opérations. Il consiste en un marteau-pilon à tête d'acier, soulevé par l'action d'une came placée sur un arbre qui reçoit son mouvement d'une machine à vapeur ; son poids est d'environ 60 à 90 kilogr., sa levée de 0m,24 à 0m,30 ; l'enclume est également en acier et présente une superficie de 60 à 80 centimètres carrés. C'est sous cet appareil, auquel on a donné le nom de *marteau-planeur*, que l'on traite aujourd'hui les fonds de

chaudières et toutes les feuilles dont on veut augmenter la ténacité par le martelage. On obtient par ce procédé aussi simple qu'économique des produits, qui, à épaisseur égale, présentent une solidité beaucoup plus grande que ceux qui résultaient de l'ancien travail.

Les *assemblages par soudures* ou *brasages*, sont beaucoup plus employés dans la chaudronnerie de cuivre que dans celle de fer; tous les tuyaux entre autres sont confectionnés par cette méthode. Pour préparer les tuyaux, on commence par découper des feuilles de cuivre d'une largeur égale à la circonférence développée du tuyau, puis on les chanfreine sur les bords qui doivent être réunis.

On emploie pour *chanfreiner* les feuilles de cuivre, un appareil dont le principal agent est une râpe circulaire de $0^m,20$ à $0^m,25$ de diamètre, faisant 300 à 400 tours par minute, à l'action de laquelle on soumet le bord des feuilles qui sont conduites avec un mouvement assez lent, également déterminé par la machine. Quand les bandes de cuivre sont chanfreinées, elles sont repliées sur elles-mêmes au moyen d'un mandrin en fer que l'on engage avec la bande dans une filière placée sur un BANC-A-TIRER. On obtient ainsi des diamètres fort exacts que l'on peut encore régulariser après la soudure par un autre passage à la filière.

L'outillage de la chaudronnerie de cuivre est beaucoup plus simple que celui de la chaudronnerie de fer, ce fait résulte, ainsi que nous l'avons déjà fait observer, de la grande facilité avec laquelle ce métal se laisse traiter. Quoi qu'il en soit, il est évident qu'un grand nombre d'opérations qui se font aujourd'hui à force d'adresse et d'habitude de la part des ouvriers pourraient être exécutées plus économiquement et avec plus de précision en employant des machines.

Nous terminerons cet article en présentant quelques indications sur l'outillage des ateliers de chaudronnerie.

Ces ateliers doivent comprendre :

1° Des forges maréchales pour la préparation des rivets et de toutes les pièces travaillées qui doivent entrer dans la confection des appareils; chaque forge doit être pourvue des outils relatifs à sa destination spéciale, enclumes, matrices, mandrins, etc., etc.;

2° Des machines à cisailler et à percer en grand nombre;

3° Une ou deux machines à cintrer avec un four à réchauffer les tôles;

4° Quelques petits tours, une machine à tarauder, plusieurs machines à percer la fonte et le fer.

Tous ces appareils peuvent être réunis dans le même atelier, en plaçant toutes les forges d'un côté et les machines de l'autre;

5° Si l'on travaillait aussi le cuivre, il faudrait ajouter à ces machines, un marteau-planeur, une machine à chanfreiner, un banc-à-tirer; enfin il faudrait réserver une place pour les opérations d'étamages, de soudures, brasages, etc.;

6° Les machines à river desservies par des grues et par un petit four à chauffer les rivets sont mieux placées dans les chantiers de montage que dans l'atelier proprement dit. Ce chantier doit être couvert, présenter beaucoup de place, et être pourvu de grandes grues pour le maniement des pièces, de petites forges mobiles pour le chauffage des rivets, etc., etc.

Nous nous sommes contentés d'indiquer ici les principaux outils, ceux qui occupent beaucoup de place ou qui sont mus par un agent mécanique; mais on emploie un grand nombre d'outils à main dans la description et l'énumération desquels nous n'avons pas dû nous engager.

Qu'il nous soit d'ailleurs permis de terminer cet article par une observation : c'est que la grande chaudronnerie a pris aujourd'hui un tel développement qu'il nous serait impossible d'en présenter une description complète sans entrer dans des détails qui ne sauraient trouver leur place dans un dictionnaire; nous croirons avoir rempli notre tâche si nous avons seulement réussi à donner à nos lecteurs une idée approchée des grands progrès qu'a faits depuis un petit nombre d'années l'intéressante industrie dont nous venons de parler.

A. BARRAULT.

CHAUFFAGE (*angl.* warming, *all.* heitzung). L'objet de cet article est le *chauffage domestique*, le chauffage des habitations particulières et des édifices publics : nous laissons les applications manufacturières de la chaleur à des articles spéciaux, CHAUDIÈRE A VAPEUR, ÉVAPORATION, SÉCHOIRS, etc., et aux industries qui emploient ces procédés.

Pendant des siècles, on brûla dans les pays chauds un combustible sans fumée dans des brasiers placés au milieu des salles, et dans les pays tempérés, du bois dans de vastes cheminées ouvertes. Ce chauffage fit cependant dans le nord des progrès remarquables par la construction des poêles, et plus tard, l'introduction de la houille en Angleterre et en Belgique, lui donna une impulsion nouvelle, mais c'est surtout depuis cinquante ans, que les travaux de Rumfort, Curaudeau, Désarnod, et depuis, de Tredgold, d'Arcet, Péclet, et d'un grand nombre d'ingénieurs français et anglais, lui ont donné le plus haut développement en y appliquant la méthode et les principes de la science.

Dans cette question, le but est simple : utiliser le plus complétement et le plus économiquement possible la chaleur dégagée, en brûlant les combustibles proprement dits, pour l'appliquer au chauffage des habitations.

Mais les applications particulières à chaque système de localités et de besoins, sont très multipliées, et les formes des appareils livrées à l'imagination des constructeurs, sont infinies.

Toutes pourtant se classent sous un certain nombre de types.

Nous ne pouvons pas mieux faire que d'adopter la classification de M. Péclet, auquel nous avons beaucoup emprunté pour cet article.

1° Chauffage direct par la combustion.
2° Chauffage de l'air des appartements par le rayonnement du combustible. — Cheminées.
3° Poêles.
4° Cheminées-poêles.
5° Calorifères à air chaud.
6° Chauffage de l'air par la vapeur.
7° Chauffage de l'air par l'eau chaude à basse pression.
8° Chauffage de l'air par l'eau chaude à haute pression.
9° Chauffage par l'eau et la vapeur combinées.
10° Chauffage des édifices publics.

Avant d'aborder ces questions, ce serait le lieu de poser les principes généraux du chauffage et d'en déduire des règles pour employer les principaux procédés dans leurs conditions les plus favorables, pour choisir ainsi le procédé qui convient à chaque circonstance; mais les principes pratiques seront donnés avec les applications, et la comparaison pratique des divers systèmes d'appareils se trouvera plus utilement placée après l'appréciation de leurs qualités et de leurs défauts.

I. — CHAUFFAGE DIRECT PAR LA COMBUSTION.

Ce procédé qui consiste à brûler un combustible dans un vase, ou sur une aire placée au milieu d'une salle, était seul employé par les anciens; il l'est encore en Espagne, en Italie, et dans l'Amérique du sud, où l'ont porté les Espagnols, et aussi par tous les peuples sauvages. Le gaz acide carbonique et l'oxyde de carbone, jetés au milieu d'une salle habitée, quand le combustible est sans fumée, comme le charbon de bois des brazeros espagnols, les huiles empyreumatiques et l'acide acétique déga-

gés de plus par le bois, sont désagréables et dangereux pour l'économie animale, et peuvent dans de certains cas occasionner la mort.

Ces accidents n'arrivent cependant jamais dans les pays chauds, où l'usage des brazeros est général : là, en effet, ils servent à chauffer légèrement de vastes salles pendant la moins bonne saison. Les croisées et fenêtres ne sont pour ainsi dire jamais fermées, et la quantité de charbon ainsi brûlée à feu découvert, est excessivement faible.

Quant aux huttes des sauvages, où le feu plus actif, qui sert à se chauffer et à cuire les aliments, se fait au milieu de la salle, et au dessous d'un trou percé au toit, il se produit là un courant ascendant qui force l'air à affluer de tous côtés de la circonférence au centre, par les portes et les fissures des murs en terre, de sorte que les individus qui sont assis sur la terre, ou couchés autour du feu, se trouvent enveloppés dans un courant d'air pur et garantis de l'acide carbonique.

L'emploi de la combustion directe pour se chauffer, serait bien plus dangereux dans les pays civilisés et froids ; là tout doit être disposé pour des appareils qui emportent au dehors la fumée et les gaz brûlés, car les portes et fenêtres sont bien jointes et toujours fermées avec soin. Du reste ce procédé, employé il y a vingt ans encore dans quelques industries, est remplacé complétement par des poêles ou des calorifères. J'en ai cependant encore trouvé récemment un exemple remarquable dans le séchage des *crins frisés*, où pourtant rien ne s'oppose à sa suppression immédiate.

II. — Cheminées.

La France et l'Angleterre sont presque entièrement chauffées par des foyers ouverts, chargés d'un combustible qui n'échauffe la salle que par son rayonnement. Ce mode de chauffage est éminemment agréable, puisqu'il permet de voir le feu et de se chauffer à volonté les pieds, et c'est là sans doute une des causes qui font conserver en Angleterre ces foyers ouverts à la houille, de préférence aux poêles, parce que dans un climat humide et avec des pluies fréquentes, il y a un grand avantage à trouver, à l'arrivée, un foyer ouvert pour s'y sécher les pieds.

Les autres avantages de ces foyers sont de tenir les pieds chauds, et de conserver le reste du corps à une température moindre, condition nécessaire d'un bon travail et d'une bonne santé, qui manque dans les bureaux des administrations publiques où le chauffage s'opère par les bouches de chaleur d'un calorifère ; car alors les employés ne peuvent pas travailler dans des salles au-dessous de 19 à 20°, et ils y puisent des douleurs de tête : ce qui n'a pas lieu avec des cheminées.

Par ce procédé, l'air des salles habitées est aussi puissamment renouvelé, et par conséquent toujours salubre ; car une cheminée ouverte agit comme un foyer d'appel, où le combustible n'a pas seulement pour effet de chauffer la salle, comme dans les poêles, et d'emporter dans le tuyau de cheminée la quantité d'air indispensable à sa combustion, mais encore un excédant d'air considérable qui, par la disposition du foyer, s'écoule librement à l'entour du combustible, par l'ouverture extérieure, ouverte pour livrer passage à la chaleur rayonnante.

Ces avantages cependant sont compensés par des inconvénients graves.

La chaleur rayonnante n'est pour le bois que 25 et pour la houille et le coke que 55 p. 100 de la chaleur totale dégagée par le combustible brûlé, et la meilleure cheminée ouverte n'en utilise que 1/4. Ainsi avec le bois, une cheminée ouverte n'utilise que 6 p. 100 environ de la chaleur totale donnée par le combustible, et 13 p. 100 avec le coke et la houille ; ce chauffage est donc le plus coûteux de tous, aussi on ne l'emploie que dans les maisons aisées, ou avec du combustible à bon marché.

CHAUFFAGE.

Un second inconvénient vient encore ajouter à cet excès de dépense : le grand courant d'air qui passe constamment par une cheminée ouverte, et qui, dans les mieux construites s'élève au minimum à 60 mètres cubes par kilogr. de bois brûlé, exige l'introduction dans la salle à chauffer d'un égal volume d'air, soit par des ventouses disposées à cet effet dans le coffre de la cheminée, sous sa plaque de fondation, ou dans les angles opposés de la salle, soit par les joints des portes et des fenêtres. Ce courant d'air froid rayonnant de tous les points accessibles de la circonférence pour se diriger vers le foyer, refroidit tout sur son passage, et emporte ainsi dans la cheminée une nouvelle portion de la chaleur dégagée par le combustible.

Il est d'ailleurs très désagréable de se trouver plongé sans cesse dans un courant d'air froid, qui gèle toutes les parties postérieures du corps, pendant que la partie antérieure est brûlée par l'action directe du foyer.

Le but des bons constructeurs a donc été, pour conserver la gaieté du feu et la salubrité de l'air :

1° De disposer les foyers de manière à renvoyer dans la salle la plus grande proportion possible de chaleur rayonnante ;

2° De réduire à son minimum la quantité d'air appelé par la cheminée pour une quantité de combustible donné,

3° De fournir au lieu d'air froid à la salle de l'air préalablement chauffé, pour la ventilation et l'alimentation de la cheminée ;

4° Enfin d'utiliser pour chauffer la salle même une partie de la chaleur emportée par la flamme et la fumée du combustible, et l'air chaud qu'elles entraînent avec elles.

Depuis les travaux si remarquables de Rumford, sur les formes et les proportions des foyers ouverts, bien des essais de tout genre ont été tentés pour résoudre la première question, et l'on est presque toujours rentré dans les principes qu'il a posés.

Ramener le feu en avant pour réduire la profondeur du foyer, et augmenter le champ circulaire de dégagement du calorique rayonnant, en inclinant au-dehors, évasant les deux parois, et les construisant en matériaux blancs et polis, comme la faïence ou la brique vernissée, ce qui augmente leur pouvoir réfléchissant.

Sur la seconde question on a, comme Rumford, étranglé la partie inférieure du tuyau de cheminée à l'endroit où la fumée du foyer y pénètre, et on y a placé un registre à coulisses pour régler à volonté l'affluence de l'air, en proportion du feu que l'on fait, et aussi pour la fermer complétement, et s'opposer au refroidissement de la chambre après l'extinction du feu.

Quant au troisième point, on l'atteint très bien en chauffant par des poêles ou des calorifères les pièces contiguës à la salle à chauffer, et celles où elle s'ouvre, comme les escaliers, corridors, antichambres, de sorte qu'au lieu de puiser de l'air froid à l'extérieur, elle prend de l'air chaud dans les salles voisines au moyen de larges bouches réservées dans les murs sur des points opposés à la cheminée.

On obtient alors tous les avantages d'un feu découvert et d'une bonne ventilation, en conservant une douce température dans toute l'étendue de la pièce ; c'est ainsi que sont chauffés les bureaux des chefs de service à l'Hôtel-de-Ville, par des cheminées ouvertes et des bouches grillagées puisant l'air chaud dans un corridor, auquel il est fourni par des calorifères.

Souvent aussi on amène directement l'air chaud des conduits et bouches de calorifères dans la chambre à cheminée ; il faut alors donner de grandes dimensions aux tuyaux et bouches d'arrivée, pour que la cheminée ne manque pas d'air, et ne soit pas forcée d'en prendre à l'extérieur ou exposée à fumer, et pour que cet air n'arrive pas à une température trop élevée dont on pour-

rait souffrir ; la température d'arrivée la plus convenable est de 45 à 50°, pour compenser les pertes des murs et du vitrage, et maintenir la salle à 16 ou 18°.

Les dispositions que nous venons d'indiquer exigent des caloriféres ou de grands poêles extérieurs ; mais on trouve dans la solution de la quatrième question, posée plus haut, le moyen de satisfaire pleinement à la troisième, sans dépense de combustible.

Il s'agit d'employer la chaleur perdue de la fumée, et de l'air emporté chaud dans la cheminée à chauffer de l'air frais et pur pris à l'extérieur, que l'on introduit ensuite dans la chambre pour alimenter le tirage de la cheminée ; c'est un système parfait qui conserve toutes ses qualités, et corrige ses défauts les uns par les autres.

Avant de donner la description de quelques-unes des meilleures cheminées qui puissent servir de modèle dans chaque système, nous indiquerons les proportions à adopter pour leur construction.

Pour introduire dans une pièce l'air nécessaire à la cheminée, il faut y établir des ventouses bien proportionnées et placées de manière à ventiler complétement la salle, c'est-à-dire près du sol, et à des points opposés à la cheminée, pour que toute la masse d'air soit renouvelée, ce qui s'opère complétement en vertu du courant montant et descendant qui existe toujours dans une pièce échauffée ; il faut aussi se garder de compter sur les joints des portes et des fenêtres, moyen tout à fait insuffisant et qui expose à des courants désagréables, tandis que ceux des ventouses, larges et garnis de grillages à mailles fines, ou des vasistas placés aux fenêtres, donnent des courants beaucoup moins sensibles.

En tous cas, il faut leur donner en somme une ouverture égale au passage libre de la cheminée à son entrée.

Il en est de même pour les bouches d'air chaud, quand elles viennent d'un corridor ou d'un poêle, mais quand elles viennent d'un calorifère éloigné, il est difficile de leur donner de pareilles dimensions par la difficulté de faire passer de gros tuyaux dans les murs ; il faut alors leur donner seulement la plus grande section possible.

Nous avons dit que la cheminée doit avoir seulement la section nécessaire pour brûler son combustible, sans être trop rapidement engorgée de suie, et l'expérience prouve que pour du bois, un tuyau cylindrique de 22 à 25 centimètres suffit toujours dans les grandes pièces, comme les salons, où il se réunit à la fois un grand nombre de personnes, et où une ventilation puissante est nécessaire ; on donne 16 à 18 décimètres carrés de section à ces conduits, c'est-à-dire environ 0,80 sur 0,22 au moins. Règle générale, dans des constructions de ce genre, comme dans tous les appareils de chauffage industriel, les dimensions doivent toujours, en plaçant au bas de la cheminée un registre régulateur, être plutôt trop grandes que trop petites, l'on peut ainsi au besoin disposer d'une puissance un peu plus grande ; les cheminées auront donc plutôt 1 ou 2 centimètres de plus que de moins en diamètre.

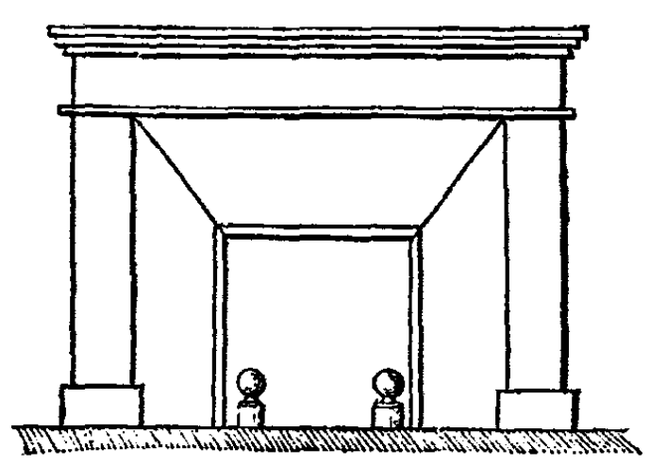
Il faut éviter de placer deux foyers différents sur une seule cheminée ; l'un des deux inévitablement plus puissant, plus favorablement placé gêne l'autre, le fait fumer ou en empêche entièrement le tirage.

Dans des vieilles cheminées très larges, il faut, et on peut sans inconvénients graves, monter une languette de 3 ou 4 mètres de hauteur, et de 4 1/2 ou 5 décimètres carrés de section pour le foyer le plus élevé, afin que chaque foyer ait ainsi sa cheminée, ou mieux encore donner au foyer un tuyau métallique de 22 à 25 centimètres de diamètre, montant à 3 ou 4 mètres dans la cheminée commune ; avec cette disposition, chaque foyer favorisera par sa chaleur le tirage de l'autre, sans lui nuire jamais.

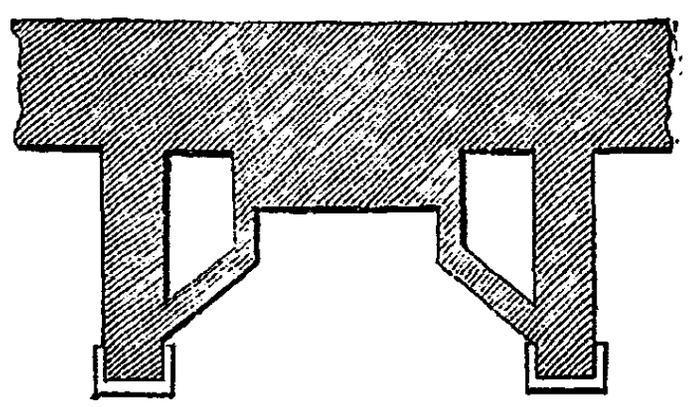
Enfin quand le coffre de la cheminée est plus grand que les sections minimum indiquées plus haut, et qu'on l'étrangle par le bas pour diminuer le volume d'air écoulé, et surtout pour contraindre cet air à traverser autant que possible le combustible, et à prendre une vitesse plus grande qui s'oppose puissamment à la rentrée de la fumée, il faut avoir soin aussi de réduire la sortie supérieure des tuyaux en la ramenant à peu près à la section du bas, et rendre ainsi à cet air une vitesse suffisante pour chasser devant lui l'air extérieur et résister à la pression des vents, et aux courants d'air chauds formés par l'action du soleil, conditions d'une haute importance, et sur lesquelles nous reviendrons en parlant des moyens de prévenir la fumée dans les appartements.

Une courte description des principaux systèmes de cheminées servira d'application et d'exemple aux principes qui précèdent.

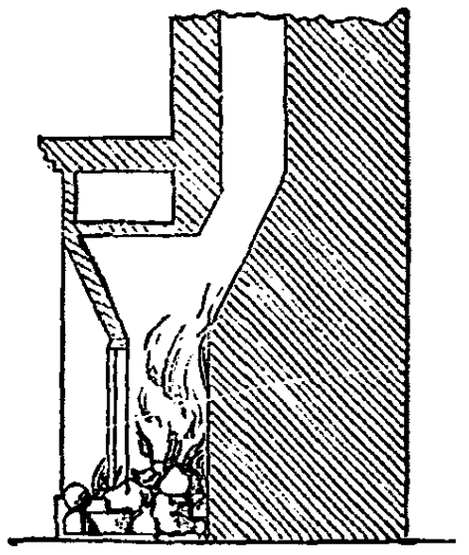
Les larges dimensions des anciennes cheminées et de leurs conduits sont proverbiales ; Rumford les a heureusement modifiées en diminuant la profondeur du foyer, et remplissant les deux côtés par des parois obliques et



445.



446.



447

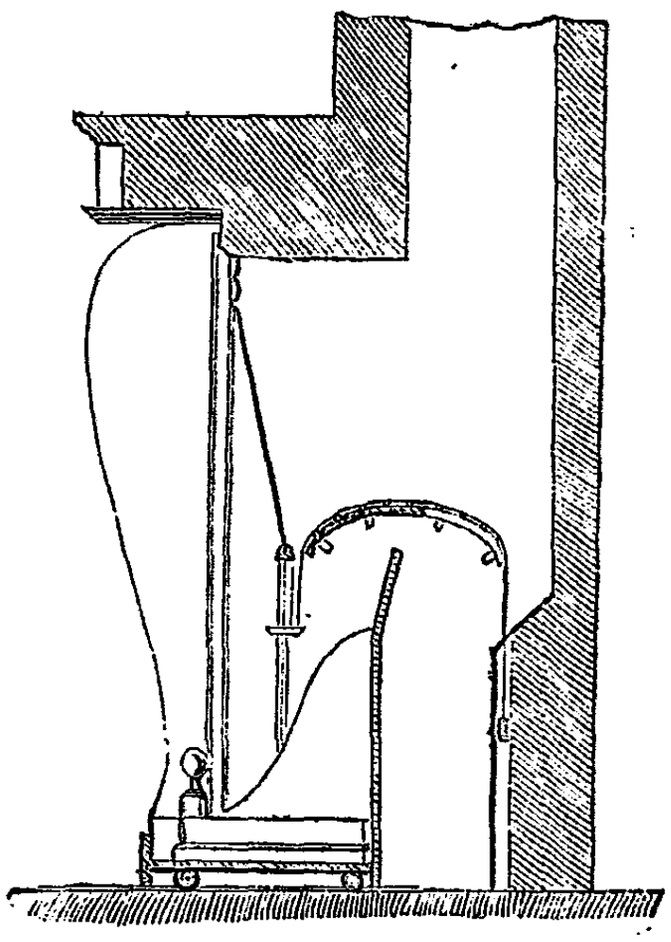
abaissant le tablier auquel même il ajusta en avant un registre, comme on le voit dans les fig. 445, 446 et 447, faciles à comprendre. Les meilleures cheminées connues aujourd'hui sont celles de *Lhomond*, employées si fréquemment : celles à *foyer mobile* et celles de Millet pour les

cheminées qui ne chauffent pas l'air nécessaire à leur alimentation; enfin les cheminées à houille de l'Angleterre et de la Belgique, qui peuvent être si avantageusement employées en France pour brûler du coke, et même avec quelques légers changements de l'anthracite.

La cheminée de Lhomond a beaucoup de rapports de forme avec celle de Rumford : les parois inclinées sont formées de tablettes de stuc; mais la partie occupée par le foyer est plus profonde, et elle est fermée entièrement par un cadre de cuivre à coulisse, dans lequel monte et descend un tablier également en cuivre, qui sert, soit à fermer complétement la cheminée, soit à augmenter le tirage et à allumer le feu, en abaissant le tablier pour que l'air se précipite avec une grande vitesse sur le combustible.

Ce sont des cheminées très bonnes, mais qui brûlent beaucoup de bois.

La cheminée à foyer mobile (fig. 448) consiste par-



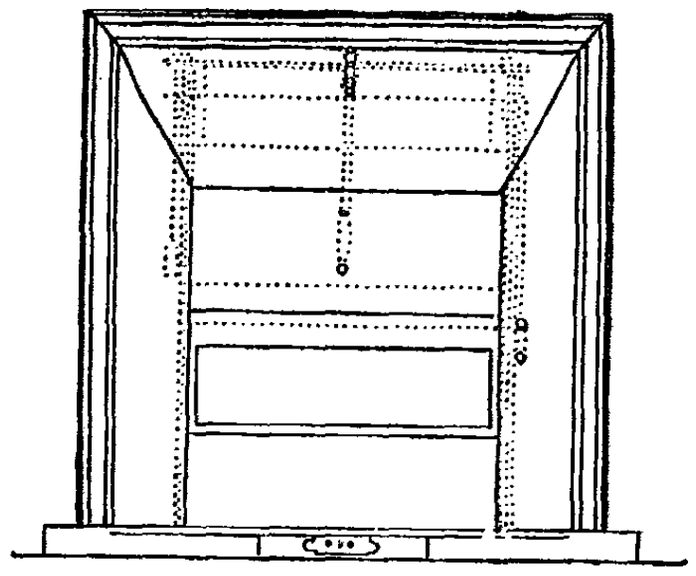
448

ticulièrement en un foyer de fonte, encaissé de trois côtés et porté sur des galets qui permettent, soit de le rentrer dans la cheminée, et de baisser par devant un tablier, qui ouvre en même temps l'ouverture de sortie de la fumée pour allumer et activer le feu; soit au contraire de sortir fortement ce foyer en avant de la cheminée quand le feu est bien pris, condition qui donne un bon emploi du combustible. Les réparations à faire aux galets nuisent à ces cheminées d'ailleurs excellentes.

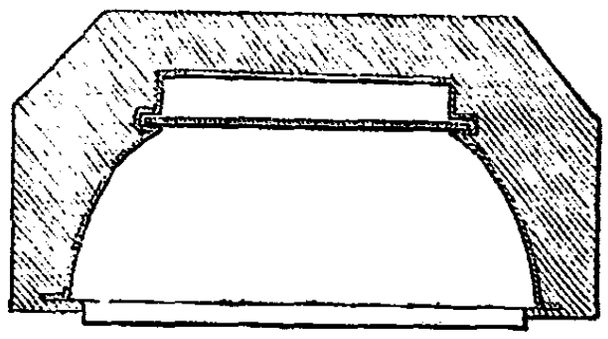
Les cheminées de Millet ont pour pensée fondamentale de régler l'ouverture d'entrée de l'air sur le foyer au moyen d'un registre ou tablier, comme nous l'avons déjà vu pour d'autres cheminées, et en même temps le passage de la fumée à travers le tuyau dans lequel elle s'élève. Dans son meilleur système de cheminée (fig. 449, 450 et 451), il établit au bas de la cheminée un coffre en fonte qui se ferme à volonté sur le devant par un tablier à coulisses, ayant pour l'échappement de la fumée deux ouvertures : l'une à la partie supérieure, large et étroite, et l'autre à la partie postérieure, et un peu au-dessus du combustible; la première est toujours ouverte et ne peut suffire qu'au minimum d'é-

CHAUFFAGE.

chappement de la fumée avec de petits feux, la seconde est fermée d'une trappe manœuvrée par un levier :

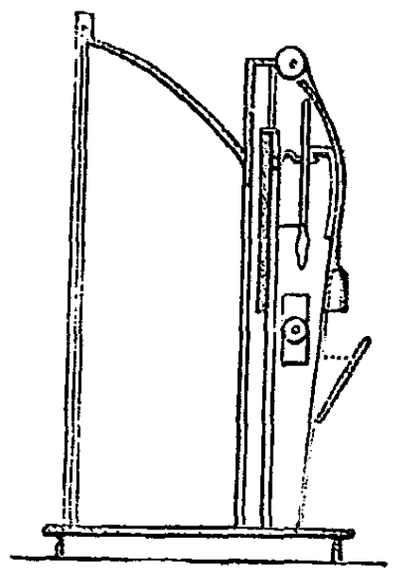


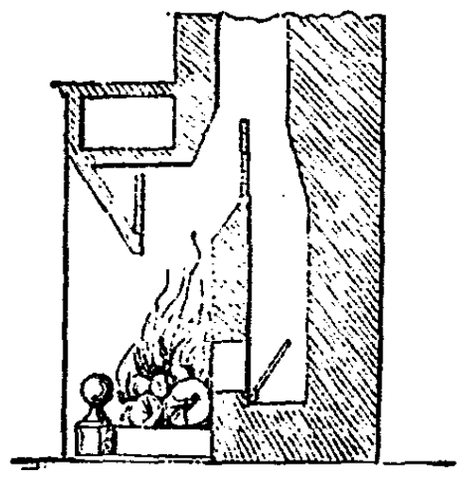
449.



450.

451





452

elle sert à compléter le passage nécessaire à la fumée quand le feu est plus intense.

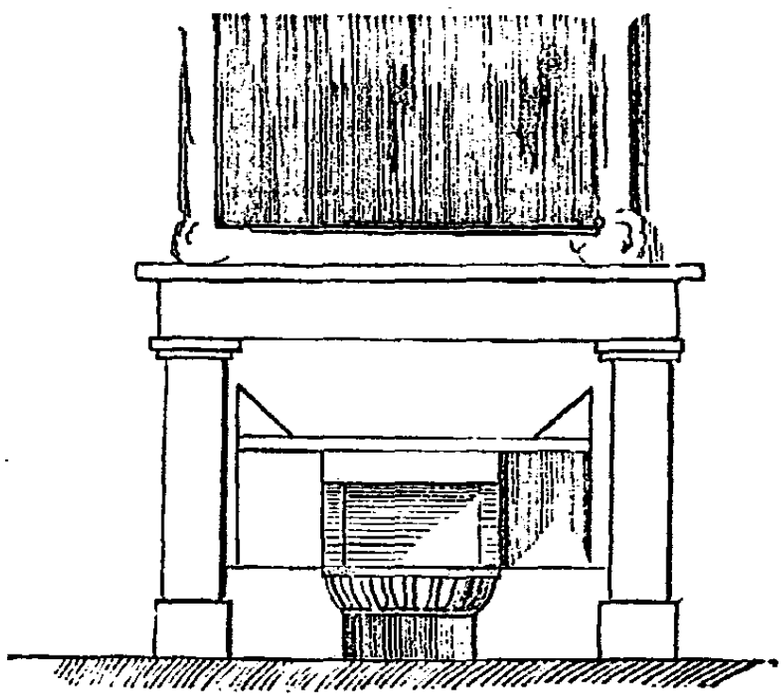
Ces cheminées sont assez économiques.

Nous traçons fig. 452 une cheminée très simple donnée par M. Péclet, et qui répond aux mêmes conditions que celles de Millet.

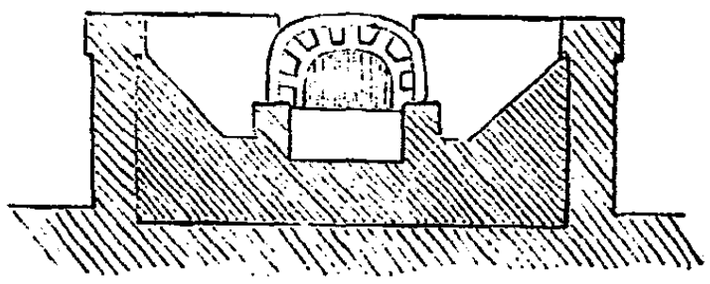
Enfin les cheminées à houille employées dans toute l'Angleterre et qui commencent à se répandre en France pour brûler du coke, consistent en une grille ouverte par devant et par dessous, entièrement libre, au-dessus et aux deux côtés de laquelle sont de petits autels, sur lesquels on pose des vases à chauffer; un peu au-dessus du foyer et légèrement en ar-

CHAUFFAGE.

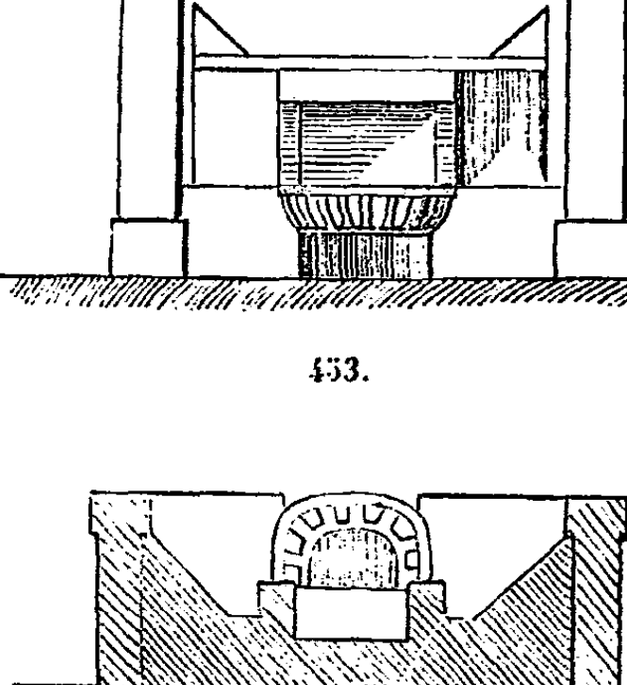
rière, est une ouverture de la largeur du foyer sur 0,25 au plus de hauteur, afin d'avoir un tirage très vif. De sorte que la grille et le feu se trouvent presque entièrement dans la salle même; tout le fond et les parois de la cheminée sont en fonte; le prix de ces appareils, fort élégants et toujours propres, est très bas. Il est



453.



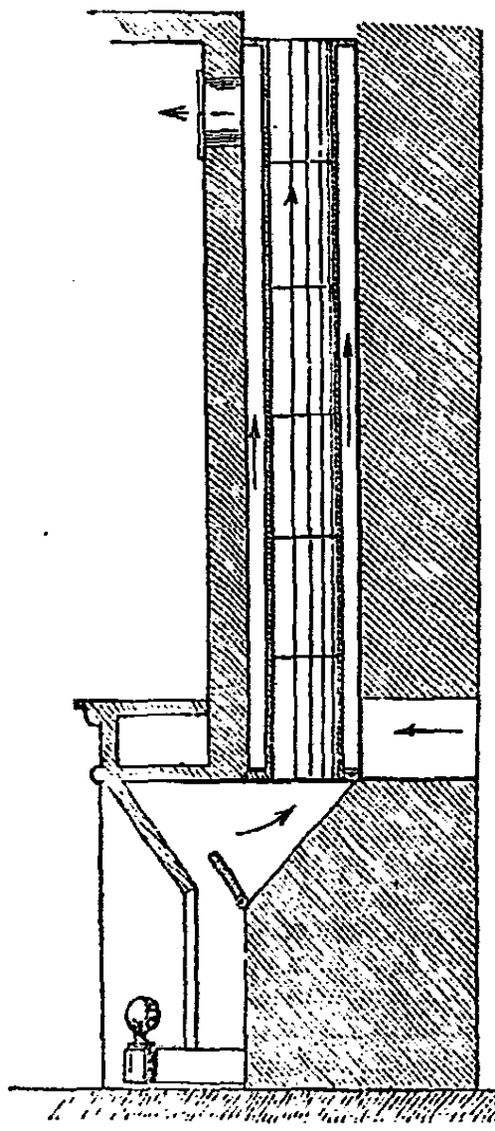
454.



455.

très-facile d'en installer d'analogues dans toutes nos cheminées actuelles, en posant une grille de fonte sur deux petits massifs latéraux en briques, et en fermant complétement la cheminée par derrière, sauf une ouverture de fumée semblable à celles des cheminées anglaises. Ces cheminées, où l'on brûle du coke, sont facilement nettoyées au moyen d'une corde et d'un fagot. Les fig. 453, 454 et 455 représentent une cheminée ainsi organisée qui servira en même temps à faire comprendre les cheminées anglaises dont elles donnent la copie à peu près exacte, sauf l'emploi de la brique au lieu de fonte. (V. *Compl.*, CHAUFFAGE AU GAZ.)

Enfin il est bien des manières de disposer les cheminées pour chauffer l'air destiné à les alimenter. Quelquefois on installe au-dessus du feu et derrière le tablier, des tuyaux de tôle ou de fonte, dans lesquels on introduit de l'air pris à l'extérieur, au moyen d'un tuyau vertical placé dans les parois du foyer; cet air, après avoir été chauffé, sort aux côtés de la cheminée par une large bouche de 0,16 ou 0,20 de diamètre, et où on peut placer un vase rempli d'eau, pour donner à l'air l'humidité dont il a besoin, et le rendre tout à fait salubre. Tantôt on fait passer cet air dans un coffre de fonte qui enveloppe le foyer, tantôt on le chauffe dans un tuyau de fonte qui monte au milieu du tuyau de fumée, et le verse dans la salle à chauffer au niveau du plafond.



456.

La fig. 456 est un des modes les plus simples d'arrangement. Au lieu d'air, on fait au contraire passer la fumée au sortir du foyer dans un tuyau de fonte, autour duquel on jette l'air froid extérieur, pour le chauffer et le faire sortir dans la salle par une bouche placée au plafond. Enfin, d'autres appareils sont disposés comme de véritables caloriféres, qui portent leur foyer, leur appareil de chauffage d'air, et leurs

CHAUFFAGE.

bouches, qui s'installent tout montés dans la cheminée même, et versent leur air dans la salle par une large bouche à grillage métallique réservée au-dessus du tablier et au-dessous de la tablette de la cheminée.

Il nous reste maintenant à examiner les causes qui font fumer les cheminées et les moyens d'y remédier.

La fumée, c'est-à-dire un mélange d'air non brûlé, d'acide carbonique, et de divers produits carbonés, chauffés à un certain nombre de degrés au-dessus de la température extérieure, s'élève dans un tuyau de cheminée, en vertu de sa densité, inférieure à celle de l'atmosphère par la température que lui a communiquée le combustible.

Dans un fourneau d'usine, l'air traversant la grille est brûlé à moitié, et comme il n'en passe que 16 à 20 mètres cubes, chauffés à 350 ou 400° par kilogr. de houille, ou 8 ou 10 mètres cubes pour 1 kilogr. de bois, et que, dans les cheminées d'appartements, il en passe plus de 60 mètres cubes par kilogr. de bois; il en résulte que la température de cet air est très modérée, et en moyenne de 40 à 50°, et que, par conséquent, la vitesse ascendante est également faible.

Dans ces conditions, il suffit de circonstances extérieures peu puissantes pour agir sur cette colonne, arrêter tout mouvement ascendant, la faire refluer dans la salle où le tuyau débouche par en bas, et où se fait le feu.

Ces causes sont toujours, ou un obstacle qui s'établit et gêne la sortie de la fumée par le haut de la cheminée, et la force à refluer par le bas dans la salle; ou une action inférieure plus énergique que la puissance motrice de la fumée, et qui vient par en bas arrêter le mouvement de la colonne montante en faisant le vide dans la chambre, et qui, par conséquent, y fait redescendre la fumée, qui a perdu sa force ascensionnelle par un refroidissement trop considérable quand elle passe en trop petite quantité dans un large tuyau.

Parmi les premières de ces causes est l'action des vents qui, quelquefois, par leur vitesse, coupent la fumée à sa sortie de la cheminée, et ferment celle-ci comme avec un obturateur; ils refoulent alors la fumée en dedans, quand leur direction est un peu inclinée vers la terre.

Dans tous les cas, pour éviter que la fumée ainsi refoulée par les vents ne redescende dans la salle, il faut :

1° Rétrécir au degré exactement nécessaire l'issue de la fumée, et la faire sortir par des buses un peu coniques qui dépassent la cheminée pour qu'elle reprenne là une vitesse qui lui permette de résister à l'action des vents. Il faut aussi la garantir de l'entrée des vents par un chapeau composé de deux feuilles inclinées l'une sur l'autre; on peut enfin installer sur ces cheminées les appareils les plus simples et les plus efficaces : soit les capuchons tournants, avec une girouette, qui jettent toujours la fumée du côté opposé au vent et dans sa direction, condition qui favorise la sortie de la fumée; soit la bascule chinoise que le vent fait retomber, de manière à fermer la cheminée du côté où il vient, et à l'ouvrir du côté opposé; soit un simple écran en tôle placé du côté du vent le plus fréquemment régnant, c'est-à-dire en France du côté de l'ouest et du sud-ouest; soit des capuchons fixes en tôle qui couvrent le tuyau en descendant en contre-bas de son ouverture, et peuvent être disposés de vingt manières; soit un tuyau de tôle assez élevé et couronné de chapeaux de diverses formes, toutes destinées à empêcher l'action du vent sur le courant de fumée.

Disons en passant que toutes les dispositions compliquées inventées par les fumistes n'ont aucun résultat de plus : les plus simples sont les meilleures. L'action du soleil est encore une grande cause de fumée pour les cheminées, par les courants d'air chaud montants et d'air frais descendants qu'il développe sur les toits. Le seul remède est dans les appareils que nous venons d'indiquer contre le vent, ou le surhaussement de la cheminée.

Le soleil a une autre manière d'agir sur les cheminées pour les faire fumer; nous y reviendrons plus loin. Parmi les causes qui font fumer les cheminées, en gênant par le haut la sortie de la fumée, il faut placer la rencontre de deux courants de fumée dans un seul coffre; presque toujours il y a un courant plus puissant ou plus favorablement placé que l'autre, qui domine, et lui ferme le passage en forçant la fumée à redescendre d'un autre côté. Si un seul des foyers est allumé, la cheminée construite pour deux foyers se trouve trop grande pour un seul; la fumée se mêle alors au courant d'air froid avec une température et une vitesse très faibles. Elle cède à la moindre influence et rentre dans les appartements; souvent même se trouvant presque refroidie, et ayant acquis par conséquent, en vertu de l'acide carbonique qu'elle contient, une densité supérieure à celle de l'air atmosphérique, elle redescend dans les tuyaux non échauffés et va se répandre dans les appartements voisins où l'on ne fait pas de feu. La séparation de la cheminée en plusieurs tuyaux par des languettes est le seul remède dans ce cas.

Un tuyau de cheminée trop court est encore une cause de fumée, parce que la puissance ascensionnelle du courant de fumée est trop faible. On y remédie en plaçant un long tuyau en tôle sur le sommet de la cheminée.

Les causes principales qui font fumer les cheminées, en agissant sur leur partie inférieure, sont d'abord, et dans le plus grand nombre de cas, l'insuffisance de l'arrivée de l'air dans la salle, pour répondre à l'appel de la cheminée, parce que lorsque les portes et fenêtres sont bien fermées et les ventouses trop petites, l'appel n'étant pas satisfait, aspire l'air de la chambre, et y produit un vide qui y fait rentrer la fumée par les angles de la cheminée, où le courant ascendant est le plus faible. Le même effet est produit par l'action des cheminées plus puissantes allumées dans des salles voisines, et qui, manquant d'air pour s'alimenter, aspirent par les portes et les joints des portes l'air de la salle dont nous parlons, et y font rentrer la fumée. Cet effet se produit quelquefois de bien loin dans un appartement, à travers plusieurs pièces successives. Enfin le même effet a encore lieu par le tirage d'une cage d'escalier voisine de la salle chauffée par la cheminée, et qui, en vertu de son large diamètre et de sa hauteur, surtout si elle est chauffée par un poêle ou un calorifère, et même sans être chauffée, produit l'effet d'une puissante cheminée d'appel, où il s'établit un courant ascendant si fort qu'il agit sur toutes les salles contiguës, et va chercher au loin l'air de ces salles pour satisfaire à son tirage, ce qui y fait rentrer la fumée de la cheminée; c'est là une cause de fumée bien commune et souvent méconnue.

Dans tous les cas de ce genre, il faut, quand une cheminée fume dans une salle, chercher d'abord par expérience quelle en est la cause, afin d'y porter remède.

Pour cela, quand le feu est allumé, on ferme toutes les portes et fenêtres, et avec une bougie allumée que l'on présente aux joints des fenêtres et de la porte, en entrebâillant même légèrement les portes pour y présenter la bougie, on reconnaît, par la direction de la flamme, la direction des courants d'air. Si les courants viennent tous du dehors au-dedans de la chambre, et qu'en ouvrant légèrement une fenêtre ou une porte, la cheminée ne fume plus, il est évident que les ouvertures d'arrivée d'air sont trop petites; il faut alors, ou les augmenter,

ou établir d'autres bouches d'air froid, ou mieux d'air chaud comme nous l'avons dit.

Si c'est au contraire par une des portes que le courant sorte de la salle en expérience, on suit ce courant avec la bougie de salle en salle, et de porte en porte, pour savoir si c'est une autre cheminée ou une cage d'escalier qui aspire l'air de cette salle.

Dans ce cas-là, il faut fournir encore par des bouches plus puissantes à la salle susdite, et en même temps à l'autre salle, ou à la cage d'escalier, la quantité d'air dont chacune d'elles a besoin, pour satisfaire à son appel, et en même temps garnir avec soin de bourrelets les joints des portes intermédiaires, afin que cette action ne puisse plus se transmettre.

Il est toujours facile de reconnaître ainsi la cause de la fumée.

Le soleil, dans le milieu de la journée, a encore une action très puissante pour faire fumer les cheminées.

Je suppose qu'une des salles chauffées soit exposée au midi, et ses fenêtres percées dans un grand mur; ce mur, surtout s'il est blanchi, recevant en plein les rayons du soleil, s'échauffe; il s'établit un puissant courant d'air ascendant qui fait appel sur toutes les fenêtres adjacentes, et qui, si l'on entr'ouvre une de ces fenêtres, ou que les joints soient mal fermés, l'air le vide dans la chambre et par conséquent y appelle la fumée. Si cette salle n'a pas assez d'air pour sa cheminée, il faut lui en donner alors largement, en le prenant autant que possible au nord, puis laisser les fenêtres du midi fermées pendant les heures du soleil, et ouvrir des communications avec le côté du nord.

Quelquefois, enfin, l'embouchure inférieure de la cheminée est trop large, et comme les courants de fumée, dans un foyer de ce genre, sont toujours assez faibles, ils ne peuvent pas occuper toute la section d'une large entrée; l'air froid afflue autour du courant chaud, et il se produit des remous qui font redescendre la fumée plus lourde que la colonne atmosphérique, parce qu'elle est refroidie, et la ramènent ainsi dans la chambre par un double courant.

Le rétrécissement de cette entrée peut corriger sans peine ce défaut.

Telles sont les principales causes de fumée et les remèdes à y apporter; je répète, en terminant, qu'il faut toujours étudier les circonstances locales une bougie allumée à la main, pour bien savoir ce qui se passe, avant de vouloir chercher des remèdes au mal. C'est ainsi au reste que doivent se traiter toutes les questions de ventilation.

III. — POÊLES.

Un poêle est un appareil de chauffage clos, placé dans la masse d'air d'une salle à échauffer, où l'on renferme le combustible, et dont les gaz, produits de la combustion, sont évacués au dehors par un tuyau, soit apparent dans la salle, soit caché dans un mur ou sous le sol.

Tantôt la chaleur, dégagée par le combustible, passe directement dans la salle à travers l'enveloppe simple du poêle et son tuyau de fumée, tantôt l'air de la salle est chauffé par le rayonnement du foyer à travers son enveloppe, et en même temps en circulant à l'intérieur du poêle dans des conduits et passages aérifères qui multiplient les surfaces de chauffe.

Ce mode de chauffage est le plus simple et le plus économique, car la presque totalité de la chaleur dégagée est utilisée dans la salle, et on peut refroidir la fumée jusqu'à 100° avant de la laisser échapper au dehors.

Ces avantages sont compensés par des inconvénients.

Quand les salles sont longues, on n'obtient de chauffage complet que sur un point. C'est de plus un moyen de chauffage moins salubre que les cheminées ouvertes; la ventilation est presque supprimée, ainsi dans les poêles allemands et suédois, et dans ceux de beaucoup de salles à manger de France, où la bouche se trouve en dehors de la salle, elle l'est entièrement; en même temps les poêles ne laissent pas jouir de la vue du feu comme les cheminées ouvertes, et souvent, quand ils sont en métal, en fonte ou en tôle, ils donnent une odeur désagréable et malsaine. Leur plus grand défaut est, en chauffant fortement l'air d'une salle, non pas de le dessécher, comme on le dit souvent à tort, mais, en élevant sa température, d'accroître considérablement sa puissance absorbante pour l'eau, puissance qui se satisfait aux dépens de tous les corps humides qu'il enveloppe, et notamment des organes extérieurs et des poumons des personnes avec lesquelles il est en contact, d'où il résulte toujours un grand malaise, des maux de tête, etc. On évite cet inconvénient en donnant artificiellement à l'air, à mesure qu'il s'échauffe, toute l'eau dont il a besoin pour le ramener à un degré de saturation convenable, et ne plus affecter péniblement les organes.

Sur les poêles des petits ménages, on place un vase plein d'eau, que leur chaleur réduit peu à peu en vapeur. Avec les poêles à système, comme ceux des salles à manger, qui y versent de l'air chaud, il faut placer dans le récipient supérieur d'air chaud, dit *repos de chaleur*, un vase plat, où on renouvelle tous les jours l'eau, en en réglant convenablement la quantité.

Les poêles proprement dits sont construits en différentes matières.

Avec les poêles simples en terre cuite vernissée ou non, l'échauffement est plus lent, mais le refroidissement est plus lent aussi, et jamais l'air extérieur ne se trouve altéré, ni chauffé trop fortement; ce sont des poêles commodes et agréables; seulement ils se gercent, se fendent et se détruisent assez facilement, et on ne peut y brûler que du bois. En effet, quand on y brûle de la houille, ou du coke, la température de la combustion est si élevée qu'elle brise rapidement leur enveloppe de terre cuite.

Il faut dans ce dernier cas garnir le foyer en briques réfractaires, en y ajoutant une petite grille de fer ou de fonte, et ménager l'intensité du feu.

Les poêles à système sont en partie construits en briques ou en terre cuite, ils reçoivent très bien les foyers à la houille ou au coke, parce que les épaisseurs et cloisons successives de terre qui enveloppent le foyer, ne transmettent à l'enveloppe extérieure qu'une chaleur modérée et égale dont la terre vernissée ne souffre pas.

Les poêles en tôle et encore plus ceux en fonte ayant avec ce mode de chauffage, un pouvoir d'absorption, et d'émission beaucoup plus grand que ceux en terre cuite, utilisent mieux le combustible avec moins de surface de chauffe; ils refroidissent plus complétement la fumée, et sont beaucoup plus solides et plus durables que ceux de terre cuite; ils sont plus économiques et d'un service meilleur, sauf les inconvénients de l'odeur et de l'altération de l'air.

Ces poêles, auxquels on donne sans difficulté et à très peu de frais les formes les plus commodes pour les besoins à la fois du chauffage et de la cuisson des aliments, et qui se fabriquent aujourd'hui par milliers dans nos forges, au plus bas prix, se sont répandus dans tous les petits ménages, où ils rendent d'immenses services.

On en rencontre tous les jours chez les marchands de fonte de plus ou moins heureusement disposés. Beaucoup de poêles destinés aux maisons bourgeoises, aux magasins ou aux bureaux, sont d'une construction beaucoup plus compliquée. En terre cuite ou en métal, ils sont toujours composés d'un foyer destiné à utiliser plus ou moins bien la chaleur rayonnante en la transmettant à travers les parois à une partie de l'air de la salle, ou à de l'air extérieur, que l'on y verse chaud,

CHAUFFAGE.

et d'un développement de surface de chauffe en contact d'un côté avec la fumée qui sort du foyer, et de l'autre avec de l'air frais.

Les principes fondamentaux de ces poêles, et aussi de tout calorifère, sont :

1° De donner la plus grande surface de chauffe possible en conservant la plus grande simplicité de formes et d'ajustements, et d'avoir des conduits de fumée peu nombreux et verticaux pour ne pas altérer le tirage ;

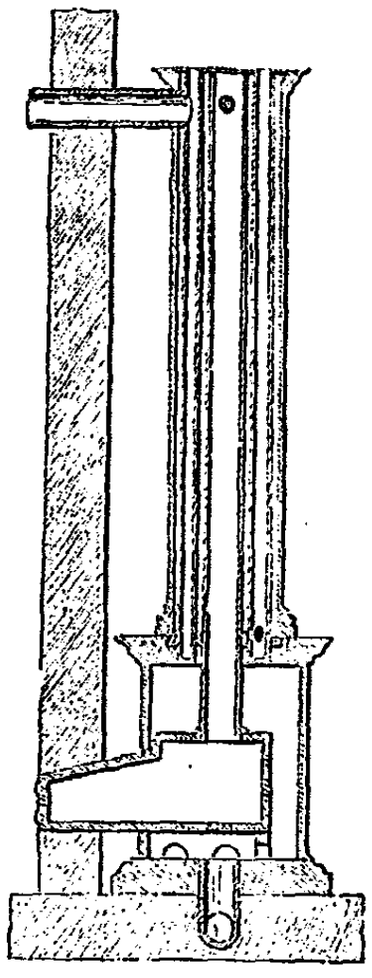
2° De faire passer sur cette surface de chauffe, en sens contraire du mouvement de la fumée qui doit d'abord monter, puis ensuite redescendre verticalement, un courant rapide d'air frais que l'on obtient en donnant beaucoup de hauteur et peu de largeur aux conduits d'air ;

3° De donner un degré d'humidité suffisant à l'air chauffé par le poêle, en plaçant un vase plein d'eau, soit sur le poêle, soit dans les conduits d'air chaud, à raison de 1 litre ou de 1 litre 1/2 environ pour une salle de 75 à 80 mètres cubes de capacité ;

4° De compter en pratique environ 1 mètre carré de surface de chauffe en fonte ou en tôle, bien qu'avec de la fonte la surface ait besoin d'être beaucoup moindre, pour chaque 100 mètres cubes de capacité de la salle à chauffer.

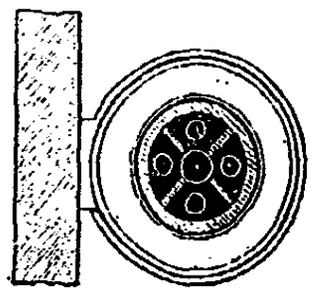
En général la presque totalité des poêles établis par les constructeurs les plus en réputation, sont inutilement compliqués, et ne présentent pas à beaucoup près les meilleures conditions d'emploi du combustible et de service. Disons quelques mots des principaux systèmes de poêles simples à foyer unique chauffant directement l'air de la salle, comme ceux en faïence, en tôle ou en fonte, auxquels leur simplicité et leur prix assurent des usages très nombreux.

457.



Un grand nombre sont disposés pour le service culinaire. Dans les départements du nord de la France, en Belgique et en Allemagne, on les construit en très grand nombre, presque tous en tôle; ils sont composés d'un foyer conique à la houille, dont la flamme passe dans un tuyau méplat, percé de trous munis de tampons mobiles, et sur lesquels s'opère la cuisson de tous les mets; sous ce tuyau se trouve souvent un four.

Bien des petits poêles en fonte destinés au service des ménages, se composent d'un foyer, au-dessus ou en arrière duquel une ou deux ouvertures fermées par des tampons mobiles reçoivent à volonté des marmites de fonte; vers l'un ou l'autre des côtés se trouve une étuve.



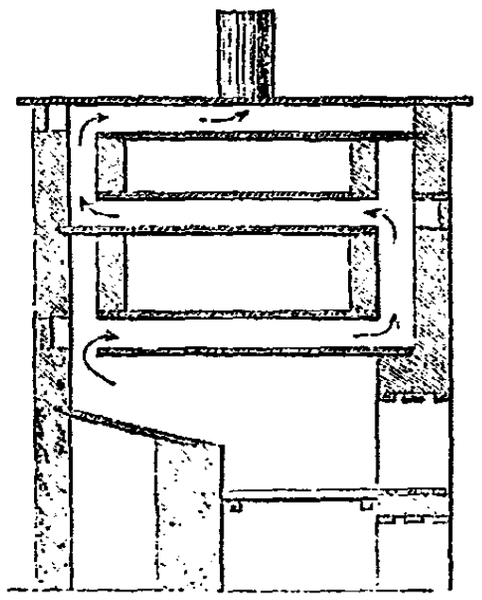
458.

Les poêles suédois et russes, sont entièrement en briques ou en terre cuite, la fumée y circule dans plusieurs conduits verticaux, et la chaleur se transmet aux pièces à chauffer à travers les parois en terre. Ces poêles, chauffés lentement, conservent très longtemps leur chaleur, sans que l'on y fasse du feu qu'une fois par vingt-quatre heures, et deux ou trois fois au plus.

Les poêles à système de nos salles à manger, sont construits avec une enveloppe de briques et un foyer entouré de tuyaux de fonte qui reçoivent par leur partie inférieure l'air amené de l'extérieur, le chauffent et le rejettent dans la salle, par des bouches de chaleur placées aux côtés d'un réservoir supérieur d'air chaud.

Ces bouches et les entrées d'air au bas sont toujours beaucoup trop petites.

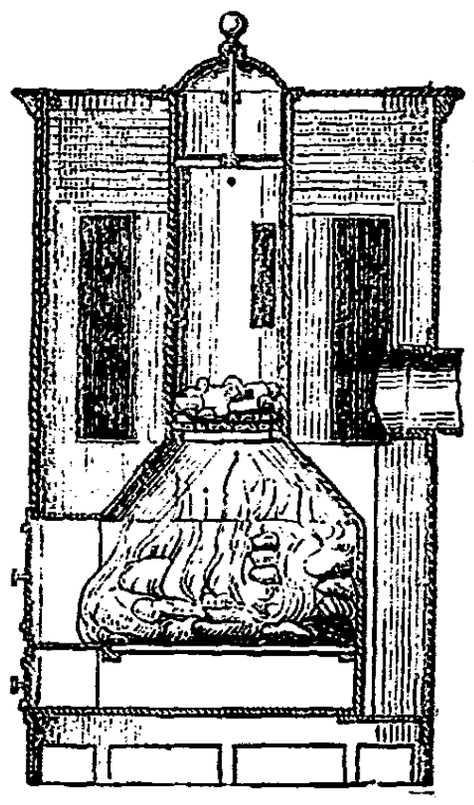
M. d'Arcet a prouvé qu'à un poêle de salle à manger ordinaire, il fallait donner une grande bouche grillagée de 0m25 sur 0m,32 au moins, et des arrivées d'air semblables pour ne pas laisser la température de l'air s'élever trop haut. On place derrière le grillage une boîte à eau que l'on alimente régulièrement tous les jours. Les fig. 457 et 458 représentent un poêle à foyer métallique, et avec une enveloppe de fonte, dont la disposition est bonne et très favorable au tirage. La fumée, après être montée verticalement dans un tuyau central en fonte, redescend et remonte deux fois de suite dans quatre tuyaux également de fonte.



459.

La fig. 459 est une disposition très simple pour un poêle d'hôpital, qui se construit ainsi avec de la brique et quelques plaques de fonte minces, chauffées par la fumée et sur lesquelles on pose les tisanes à tenir chaudes.

Les poêles métalliques avec circulation d'air chaud sont employés très fréquemment en Allemagne.



460.

On en construit beaucoup à Paris avec de doubles enveloppes et de diverses espèces, que nous donnons ci-après. Celui de M. Chevallier, représenté figure 460, serait certainement avec quelques modifications, un des meilleurs que l'on fasse aujourd'hui. C'est un foyer métallique, dont la fumée, après avoir parcouru des car-

neaux concentriques passe dans le tuyau de fumée, tandis que l'air chauffé passe abondamment par de larges ouvertures grillagées.

Les figures 461 et 461 *bis* représentent un poêle-calorifère de M. René Duvoir, poêle d'une disposition assez simple, dans lequel l'air circule facilement, se renouvelle avec rapidité, et sort par toute la circonférence grillagée du poêle.

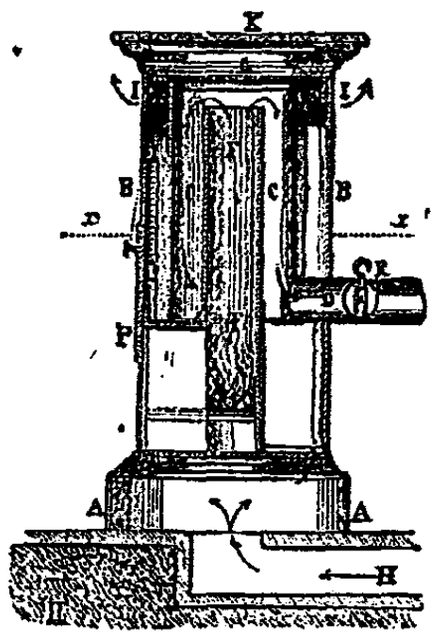


Fig. 461.

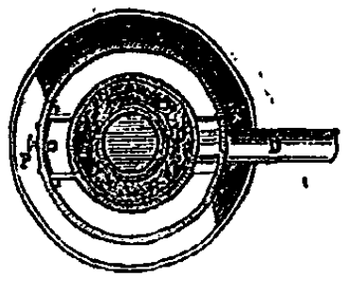


Fig. 461 *bis*.

M. Péclet a proposé de construire des poêles contenant de l'eau, chauffés par un foyer intérieur et un tuyau de circulation; on obtiendrait ainsi une température régulière, mais avec le danger des fuites d'eau que pourraient amener les dilatations et contractions du métal.

Aux États-Unis, on a réussi à construire d'excellents poêles destinés à brûler de l'anthracite, dont le principe consiste en un foyer étroit et complétement enveloppé de briques réfractaires, pour maintenir la combustion à une température assez élevée, sans laquelle l'anthracite ne peut pas brûler, et à ne donner au combustible qu'une très-faible quantité d'air à la fois, pour que la combustion dure un temps très-long.

Calorifères Joly. — Nous compléterons en un point la description des poêles-calorifères donnée par M. Grouvelle, en faisant connaître un système qui offre les avantages du poêle américain dont nous venons de parler, de réduire beaucoup les frais de surveillance et d'être d'un bon emploi, grâce à une excellente utilisation de la chaleur rayonnante. Ses effets permettent d'expliquer certains résultats d'apparence paradoxale qui se présentent dans diverses circonstances.

Le calorifère dont nous parlons est un poêle à coke, dont les dispositions principales sont peu différentes de tout poêle à coke bien disposé, tel que celui décrit à l'article CHAUFFAGE du Complément du Dictionnaire, et qui consiste dans un foyer métallique fermé par un couvercle à sa partie supérieure, et qui, rempli de combustible, chauffe l'air qui circule autour de lui. L'addition capitale, qui a été apportée, est d'avoir enveloppé le cylindre rempli de coke, fermé à la partie supérieure, d'un cylindre en tôle également fermé par un couvercle en tôle. De la sorte, une couche d'air stagnant enveloppe toujours le foyer, et par suite il n'y a plus de ces émanations désagréables, d'odeur *d'air brûlé*, d'air desséché, résultant de l'incandescence de la cloche du foyer, du contact de l'air et des poussières qu'il entraîne avec ces parois rougies.

L'amélioration obtenue par l'adoption de cette disposition est importante; mais elle a surtout conduit à un résultat remarquable au point de vue de l'économie de combustible, que je vais analyser.

L'enveloppe du foyer empêchant les refroidissements rapides que peuvent produire des courants d'air froid,

le coke disposé en haute colonne y brûle facilement, et bientôt, par la communication de chaleur de proche en

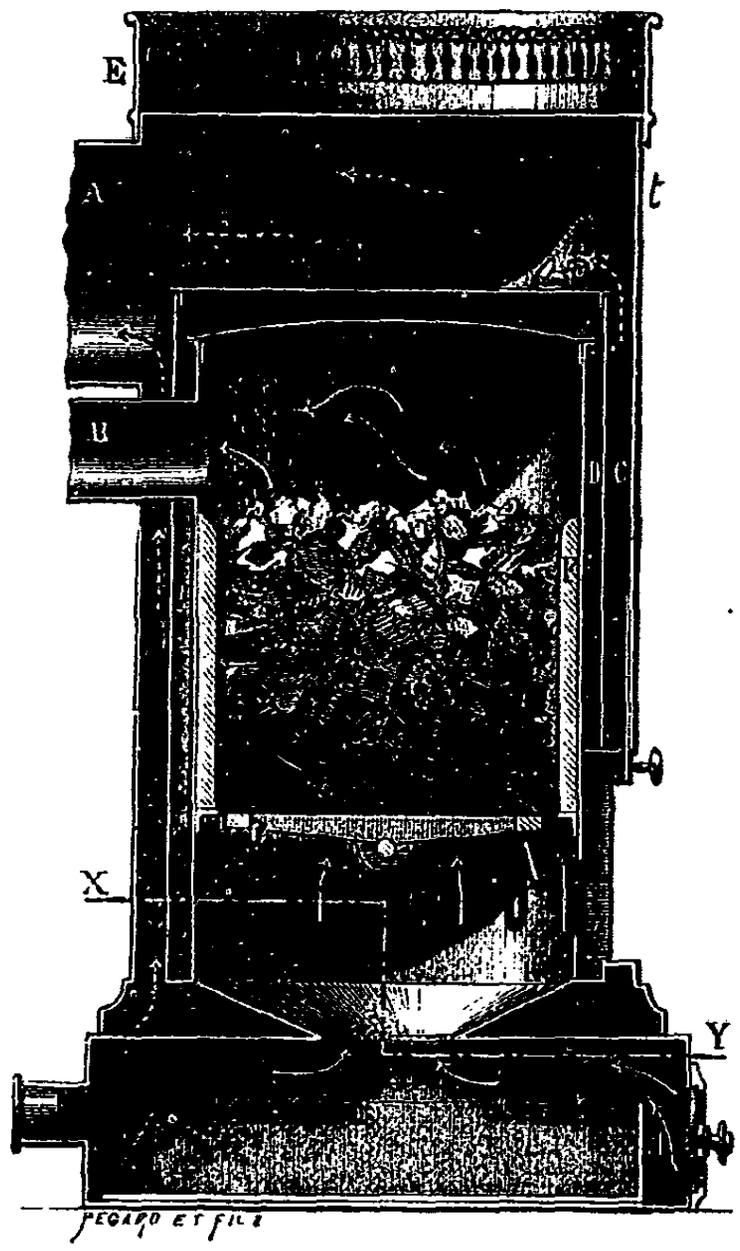


Fig. 462.

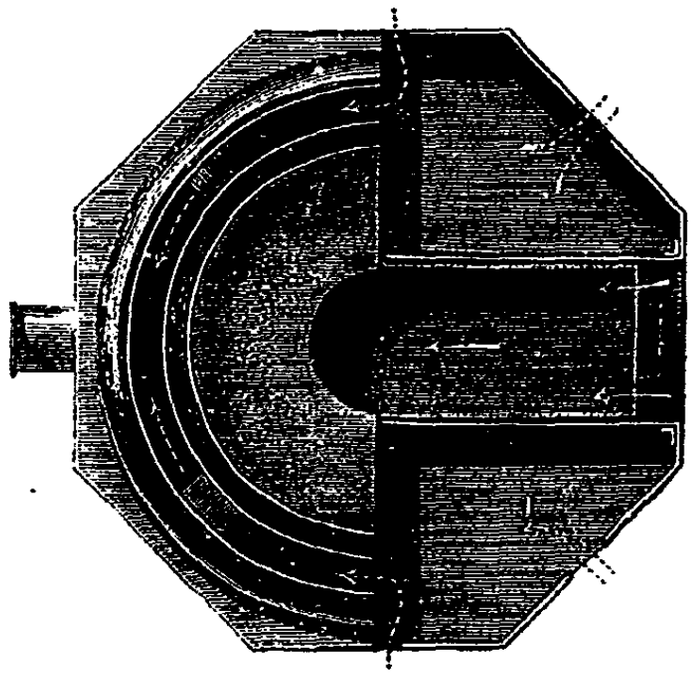


Fig. 462 *bis*.

proche, toute la masse devient incandescente. Si alors on ferme la porte du foyer, du cendrier, et même en grande partie la clé du tuyau, la combustion se prolonge très-longtemps, et, sans nouveau chargement, le calorifère dégage pendant 8 ou 10 heures des quantités de chaleur considérables. La continuation de la combustion du coke enflammé, dans les conditions où il est placé, par l'effet du petit courant d'air qui filtre à tra-

vers les joints, se comprend facilement; mais pourquoi résulte-t-il économie de combustible de cette combustion lente? Théoriquement, la quantité de chaleur dégagée par une masse de corps combustible, que celle-ci soit consumée en 1 heure ou en 10 heures, est la même; mais si dans l'appareil où se fait la combustion on utilise surtout le rayonnement du combustible, pour chauffer de l'air à une température assez peu élevée, il y a très-grand avantage à faire agir celui-ci pendant 10 heures plutôt que pendant une heure, bien que dans ce dernier cas la vivacité de la combustion soit plus grande.

L'élément capital sur lequel nous insistons ici, et dont on ne tient pas compte habituellement, peut rendre compte des résultats curieux obtenus dans divers cas et qui semblaient mystérieux, ceux, par exemple, constatés dans le chauffage des fours aérothermes de MM. Mouchot et Grouvelle, pour la cuisson du pain. (Voy. PAIN.)

La combustion lente est la plus avantageuse lorsque le rayonnement est surtout utilisé; c'est au contraire la plus rapide qui est la plus commode, lorsque l'appareil utilise surtout la chaleur emportée par les gaz de la combustion, qui y sont refroidis, et qu'il s'agit par suite d'amener à la température la plus élevée qu'il est possible. En permettant de brûler le combustible à une température peu élevée, par suite en évitant les pertes dues à l'échauffement considérable d'un excès d'air qui traverse le plus souvent les foyers, un appareil convenable permet d'obtenir, par suite de la longue durée du feu, une bonne utilisation de combustible.

Ces deux conditions ont été remplies avec succès dans l'appareil dont nous parlons et dont les figures 462 et 462 *bis* font facilement comprendre la disposition. A est le cylindre rempli de coke (ou mieux encore d'anthracite) qui s'allume en faisant à la surface supérieure un feu de copeaux et de petit bois et replaçant le couvercle; D l'enveloppe en tôle fermée par un couvercle, et entourée par une seconde enveloppe C formant colonne ascendante, si on veut envoyer de l'air chaud dans d'autres pièces, en même temps que le rayonnement chauffe la pièce où se trouve l'appareil; H tuyau qui enlève les produits de la combustion, G ouverture fermée à coulisse pour visiter la grille, K cendrier.

Il faut aussi remarquer qu'au lieu d'atteindre 2000°, limite de la dissociation de l'acide carbonique, ce qui fait naître de l'oxyde de carbone lors de la combustion vive du coke sur une grande épaisseur, dans le cas actuel, la température n'atteignant pas 1000°, cet effet n'a plus lieu.

IV. — CHEMINÉES-POÊLES.

Les *cheminées-poêles* sont des appareils métalliques placés au milieu de la salle à chauffer, ou quelquefois dans les coffres des cheminées, disposés comme des poêles pour brûler du combustible et chauffer l'air de la salle, mais ayant une large bouche fermée par une trappe verticale à crémaillère ou à contre-poids, qui, baissée, en fait un poêle, et ouverte, une cheminée. Ce sont des appareils propres et agréables, qui tiennent lieu de poêles ou de cheminées.

Celui qui est appelé *cheminée à la prussienne* consiste en un coffre carré, en tôle, ouvert par devant au moyen d'une trappe en tôle, conduite par deux chaînes s'enroulant sur un treuil manœuvré au dehors par une manivelle.

Les cheminées au coke, décrites à l'article Chauffage du Complément, et celles connues sous le nom de système Mousseron, rentrent dans la classe de celles dont nous parlons ici, et se ramènent en principe à la réunion des moyens d'utiliser autant que possible la chaleur produite dans une cheminée pour chauffer l'air.

La figure 463 représente l'appareil Mousseron. On voit que le combustible est complétement isolé du mur

par une chambre de chaleur dans laquelle l'air s'échauffe. Le foyer métallique est de forme arrondie et

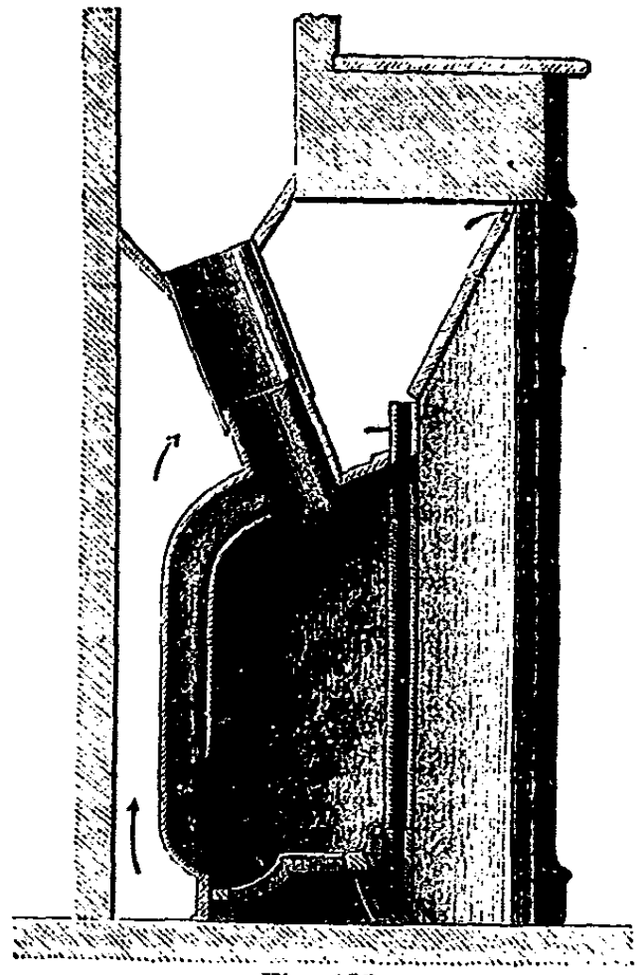


Fig. 463.

par conséquent favorable à la radiation. Un rideau à la partie supérieure de la cheminée, une prise d'air extérieur, des bouches latérales d'air chaud complètent cet appareil apprécié pour le chauffage à la houille.

V. — CALORIFÈRES.

Nous avons défini les *calorifères* des appareils dans lesquels un foyer, avec une enveloppe et des surfaces de transmission, échauffe de l'air pris à l'extérieur pour l'envoyer dans une ou plusieurs salles plus ou moins éloignées; à la différence des *poêles* qui sont placés dans les salles mêmes à chauffer.

En vertu de sa moindre densité, l'air chaud tend toujours à monter, et on éprouve des pertes graves à le faire redescendre, et même à le faire courir horizontalement dans de grandes longueurs. Il y a donc nécessité, avec un calorifère, pour le bon service des conduits de distribution d'air chaud, de donner à cet air chaud une direction constamment ascendante, et par conséquent de placer le calorifère au-dessous du niveau des salles à chauffer. Dans les maisons d'habitation on le place dans les caves.

En conséquence, l'éloignement du calorifère des salles à chauffer exige que ses enveloppes extérieures soient épaisses, et construites de manière à perdre très-peu de chaleur, c'est-à-dire qu'elles soient isolées des murs par des vides que l'on réserve dans les parois du calorifère. Tout le travail de chauffage des surfaces et de leur refroidissement doit donc s'opérer à l'intérieur d'une enveloppe épaisse en maçonnerie, qui l'isole entièrement du contact de l'air extérieur, tandis que pour utiliser le mieux possible le combustible, il faut au contraire que tout l'appareil intérieur soit construit en métal; les parties qui reçoivent le premier coup de feu en fonte, et le reste en tôle.

Une autre condition importante est de prendre des formes simples, faciles à exécuter, à démonter, et à reposer, en cas de réparation, faciles surtout à visiter et à nettoyer. C'est une condition sur laquelle j'insiste, parce que la plupart des constructeurs ont cherché un bon chauffage et un refroidissement complet de la fumée

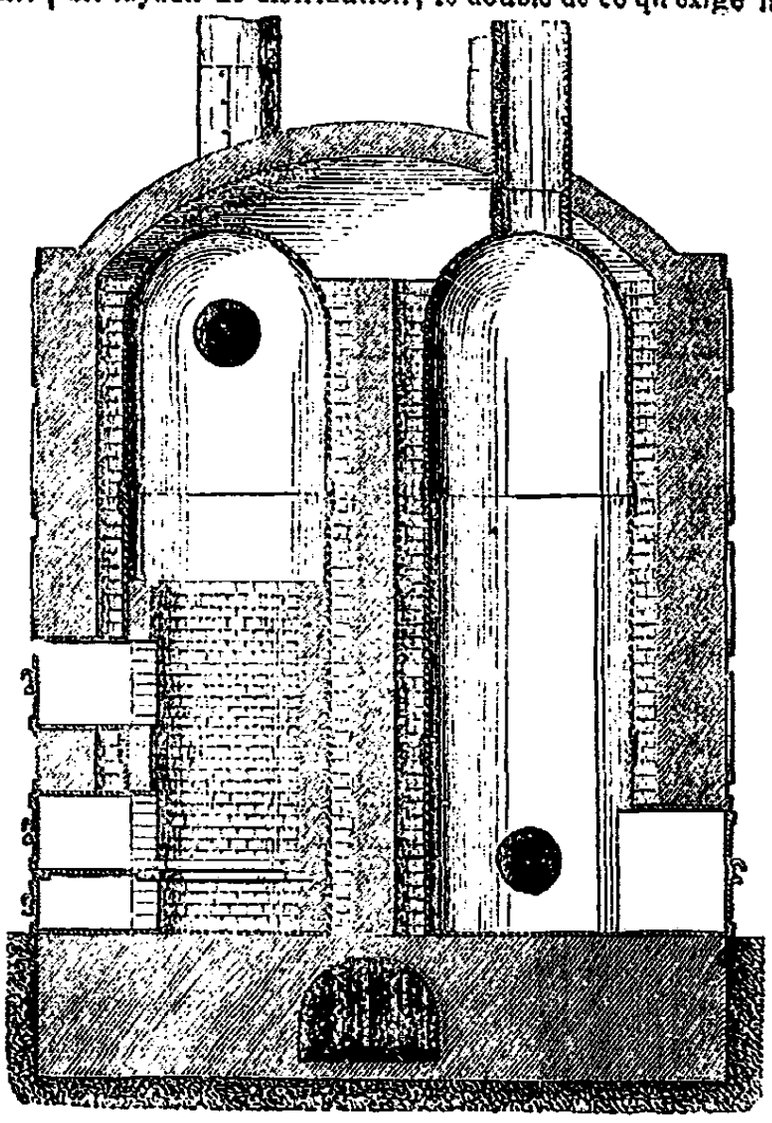
dans des complications de formes et de dispositions qui sont nuisibles; c'est que d'abord ils ont voulu à toute force, surtout les fumistes, se donner une disposition particulière à eux, qu'ils puissent faire breveter comme enseigne, et vanter bien haut par dessus toutes les autres.

Ils sont ensuite partis de ce principe erroné, qu'il faut refroidir la fumée *le plus complétement possible* en la brisant dans tous les sens et la gênant de toutes manières, sans savoir que le premier principe d'un bon foyer est un bon tirage, et qu'un bon foyer est la base d'un calorifère; si le tirage est mauvais, la combustion languit, et il se dégage une suie abondante et du noir de fumée, les tuyaux s'engorgent en peu de jours, cessent de chauffer; enfin surtout, la fumée tend à passer par tous les joints des tuyaux et appareils dans les espaces occupés par l'air chaud, ce qui la fait arriver dans les appartements. Bon tirage, favorisé par le passage de la flamme dans une colonne verticale à la sortie du foyer, simplicité de dispositions et de formes, refroidissement de la fumée qui ne descende pas au-dessous de 300°, et surface de chauffe suffisante pour obtenir ce refroidissement, voilà les conditions fondamentales d'un calorifère : il y a de plus deux dispositions spéciales à adopter qui contribuent puissamment au résultat demandé : l'une est que la fumée passe dans les tuyaux métalliques, et l'air à chauffer à l'entour, au lieu de pousser l'air dans les tuyaux et de les envelopper de fumée, car dans ce second cas toute la chaleur rayonnante traverse ce courant d'air, presque sans l'échauffer, pour se réfléchir sur la surface opposée du tuyau même de chauffage, ce qui réduit considérablement la surface du chauffe, tandis que, dans le premier cas, la chaleur rayonnante passe entièrement dans l'enveloppe extérieure qui devient ainsi *surface travaillante*, et chauffe puissamment l'air; l'autre condition est que la fumée après avoir monté verticalement pour assurer un bon tirage à l'appareil, redescende successivement dans les appareils en sens contraire de l'air frais qui trouve ainsi des surfaces plus chaudes à mesure qu'il s'élève en température.

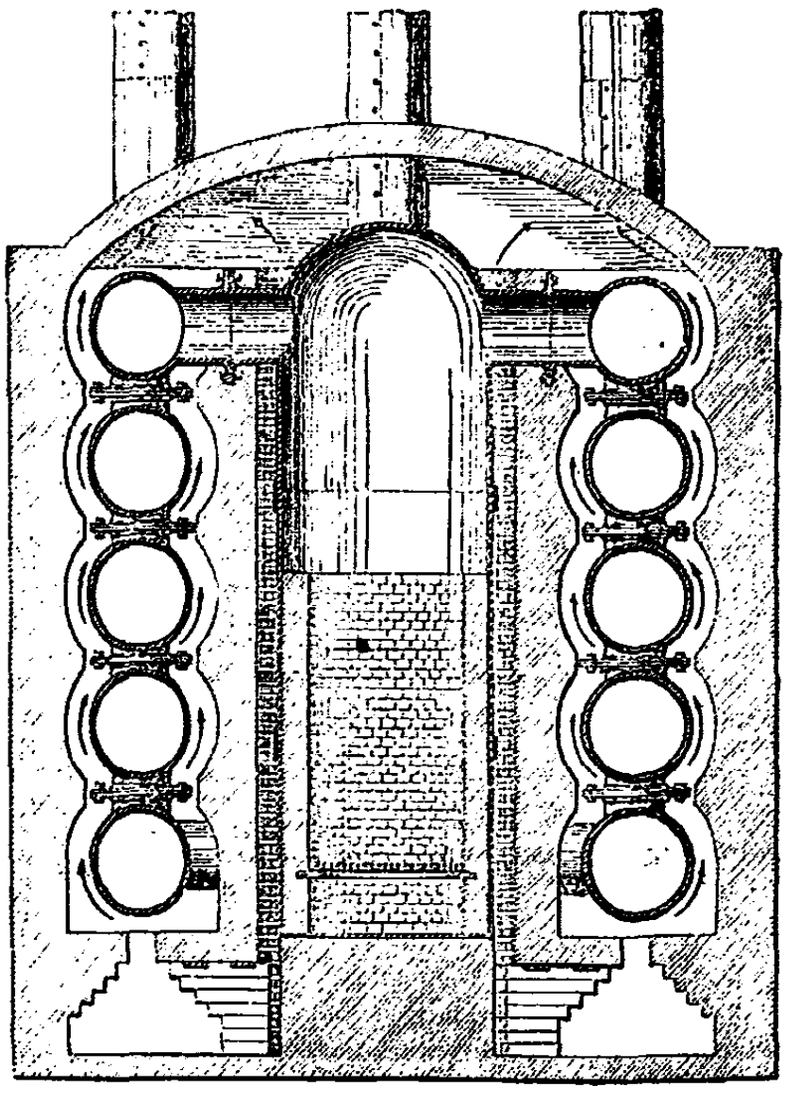
Un point à observer dans les calorifères destinés aux maisons particulières est de donner aux surfaces qui reçoivent d'abord le coup de feu du foyer, assez de grandeur pour qu'elles ne rougissent que légèrement, et que l'air qui passe sur elles ne puisse pas contracter une mauvaise odeur, bien connue de la plupart des personnes qui emploient des calorifères; il faut en même temps donner de grandes issues à l'air chaud pour que le calorifère puisse débiter beaucoup d'air, et que celui-ci n'ait pas le temps de s'échauffer fortement; on assure ainsi la salubrité des lieux chauffés et on obtient un meilleur refroidissement de la fumée; enfin il faut ne jamais oublier de placer dans le réservoir d'air chaud un vase plein d'eau, qui donne à l'air toute la vapeur d'eau qui lui est nécessaire et le ramène à un degré hygrométrique convenable, pour qu'il soit complétement salubre.

Dans de bons calorifères l'effet utile peut s'élever jusqu'à 75 p. 100 de la puissance calorifique totale du combustible; mais, en faisant des projets de calorifères, il est prudent de ne calculer que 50 à 55 p. 100; ainsi un kilogramme de houille sera compté comme donnant un effet utile de 3,000 calories environ.

Nous verrons plus loin, en parlant du chauffage des établissements publics, qu'en pratique, 100 mètres cubes de logement habité exigent dans les grands froids, pour être maintenus à 16 ou 18°, 14 à 1500 calories par heure. Il faut compter en combustible brûlé, en y ajoutant les pertes du calorifère et des tuyaux de distribution, le double de ce qu'exige la



464.



465

CHAUFFAGE.

salle même, c'est-à-dire que pour une salle de 100 mètres cubes, il faut dégager 3,000 calories, et brûler ainsi 1 kilogr. de houille par heure. Quant aux proportions de l'appareil, il faut 2 mètres carrés de surface de chauffe pour 1 kilogr. de houille et pour 2 kilogr. de bois à brûler par heure, et 2 décimètres carrés de section des tuyaux de fumée, avec 5 décimètres carrés de grille pour la même quantité.

Nous recommandons de plus, quand on le peut, de faire déboucher les tuyaux de fumée, à leur sortie du calorifère, dans des cheminées plus larges, et avec des coudes arrondis, nécessaires en pareil cas, ou d'augmenter notablement leur diamètre aux coudes.

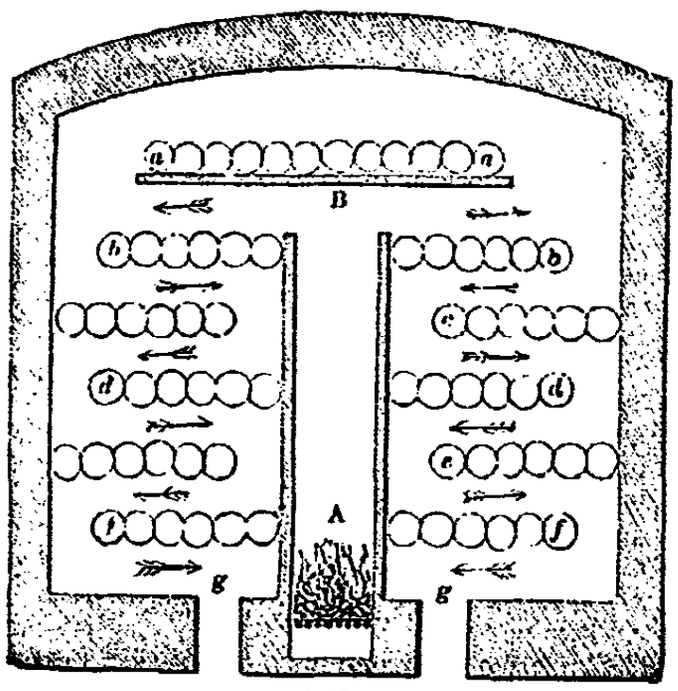
La quantité d'eau à donner à l'air par jour, peut être évaluée pour une salle de 100^{mc} à 1 1/2 ou 2 litres.

Poser ainsi les bases de construction des bons calorifères, c'est éviter la nécessité de donner la description d'un grand nombre d'entre eux, et de discuter leurs qualités et leurs défauts, c'est fournir à chacun les éléments nécessaires pour juger les appareils proposés, et ramener par conséquent les constructeurs dans la bonne route.

Après ces principes généraux, nous parlerons brièvement de quelques calorifères principaux, et nous donnerons la description plus détaillée de celui que nous avons construit, et que nous croyons reposer sur les bases posées plus haut.

L'un des meilleurs et plus simples calorifères est celui monté par M. René Duvoir dans diverses manufactures, fig. 464 et 465, et qui consiste en un foyer placé au bas d'un cylindre de fonte; la flamme et la fumée s'en élèvent et redescendent par deux séries de tuyaux de fonte, ouverts par les deux bouts pour la facilité du nettoyage, et remontent ensuite dans un cylindre de fonte pour atteindre la cheminée. Tout l'appareil est enveloppé dans un grand coffre en briques. L'air pris à l'extérieur passe dans le coffre en briques autour du foyer et des tuyaux de chauffage, pour se dégager en haut par de larges ouvertures.

Deux calorifères anglais sont donnés dans le dictionnaire du docteur Ure : l'un, fig. 467 consiste en un

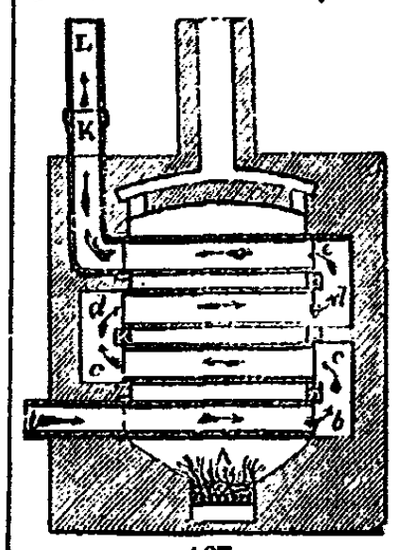


466.

foyer A, dont la flamme et la fumée se développent autour de quatre rangées de tuyaux de fonte *b b*, *c c*, dans lesquels passe successivement l'air destiné à être chauffé, qui entre en *b* dans le tuyau inférieur et sort en *k l* très fortement échauffé.

Ce calorifère, bon pour élever l'air à une haute température, le donne surtout beaucoup trop sec pour une maison d'habitation.

Le second, fig. 466, également composé de tuyaux horizontaux, et dont on voit la coupe verticale dans la figure, échauffe beaucoup moins énergiquement l'air parce



467.

que la combustion s'opère en A au milieu d'une colonne de briques, qui préserve les tuyaux de fonte de la première action du feu. La flamme et l'air brûlé redescendent à droite et à gauche de la cheminée centrale, et passent successivement entre tous les rangs, *a*, *b*, *c*, *d*, de tuyaux, que traverse l'air à échauffer, qui y entre librement par un bout pour se rendre de ces tuyaux dans un tuyau commun.

Les fig. 468 et 469 représentent le calorifère que nous avons construit, et dans lequel le foyer, recouvert d'une grande cloche de fonte, jette directement la flamme dans un tuyau vertical en fonte, qui la distribue à deux rangées de tuyaux descendants en tôle, en bas desquels les deux séries de tuyaux se réunissent en un seul, pour remonter et se rendre dans la cheminée.

Une cloison en briques sépare l'air frais qui vient s'échauffer sur la cloche, et son tuyau montant, de celui qui passe en sens contraire de la fumée sur les tuyaux descendants; les deux parties d'air se réunissent en haut dans la chambre à air, pour prendre une température uniforme, et se rendre par les tuyaux de distribution dans les salles à chauffer. Un canal de prise d'air extérieur amène par deux conduits une partie de l'air frais, aux deux côtés de la cloche, sous une enveloppe en briques, tandis qu'une autre partie de l'air est versée directement sur les tuyaux de descente de fumée.

Au moyen d'ouvertures réservées aux parois du calorifère pour les réparations, il est facile de régler convenablement les diverses prises d'air frais. Les tuyaux, ayant tous des bouchons à l'extérieur, sont très faciles à visiter et à nettoyer, et, quoiqu'ils ne puissent pas s'altérer, ils seraient très faciles à changer. Les flèches simples indiquent le courant de fumée ; celles doubles, les courants d'air *froid* et *chaud*.

Une boîte à eau placée en *a*, près du réservoir d'air chaud, en assure la salubrité ; la température de l'air s'y règle aisément à un degré très modéré.

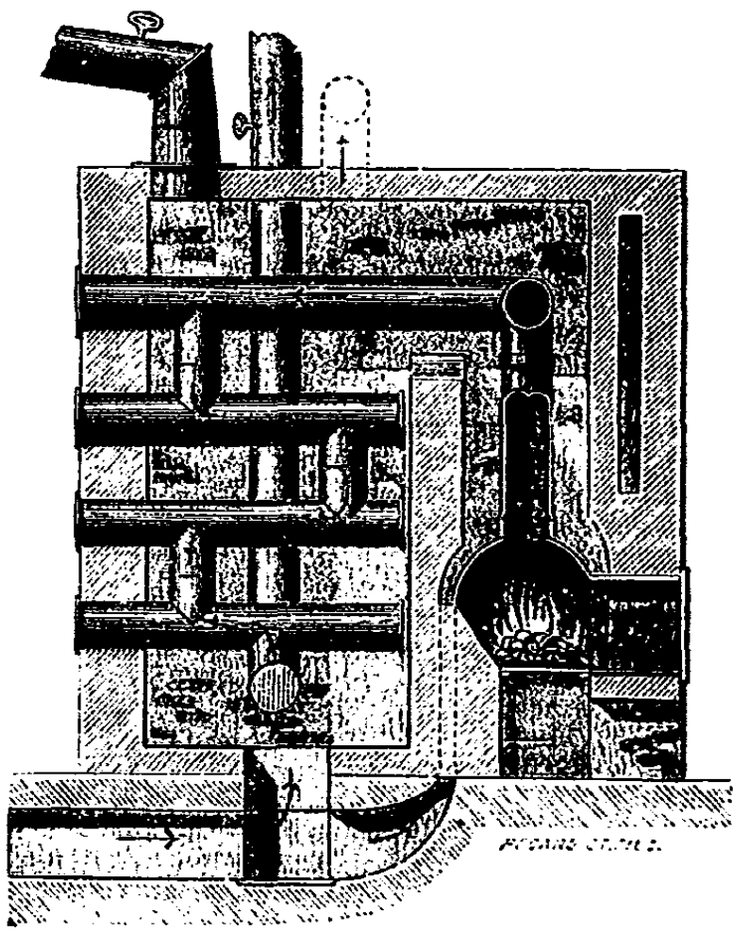
Rien n'est plus simple que ces dispositions, qui donnent une très grande surface de chauffe.

D'un autre côté, nous avons appliqué ces calorifères aux étuves à fécule, et à toutes celles qui exigent une haute température, au moyen d'une disposition particulière tout à fait nouvelle. Par le moyen des conduits de ventilation et d'appel de l'étuve à fécule, quand on veut monter la température à 60 ou 75°, comme cela est nécessaire dans cette industrie et dans le séchage des crins, dans celui des farines de légumes, etc., on fait à volonté passer de nouveau l'air déjà chaud de l'étuve dans le calorifère, et on transforme ainsi notre calorifère et notre étuve en un appareil aérotherme à circulation. Les résultats sont tels, qu'on peut porter en une demi-heure la température d'une étuve de 60° à 105° et plus, dispositions qui auront plus tard de grandes applications dans l'impression des tissus et dans d'autres industries.

Pour les usages industriels, blanchisseries, séchoirs de tout genre, féculeries, etc., le système de calorifères à air chaud, dont nous parlons ici, est de tout point satisfaisant. Il permet de chauffer rapidement, et au besoin à de hautes températures, des masses d'air extrêmement considérables, qui parviennent aisément dans

les salles à chauffer, en général de grandes dimensions et peu nombreuses, et les parcourent en décrivant le chemin le plus convenable et qui est déterminé par les orifices d'entrée et de sortie de l'air, et les cloisons que l'on peut placer sur sa voûte au besoin.

Fig. 468.



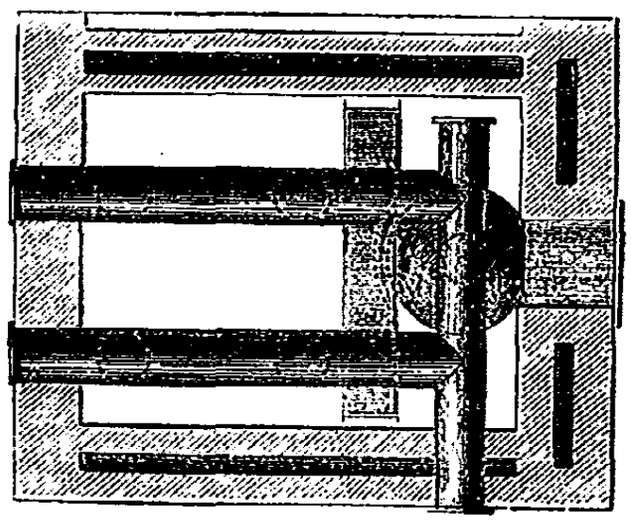


Fig. 469.

Dans quelques circonstances, on peut employer un ventilateur pour envoyer l'air à de grandes distances et accélérer encore son passage à travers les tuyaux pour en augmenter la quantité et empêcher que sa température ne dépasse une limite voulue.

Il n'y a pas à s'occuper, pour ces applications, des inconvénients indiqués plus haut pour le chauffage des édifices à l'aide des calorifères à air chaud, et qui leur ont fait souvent préférer pour les appartements, et surtout les édifices publics, le chauffage à l'eau chaude dont nous traitons ci-après. Nous dirons seulement qu'ils sont difficiles à éviter complétement, sans quelques modifications importantes de ces appareils, pour les combustions vives, pour lesquelles il faudrait trouver une disposition permettant d'augmenter les parties en briques, dans le voisinage du feu, sans tomber dans

l'inconvénient de la fumée par l'insuffisance des ajustements, des emboîtements des tuyaux; pour les combustions lentes nous avons vu comme il y avait été remédié par la disposition employée dans le calorifère Joly.

Après avoir indiqué les points les plus saillants, relatifs à l'établissement des calorifères, il faut dire quelques mots d'une question assez importante, d'un problème dont la solution est souvent assez difficile, la distribution de l'air chauffé par les calorifères.

On place toujours les calorifères à des niveaux inférieurs à celui des salles que l'on veut chauffer. Si l'on était obligé de les installer au niveau du plancher d'une salle, il faudrait les établir de manière à faire circuler l'air même de la salle dans le calorifère, sauf les parties renouvelées par l'appel et la ventilation, en perçant dans la salle même la prise d'air au bas, et les bouches d'air chaud au sommet du calorifère, où il faudrait avoir un appel assez puissant pour faire redescendre l'air chaud dans le calorifère. La position des calorifères à un niveau inférieur à celui des salles est de beaucoup préférable.

Pour obtenir une égalité convenable de température dans l'air chauffé, il faut avoir au-dessus du calorifère un réservoir d'air chaud, soit formé de l'enveloppe même, soit d'un coffre en tôle isolé de l'enveloppe de briques. C'est de ce réservoir que partent les tuyaux de distribution, qui doivent y être engagés avec des raccordements coniques et des coudes très-arrondis, pour éviter des contractions, des résistances et des ralentissements dangereux; car l'air, ayant une température modérée et une vitesse ascensionnelle faible, une action contraire très-légère suffit pour diminuer sa vitesse et même l'annuler.

Les embranchements de départ des principaux points partiront tous, autant que possible, du réservoir même d'air chaud, pour qu'ils ne se gênent pas réciproquement, et que, branchés l'un sur l'autre, deux tuyaux ne se servent pas réciproquement d'obturateur, ou au moins le plus fort au plus faible. Chaque embranchement de départ aura aussi une clef qui fermera exactement, pour intercepter ou pour régler le débit de chaque tuyau. Il est important, en effet, quand on ne veut pas envoyer de l'air chaud à une salle, de fermer complétement le tuyau à son départ; car de ce défaut de soin résulteraient des pertes considérables de chaleur. Les dimensions des tuyaux doivent être grandes; il ne faut pas compter plus de 0m,50 de vitesse moyenne, pour l'air qui y passe, les coudes et étranglements des clefs compensés.

La plus grande difficulté est de passer de gros tuyaux dans les murs, surtout si ce sont des murs préexistants au calorifère; car, quand la distribution d'un calorifère s'établit en même temps que la construction d'un bâtiment, il est plus facile de disposer convenablement, avec de bonnes sections, les passages d'air chaud.

Les tuyaux de tôle galvanisée, seront logés dans l'épaisseur des murs, isolés avec soin de la maçonnerie par des vides d'air, fermés de tous côtés, afin d'éviter le refroidissement rapide qu'une grande masse de maçonnerie fait éprouver à une surface métallique mince, et à l'air, dont la capacité pour la chaleur est si faible.

Tous les tuyaux marcheront toujours en montant, à partir du calorifère, jusqu'au point où ils s'élèveront dans les murs pour atteindre les bouches, en s'arrondissant dans tous les coudes; les bouches seront larges et maillées avec du fil de cuivre très-fin, à grandes mailles de 5 millimètres au moins de côté.

Les meilleures bouches sont celles à coulisses, parce qu'elles permettent de régler à volonté l'écoulement de l'air chaud, ce qui est difficile avec les bouches à charnières.

Quand les tuyaux devront avoir des embranchements

pour envoyer de l'air chaud à plusieurs pièces placées sur une même direction, on fera partir les embranchements de culottes, prises de loin et coniques, avec clefs d'arrêt. On donnera au tuyau commun à deux bouches, des dimensions qui seront la somme de celles des tuyaux, partiels.

Quant aux longues lignes horizontales de tuyaux, il n'en faut pas admettre : l'air chaud y rencontre trop de frottements et trop peu de différence de niveau pour pouvoir y monter avec quelque vitesse, et la petite quantité qui passe alors arrive aux bouches complétement refroidie. Il faut dans ce cas-là établir deux calorifères séparés sous des parties de bâtiment trop éloignées.

Pour avoir une bonne distribution, il ne reste plus qu'une condition à remplir, c'est de s'assurer que dans toutes les salles où l'on envoie de l'air chaud il y aura un moyen d'appel. Sans appel, ou sans un moyen d'évacuation de l'air de la salle, pour qu'il puisse être remplacé par l'air chaud, celui-ci ne peut pas arriver et les bouches ne fonctionnent pas. Un appel peut être donné dans les salles où il y a une cheminée, par cette cheminée, quand on y fait du feu, et même sans feu, en laissant la trappe qui la ferme légèrement ouverte ; par une cage d'escalier contigue, que l'on met en communication avec la salle à chauffer au moyen d'une bouche intermédiaire grillagée, et placée dans le mur de séparation. Enfin, pour les salles à manger, antichambres, etc., en plaçant au plafond, ou près du plafond, une bouche grillagée qui communique, par un conduit de 15 à 16 centimètres de diamètre, à un tuyau de tôle montant de 2 mètres dans la cheminée de la cuisine, ou une cheminée constamment chauffée. On obtient ainsi un puissant appel, sans lequel il n'y a pas de chauffage à air chaud possible. Des vasistas aux carreaux les plus élevés d'une fenêtre donneront aussi un appel, mais moins sûr et moins bon.

Enfin, quand il est question de chauffer simultanément plusieurs étages avec un seul calorifère, c'est une question difficile, très difficile souvent dans certaines localités, parce que, inévitablement, les étages supérieurs ayant des colonnes d'air chacune plus haute et de beaucoup plus de vitesse, commandent les étages inférieurs et aspirent tout l'air du calorifère, sans rien laisser passer au rez-de-chaussée ; nous en avons vu de nombreux exemples. Pour éviter ce défaut, il faut partager par une cloison la chambre à air en autant de capacités séparées qu'il y a d'étages à chauffer, ou même de fractions d'étages, et en faire partir des tuyaux distincts ; c'est l'étude des localités qui doit guider dans la disposition du calorifère et des tuyaux à adopter dans toutes les questions de ce genre.

VI. — CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR.

Les appareils de chauffage dont nous avons parlé sont simples, et quoiqu'ils présentent des difficultés de combinaison, et qu'ils soient trop rarement basés sur les principes de la science, ils sont cependant chaque jour construits par les fumistes, parmi lesquels il n'en est pas un qui ne croie devoir inventer son calorifère, son poêle et sa cheminée.

Il en est autrement pour les *chauffages à vapeur ;* le prix élevé de leur installation, la difficulté des détails à combiner, les ont laissés jusqu'à présent à un très petit nombre d'ingénieurs, et bien peu ont eu occasion d'en construire sur une grande échelle.

C'est un avantage que nous avons dû aux conseils de M. d'Arcet, qui, avec diverses commissions de l'Académie des sciences, a présidé à l'établissement des grands chauffages de la Bourse et de l'Institut ; cette expérience ne doit pas être perdue.

Les appareils à vapeur sont employés tous les jours au chauffage des ateliers, et c'est de là qu'ils ont pénétré dans les édifices publics et particuliers, en prenant

des formes plus riches et plus compliquées, mais sans changer leur caractère fondamental, qui se constitue :

D'un appareil à produire la vapeur ou *générateur ;*

De tuyaux de distribution et de transport. Enfin de récipients à grandes surfaces extérieures, destinés à condenser la vapeur et à transmettre au dehors, à travers leur enveloppe, la chaleur dégagée dans cette condensation.

On sait en effet que l'eau, quand elle se réduit en vapeur, absorbe et rend latente une quantité considérable de chaleur, et que la vapeur en se condensant rend à peu près 560 calories par kilogramme, qui peuvent être utilisées à divers usages.

En vertu de cette propriété, la vapeur est un puissant moyen de transmission de chaleur qui peut porter au loin, sous un très petit volume, et diviser sur tous les points, la quantité considérable de chaleur demandée sur chacun de ces points ; faculté précieuse que ne possède aucun autre procédé de chauffage, dont on tire le plus grand parti dans les arts, et que nous avons appliquée dans toute l'étendue du principe fondamental aux chauffages des édifices publics.

Tout ce qui concerne les générateurs a été développé dans l'article CHAUDIÈRE A VAPEUR, car ces appareils sont partout les mêmes, que la vapeur produite soit destinée au chauffage de l'air, à celui de l'eau, ou à l'alimentation des machines à vapeur.

Les générateurs destinés au chauffage sont ordinairement établis à basse pression, et fonctionnent avec une pression qui dépasse au plus de 25 centimètres de mercure la pression atmosphérique. Au premier moment de la mise en activité, on est obligé de monter à quelques centimètres de plus, pour chasser l'air des appareils et porter rapidement la vapeur aux points les plus éloignés du système ; mais aussitôt après, on réduit la pression au degré nécessaire pour le service : car il y a toujours avantage et économie à produire la vapeur à la plus basse température possible, quand il n'y a pas un intérêt spécial à l'employer à haute pression.

Dans les manufactures, l'on emploie souvent au chauffage des ateliers la vapeur produite à haute pression, mais utilisée d'abord directement et détendue dans le cylindre d'une machine à vapeur de manière à la faire travailler deux fois.

La matière et la forme des générateurs employés pour le chauffage peuvent varier, bien que l'on emploie aujourd'hui presque exclusivement les générateurs en tôle et à bouilleurs. Nous avons placé deux chaudières, l'une en tôle, l'autre en cuivre, à fonds plats, dites à tombeau, au palais de l'Institut ; et depuis douze ans, on n'a reconnu d'autre différence de service entre elles qu'une légère adhérence des dépôts dans celle de tôle, tandis qu'ils sont complétement en boue dans celle de cuivre ; la dépense de combustible est la même pendant le travail, et aucune des deux n'a éprouvé la moindre détérioration ; mais comme elles restent pendant cinq mois d'été inoccupées, il se produit alors une légère oxydation extérieure à la chaudière de tôle, ce qui n'a pas lieu à celle de cuivre.

Les tuyaux de distribution qui portent la vapeur à des distances quelquefois de plusieurs centaines de mètres doivent remplir deux conditions :

1° Avoir un diamètre largement nécessaire pour conduire la vapeur à la plus grande distance sans donner un excès de pression notable au générateur. Car il en est de la vapeur comme de l'eau, plus les tuyaux de conduite sont longs et plus la résistance passive opposée au mouvement est grande ; afin de n'être pas obligé de vaincre les résistances par des excès de pression considérables, comme on surmonte celles des conduites d'eau par un surhaussement dans la charge, il faut, à quantité de vapeur égale, augmenter le diamètre des tuyaux avec leur longueur. Sous ce rapport, l'augmentation du dia-

mètre ne peut nuire en rien; mais elle en augmente la surface de refroidissement qui n'est pas une surface de chauffe utile, et qui, évidemment, malgré toutes les précautions que l'on peut prendre pour envelopper les tuyaux et s'opposer à leur refroidissement, donne lieu à des condensations nuisibles, et par conséquent à des pertes de chaleur et d'argent.

On utilise cependant quelquefois à un chauffage la chaleur dépensée à travers la surface des tuyaux de distribution; mais alors, ou les tuyaux perdent leur caractère de simples tuyaux de conduite, pour devenir appareils de chauffage, ou il n'y a pas grand avantage à confondre deux services différents; et l'on s'expose à divers inconvénients, par exemple, à celui de produire dans les tuyaux de distribution des condensations qui gênent le mouvement de la vapeur, et en diminuent la tension et la vitesse.

Dans l'industrie, chaque appareil doit avoir son service spécial et unique, et être employé à des travaux différents; il est rare qu'il remplisse bien deux conditions à la fois, il devient alors moins bon pour chacune d'elles. L'indépendance des opérations est une grande condition de succès.

Entre les deux extrêmes que j'ai signalés il est des proportions que la pratique a enseignées et que la théorie a confirmées en les résumant en règles générales.

En Angleterre, dans les chauffages à *basse pression*, les tuyaux sont avec raison d'un gros diamètre; au palais de l'Institut, ils ont $0^m,11$ de passage intérieur, et aussi la vapeur arrive-t-elle en quelques instants aux points les plus éloignés, sous une très faible pression.

Il ne faut donc pas prendre pour des générateurs de dix à douze chevaux des diamètres moindres. Lorsque pour une raison indépendante du chauffage, le générateur fonctionne à deux atmosphères, ou au-dessus, le diamètre sera sans inconvénient diminué de beaucoup; alors on adoptera la règle pratique suivante qui nous sert toujours :

Le *diamètre intérieur du tuyau doit être égal à un minimum de* 35 *millimètres, augmenté de* 1 1/2 *millimètre par force de cheval du générateur employé, ou de la vapeur qui doit passer par ce tuyau.*

Si le générateur à dix chevaux de force, ou qu'au moins une quantité de vapeur égale à dix chevaux, c'est-à-dire à peu près de 200 à 250^k à l'heure, ait à traverser ce tuyau, il aura un diamètre de 35+15 ou 50 millimètres, pour trente chevaux, 35+45 ou 80 millimètres.

On calculera de même les embranchements partiels, en ne descendant pas au-dessous de 20 à 30 millimètres, à moins de quantités de vapeur excessivement faibles et au-dessous d'un cheval.

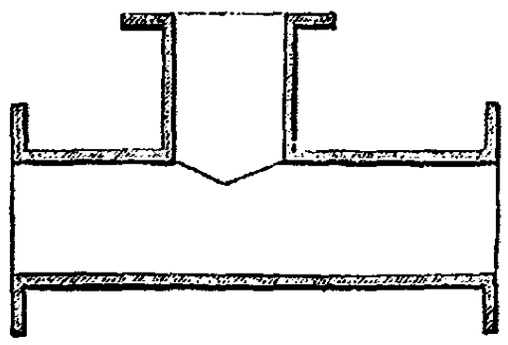
Les proportions réglées par la formule de M. Péclet, sont un peu moins fortes que celles-ci, et elles donnent rigoureusement les diamètres en raison de la longueur des tuyaux et de la pression de la vapeur; mais avec une méthode pratique comme celle-ci, et en général dans tout appareil exécuté, il est nécessaire de se tenir au-dessus des dimensions exactement suffisantes, ne fût-ce que pour prévoir les accroissements possibles de service.

Les tuyaux de distribution de vapeur sont exposés quelquefois à avoir des fuites, presque exclusivement aux *branchements* partiels tourmentés par les dilatations contraires des tuyaux longitudinaux et du branchement. Ces branchements sont des pièces de cuivre emboîtées et bien rivées, il faut alors leur donner beaucoup de force et d'empâtement; et les clouer quand ils ont un fort diamètre.

Nous avons employés avec un plein succès dans les grands chauffages, pour éviter les accidents, des branchements en fonte ou en cuivre fondu (fig. 470).

Les tuyaux de distribution doivent toujours être faciles à visiter et à réparer,

On évite des condensations considérables de vapeur en enveloppant ces tuyaux de lisière de drap, de poil de



470.

vache ou de tresses de foin, recouvertes d'un enduit de plâtre; car les placer dans de doubles tuyaux et dans une enveloppe d'air stagnant, ce serait s'enlever tout moyen de visite. Quand un tuyau à vapeur passe dans un plancher, il faut le placer dans un caniveau que l'on recouvre d'une trappe mobile.

Les tuyaux de distribution sont en fonte quand ils ont un gros diamètre, en fer étiré ou en cuivre quand ils sont plus petits. Dans les petits diamètres, les tuyaux en fer étiré ne coûtent pas moins cher que ceux en cuivre; ils ont l'avantage de n'avoir guère de fuites, mais si on veut les changer pour modifier les dispositions des appareils, comme cela a lieu si fréquemment dans les ateliers, on en perd presque complétement la valeur.

Ceux de cuivre, au contraire, conservent toujours leur valeur, peuvent être changés à volonté, et employés ensuite ailleurs avec peu de perte.

Les tuyaux de fonte, doivent être tournés sur une saillie de trois centimètres de largeur qui reçoit le mastiçage, et solidement boulonnés; les joints à emboîtements sont exposés, par suite des dilatations et contractions alternatives des colonnes, à être ébranlés ou à donner des fuites.

Les tuyaux de fer étiré sont filetés aux deux bouts, vissés bout à bout dans de petits manchons taraudés; c'est un excellent accouplement, il a seulement l'inconvénient de ne pas permettre de démonter facilement une colonne de tuyaux, puisqu'il faut reculer une partie de cette colonne pour sortir le tuyau de son manchon.

Les tuyaux de cuivre sont brasés à la soudure forte; jamais on ne doit admettre la soudure d'étain, que la chaleur de la vapeur ramollit et brise aux moindres vibrations. On les assemble, soit par des brides dites à la *moulfarine*, consistant en deux demi mâchoires creusées en cône intérieurement; qui, rapprochées l'une de l'autre au moyen de deux vis, serrent ensemble deux collets coniques, mais d'une plus large base, que l'on a brasés au bout des deux tuyaux, et les accouplent ainsi préalablement mastiqués (c'est une excellente fermeture), soit par des écrous roulants formés d'un anneau taraudé qui se visse sur le bout fileté de l'un des tuyaux, de manière à y presser le collet de l'autre tuyau sur lequel il roule librement; enfin on les accouple le plus communément avec des brides en fer forgé, qui agissent sur les collets de cuivre assemblés, ou brasés au bout des tuyaux, et sont serrées par deux bou-

471. 472.

lons ou plus; c'est un assemblage très solide, facile à démonter, et qui a l'avantage de ne pas être perdu quand un boulon vient à s'user ou à se briser. Dans tous les joints de ces tuyaux on met une légère couche de mastic rouge, composé de céruse, de minium et d'huile de lin, avec une rondelle de carton bouillie dans l'huile, ou de plomb mince. Les tuyaux de plomb doivent être entièrement proscrits des chauffages à vapeur, comme se gonflant, et finissant par crever sous la double action de la chaleur et de la pression.

Les tuyaux de transmission, surtout ceux en cuivre, doivent être fixés solidement, pour ne pas se briser par les vibrations que la vapeur leur imprime quand elle rencontre de l'eau froide. Il faut cependant conserver toujours des moyens de dilatation suffisants, pour éviter toute rupture, et donner aux tuyaux de distribution des pentes qui laissent écouler l'eau condensée : car, lorsqu'elle reste accumulée dans des coudes ou des contre-pentes, elle ferme tout passage à la vapeur, et en la condensant brusquement, elle donne des coups si violents qu'il en résulte inévitablement des ruptures et des fuites.

Les *récipients* ou *appareils de condensation* ont pour objet, comme nous l'avons dit, de condenser intérieurement la vapeur, et de transmettre toute la chaleur ainsi dégagée à travers leur surface à l'air qui les enveloppe, pour en élever ou en soutenir la température.

Il y a donc deux points à examiner dans la question des récipients, les dimensions et la surface à leur donner par rapport au service qu'on leur demande, c'est-à-dire à la quantité d'air ou aux dimensions des salles à chauffer, et les dispositions des appareils intérieurs qui y apportent la vapeur, et en évacuent l'air et l'eau.

L'expérience prouve que la quantité de chaleur transmise à travers une surface de fonte, de tôle ou de cuivre, est dans les limites d'épaisseur que l'on donne aux appareils, à peu près indépendante de cette épaisseur.

La nature du métal, et bien plus l'état de la surface exercent une influence très grande sur les quantités de chaleur transmises ; les métaux noircis et dépolis en laissent passer beaucoup plus que les métaux brillants et polis. Voici les quantités de vapeur condensées par un mètre carré de chauffe des métaux les plus employés, plongés dans de l'air à 15°, et par conséquent le nombre de calories transmises par un mètre carré en une heure.

	VAPEUR condensée.	CALORIES transmises.
Fonte nue en tuyau horizontal.	1k,81	995c
Fonte noircie. . . . id. . . .	1k,70	935c
Cuivre nu. . . . . id. . . .	1k,47	808c
Cuivre noirci. . . . id. . . .	1k,70	935c
Cuivre noirci, tuyau vertical.	1k,98	1089c
Tôle neuve.	1k,80	990c
Tôle rouillée.	2k,10	1155c

Pour proportionner les surfaces dont on connaît ainsi la puissance de transmission de chaleur et par conséquent de chauffage, avec les dimensions des salles à chauffer, il est évident que l'appareil doit d'abord fournir à l'échauffement de l'air et des parois de la salle, ensuite aux pertes qui ont lieu à travers ces parois, en contact, d'un côté avec l'air chaud, et de l'autre avec l'air froid extérieur.

M. Péclet, après de belles expériences sur la question du refroidissement de l'eau à travers des enveloppes formées, avec les matériaux les plus communément employés dans la construction de nos habitations, en a fait sortir des formules très simples qui permettent de calculer avec certitude les pertes dues au refroidissement extérieur des murs et du vitrage, et par conséquent les surfaces d'appareils nécessaires pour réparer les pertes et entretenir une salle à une température donnée.

Mais tout le monde ne peut pas se servir de ces formules, et voici une règle pratique donnée par la longue expérience des ingénieurs français et anglais, soit pour les usines, soit pour les habitations, et que confirment pleinement les formules de M. Péclet : *1 mètre carré de surface, chauffée intérieurement par de la vapeur*, et par *conséquent les* 990 *calories transmises par* 1k80 *de vapeur condensée*, suffisent pour chauffer et entretenir à 15° une salle de proportions de murs et de fenêtres ordinaires, de 66 à 70 mètres cubes de capacité, ou un atelier de 90 à 100 mètres cubes, à moins que cet atelier n'ait besoin d'une haute température, auquel cas on donne 1 mètre carré de surface de chauffe pour 70 mètres cubes.

Il est évident que cette mesure n'est ici que la représentation d'un rapport moyen de surfaces de murs et de vitrage.

Le tableau suivant contient les résultats du chauffage des divers grands établissements en Angleterre :

DÉSIGNATION des établissements.	NATURE des tuyaux.	Capacité de l'édifice à chauffer.	Cubes en mètres chauffés par 1 m. carré de surface de tuyaux.	Température en degrés centigrades
		mèt. cub		
Filat. Houlsworth à Anderson, . . .	Fonte.	5662mc	40,5	29°
Lindwood Ibiden.	id.	2494	39	24,1
Kennedy à Jonhston.	id.	7927	38	23,80
Catrine.	Fer-blanc sans enduit.	id.	56,62	»
Houlsworth à Manchester.	Fonte.	id.	54	id.
Chapelle à Port-Glascow.	id.	1699	11,3	»
Partie de la manufact. des Adelphi.	id.	1416	11	18
Filat. à Anderson.	id.	id.	62	19°,5
W. King à Ichaston.	id.	6925	57	21°
Sim à Glascow. .	Fer-blanc.	2831	38	22,20
Filature à Donn. .	id.	4954	id.	id.
Douglas et comp. .	Id. sans end.	3878	28m	22,20
Houlsworth à Jonhston.	Fonte.	2746	38	30,56
Hôtel à Jonhston.	id.	id.	56	id.

Les proportions bien constatées par l'expérience de 66 à 70 mètres cubes, quand on veut un bon chauffage, comme pour des bibliothèques, bureaux, salles de réunion, et de 90 à 100 mètres, pour des salles à chauffer modérément comme certains ateliers, sont les meilleures, et elles ont servi de base à l'établissement des appareils de la Bourse et de l'Institut, comptés à 67 mètres cubes, qui chauffent très largement. Ajoutons que la présence des ouvriers dans un atelier ordinaire, comme une filature, y élève la température de 3°.

Il sera donc facile de calculer les dimensions des appareils de chauffage, mais si l'on voulait en sus des pertes par les murs, renouveler par ventilation une partie de l'air de la salle, il faudrait une plus grande surface. C'est ce que nous apprendrons à calculer à l'article VENTILATION.

On donne à ces appareils des formes diverses. On adopte les tuyaux dans les ateliers et même dans les édifices publics, lorsque l'on peut placer les tuyaux hors de la vue, sous des tables, des planchers ou des chaufferettes, comme nous l'avons fait dans la bibliothèque de l'Institut; c'est encore la meilleure disposition, la plus solide et la plus économique.

Mais au milieu des salles habitées et décorées, un bon ingénieur se gardera de placer des appareils ou vases de grandes dimensions, et de formes désagréables, qui nuiraient à la décoration architecturale. Il donnera à ses appareils des formes qui fassent décoration. Celles de piédestaux soutenant des bustes ou des statues, par exemple, ou de consoles, sont riches, offrent une grande résistance à la pression de la vapeur, et sont faciles à obtenir avec la fonte, et bien préférables sous ce rapport à la tôle et au cuivre; c'est ce que nous avons fait pour toutes les salles de l'Institut et des Néothermes, où nous avons employé ainsi des boîtes en fonte décorées et cachées dans les planchers, pour recevoir la vapeur, et chauffer les pieds des assistants. Nous y reviendrons plus loin. Il est facile de varier à l'infini avec les dispositions des lieux et les besoins, ces formes d'appareils. Quand on envoie de la vapeur dans de longues colonnes de tuyaux, il faut en fixer un bout par des colliers solides, et laisser à l'autre extrémité toute facilité de dilatation, en les soutenant par exemple sur des supports à galets, ou mieux sur des tresses de fil de fer tordu; mais toujours il est nécessaire de leur donner des moyens de se dilater sans se briser à l'aide de compensateurs, de grandes boîtes à étoupe boulonnées, qui embrassent une partie tournée et rodée d'un des tuyaux de la colonne, et la maintiennent pressée en lui permettant de s'allonger et de se raccourcir sans laisser échapper la vapeur.

Quant à la disposition intérieure des appareils de chauffage à la vapeur, elle est simple.

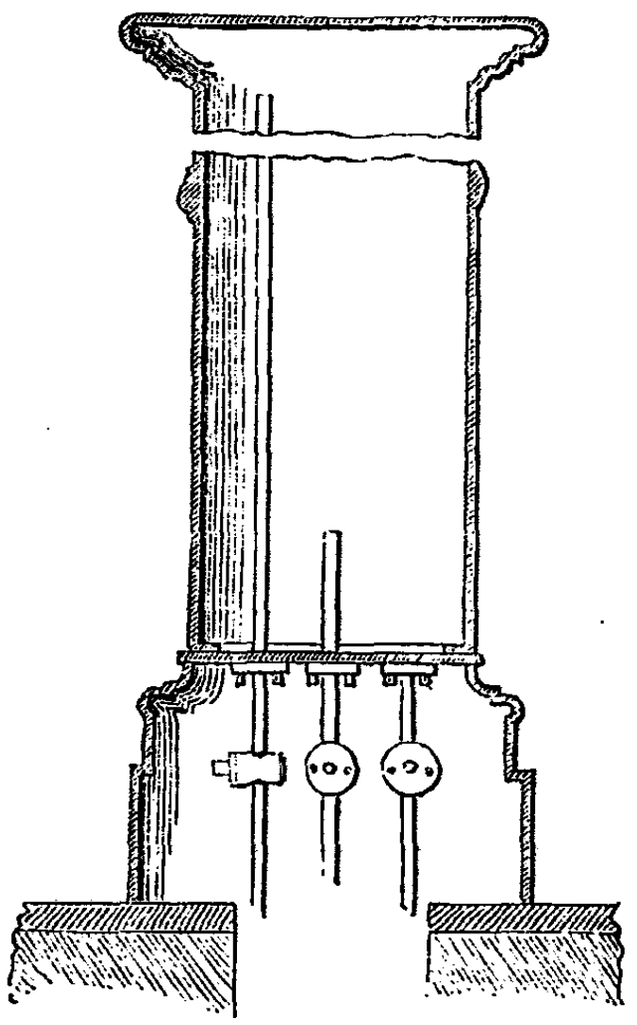
Ce sont des vases métalliques creux, dans l'intérieur desquels on introduit de la vapeur qui s'y condense en eau, et s'écoule au dehors; tuyaux, piédestaux ou boîtes, le service en est le même.

Un tuyau d'arrivée versant la vapeur assez haut pour qu'elle ne soit pas gênée par l'eau condensée.

Un tuyau d'évacuation d'eau condensée, prenant cette eau au point le plus bas de l'appareil, et un tuyau d'évacuation d'air, indispensable pour faire sortir complétement cet air au moment où la vapeur arrive: car sans cela, non seulement la vapeur n'entrerait pas, ou marcherait faiblement, mais mêlée à de l'air cette vapeur se condenserait et chaufferait mal; c'est une condition capitale pour la bonne marche des appareils. Le tuyau d'évacuation d'air dans les piédestaux part du haut de l'appareil, comme on le voit fig. 473, qui représente un piédestal chauffeur avec ses trois tuyaux, d'arrivée de vapeur et d'évacuation d'eau et d'air, tous munis de robinets pour en régler à volonté la marche; quant aux tuyaux chauffeurs, on leur donne une pente dans un sens ou dans l'autre, mais autant que possible dans le sens du courant de vapeur pour évacuer les eaux condensées, et on y ajoute ou un petit robinet ou une vis d'aérage, vis creuse et ouverte à l'intérieur du tuyau, qui, quand on la tourne quelque peu, ouvre à l'extérieur une issue à l'air; les eaux condensées dans les appareils sont, bien entendu, renvoyées dans le générateur.

Dans tout chauffage à vapeur à basse pression, il faut placer sur le tuyau, ou sur le générateur, un petit appareil, dit *Reniflard*, qui porte une soupape ouvrant du dehors au dedans, et qui laisse rentrer l'air dans les générateurs et les tuyaux, quand le feu tombe, et que le vide s'y fait, pour éviter que la pression atmosphérique extérieure ne vienne à les écraser.

Quelques observations sont nécessaires sur les tuyaux



473.

de retour d'eau. Avec le chauffage à la vapeur il y a quelquefois difficulté à renvoyer directement l'eau au générateur, parce que la vapeur étant la plupart du temps introduite dans les appareils *en quantité inférieure à leur puissance maximum* de condensation, il y existe toujours un vide qui s'oppose en partie au retour de l'eau dans le générateur. Le plus sûr est de recevoir cette eau dans une bâche et de s'en servir pour alimenter la chaudière, soit au moyen d'une pompe, soit avec un appareil ordinaire de retour d'eau. On réussit cependant souvent à ramener dans le générateur l'eau condensée de l'appareil, quand il y a une pression suffisante, au moyen d'une disposition très simple, qui consiste à tourner le bout du tuyau d'alimentation en équerre sur le tuyau même, et dans la direction de l'arrière de la chaudière à l'avant, c'est-à-dire à diriger le bout du tuyau horizontalement, suivant le sens du courant de circulation d'eau, parce que autrement ce courant s'opposerait à la rentrée de l'eau. Quelquefois on perd l'eau condensée au bout des colonnes de tuyau, en y plaçant des petits tubes pliés en syphons, dont la branche extérieure est plus longue que la pression de travail de la vapeur, afin qu'elle reste toujours pleine d'eau, et laisse celle-ci s'évacuer librement sans que la vapeur puisse sortir.

Pour résumer et compléter sans trop de développements les principes de construction du chauffage à vapeur, nous allons donner une courte description de deux grands appareils que nous avons montés il y a douze ou quatorze ans, et qui ont fonctionné depuis ce temps sans interruption, et sans réparations; l'un est le chauffage à vapeur des Néothermes et l'autre celui du palais de l'Institut: tous deux à Paris (1). Le chauffage à va-

(1) Les détails complets et les plans du chauffage de l'Institut se trouvent dans le second volume des *Recueils des*

CHAUFFAGE.

peur de la Bourse a été depuis longtemps publié dans le Bulletin de la Société d'Encouragement.

L'établissement des bains médicinaux des Néothermes, organisés largement par le docteur Bouland, outre des bains de toute espèce à eau chaude, à la vapeur, des fumigations, etc., etc., comprend des salons, salles à manger, billards, une large galerie vitrée, servant en hiver de promenade, et un nombre considérable de chambres destinées au logement des malades; l'établissement entier est chauffé par un seul générateur, à basse pression, et à fond plat, placé dans un caveau, sous le pavillon du bain. Des tuyaux portent la vapeur à toutes les salles de bains, et à tous les étages du bâtiment d'habitation.

Chacune des salles de bains est chauffée par un coffre rectangulaire en fonte, placé près d'un mur, où l'on introduit la vapeur, et d'où l'on évacue l'eau, au moyen de deux robinets placés en dessous et d'une vis d'aérage qui sert à l'échappement de l'air; le linge nécessaire aux baigneurs se chauffe sur ces vases.

Des logements et salons sont chauffés par d'autres vases rectangulaires aussi en fonte (fig. 474) étroits et élevés; les uns sont placés dans la chambre même debout sur un socle de marbre, qui reçoit et cache à l'intérieur leurs tuyaux et robinets, avec plateaux de marbre, et une galerie de cuivre; les autres sont logés dans le mur, dont ils forment le parement (fig. 475) avec un espace vide de 5 ou 6 centim. par derrière, ouvert en haut et en bas pour livrer passage à l'air de la salle qui s'y échauffe par un courant circulatoire. Un socle inférieur en marbre et une galerie en cuivre leur servent aussi de décoration.

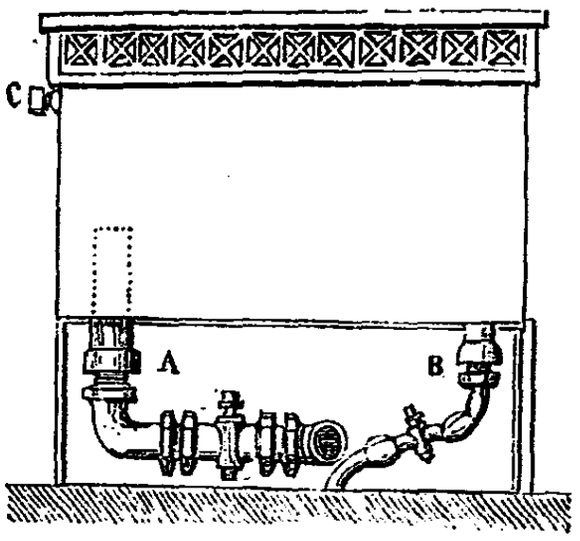
La grande galerie vitrée est chauffée par trois tuyaux de fonte logés parallèlement dans un caniveau réservé dans le sol, et recouvert de plaques de fonte décorées de manière à pouvoir s'y promener comme sur une chaufferette à douce température.

Une boîte en fonte placée devant la porte d'entrée et qui est boulonnée aux trois tuyaux, sert à chauffer plus fortement et sécher les pieds des personnes qui arrivent, parce que la surface chauffée directement par la vapeur s'élève à 85 ou 90° au lieu de rester à 40° comme celle des plaques chauffées seulement par des tuyaux enveloppés d'air. Quatre-vingts salles différentes sont là chauffées par le même générateur.

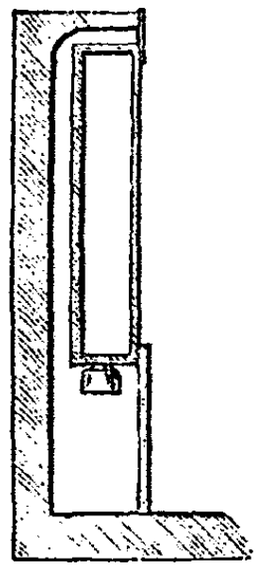
Le chauffage du palais de l'Institut, exécuté sous la direction d'une commission de l'Académie des Sciences dont faisait partie M. d'Arcet, est donné par un seul générateur à fond plat, assisté d'un second générateur de rechange. Il envoie aussi la chaleur dans un très grand nombre de salles de commissions, salle des séances des académies, bureaux, bibliothèque, escaliers, etc. Aucune difficulté de service, aucun accident, dérangement, ou réparation n'ont interrompu sa marche depuis 1833. Cette sécurité est due aux bonnes dispositions de l'appareil et à la perfection de l'exécution.

Passons en revue le chauffage des différentes salles. Au bas de l'escalier, au milieu du vestibule, se trouve logée dans le sol, une longue boîte de fonte décorée de deux mètres sur un mètre, dans laquelle on introduit de la vapeur, pour chauffer et sécher les pieds des personnes qui arrivent; l'eau et l'air sont ensemble expulsés au dehors.

Un long tuyau en fonte court dans toute la longueur du rez-de-chaussée, enveloppé dans un coffre rempli de poil de vache. Sur ce tuyau se branchent tous les tuyaux de cuivre qui vont alimenter les appareils divers. Tous



474.



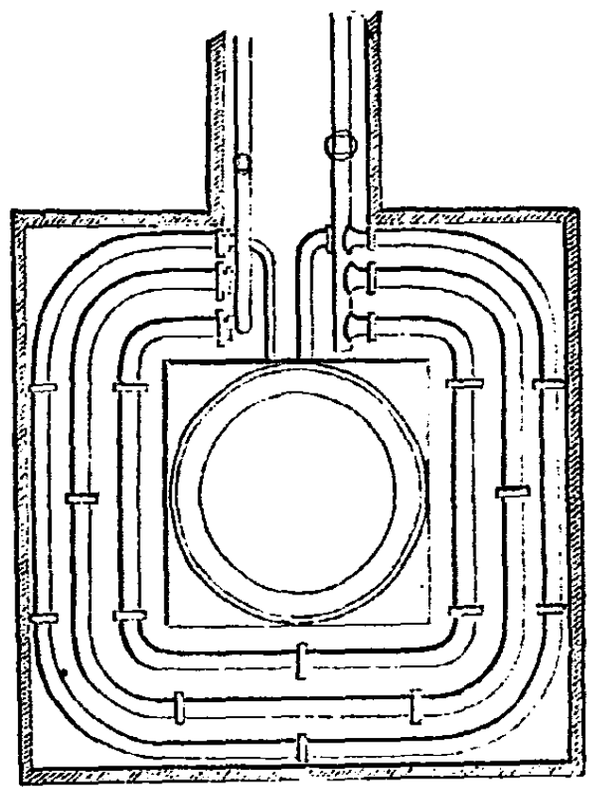
475.

ces tuyaux de distribution sont visibles et faciles à réparer au besoin, toutes les brides sont à *la moulfarine*.

Les salles de commission et les bureaux sont chauffés par des piédestaux en fonte, munis d'un tuyau d'introduction de vapeur, et de deux tuyaux, l'un à eau l'autre à air; l'eau retourne à volonté dans chacun des générateurs, ou bien dans une bâche où plonge une pompe qui la refoule dans la chaudière

L'air évacué est conduit à travers les murs du dehors par un petit tuyau de cuivre, afin de ne pas verser dans les salles le peu d'odeur ammoniacale qui se dégage souvent quand la vapeur est en contact avec la fonte. Les piédestaux portent des bustes.

La salle d'attente est chauffée au centre par une boîte



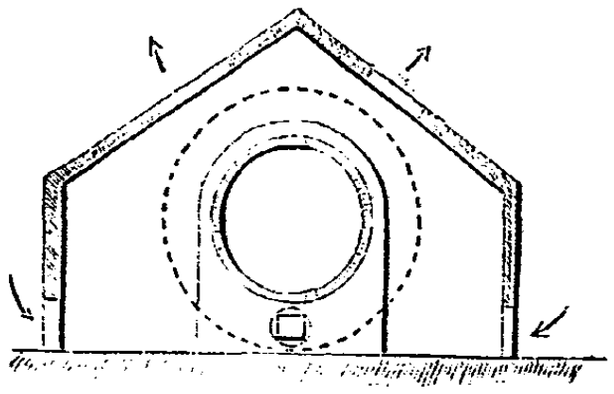
476.

décorée (fig. 476), remplie de vapeur directe et portée ainsi à 90°, et par un jeu de tuyaux de cuivre placés

Mémoires de M. D'Arcet, publiés par M. Ph. Grouvelle (chez Mathias, 15, quai Malaquais.)

autour de la première boîte, et recouverts de plaques de fonte chauffées indirectement à 40°, comme nous l'avons dit. Un autre cours de plaques de fonte, avec des ornements à jour, introduit dans cette salle l'air chaud nécessaire à sa ventilation. La salle des séances ordinaires est chauffée par quatre piédestaux tournés au dehors, et placés dans les quatre angles, et par un cours de tuyaux de cuivre placés dans une chaufferette recouverte de tôle et d'un tapis, et placée sous les tables pour recevoir les pieds des membres de l'Académie. Les bureaux du président et des secrétaires en ont également; sous cette salle, et dans un corridor, se trouve un coffre en maçonnerie où sont montés les tuyaux de fonte sur lesquels arrive l'air frais pris à l'extérieur par une trappe à coulisses; cet air chauffé est de là versé dans la salle par les chaufferettes percées d'un grand nombre de trous croissants à mesure que l'on s'éloigne du point de départ, et par des cadres en toile métallique placés sous les banquettes du public.

La Bibliothèque est chauffée par des tuyaux de fonte établis sous des chaufferettes à jour et sous les tables, de manière à recevoir les pieds des lecteurs (fig. 477).



477.

Un tuyau a été disposé, et les générateurs calculés pour porter la chaleur dans la Bibliothèque Mazarine adjacente à celle de l'Institut de France. Mais les chefs de cet établissement, à cette époque, n'ont pas cru devoir y appliquer ce moyen de chauffage.

La Bibliothèque de l'Institut est donc à notre connaissance, la seule à Paris qui soit chauffée avec sécurité absolue, et de la manière la plus agréable pour les bibliothécaires et les lecteurs. Espérons que cet exemple sera bientôt adopté dans les autres bibliothèques publiques.

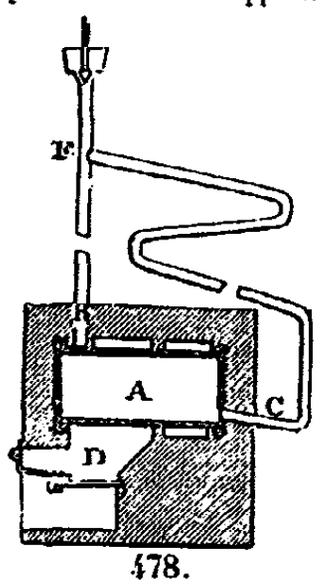
Nous reviendrons en traitant de la VENTILATION, sur celle de salles semblables à celles des séances des Académies.

VII et VIII. — CHAUFFAGE A CIRCULATION D'EAU CHAUDE.

Le chauffage des habitations par la simple circulation de l'eau, c'est-à-dire par le passage de l'eau chaude dans des tuyaux, est connu depuis les Romains, qui l'employaient dans les étuves et les thermes; de nos jours encore, dans quelques localités, comme à Chaudesaigues, les eaux thermales sont envoyées dans des tuyaux pour chauffer les maisons. Mais ce qu'on appelle aujourd'hui *circulation d'eau*, c'est-à-dire la disposition d'appareil qui envoie, dans une série de tuyaux, de l'eau chauffée dans une chaudière, et la ramène, par une autre série de tuyaux faisant suite aux premiers, dans cette même chaudière, de manière à opérer une rotation continue, est de l'invention de Bonnemain, qui l'appliqua à son incubation artificielle de poulets, où la condition fondamentale était un chauffage lent, modéré, parfaitement égal, et avec lequel l'air de l'étuve ne pût pas devenir trop sec.

Conçu avant 1777, ce procédé fut amené par son auteur à une telle perfection, qu'un appareil, monté par

Bonnemain lui-même, fonctionne encore aujourd'hui au Pecq (voir INCUBATION ARTIFICIELLE). De France, ce procédé passa en Angleterre, où il a reçu de 1830 à 1836 un immense développement, et remplacé presque partout la vapeur pour le chauffage des lieux habités. Seul ou combiné au chauffage de l'air, il a été appliqué aux édifices publics, aux maisons particulières et aux serres, par les plus habiles ingénieurs, et Perkins lui a ouvert, en 1837, une route nouvelle, en inventant la circulation d'eau à haute pression. Plusieurs ingénieurs français enfin l'ont ramené à sa terre natale; mais, il faut le dire, il a reçu une grande impulsion d'un homme, M. Léon Duvoir, qui, quoiqu'il n'ait nullement inventé les appareils que l'on lui attribue, comme nous le montrerons plus loin, n'en a pas moins su entraîner avec lui nos administrations trop lentes, leur faire monter de grands appareils de chauffage, et les amener à en regarder aujourd'hui avec raison l'installation comme un objet de première nécessité dans tous les édifices que l'on élève. Nous reviendrons plus loin sur les appareils spéciaux de ce constructeur.



478.

Si l'on suppose deux colonnes de tuyaux de même hauteur verticale, entièrement remplies d'eau, et en communication l'une avec l'autre par le bas et par le haut, de manière à former un circuit complet, comme le représente la fig. 478; si en outre les deux colonnes d'eau sont à la même température, elles seront en équilibre et resteront immobiles, quel que soit leur diamètre et leur longueur respective, en vertu des lois de l'hydrostatique.

Si maintenant on échauffe d'une manière continue une de ces colonnes d'eau, et que de l'autre on enlève à mesure à l'eau chaude passée dans le haut de la colonne d'eau froide la chaleur qu'elle avait apportée, il résultera de la différence de densité de l'eau dans les deux colonnes une circulation continue, qui déterminera le passage non interrompu de l'eau froide dans le bas de la colonne chauffée et de l'eau chaude dans le haut de la colonne froide. C'est une question de théorie hydraulique : et si on y applique les principes de calcul, on reconnaît qu'une très légère différence de température, quand les tuyaux ont des diamètres assez grands, suffit, avec de petites hauteurs, pour produire des vitesses remarquables. Ainsi, à l'aide de la formule de Prony, qui donne la vitesse de l'eau dans une conduite d'un diamètre et d'une longueur déterminée, en raison d'une légère charge d'eau sur le réservoir supérieur, charge qui représente ici la différence de longueur des deux colonnes de même poids, mais de chaleurs et de densités inégales; à l'aide de cette formule, on trouve qu'avec une colonne d'eau de 1 mètre de hauteur, 50 mètres de longueur et 0,11 de diamètre, et une différence de température de 3 à 4°; la vitesse dans les tuyaux est de 0m,03 par seconde, ou 1m,80 par minute. En se servant donc de la première colonne ou colonne montante comme récepteur, et lui appliquant à son point le plus bas la chaleur que l'on veut distribuer, employant le reste de cette colonne comme moyen de transport de la chaleur, et la colonne descendante comme appareil émisseur, on aura un système qui recevra toujours de la chaleur dans une des colonnes et en perdra toujours par l'autre, et où, par conséquent, il se fera une circulation continue.

Au reste, le mouvement circulatoire ne s'en produira pas moins, si au lieu d'employer exclusivement la co-

CHAUFFAGE.

lonne ascendante comme organe de transport, elle sert en même temps d'appareil de distribution ; on continuera à produire le mouvement, malgré un certain refroidissement dans la colonne montante, pourvu que le refroidissement continue aussi dans la colonne descendante, parce qu'alors la température moyenne de la première sera toujours plus élevée que celle de la seconde, condition suffisante du mouvement ; la vitesse de circulation sera cependant alors moindre, parce que la différence des températures moyennes des deux colonnes sera moindre. Moins en effet il y aura de refroidissement dans la colonne montante, et plus il y en aura dans la descendante, plus aussi la vitesse sera grande.

Tout système de circulation d'eau consiste donc en un appareil de chauffage, en communication par la partie supérieure avec une série de tuyaux qui, après avoir monté jusqu'au point culminant du circuit, redescendent pour venir se brancher à la partie inférieure de l'appareil chauffeur. Si les tuyaux s'élèvent beaucoup au-dessus du niveau supérieur de l'appareil chauffeur, celui-ci est forcément clos, car l'eau du système entier se viderait immédiatement. Si, au contraire, la colonne de tuyaux chemine à peu près horizontalement, sans dépasser de plus de 1 mètre le niveau de la chaudière, comme dans les serres, celle-ci peut être découverte librement, et n'en formera pas moins un circuit complet dont la hauteur sera la distance verticale entre le point où le tuyau rentre dans la chaudière, et le point culminant de la colonne.

La vitesse que l'on obtient, surtout avec des hauteurs de 10, 15 et 20 mètres, permet d'envoyer ainsi des quantités considérables de chaleur sur les points à chauffer. Ainsi, à travail égal, l'augmentation dans la hauteur de la colonne permet d'en diminuer le diamètre, et on peut toujours proportionner les appareils aux besoins du service, si importants qu'ils soient. Or, comme l'eau chaude renferme une quantité considérable de chaleur, et qu'elle peut communiquer la chaleur nécessaire à un volume d'air 3,200 fois plus grand, ce procédé de chauffage devient un instrument très puissant et de beaucoup supérieur, comme moyen de transport et de distribution de chaleur, à l'air chaud, mais sous ce rapport inférieur, quoi qu'on en ait dit, à la vapeur ; ce que nous prouverons en parlant *du chauffage par l'eau et la vapeur*.

Ainsi la circulation d'eau simple est le meilleur procédé de répartition de chaleur, dans des limites de distances qui ne dépassent pas 75 mètres de chaque côté, et un nombre d'étages ou de salles modéré ; mais les précieuses qualités qui ressortent des principes généraux déjà posés, sont :

Une simplicité remarquable de construction et de conduite, car il faut seulement un feu plus ou moins égal, tel que celui qu'on entretient dans un calorifère à air chaud, ou dans un poêle, sans avoir besoin de s'occuper des appareils supérieurs. Pas d'alimentation, de surveillance, ni de nettoyage ; une régularité extrême dans le chauffage, sans que la négligence, l'oubli du chauffeur, même pendant plusieurs heures, puissent arrêter tout le service ; puisqu'il s'opère simplement alors un abaissement proportionnel général et très peu sensible dans la température de la circulation, une répartition très égale de la chaleur sur de grandes longueurs (car avec des circulations de 100 mètres, la différence de température d'une extrémité à l'autre ne dépasse souvent pas 4 ou 5°), que l'on compense facilement par une augmentation progressive de surface de chauffe.

L'extrême facilité avec laquelle on peut modérer le chauffage (propriété qu'aucun autre système n'offre au même degré) et le régler suivant les besoins du moment, par la seule conduite du feu.

L'abaissement de la température moyenne de la circulation est presque sans limites, jusqu'au degré de la température ambiante : car si léger que soit l'excès de température dans une partie de la colonne, il y produit une rupture d'équilibre et un mouvement. C'est une qualité précieuse, et que ne possède aucun autre système de chauffage : ni la vapeur qui exige toujours un chauffage maximum, ni l'air chaud qui se refroidit complétement dans les tuyaux de conduite et le passage des murs, comme nous le montrerons, quand sa température ne dépasse que de quelques degrés la température extérieure.

Enfin le refroidissement des appareils, avec la vapeur, est presque instantané ; il est très rapide avec l'air chaud. Avec la circulation qui fait mouvoir dans un seul circuit des masses d'eau considérables et chauffées à un haut degré, renfermant par conséquent de grandes quantités de chaleur, ce refroidissement est très lent : puisque toutes les portions du liquide chauffeur contenues dans le système, viennent successivement au moyen de la circulation qui se ralentit par degrés, passer dans les appareils refroidisseurs pour y perdre à chaque passage une légère portion de leur chaleur. On emploie donc avec grand succès ce mode de chauffage dans les serres, où il faut une chaleur réglée et parfaitement égale, et où aucune autre disposition ne peut remplir les conditions rigoureuses du problème, dans les prisons, dans les édifices publics destinés à de grandes réunions, surtout quand on peut faire circuler des tuyaux sous le sol ou sous un amphithéâtre, partout il donne des résultats également avantageux, même en employant la disposition adoptée généralement en Angleterre, de chauffer de l'air par une circulation d'eau, pour le distribuer ensuite dans les salles à chauffer, sans qu'il puisse se trouver jamais altéré, ni chauffé au-dessus de 50 à 60°. Les surfaces chauffantes sont le plus souvent alors des boîtes plates en fonte dans lesquelles l'eau circule, et entre lesquelles l'air vient s'échauffer.

Les appareils de circulation peuvent être divisés en deux classes, ceux à basse et ceux à haute pression.

Les premiers sont ouverts librement à l'air, avec des colonnes d'eau et des charges sur l'appareil chauffeur qui ne dépassent pas une atmosphère.

Les seconds sont fermés entièrement avec de grandes hauteurs de colonne, et quelquefois des soupapes de sûreté, pour en régler la pression ; d'autres fois, comme ceux de Perkins, ils sont clos hermétiquement par des vis taraudées.

Circulation à basse pression. Dans ces appareils, où les vitesses et les hauteurs de colonnes ne sont pas considérables, voir plus loin fig. 481, il faut des tuyaux d'un diamètre plus gros, de 0m,11 à 0m,15 par exemple. Leur surface, au reste, devra toujours être en rapport avec les dimensions des salles à chauffer.

Pour calculer ces surfaces, nous prendrons pour point de départ les bases données plus haut pour le chauffage à vapeur. Nous avons dit que, pour entretenir à 15 ou 16° centigrades, pendant les plus grands froids, une salle de 70 mètres cubes, ou un atelier de 100 mètres, il fallait une surface de fonte de 1 mètre carré chauffée à la vapeur, condensant 1k,80 de vapeur, et laissant passer à l'extérieur 990 calories par heure.

Pour estimer la surface de chauffage d'eau nécessaire pour donner ces 990 calories, on peut admettre sans erreur grave, suivant la loi de Newton, que les quantités de chaleur dégagées par une même surface sont dans le rapport direct des différences entre les températures intérieures et extérieures, bien qu'en réalité la quantité de calories émise par une surface, augmente plus rapidement que la différence des températures.

Ainsi, avec de la vapeur à 100° dans l'intérieur du tuyau, et de l'air à 15° à l'extérieur, la différence de

CHAUFFAGE.

température est de 85°. Avec de l'eau au maximum à 80°, par exemple, et de l'air à 15°, la différence étant seulement de 65°, la surface de tuyaux de fonte nécessaire pour donner 990 calories sera de 1m.c,30. Avec des tuyaux de cuivre, on compterait 1m.c,50.

En pratique, il vaut mieux donner toujours aux appareils une surface un peu plus considérable, et il faut compter 1m.c,50 à 1m.c,75 de surface à l'eau, comme l'équivalent de 1 mètre de surface à la vapeur, ou 35 à 40 mètres cubes de salle ordinaire et de maison d'habitation pour 1 mètre carré de fonte chauffée par circulation d'air.

Cette surface sera donnée, soit en récipients de chaleur ou poêles d'eau, si on peut les placer dans les lieux à chauffer, soit en surface de tuyaux, soit en appareils de chauffage d'air, si on est obligé de mettre les surfaces de chauffe hors des salles. Mais il faut alors ou disposer les conduits pour faire circuler l'air même de la salle sur les tuyaux, ce qui est à peu près l'équivalent de l'établissement de l'appareil au milieu de la salle, ou si, au contraire, on est forcé d'envoyer dans la salle l'air extérieur, chauffé comme dans un calorifère, pour compenser la perte de chaleur due au renouvellement de l'air pris à — 12°, par exemple à l'extérieur, et évacué à + 15°, il faudra ajouter cette perte aux 990 calories nécessaires pour 70 mètres cubes.

Il faut donc, pour chauffer une salle de 70 mètres cubes :

1° Surface à raison de 1 mèt. car. pour 40 mètres.	1 mèt. car. 75
2° Pour chauffer de 45° l'air, en supposant qu'il entre dans la salle à 60°, soit 45° de différence utile, soit 70 mètres cubes d'air qui emporteront 650 calories par heure, et qui exigeront par conséquent en surface de chauffe excédante.	1 mèt. car. 00
Soit en tout, pour 70 mètres. . .	2 mèt. car. 75

ou 2 fois 1/2 la surface nécessaire au chauffage à vapeur, quand cette surface ne chauffe qu'indirectement la salle, et 1 fois 3/4 quand la surface est directe.

Il faudra donc toujours, à moins de nécessité absolue, placer les appareils chauffeurs dans les salles mêmes à chauffer. On voit qu'il y a là une économie considérable dans les surfaces nécessaires, et par conséquent dans les frais d'établissement et dans ceux de chauffage. En parlant spécialement des serres, nous donnerons les proportions à y employer.

Les poêles d'eau (voir fig. 481) s'interposent sans difficulté dans une circulation comme en faisant partie, sous la seule condition de faire arriver l'eau par en haut, et de l'évacuer par en bas, les tuyaux de circulation se trouvent ainsi interrompus, et le poêle forme une portion des tuyaux de circulation. En donnant à la colonne montante une assez grande puissance motrice, que l'on calcule aisément, on peut faire remonter diverses fractions de la colonne descendante, de manière à aller passer dans les poêles d'eau, après avoir couru sous le plancher qui les porte.

Les tuyaux et appareils chauffeurs s'établissent en fonte, en tôle ou en cuivre. En fonte, ils sont plus solides et plus sûrs, et prennent mieux des formes décoratives : la quantité de chaleur émise est aussi un peu plus considérable. La tôle n'est guère employée pour les tuyaux, mais bien pour les vases chauffeurs, qui sont plus faciles à construire sous de grandes dimensions, avec moins de poids et moins de dépense qu'avec la fonte, et, s'il y arrivait des accidents, qui ne peuvent avoir lieu qu'avec les chauffages à haute pression, l'appareil se déchirerait simplement, sans explosion, mais la résistance à la pression et aux accidents imprévus est beaucoup moins grande. En cuivre ils coûtent plus cher qu'en tôle, se conservent mieux, durent plus, mais sont moins résistants encore aux pressions, surtout extérieures.

Cependant nous verrons plus loin que, sous forme de tuyaux, le cuivre mince s'emploie avec avantage pour les circulations d'eau à basse pression, dans les serres et ailleurs, en soudant ensemble les tuyaux à l'étain.

Les tuyaux de communication, qui portent seulement l'eau aux récipients ou poêles d'eau, ne doivent pas avoir un diamètre aussi grand que s'ils servaient de tuyaux de chauffage, surtout s'il y a un peu de hauteur; il suffira de 0m,08 de diamètre avec 4 ou 5 mètres de pression. Tous ces tuyaux, ceux de circulation et de chauffage seront, bien entendu, posés et soutenus de manière à pouvoir se dilater et se raccourcir sans résistance aucune, car ils seraient immédiatement brisés. S'ils sont horizontaux et d'un gros diamètre, on les portera sur des galets, ou sur des supports en tresses de fil de fer, avec tous les soins indiqués dans la pose des tuyaux de vapeur.

Les joints, si les tuyaux sont en cuivre, sont soudés à l'étain, avec de longs emboîtements, quand une fuite ne présente pas de danger, comme dans une serre, et que ces tuyaux sont à découvert, et faciles à réparer, en ayant cependant la précaution d'établir de place en place une bride en fer boulonnée pour faciliter les démontages.

Quelquefois, quand on voudra toute sécurité, les tuyaux de cuivre seront bridés et boulonnés.

Les tuyaux de fonte seront emboîtés et mastiqués au mastic de fonte, comme ceux de conduites de gaz ou d'eau, assemblage très solide, mais moins cependant que les collets boulonnés, dont nous avons parlé plus haut.

C'est toujours là, dans un grand appareil destiné à un édifice public, la disposition la plus simple et la plus sûre. On peut remplir ensuite les joints à l'extérieur de mastic, de limaille de fonte. Si ces tuyaux ne devaient servir qu'au transport de la chaleur et non à un chauffage, il faudrait les envelopper comme nous l'avons dit plus haut.

Quant aux appareils de chauffage, il faut avant tout qu'ils aient assez de surface de chauffe pour recevoir largement toute la chaleur nécessaire aux divers appareils distributeurs du système, parer à toutes les pertes de transmissions et autres pertes pour lesquelles il faut ajouter 25 p. 100 au moins à la somme totale des besoins de l'appareil. On pourra compter sur une absorption de 14 à 15,000 calories au minimum par chaque mètre carré de surface de chauffe de chaudière convenablement disposée.

Les formes peuvent et doivent varier avec les localités, les dimensions des appareils et le système adopté.

Dans une serre, avec un petit chauffage à circulation, la chaudière pourra avoir la forme des chaudières de teinture circulaires avec un couvercle mobile en cuivre. Quand il y aura nécessité de fermer la chaudière complétement avec une pression modérée, on lui donnera la forme de celles dites en tombeau, très avantageuses pour la construction du fourneau. (Voir, fig. 479 et 480, la chaudière des serres de l'école de pharmacie.)

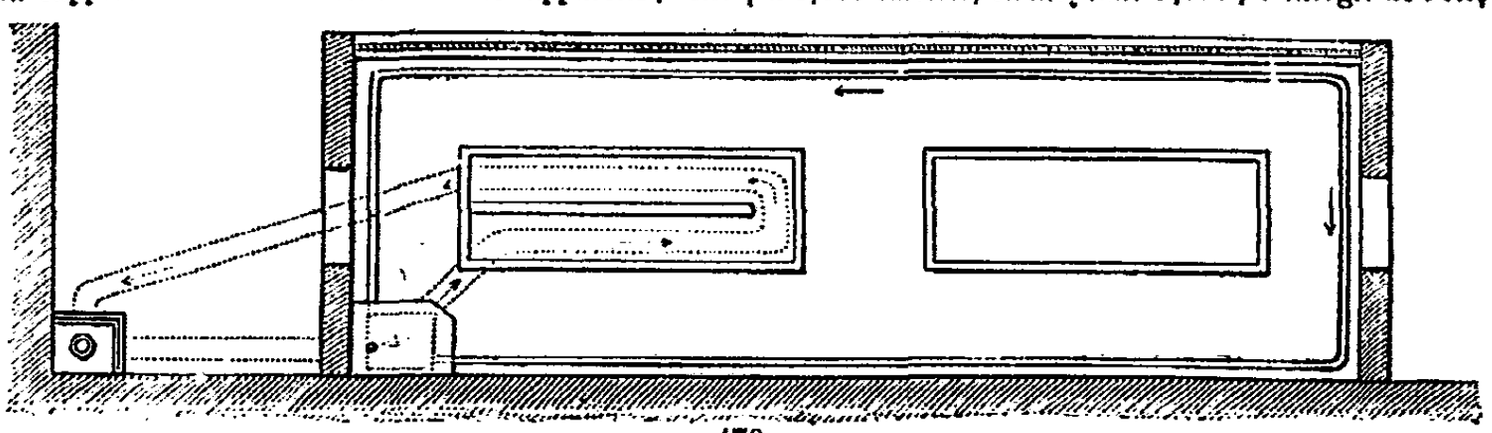
D'habiles constructeurs de chauffage de serres emploient des formes compliquées, qui multiplient les surfaces de chauffe, mais qui nous paraissent moins avantageuses que des dispositions plus simples. Les chaudières de chauffage de bain, avec un foyer intérieur et un gros serpentin ascendant, nous paraîtraient excellentes pour des circulations d'eau, même de grandes dimensions.

Quand enfin ces appareils seront de grandes dimensions, et devront travailler avec pression, on prendra des générateurs cylindriques, avec ou sans foyer intérieur, capables de résister à des pressions beaucoup

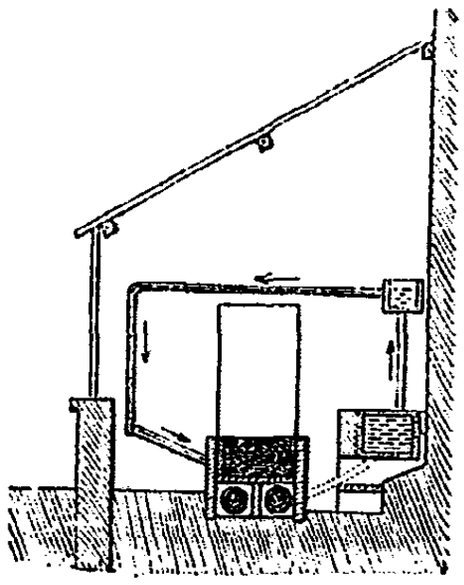
CHAUFFAGE.

plus grandes. M. Léon Duvoir, comme on le verra, a adopté des formes de chaudières qui ont les plus grands inconvénients, sans avoir, à notre avis, aucun avantage particulier.

La capacité de ces chaudières doit évidemment être en rapport avec les dimensions des appareils; elle



479.



480.

peut varier dans de grandes limites, sans inconvénient fondamental; mais en modifiant seulement quelques-unes des conditions de l'appareil. Si, par exemple, on adopte des appareils chauffeurs de grande capacité, on n'aura pendant la nuit qu'un refroidissement très lent, puisqu'il y aura là un grand réservoir de chaleur accumulée, mais aussi le matin on sera beaucoup plus longtemps à chauffer. C'est là un défaut grave, surtout dans les serres, où l'on a besoin quelquefois, lors d'une gelée subite, de chauffer en une demi-heure, sous peine de voir périr toutes les plantes.

Dans un édifice public, il vaut toujours mieux avoir d'assez grandes masses d'eau accumulées dans les appareils distributeurs que dans ceux de chauffage.

La capacité de ces appareils peut varier depuis 15 jusqu'à 30 p. 100 du cube total des appareils distributeurs; mais il faut, qu'en calculant la vitesse de la circulation dans l'appareil, il y ait toujours assez d'eau dans la chaudière, pour que sa température ne s'élève pas au-dessus du degré maximum réglé, et que par conséquent la chaleur développée par le combustible, soit utilisée aussi bien que possible.

Les fourneaux se construisent d'après les règles ordinaires, comme nous les avons données dans le chapitre premier de *Guide du chauffeur de machines à vapeur*, pour tous les fourneaux employés dans les industries. Règle générale, il faut aussi les calculer de manière à leur donner un léger excès de puissance sur les appareils d'absorption et d'émission.

En veillant soigneusement à la stricte observation des dimensions et des conseils pratiques que nous avons donnés, on calculera facilement la quantité de combustible à brûler par heure pour suffire au chauffage demandé, en faisant la somme du nombre de calories nécessaires de tout le système, y compris les pertes, et se rappelant qu'avec un fourneau bien construit, 1 kilogr. de houille ou de coke transmet à la chaudière de 3,200 à 4,000 calories, en moyenne 3,500; 1 kilogr. de bois, 1,520 calories; et 1 kilogr. de tourbe, de 12 à 1,400, suivant sa qualité.

Ces appareils chauffeurs seront disposés avec les précautions nécessaires, pour que jamais les charpentes ou menuiseries de l'édifice à chauffer ne puissent être incendiées. On place en général ces appareils chauffeurs dans les caves, et là il n'y a aucun danger; mais quelquefois leur fumée est utilisée pour chauffer de l'air, pour obtenir une ventilation, ou pour chauffer des plaques de fonte placées dans le sol du rez-de-chaussée, et alors on peut leur faire traverser des planchers, ce qu'on doit faire dans des enchevêtrures, larges et garnies solidement de briques et de terre.

Si l'on établissait une circulation complète dans des appareils métalliques, hermétiquement clos, il est évident que l'eau, en s'échauffant et se dilatant, viendrait à rompre ces appareils qui, enveloppés d'air froid, se dilatent moins que l'eau. Pour éviter ce danger, et en même temps livrer passage à l'air, qui s'échappe toujours de l'eau nouvellement mise dans l'appareil, ou qui s'y introduit par quelque joint inférieur, et qui, si on le laissait s'accumuler dans les coudes supérieurs de la circulation, l'arrêterait complétement, on a soin d'établir, au point culminant de tout chauffage à circulation, un réservoir de niveau et de remplissage communiquant directement avec la colonne montante, et que l'eau de ce système ne remplit qu'à moitié, de manière à lui laisser de la place pour se dilater quand elle s'échauffe sans rien briser.

Ce réservoir, appelé vase d'expansion, est ouvert quand l'appareil est à basse pression, fermé et boulonné, mais muni d'une soupape de sûreté réglée à une certaine charge, quand ce système est à haute pression, comme celui de M. Léon Duvoir. Il sert aussi à évacuer l'air de l'appareil.

Dans la circulation des serres à chaudières découvertes, où les tuyaux qui dépassent le niveau supérieur de la chaudière sont complétement fermés, on installe au point culminant de chaque circulation une petite pompe à air, que l'on fait jouer une ou deux fois par jour pour enlever l'air qui s'accumule sur ce point.

Un phénomène remarquable, et qui avait été déjà découvert par Bonnemain, c'est que si dans une circulation complète, on établit à la suite d'une seule colonne ascendante plusieurs colonnes descendantes, la circulation de l'eau s'opère avec la plus grande égalité dans toutes, sans qu'il soit nécessaire de les régler ensemble par des robinets; les appareils d'éclosions de poulets, de Bonnemain, sont établis sur ce principe, et il n'est aucun besoin en pareil cas de donner à la colonne montante unique, une section égale à la somme

des sections des colonnes descendantes. La vitesse augmente alors proportionnellement dans la colonne montante.

Ce phénomène d'égalité de répartition d'eau dans plusieurs tuyaux descendants, se représente aussi dans les tuyaux de fumée des calorifères, bifurqués et descendants. Il est dû à la diminution de pression qui résulte de la moindre densité de l'air traversant de haut en bas un premier tuyau, d'où résulte le passage simultané de la fumée par les autres tuyaux.

On emploie, pour régler ou arrêter les circulations, suivant leur diamètre, des robinets ou des valves coniques, conduits par des vis à une manivelle, ou enfin dans les chaudières ouvertes des serres, des obturateurs ou bouchons de bois coniques revêtus de toile, qui viennent fermer l'ouverture du tuyau par le bas, et sont manœuvrés du haut par une fourchette à deux branches et une vis serrant sur le haut du tuyau même.

Circulation à haute pression. Les principes de la circulation à haute pression sont les mêmes que ceux déjà développés, si ce n'est qu'au lieu de fonctionner à des températures inférieures ou égales à l'eau bouillante, elle travaille sous des pressions de plusieurs atmosphères, et par conséquent à une température bien supérieure à 100°.

Nous rangeons dans cette classe deux systèmes principaux, celui de M. Léon Duvoir et celui de Perkins. Le premier porte ses appareils jusqu'à cinq atmosphères. Le chauffage monté à la Chambre des Pairs exerce cette pression sur l'appareil chauffeur. Le second travaille à des pressions qu'on ne peut pas évaluer, puisqu'il n'y a aucun instrument ni moyen de mesure, qui peuvent s'élever à 15 et 20 atmosphères et plus, la température n'étant pas inférieure à 200° degrés.

Il y a à l'emploi de ces hautes pressions quelques avantages de construction; les surfaces de chauffe et les sections des tuyaux sont plus petites, les passages des murs plus faciles, et la différence de température, entre la colonne de départ et celle de retour, étant plus grande, les vitesses sont plus considérables, ce qui permet d'élever l'air que l'on chauffe sur l'appareil à un degré plus haut qu'avec l'appareil à basse pression. Mais à côté de ces qualités, il y a des défauts spéciaux qui nuisent au système : le principal est, surtout dans les appareils de chauffage et dans les poêles de M. Duvoir, un danger d'explosion réel et profond. Dans les appareils de Perkins, composés uniquement de tuyaux de fer étiré, de 25 millimètres de diamètre, essayés à une pression de plus de 100 atmosphères, réunis par des assemblages très solides,, ne contenant que des quantités d'eau très faibles, le danger est presque nul, tandis qu'avec de grands poêles, souvent en fonte, et surtout des appareils chauffeurs à cloches, munis de foyers intérieurs, combinés de manière à éprouver des pressions du dehors au dedans, c'est-à-dire les plus désavantageuses pour la résistance des matériaux, avec des appareils ainsi chargés de 5 atmosphères de pression, il y a toujours danger d'explosion et d'épanchement subit d'une grande masse d'eau à 140°; car s'il survenait seulement une fissure, par des différences de dilatation ou un joint défait à un des appareils, l'eau du système se viderait par là en se répandant partout en vapeur brûlante, et l'accident serait d'autant plus grave que, dans les installations de M. Duvoir, il y a un grand nombre de poêles en communication directe l'un avec l'autre, et que formant un seul conduit ils s'épancheraient tous à la fois par la même fuite. Ces appareils sont essayés sans doute à une pression réglée et bien supérieure à celle sous laquelle ils fonctionnent habituellement; mais l'essai de tous les générateurs n'empêche pas de temps en temps des accidents très graves, sans que l'on puisse souvent s'en expliquer les causes. Puis ces appareils résistent bien quand ils sont neufs, mais au service ils s'altèrent; les tôles se brûlent ou s'oxydent, les masticages se délitent, et une série d'accidents, tous imprévus, viennent à éclater. Il n'y a sécurité complète qu'en réduisant le plus possible la pression, et donnant aux appareils les formes les plus solides.

CHAUFFAGE.

Un autre défaut du système de chauffage de M. Léon Duvoir, c'est de placer des vases énormes au centre des galeries et des salles qu'ils encombrent, et où ils nuisent à la décoration, et au style de l'architecture; c'est les exposer évidemment à être rejetés plus tard par les réclamations de l'art.

M. Léon Duvoir a donné comme étant de lui, trois objets, dont les deux derniers n'ont rien de nouveau. Des appareils de chauffage qui sont composés d'une cloche en fonte à double enveloppe, pleine d'eau, ayant à l'intérieur un foyer, surmonté d'un cylindre creux aussi rempli d'eau. La flamme et la fumée, au sortir du foyer, passent quelquefois dans un calorifère ordinaire, en fonte, qui envoie son air chaud dans une partie des salles à chauffer. D'autres fois la fumée chauffe, en circulant, des conduits où passe de l'air extérieur, et dans lesquels descendent aussi les tuyaux de retour d'eau de l'appareil. Ces dispositions, très compliquées, ne présentent aucun avantage. La forme de la chaudière offre peu de résistance à la pression et peu de surface de chauffe. Le calorifère à air chaud ne peut avoir aucun but, si la surface de la chaudière est suffisante pour refroidir convenablement la fumée. On doit employer les formes les plus simples, employées partout, qui sont en définitive les seules bonnes formes de chaudières, coûtent le moins à établir, sont calculées pour résister mieux aux pressions et être les plus faciles à nettoyer et à réparer.

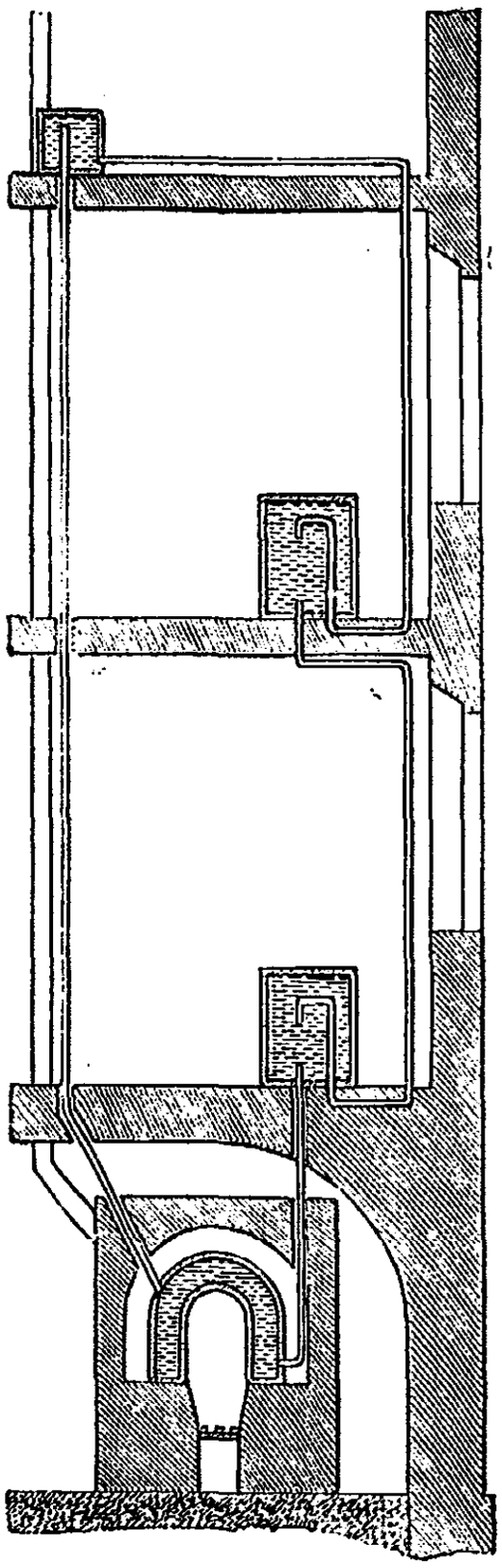
Un second procédé de M. Duvoir est le chauffage de l'air extérieur sur les tuyaux de circulation d'eau chaude. Cette disposition d'un heureux et fréquent usage, était employée dans bien des endroits, en Angleterre, longtemps avant la prise du brevet de M. Duvoir, et notamment dans la galerie de l'Institution des ingénieurs civils à Londres.

La troisième disposition de M. Léon Duvoir, et celle-ci forme la base de tous ses appareils, est un système de *poêles à eau*, placés dans la salle même, à différents étages superposés et chauffés en les faisant traverser par une seule circulation d'eau dont ces poêles font partie intégrante.

Pour rendre à chacun ce qui lui appartient, nous dirons que ces poêles d'eau, avec leurs doubles capacités concentriques remplies d'eau, et entre lesquelles vient passer l'air que l'on veut chauffer, recevant l'eau par un tuyau qui descend du *vase d'expansion* placé à un étage supérieur et qui passe dans les murs et sous les planchers, et envoyant cette eau par un tuyau semblable à un poêle pareil placé à l'étage inférieur, et de là au bas de la chaudière, nous dirons que le système entier de M. Duvoir, tel qu'il le construit, même avec son *poêle d'eau* et son *vase d'expansion*, et toutes ses dispositions, ont été publiés, décrits et tracés en 1834, cinq ans avant son brevet, dans le *London journal of arts and manufactures*, comme un brevet pris en Angleterre le 20 août 1829. Deux frères, MM. Henry Cruger Price, de Bristol, et Charles Fox Price, serruriers, sont les inventeurs mêmes du nom de poêle-d'eau, *waterstove*, et c'est à eux qu'en revient l'honneur. La chaudière seule a été changée par M. Duvoir. MM. Price, habiles praticiens, comme le prouve la création d'un ensemble d'appareils que l'on a depuis lors si peu modifié, avaient choisi la forme ordinaire de générateur employé dans les ateliers, comme la plus simple et la plus avantageuse à l'application du feu. M. Duvoir a donc opéré là une addition défectueuse par son système de chaudière.

En somme, nous donnons une simple description des

appareils de M. Duvoir, pour les faire comprendre, n'en ayant pas les détails complets.



484.

L'appareil (fig. 484) se compose d'une chaudière en fonte et en tôle, à foyer intérieur, ainsi que nous l'avons décrit, d'un tuyau de large diamètre en fonte, montant directement dans le comble du bâtiment à chauffer, et muni de compensateurs, pour éviter toute rupture par suite de dilatations; au sommet de cette colonne, un vase d'expansion et de niveau d'eau, est ouvert librement quand on veut travailler sans autre pression que celle de la colonne d'eau ascendante qui pèse sur la chaudière ainsi formée : et muni d'une soupape de sûreté ou d'un manomètre à air libre, quand on veut forcer ou monter la pression et la température de l'eau au-dessus de la simple pression atmosphérique, ce que M. Duvoir fait toujours dans ses grands chauffages.

Un tuyau latéral sert dans les appareils sans pression à conduire la vapeur d'eau qui se forme sous la grille du fourneau, et guide le chauffeur dans la conduite de son feu, et de l'appareil qui ne doit jamais donner de vapeur puisqu'il ne s'en forme que quand l'eau entre en ébullition.

Un vase ou un tuyau placé aussi sur le vase d'expansion sert à y introduire l'eau nécessaire pour maintenir l'appareil plein, soit à la main, soit avec une pompe.

Du vase d'expansion partent des tuyaux de distribution d'un petit diamètre, et préservés soigneusement de tout refroidissement, en nombre plus ou moins considérable suivant les besoins du système et qui vont se rendre, en passant sous les planchers, dans les poêles d'eau placés aux différents étages, poêles où ils pénètrent par le bas en montant presque jusqu'à leur partie supérieure pour s'y ouvrir et s'y terminer. Un autre tuyau, ou plutôt la suite du tuyau de circulation, branché au bas du même poêle, passe sous le plancher et va chauffer un ou deux poêles placés aux étages inférieurs, disposés exactement comme le précédent, et d'où le tuyau de retour d'eau se rend dans le bas de la chaudière, en chauffant sur son chemin de l'air extérieur versé dans les salles du rez-de-chaussée.

Les vitesses données par les hautes colonnes d'expansion, et les différences assez grandes de température qui résultent d'aussi longues circulations de retour dans des appareils d'émission à grandes surfaces, tandis que la colonne montante est soigneusement préservée du refroidissement, ces vitesses, disons-nous, sont assez grandes pour vaincre les résistances données par les tuyaux de retour qui montent dans chacun des poêles successifs que traverse le courant.

Ces poêles formés de récipients pleins d'eau, tantôt avec des tuyaux intérieurs à air, tantôt avec des enveloppes concentriques, sont tantôt placés dans la salle même, tantôt recouverts de doubles enveloppes en tôle ou en fonte, qui chauffent directement ou par circulation l'air de la salle, ou l'air extérieur qui doit être versé à l'intérieur.

Des appareils à peu près semblables ont été établis dans différents lieux, par M. Duvoir.

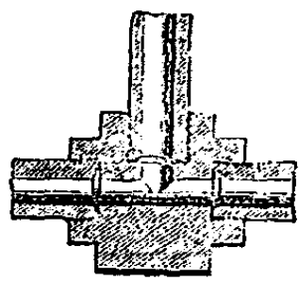
Il faut le dire toutefois, pour être juste, M. Léon Duvoir, malgré les défauts graves qu'il n'a pas su éviter ou corriger, a tiré un grand parti de ces appareils, qui ne sont pas, comme nous l'avons dit, aussi originaux que beaucoup de personnes l'ont cru, mais il en a fait d'importantes applications.

En traitant de la ventilation nous parlerons d'une disposition qu'on lui avait également attribuée, et qui avait été employée depuis plus d'un siècle, *la ventilation par le foyer des fourneaux*.

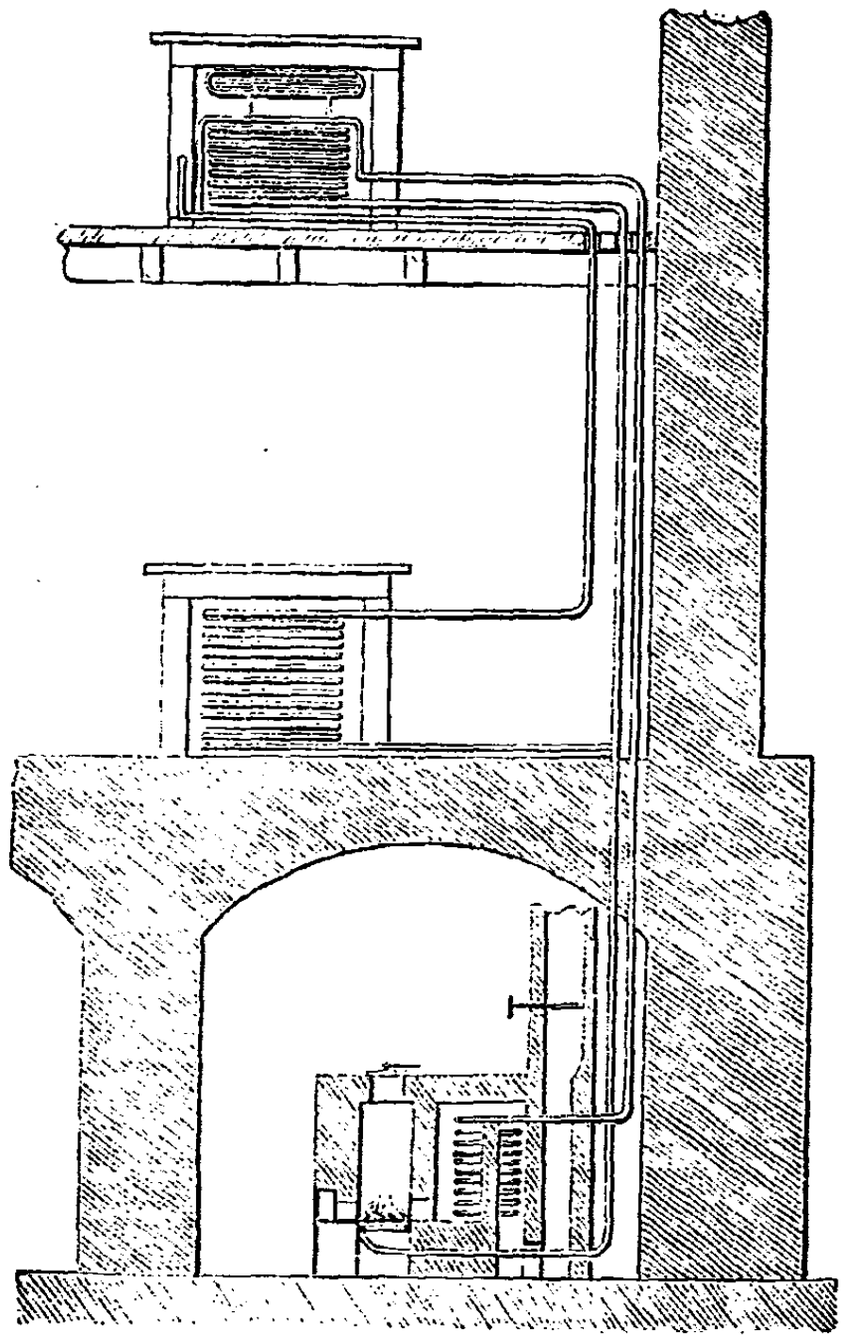
Dans la construction d'appareils de ce genre la pensée principale doit toujours être de réduire le plus possible la pression, d'isoler les appareils de chauffage, dont la dépendance est toujours un défaut ; de disposer les tuyaux de manière à éviter toute rupture par dilatation ; de choisir des modes d'assemblages comme aussi des formes d'appareils solides, simples, et faciles à réparer, de donner partout un libre dégagement à l'air, qui, s'il s'amassait dans des tuyaux ou des coudes, arrêterait la circulation ; de compter toujours largement les surfaces de chauffe aussi bien des appareils de distribution que de la chaudière : en un mot, au lieu de chercher du nouveau dans des formes et des dispositions inusitées, compliquées, il faut prendre autant que possible les dispositions et formes justement appréciées des manufacturiers, les meilleurs juges des qualités pratiques d'un instrument.

Appareils de Perkins. Le chauffage à haute pression de Perkins, moins dangereux peut-être que celui de M. L. Duvoir, par le petit diamètre des tubes et leur faible charge d'eau, plus économique encore de surface et de place, plus facile à passer dans les murs et planchers et à loger partout, a le défaut d'avoir souvent des fuites par les joints sous ces hautes pressions, et a même causé

des incendies, en carbonisant à la longue les bois auprès desquels il passe, en vertu de la haute température à laquelle sont élevés ses tubes. Par leur disposition, il est en effet impossible d'en mesurer jamais la pression et la température. Les tubes en fer étiré de 0,025 de diamètre, qu'on y emploie, sont essayés à de très hautes pressions. Les raccords trouvés par Perkins sont admirablement combinés pour la fermeture (fig. 482), ils consistent à serrer l'un contre l'autre, au moyen d'un petit manchon taraudé, deux tuyaux dont l'un est dressé sur ce bout, et l'autre taillé en biseau, jusqu'à ce que le biseau ait pénétré dans le tube plan. Les embranchements s'exécutent par le même artifice; seulement dans ces chauffages, il y a impossibilité jusqu'à présent d'adapter de bons robinets, ou des fermetures convenables; on laisse donc circuler l'eau dans tous les appareils à la fois.



482.



483.

L'appareil entier consiste en un long tube continu et qui, aussi bien pour donner le générateur ou appareil récepteur de chaleur, que pour donner les récipients d'émission ou poêles, se replie simplement sur lui-même en hélice et multiplie ainsi les surfaces sous un petit volume. La fig. 483 en donne un exemple. Il s'agit du chauffage d'une maison à plusieurs étages; au bas de l'appareil est un fourneau en briques avec foyer, qui enveloppe une hélice ou révolution multipliée du tuyau général, pour y verser toute la chaleur nécessaire au chauffage de la maison. Le bout supérieur de l'hélice monte directement jusqu'à l'étage supérieur à chauffer; là il se replie et se roule sur lui-même, en une nouvelle hélice qui commence le tuyau de descente ou de retour, et forme un appareil chauffeur ou poêle destiné à chauffer soit l'air de la salle, soit de l'air extérieur qu'on y verse. Une enveloppe en bois, en pierre, ou en métal, recouvre cette hélice, et verse l'air dans la salle par de larges bouches grillagées; c'est ce qui forme l'équivalent du poêle d'eau.

Après avoir ainsi chauffé une salle et un étage, le tuyau général continue sa route, descend à l'étage inférieur où il forme aussi un second poêle tout semblable, et ainsi de suite à chaque étage, jusqu'à ce qu'il vienne se brancher avec l'extrémité inférieure de l'hélice logée dans le fourneau chauffeur pour compléter le cercle. Au point culminant de la circulation, sont placés deux tuyaux fermés par des vis solidement serrées. L'un sert à évacuer l'air qui se trouve toujours dans l'eau, et qui s'y loge; l'autre sert à ajouter à l'appareil une certaine quantité d'eau; ce qui est indispensable tous les quatre ou cinq jours, parce que par les joints ou au travers même du fer et des soudures, il s'opère une évaporation impossible à reconnaître, mais sensible à la diminution régulière du liquide contenu.

Quand on veut chauffer deux séries de pièces avec un même appareil, en vertu du principe de circulation simultanée dans les tubes descendants, principe qui est aussi vrai pour le chauffage Perkins que pour toutes les circulations, il suffit de faire partir du sommet de la colonne unique d'ascension deux tubes de retour dont chacun suit pour son compte, et indépendamment de l'autre, sa route particulière, en chauffant une série de pièces distinctes, et qui viennent seulement comme condition nécessaire d'une bonne marche, se brancher ensemble pour ne former qu'un seul tuyau de rentrée dans le fourneau.

Comme nous l'avons dit pour toutes les circulations employées, le tube commun à deux séries d'appareils de retour ne doit avoir que bien peu de diamètre de plus que quand il ne sert qu'à un système; souvent même dans ces petits diamètres, il a le même diamètre ou 25 millimètres en dedans. On compte en Angleterre sur 1 mètre carré de surface de tubes pour 80 mètres cubes de capacité, ce qui correspond à peu près à la surface nécessaire avec un chauffage à vapeur: ainsi si on voulait déduire de là la température moyenne de ces tubes, dans la colonne de retour, on trouverait qu'elle doit être de 100° centigr. environ; ce qui supposerait, à cause de la grande différence entre la colonne d'ascension, et celle de descente due au long développement de cette dernière, au moins 150 à 200° dans la colonne ascendante. Si, en effet, la différence de température n'était pas grande, malgré la précaution prise de ne donner jamais aux circulations plus de 150 à 200 mètres de développement, l'on n'obtiendrait pas la puissance nécessaire pour faire circuler l'eau dans des tubes d'un aussi petit diamètre, où, avec de grandes vi-

tesse, les frottements deviennent énormes. Il faut avouer qu'aucune disposition d'appareil ne peut être plus simple, plus commode à disposer, plus facile à passer et à porter partout; aussi en fait-on grand usage en Angleterre, surtout dans toutes les habitations particulières, où l'établissement de grands appareils de circulation à basse pression est trop cher ou trop difficile.

IX. — CHAUFFAGE PAR L'EAU ET LA VAPEUR.

Comme nous l'avons dit, la circulation d'eau directement chauffée par un foyer a des défauts qui en rendent l'emploi, ou plus difficile, ou plus dangereux, ou moins complet.

1° Les hautes pressions que supportent les appareils quand on veut chauffer plusieurs étages avec une seule circulation, et les accidents qui peuvent en résulter.

2° La dépendance forcée des vases chauffeurs ou poêles d'eau superposés d'étage en étage, et desservis par une seule circulation, sans que l'on puisse jamais chauffer l'un sans l'autre, et l'impossibilité d'arrêter un ou plusieurs d'entre eux, ou de les régler à différents degrés de chauffage, suivant leurs besoins respectifs d'heures et de température.

3° La nécessité de restreindre dans les limites assez resserrées d'un développement de tuyaux de 200 mètres à peu près et de 60 à 80 mètres de hauteur le service multiple d'un même appareil chauffeur conduisant avec son tuyau d'ascension un certain nombre de circulations descendantes; d'où résulte la nécessité absolue de multiplier dans les grands édifices les chaudières et les foyers, et par conséquent d'encombrer les caves, et d'augmenter les soins et les frais de conduite, et encore plus de surveillance; de là résulte encore une inégalité inévitable entre divers appareils producteurs de chaleur, isolés les uns des autres, d'où multiplicité des centres de chauffage, et dépendance des appareils de répartition, ce qui est directement contraire à tous les principes d'un bon travail.

Chaque procédé de chauffage, il est vrai, a ses qualités et ses défauts, inhérents à sa nature; et le constructeur trop absolu qui prétend en employer un seul, dans toutes les circonstances possibles, se trompe gravement; à chaque cas spécial convient un procédé spécial, c'est celui qui a pour la circonstance le moins de défauts et le plus de qualités; le talent de l'ingénieur est de savoir peser toujours les considérations décisives, et appliquer chacun des procédés connus là où il convient mieux que tout autre.

Accoutumé à puiser dans les diverses industries des procédés et des ressources appliqués ensuite avec de grands résultats à d'autres travaux, nous avons remarqué que le chauffage des édifices publics manquait d'un moyen général, central et simple de production et de répartition de chaleur, qui n'eût ni les défauts que nous venons de montrer pour la circulation d'eau directe, ni ceux que nous avons déjà signalés dans le chauffage à vapeur, et qui sont : un chauffage impossible à graduer dans les températures modérées, par conséquent toujours au maximum; la difficulté de régler la température avec égalité sur une grande longueur; et enfin le refroidissement instantané de tout l'appareil au moment où l'introduction de la vapeur est suspendue.

Nous avons reconnu que ces qualités qui manquent au chauffage à vapeur, c'est-à-dire les qualités d'émission et d'égalisation de chaleur, sont positivement les plus hautes qualités de la circulation d'eau, et qu'au contraire, les qualités importantes qui manquent au chauffage à circulation, celles de transport et de distribution, se trouvent à un haut degré dans le chauffage à vapeur, le plus puissant et le plus rapide moyen de transport de chaleur qui existe.

Nous nous sommes demandé si par leur combinaison ces deux procédés ne se compléteraient pas réciproquement, et ne donneraient pas un système capable de suffire pleinement et largement aux besoins les plus compliqués des édifices publics et des habitations particulières, et nous avons trouvé dans les manufactures de toiles peintes, les blanchisseries, les teintureries, etc., le procédé complet et tout pratique que nous cherchions, c'est-à-dire la vapeur employée uniquement comme *moyen de transport*, pour chauffer de nombreux réservoirs d'eau placés à tout niveau et à toute distance, jusqu'à plus de 500 mètres si l'on veut.

Nous avons alors compris qu'en fractionnant les circulations d'eau et les poêles, par étage et par localités, et en leur envoyant la chaleur dons ils ont besoin au moyen de la vapeur sortie d'un générateur unique et central, pour un édifice entier, si grand qu'il puisse être, et si nombreux que soient les points à chauffer, nous atteindrions complétement le but, par un moyen tout nouveau dans son application particulière au chauffage des monuments publics, mais éprouvé dans l'industrie par les plus belles applications.

L'édifice pour lequel nous avons trouvé et proposé ce procédé, ne pouvait être chauffé par aucun autre dans les mêmes conditions d'unité de service général et d'indépendance des appareils particuliers, je veux parler de la prison Mazas, à Paris, qui a 1,200 cellules.

Les projets présentés en concurrence avec la circulation par la vapeur avaient aussi plus de sept appareils chauffeurs, les plus simples, nous avons fait tout le service avec un seul générateur.

Dix-huit appareils de circulation d'eau complets, mais isolés les uns des autres, et sans aucune charge d'eau, desservant chacun les dix-huit étages qui forment les six ailes de bâtiment, sont chauffés par de grands récipients qui font partie de la circulation, et au milieu desquels sont des appareils à vapeur en cuivre, qui transmettent leur chaleur à l'eau à travers leur surface; appareils munis chacun de trois tuyaux pour l'introduction de la vapeur et l'évacuation de l'eau et de l'air, comme nous les avons déjà décrits en parlant du chauffage à vapeur.

Le tuyau de la circulation, fig. 484 qui représente le principe d'une de ces circulations, part du haut du vase; l'eau est chauffée rapidement par un tuyau de vapeur qui serpente à travers l'eau et ramène cette vapeur, en partie condensée, par un tuyau de retour, puis, après avoir parcouru tout l'étage en tuyau de circulation, revient se brancher au fond du vase.

Des poêles d'eau et des circulations indépendantes sont placés dans les bureaux et dans toutes les salles de service de bâtiment d'administration, et ils sont aussi chauffés par la vapeur développée au même foyer central.

Il est donc très-facile à un seul chauffeur de conduire tous ces appareils de front, et au même degré ou chacun à son degré, puisqu'il se guide sur la pression du manomètre du générateur placé auprès de lui, sous la rotonde centrale, et sous l'œil même des inspecteurs qui stationnent dans cette rotonde au point de rayonnement de la prison.

Il est très-facile aussi de les arrêter tous ou chacun d'eux, de leur donner à volonté plus ou moins d'intensité de chauffage, par la simple manœuvre d'un robinet, de manière à supprimer complétement le chauffage dans tout étage qui ne serait pas occupé.

Les tuyaux de circulation d'eau sont placés dans des gaines en pigeonnage dans lesquelles on introduit l'air extérieur pour le chauffer et le verser dans le bas des cellules, d'où il est emporté par les tuyaux de vidange des siéges et par des gaines de ventilation jusqu'à une cheminée centrale, unique, de 4 mètres carrés de section, où l'appel est établi par un foyer à coke d'une

CHAUFFAGE.

forme particulière, et qui reçoit aussi la fumée du générateur. On proportionne aisément ces appareils aux besoins du service. Les circulations et les poêles d'eau

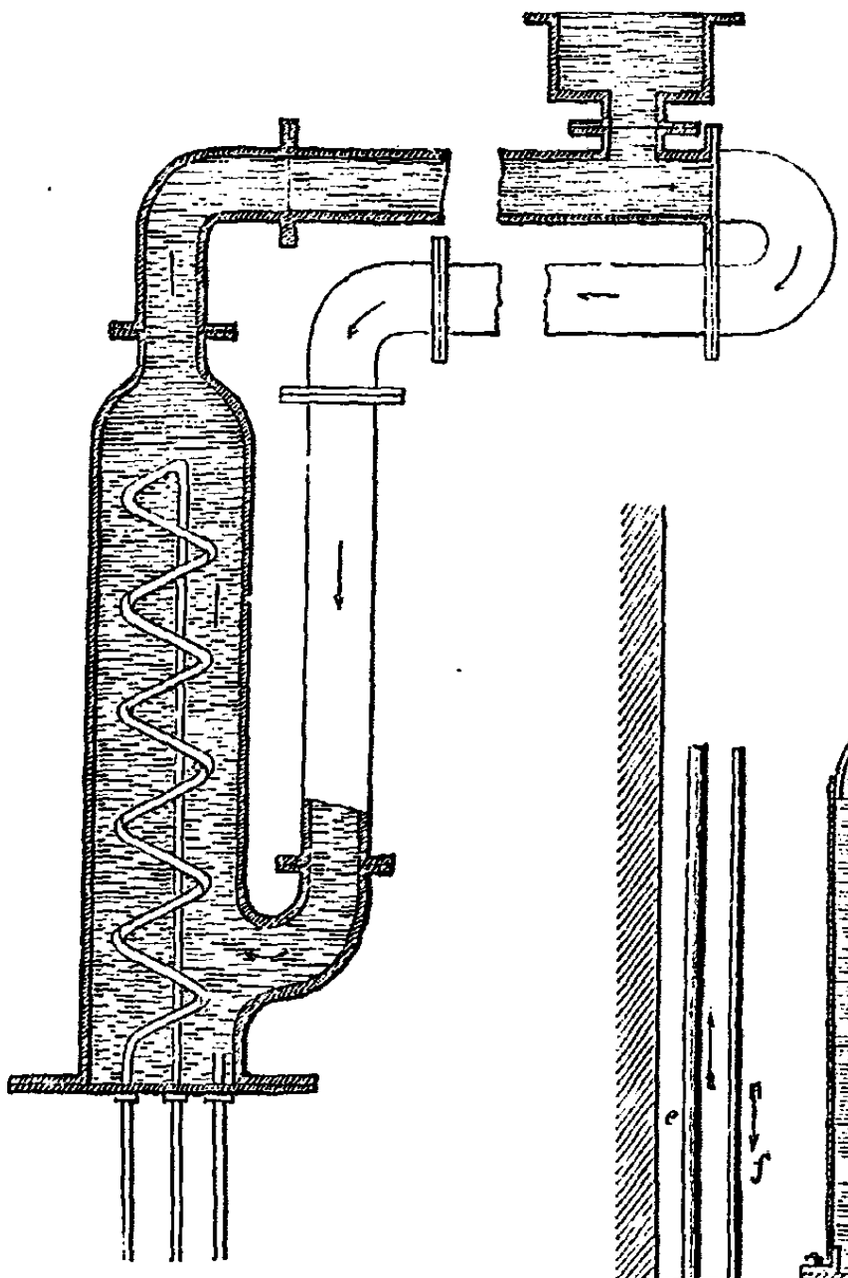


Fig. 484.

se calculent comme nous l'avons dit. Quant à la surface de tuyau de vapeur nécessaire pour chauffer chaque appareil, il suffira de savoir que 1 mètre carré de cuivre plongé dans l'eau, a 25° centigrades, condense par heure, si on expulse complétement l'air, de 100 à 150 kilogrammes de vapeur, ce qui suffit pour déterminer la surface de chauffe de chaque appareil.

Entrons dans quelques détails sur une application qui seule convient pour le chauffage de très-grands édifices, et devant être souvent imitée, offre un grand intérêt.

Le problème était le plus compliqué et le plus difficile qui ait jamais été posé : 1,220 cellules divisées en six corps de bâtiments, les corridors où elles s'ouvrent, les parloirs, les services généraux et les bâtiments de l'administration, en un mot un cube de 50,000 mètres, divisé en un nombre infini de localités différentes, à chauffer et à ventiler, sans que les appareils soient à la main des détenus et, s'il était possible, avec un foyer unique, seul moyen d'obtenir une égalité de température avec l'indépendance nécessaire entre les services, et de centraliser le travail du chauffeur pour qu'il conduise en même temps les appareils de ventilation.

Chacun des dix-huit étages, de soixante-huit cellules, a un vase chauffeur (fig. 485), d'où part une circulation d'eau en tuyaux de fonte, indépendante des autres, complétement close, et dont le tuyau supérieur *a* se bifurque pour courir devant chaque rang de cellules de l'étage, et revenir, dans le même coffre en plâtre, ramener l'eau de circulation au bas du vase chauffeur par des tuyaux *b* et *c*. Dans l'intérieur sont placés deux serpentins à vapeur *d* qui servent à chauffer l'eau de la circulation. Le passage des tuyaux, aller et retour, dans le même coffre, a pour objet d'égaliser le chauffage des premières et des dernières cellules, en compensant l'un par l'autre ces deux tuyaux, qui sont à des températures différentes.

Chaque cellule a un appareil qui lui appartient, indépendant de tous les autres, et pris cependant sur l'appareil commun de l'étage. Cet appareil est composé de

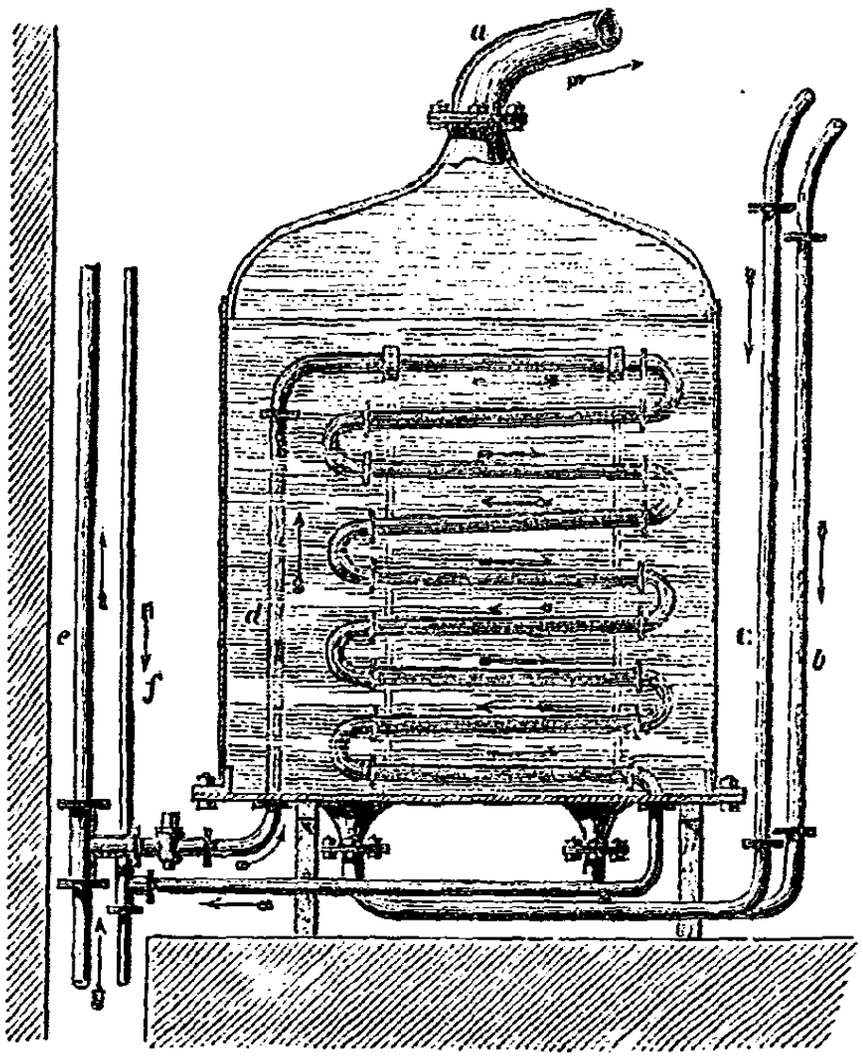


Fig. 485.

2m,33 de tuyau d'aller, et 2m,33 de tuyau de retour, qui avec 0m,081 de diamètre donnent 1m,20 de surface de chauffe par cellule, à 100° de température moyenne : il est séparé de celui de la cellule voisine par une cloison qui coupe le coffre en plâtre où courent les tuyaux.

Sur ces tuyaux vient s'échauffer, en passant, l'air pur pris dans les corridors, où il est amené de l'extérieur, déjà en partie chauffé. Cet air va ensuite porter sa chaleur dans chaque cellule en la ventilant, et y entretenir une température uniforme de 13 à 15°.

Les corridors sont facilement maintenus au même degré par la chaleur perdue des coffres de chauffage. Au point culminant de chaque circulation, un vase de trop plein reçoit le volume d'eau qui se dilate et l'air qui se dégage quand on chauffe.

Des mesures sont prises pour compenser l'effet des dilatations et pour alimenter les appareils.

Plusieurs chaudières à vapeur accouplées ensemble fonctionnant comme une seule, avec un manomètre produisent dans les caveaux placés sous le centre de la

CHAUFFAGE.

prison la vapeur nécessaire à tous les services. Cette vapeur est ensuite envoyée par un système de tuyaux *e*, aux serpentins *d* des dix-huit vases chauffeurs de circulation (fig. 485), et, de plus, à tous les poêles (fig. 486) qui chauffent les greffes, les salles de dépôt et de visite, la lingerie, etc.

L'eau condensée de tous ces appareils revient des points les plus éloignés par un système de tuyaux de retour *f*, jusque dans des appareils d'alimentation qui la renvoient dans les chaudières.

Si les ordonnances relatives aux machines à vapeur nous avaient permis de placer sous un bâtiment habité des chaudières plus grandes que celles de la troisième classe, nous aurions établi seulement trois chaudières de trente chevaux, dont une de rechange.

Nous dirons plus loin, à l'article VENTILATION, comment s'opèrent la ventilation et l'assainissement des 1,220 cellules et de l'édifice entier. Celle-ci est combinée avec les appareils de chauffage.

La dépense de houille est avec 25 mètres cubes de ventilation par cellule et par heure, et l'ouverture facultative des fenêtres pour chaque détenu, de 2,000 kil. environ par jour moyen de chauffage.

Pendant dix-huit mois, une commission spéciale a fait subir à nos appareils, la prison étant occupée en service courant, les épreuves les plus variées et les plus complètes. Ces expériences remplissent des registres et sont résumées dans un rapport, qui doit servir de modèle pour la réception de tous les édifices publics qui sont chauffés et ventilés.

La description précédente montre toutes les ressources dont permet de disposer la combinaison du chauffage par l'eau et la vapeur. Dans nombre de cas, nous le répétons, il n'en est pas d'autre acceptable. Par exemple, qu'on se demande comment chauffer un grand hôpital composé de nombreux corps de bâtiments, séparés par des cours, et des services répartis sur une grande surface. Il est évident qu'avec la circulation simple il faudrait au moins autant d'appareils chauffeurs, de foyers, etc., qu'il y aurait de bâtiments, ainsi qu'une comptabilité de combustible et une surveillance compliquées et sujettes à bien des abus.

Notre chauffage breveté, avec un seul générateur ou deux, pour couvrir les chances d'accident, travaillant chacun à leur tour et avec un seul chauffeur, fera le service de l'établissement entier, et ira chauffer jusque dans les salles les tisanes et les pieds des malades. Pour les bibliothèques publiques, les avantages de ce procédé sont plus grands encore.

Outre la nécessité de placer sous une grande bibliothèque publique, composée de nombreux bâtiments, au moins autant d'appareils à circulation d'eau directe, il faudrait toujours établir les foyers de ces appareils dans les caves, avec des approvisionnements de combustible, des lampes sans cesse allumées, des passages et services d'ouvriers, et des cheminées dans les murs : en un mot, avec tous les dangers de ces dispositions, incendie ou brisement des pièces, qui inonderaient les livres d'eau bouillante à très-haute pression de vapeur, tandis qu'avec la *circulation d'eau par la vapeur*, chaque appareil de circulation serait isolé de tous les autres, sans pression aucune, et le générateur de vapeur unique, avec sa cheminée, son foyer et son combustible, pourrait être placé loin des bâtiments de la bibliothèque, sans aucune communication avec eux que le passage des tuyaux de vapeur à travers les murs. Quelle complète et absolue sécurité on trouverait ainsi, et quels avantages dans le service, de pouvoir chauffer toujours à volonté chacune des salles par leur circulation partielle ou leur poêle d'eau.

Aucun autre procédé ne permet d'obtenir les mêmes résultats.

Nous donnerons encore un exemple intéressant d'application de ce genre de chauffage, à des magasins, bureaux, etc. Nous voulons parler du chauffage de la maison de M. B., négociant rue du Sentier, à Paris. Il est obtenu à l'aide de 35 poêles en tôle (fig. 486) her-

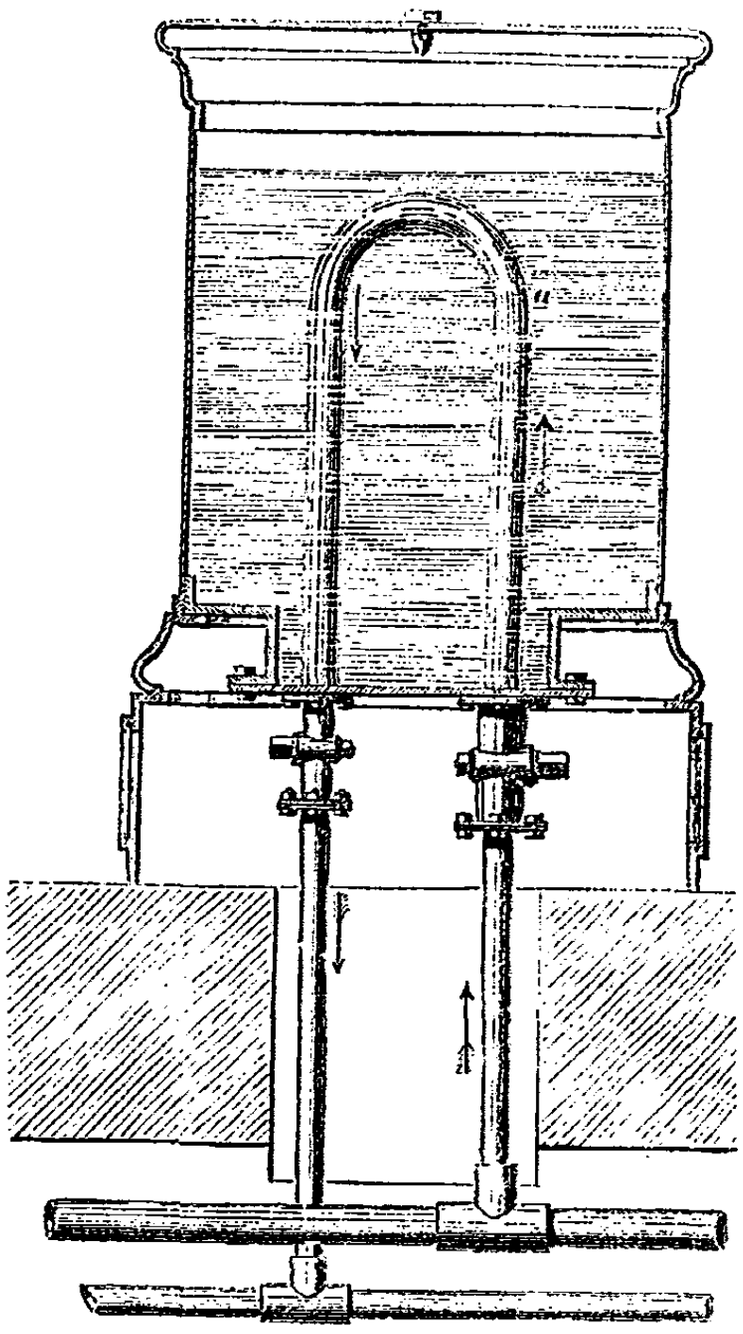


Fig. 486.

métiquement clos, remplis d'eau, qu'on ne renouvelle pas de l'hiver entier, isolés complétement et chauffés chacun par un petit serpentin où la vapeur est envoyée ou interceptée à volonté au moyen de robinets, chauffant de vastes magasins, des bureaux, des pièces d'appartement, le tout occupé par différents locataires qui payent au propriétaire les frais de chauffage avec leur loyer. Plus de 8,000 mètres cubes de capacité sont chauffés par environ 70 mètres carrés de surface de chauffe, une chaudière à vapeur de 8 chevaux consommant 50,000 kilog. de houille environ par hiver, depuis dix années et sans aucune plainte des locataires.

Le chauffeur, quand la température ne descend qu'à 1 ou 2° au-dessous de zéro, chauffe tous les poêles à eau, de manière qu'à huit heures du matin tous soient à la même température, qui est, à quelques degrés près, celle de la chaudière à vapeur.

Il commence par les salles à manger, les bureaux, etc.; puis, pendant plusieurs heures, toute la quantité de chaleur accumulée dans l'eau des récipients se répand lentement dans les salles, qu'elle entretient à la température demandée.

A trois heures après-midi, le chauffeur donne une seconde chauffe qui suffit pour la soirée, sauf quelque-

fois les appartements qu'on réchauffe encore le soir. Quand la température extérieure l'exige, on fait trois chauffes par jour.

Cet appareil se gouverne avec la plus grande facilité ; et la présence de l'eau dans les poêles, en donnant moyen d'y amasser en peu de moments une grande quantité de chaleur, permet, s'il le faut, de porter ensuite toute la puissance du générateur sur d'autres récipients, et de faire ainsi un service considérable avec une chaudière à vapeur proportionnellement petite.

Avec la circulation directe, il aurait fallu au moins deux appareils chauffeurs, et on n'aurait jamais fait convenablement à la fois le service de bureaux, de magasins et d'appartements qui demandent des heures et des températures de chauffage toutes différentes

X. CHAUFFAGE DES ÉDIFICES PUBLICS, DES ÉTABLISSEMENTS PARTICULIERS ET DES SERRES.

Après avoir donné les principes et les règles de construction des quatre grands systèmes d'appareils de chauffage, nous avons à résumer leurs qualités et leurs défauts, et à en déduire les règles qui doivent présider à leurs applications; car, nous le répétons, chacun d'eux a des conditions nécessaires, qui le rendent bon dans certaines circonstances et mauvais partout ailleurs.

L'ingénieur doit être pénétré de ces qualités diverses, et d'après les bases imposées dans chaque cas particulier et les ressources qui lui sont offertes, en localité, dépense, ou en installation de service, il doit choisir le procédé qui convient le mieux dans chaque cas spécial, sans se laisser dominer par son expérience plus particulière d'un appareil, ou par des idées systématiques.

Il en est de même pour la construction des roues hydrauliques; celui qui applique un système absolu et unique à tous les cours d'eau, à toutes les chutes, et à tous les genres de travaux, tombera inévitablement dans de graves erreurs.

Comparativement au chauffage par petits appareils utilisant le rayonnement, mais demandant en général trop de surveillance, nous avons déjà dit que le chauffage par calorifère avait l'avantage de tenir peu de place, de se conduire presque sans surveillance, par l'entretien d'un feu confié à un manœuvre; enfin et surtout, d'être très-économique d'installation, puisque le chauffage d'un logement composé de sept ou huit pièces au moins par calorifère, ne coûte pas, bien monté, plus de 1,500 fr., tandis qu'avec une circulation d'eau ou un chauffage à la vapeur, il coûterait plusieurs milliers de francs; mais par compensation, le chauffage à air chaud exige de gros tuyaux dans les planchers et dans les murs, ce qui n'est souvent praticable qu'au moment de la construction des bâtiments.

De nombreuses difficultés de distribution rendent, avec l'air chaud, presque impossible aussi un bon, égal et simultané chauffage de plusieurs corps de bâtiments.

Ce procédé fournit surtout un air souvent altéré par son passage sur la fonte chauffée au rouge, ou au moins doué par son élévation de température d'une telle puissance d'absorption pour l'eau, si on n'a pas pris la précaution de lui en donner artificiellement, qu'il affecte péniblement les organes.

Le chauffage à la vapeur, rapide dans son action, réglé à volonté par le jeu d'un robinet, puissant, comme moyen de distribution sur tous les points les plus éloignés d'un cercle de 6 à 800 mètres, et ralenti ou activé partout suivant les besoins, loge ses petits tuyaux dans les plus petits passages, et transmet en un temps donné, par sa vitesse immense, des quantités de chaleur plus grandes que tout autre procédé. Mais il a le défaut de ne pouvoir pas se modérer comme le chauffage à circulation, en raison de faibles besoins extérieurs, d'exiger toujours un chauffage maximum, et de se refroidir aussi instantanément que la vapeur se condense.

Le chauffage à circulation, doué au plus haut degré des qualités de modération et de lent refroidissement, qui manquent au chauffage à vapeur, simple d'installation et de conduite, et distribuant sur 100 ou 150 mètres de longueur la chaleur qu'on lui confie, en quantités parfaitement égales, a le défaut grave de lier entre eux une partie des appareils installés, sans en permettre le fonctionnement isolé, d'exiger ainsi une multiplication fâcheuse de foyers pour échauffer des grands établissements à plusieurs ailes et à plusieurs étages, et de demander de gros tuyaux qui passent difficilement dans les murs, menaçant en même temps l'établissement d'inondations subites, comme cela est arrivé au marché de *Covent-Garden*, à Londres; ou bien si l'on veut éviter ces gros tuyaux, il réclame forcément l'emploi des hautes pressions, qui, ajoutées à la réunion des appareils superposés et à la grande hauteur de charge qui pèse sur le générateur, laissent toujours peser sur lui une crainte fondée de rupture, d'explosion ou d'inondation.

Enfin la circulation de l'eau chauffée par la vapeur réunit, comme nous l'avons dit, presque tous les avantages des autres systèmes, sans en avoir les inconvénients, et se prête à des distributions d'appareils qu'aucun autre procédé ne peut donner : puissance de distribution centrale, isolement des appareils, comme la vapeur, travail gradué à volonté, et refroidissement lent et successif comme la circulation d'eau, sans exiger de plus grandes dépenses d'installation.

Ces éléments donnés, et lorsqu'une question importante se présente, l'ingénieur doit, avant tout choix de procédé, se rendre un compte bien net des bases du problème, des conditions imposées, soit par la nature de l'établissement, soit par les nécessités du service, soit par les intentions de l'administration, ou même par les dispositons locales, si elles sont arrêtées, quelquefois même exécutées d'avance, enfin du but à atteindre, car il faut que ce chauffage se plie aux besoins du service, et non pas le service aux besoins du chauffage.

De ce travail préliminaire, s'il est bien fait, découle naturellement le choix du procédé, car il y en a toujours un qui répond mieux que tous les autres à ces besoins.

Les conditions à remplir pour une prison ne sont pas évidemment les mêmes que pour une église, une bibliothèque, un collége ou un hôpital; c'est de ces bases que doit sortir d'un seul jet l'ensemble du système de chauffage dans la tête de l'ingénieur, et nous ne saurions trop insister sur la nécessité de concevoir dans son ensemble ce système, en laisssant seulement les détails à l'étude lente et laborieuse du cabinet. En effet, le système simple et complet qui sortira seul de la position du problème, se prêtera toujours sans peine aux bonnes dispositions, et satisfera à toutes les exigences.

Le plan général arrêté, vient l'étude des détails avec les lois mathématiques du calcul pour point de départ invariable, en les contrôlant et les confirmant par les résultats de l'expérience, et c'est ici, dans la fixation des dispositions d'exécution si variées, dans la manière de ployer les appareils aux localités sans nuire à leur bon travail, dans la combinaison si difficile des formes, c'est ici que toute la science, toute la puissance d'intelligence et d'imagination et la hardiesse prévoyante de l'ingénieur trouvent un large développement et les plus belles applications.

Puis enfin, quand il arrive à l'exécution, toutes les ressources de la pratique des ateliers doivent lui servir de guide constant, car rien ne serait fait si un grand

CHAUFFAGE.

appareil, en même temps qu'il est simple et large dans la conception du système, profondément étudié dans ses détails, n'était pas parfait dans son exécution. Un bon appareil de chauffage ne peut sortir que des meilleurs ateliers.

Nous n'avons pas à tracer ici les règles particulières de chauffage pour chaque genre d'édifice, nous ne pouvons que poser des conseils généraux, sans aborder la description de l'édifice entier chauffé et ventilé, comme nous pourrons le faire à l'article VENTILATION DES ÉDIFICES PUBLICS, car le chauffage ne se peut jamais séparer de la ventilation, et il n'y a pas de bons appareils de chauffage s'ils ne satisfont pas à cette double condition.

Outre les conditions générales de placer les appareils producteurs de chaleur sur des points à proximité, et en même temps isolés des salles à chauffer, pour que le service du combustible et des ouvriers soit hors de la portée de ces salles, de les installer, par exemple, dans les caves avec des entrées indépendantes;

Outre les mesures de sûreté à prendre, soit pour se conformer aux ordonnances ministérielles, soit pour donner pleine sécurité à toutes les craintes;

Outre les précautions de doublement de chaudières et de pièces de rechange, ordinairement prises contre tout accident;

Outre le soin de disposer les appareils, de manière à pouvoir être tous visités et démontés au besoin sans démolition ni difficultés;

Outre les précautions à prendre contre les pertes inutiles de chaleur, les fuites, etc.;

Outre les diverses mesures à adopter dans tous les appareils, il y en a de particulières à chaque localité à chauffer, et que l'expérience ou l'intelligence et l'étude des bons modèles apprendront bien vite.

Ainsi, dans un hôpital, il faut porter la chaleur dans les salles mêmes occupées par les malades, et y installer des poêles assez multipliés, et distribués dans toute la longueur et au centre de la salle et des lits, afin que les convalescents ou les malades, qui se trouvent debout, puisse s'asseoir à l'entour, et se chauffer les pieds; il faut que ces poêles soient disposés à leur partie supérieure pour tenir chauds les tisanes et les mets, et donner au besoin l'eau chaude nécessaire au service.

Il faut surtout que ces appareils versent en même temps, dans la salle chauffée à un degré modéré, tout l'air nécessaire à sa ventilation, à raison de 6 à 8 mètres cubes par heure et par lit; un puissant appel sera établi pour les lieux d'aisances placés ordinairement près des salles.

On peut donner avec avantage à une partie des appareils, surtout dans les salles de femmes, la forme de chaufferettes.

Si l'on organise un promenoir, on aura soin de placer dans le sol une série de plaques de fonte chauffées, soit à l'eau chaude, soit par la fumée des appareils même ou d'un four à coke. Tous les corridors et escaliers seront chauffés de même, et une partie du service de la cuisine, des bains de la buanderie pourra peut-être se combiner avec l'appareil de chauffage.

Dans une bibliothèque publique la chaleur pourra encore être portée directement, soit dans les salles de lecture, sous forme de tuyaux de fonte logés dans les chaufferettes sous les tables pour recevoir les pieds des lecteurs et des bibliothécaires, comme nous l'avons fait à la Bibliothèque de l'Institut, voir fig. 477, soit sous forme de poêles qui serviront de décorations et supporteront des statues ou des objets d'art. Une ventilation très-modérée, et destinée seulement à enlever toute humidité de la salle sera nécessaire.

Dans une prison cellulaire, comme on les construit aujourd'hui, les appareils doivent, au contraire, être placés hors de la portée des détenus, auxquels ils serviraient à l'instant de moyen de communication. Amener les appareils le plus près des cellules sans les y faire pénétrer, les fractionner par étage et par cellule, de manière à ne pas être forcé de chauffer une aile entière pour un petit nombre de cellules occupées; répartir la chaleur avec une parfaite égalité entre toutes les cellules; joindre à l'action de ces appareils une puissante ventilation, seule garantie donnée à la salubrité des cellules : tel est le but que nous avons cherché à atteindre dans les dispositions adoptées pour la prison Mazas, et que nous avons déjà décrites.

Dans un hôtel particulier la pensée de la décoration doit présider à tout le système. Il faut là cacher dans les murs ou sous les planchers les appareils qui sont rarement beaux à voir; s'en servir pour verser dans les salons et chambres l'air chaud nécessaire pour leur fournir toute la chaleur dont ils ont besoin, et pour satisfaire au tirage des cheminées ouvertes; enfin ne montrer les appareils que dans les vestibules, escaliers, corridors et salles à manger, où ils se placent très-bien.

Telles sont les idées principales qui s'appliquent à tous les édifices publics dont nous avons parlé. Il leur faut la circulation d'eau simple, s'ils ne sont pas considérables et que l'on puisse leur donner sans inconvénient une seule série d'appareils, et la circulation par la vapeur, dans tous les autres cas.

On applique le chauffage par calorifère aux maisons d'habitation, où on ne voudrait pas dépenser ce qui serait nécessaire pour établir des circulations d'eau, car celle-ci, comme perfection de distribution, est bien supérieure.

On sait en effet les difficultés infinies que l'on rencontre pour chauffer, par un calorifère, une maison entière, comme celles de Paris, par exemple, à cinq ou six étages et à plusieurs ailes, de manière à obtenir le chauffage en commun, que beaucoup de propriétaires veulent aujourd'hui fournir à leurs locataires. Eh bien, avec la circulation par la vapeur, on aurait, il est vrai, plus de dépenses d'établissement, mais aussi quelle perfection de service et de régularité, au moyen de poêles d'eau isolés, munis de serpentins chauffeurs, ou même avec la circulation à haute pression de Perkins.

Quant aux ateliers et bureaux des usines, ils se chauffent presque toujours par des tuyaux dans lesquels on envoie de la vapeur, et le plus souvent la vapeur perdue des machines à vapeur employées dans l'établissement. La première condition d'une bonne distribution de vapeur partant d'une machine entre diverses séries de tuyaux de chauffage, c'est un grand récipient en tôle bien solide pour résister aux impulsions données par le dégagement de la vapeur, à chaque coup de piston; récipient nécessaire pour égaliser le passage dans tous les tuyaux à la fois. De ce récipient partent tous les tuyaux de chauffage, réglés entre eux ou interceptés par de grandes valves avec des boites à étoupes. Un tuyau sert à conduire au dehors la vapeur, quand on ne veut pas chauffer les appareils. A la suite d'un récipient semblable, on peut, sans difficulté, placer 150 mètres de tuyaux de chauffage continus, pourvu qu'ils aient un grand diamètre de 0,13 à 0,15, où à 0,20 environ; on peut les intercepter par des poêles à vapeur, et enfin verser l'excédant de vapeur au dehors. L'on donne, bien entendu, des pentes pour écouler les eaux dans le sens du mouvement de la vapeur.

Nous avons monté un appareil de ce genre dans la belle fabrique de caoutchouc de MM. Rattier et Cie aux Thernes, où la vapeur d'une machine de 25 chevaux est complétement utilisée au chauffage d'immenses ateliers et d'une étuve.

Chauffage des serres. Il serait facile de donner ainsi

les dispositions générales de chaque grand système d'établissement; nous en laissons le soin aux traités spéciaux; mais un article comme celui-ci ne serait pas complet si nous ne parlions pas du chauffage des serres. Il faut alors des appareils tout particuliers qui ne se déduisent pas directement des règles posées plus haut.

Il faut pour le chauffage d'une serre satisfaire aux conditions suivantes :

Une parfaite égalité de température sur toute sa longueur, un chauffage doux ou puissant à volonté, pour suffire à tous les degrés de froid de l'hiver.

Un procédé avec lequel l'air de la serre ne soit jamais assez chauffé pour absorber avidement l'humidité des plantes, ce qui a lieu souvent avec un calorifère, où l'air à injecter dans les serres peut être élevé à 50 ou 60° et devenir ainsi mortel aux plantes. Il faut une puissance d'appareils assez grande pour compenser pendant les plus grands froids le refroidissement d'une énorme surface de vitrage. Enfin un chauffage rapide pour faire face à des nécessités imprévues, et ensuite un refroidissement lent et régulier.

Il faut le dire, un seul procédé de chauffage répond à tous ces besoins, c'est la circulation d'eau. En effet, on a essayé au Jardin des Plantes d'Orléans de chauffer les serres par un calorifère qui y verse de l'air préalablement chauffé sur des pièces de fonte, élevées à la température rouge, et où des précautions sont prises pour saturer cet air d'humidité, en y injectant de la vapeur d'eau, mais il est arrivé là, comme il était déjà arrivé dans de grandes serres chauffées à Paris par le même moyen, que la négligence d'un jardinier, qui avait laissé l'appareil sans eau, a amené de désastreuses pertes de plantes desséchées et asphyxiées par l'air chaud.

Avec la circulation d'eau, les tuyaux chauffés même à 80°, mais placés au milieu de la serre, ne peuvent pas élever l'air au-dessus de 15 ou 20°, et le bassin toujours placé dans la serre, et même de l'eau mise en vapeur sur les appareils de circulation, donnent à cet air le degré d'humidité que réclament beaucoup de plantes.

La presque totalité de la surface extérieure d'une serre est en vitrage, les pertes de chaleur par les murs sont relativement peu importantes : elles doivent entrer cependant dans le calcul rigoureux d'un appareil de serre; mais avec les méthodes pratiques que nous donnons ici, on se contentera sous notre climat, pour proportionner les appareils d'une serre à ses besoins, de compter un mètre carré de surface de tuyaux de circulation pour cinq mètres carrés de vitrage, recouvert de paillassons pendant les plus grands froids, et une chaudière de 1/6 environ de la capacité totale des tuyaux. Après ces proportions d'appareils, on peut maintenir une serre à 30 ou 32° au-dessus de la température extérieure dans les plus grands froids.

Les tuyaux sont en fonte ou en cuivre; ceux de cuivre se font avec un grand succès brasés sur la longueur, et soudés à l'étain ensemble, comme nous l'avons dit; toutes les règles des appareils de circulation que nous avons données s'appliquent d'ailleurs à ceux des serres.

La description du chauffage assez complet de la serre de l'École de pharmacie de Paris, monté par nous, et dont nous avons donné le tracé fig. 479 et 480, servira d'exemple pour ce genre d'appareils.

Cette serre a 16 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur; elle est fort élevée.

Une petite chaudière de cuivre à fond plat est placée dans un des angles, sur un fourneau à la houille, de construction ordinaire, dont la bouche est à l'extérieur. Du haut de la chaudière part un tuyau de cuivre de 0,13 de diamètre qui s'élève à 2m,50 au-dessus, et se termine par une cuvette ouverte; c'est la colonne montante et le vase d'expansion du système. Du côté de ce vase, et au-dessous du point où on maintient l'eau, part un tuyau également en cuivre et de même diamètre, qui, passant au-dessus de l'une des portes de la serre, va courir avec une légère pente le long du mur de face, au-dessous de la tablette de pierre qui porte le vitrage, et dans toute la longueur de la serre, porté sur de simples supports en fer, scellés, mais sans galets; là ce tuyau descend pour passer sous les marches de la seconde porte, et revient vers la chaudière, au bas de laquelle il se branche comme tuyau de retour, en suivant l'autre côté de la serre, et une bâche adossée au mur de fond. Le tuyau est aplati dans cette partie pour occuper moins de place dans le passage qu'il suit.

La fumée du combustible, après avoir chauffé le dessous de la chaudière et l'avoir enveloppée par une circulation de carneaux, peut suivre deux routes par la manœuvre de deux registres; en ouvrant la clef d'un tuyau montant légèrement au-dessus de la chaudière, on envoie la fumée très-chaude dans le tuyau de cheminée de l'appareil placé à 2 mètres de là, et hors de la serre, pour échauffer ce tuyau et déterminer le tirage.

Puis, quand le tirage est bien établi, on ferme cette clef, et en ouvrant le second registre, la fumée est forcée, avant de se rendre dans la cheminée, d'aller par-dessus le sol passer dans deux tuyaux de terre cuite placés sous une bâche de plantes, qu'elle échauffe fortement, de sorte que la partie de la serre occupée par cette bâche, et séparée de l'autre par un vitrage, se trouve plus chauffée, puisqu'elle l'est par la fumée du fourneau, et par le tuyau de circulation d'eau.

On brûle par jour, en hiver, dans cet appareil, en moyenne, un demi-hectolitre de houille.

P. Grouvelle.

CHAUX. La chaux, l'oxyde de calcium, est l'alcali fourni le plus abondamment, par la nature, à l'état de sels, de sulfate, de carbonate de chaux, qui constituent un grand nombre de terrains. Ses applications principales sont celles qui en sont faites à la construction des édifices, au chaulage des terres, surtout dans les terres froides où les réactions nécessaires à la végétation s'accomplissent mal, enfin à la préparation d'une foule de produits chimiques, pour nombre de réactions alcalines comme pour la clarification du sucre, l'épuration du gaz d'éclairage, etc.

Cuisson de la chaux. La calcination décompose le carbonate calcaire, chasse l'acide carbonique et donne la chaux vive; c'est en partant de cet état qu'elle sert à fabriquer les MORTIERS et les CIMENTS sur l'emploi desquels repose la construction des édifices de toute nature. Nous traitons d'une manière complète, à ces articles, des diverses qualités des mélanges naturels ou artificiels de la chaux et de l'argile constituant les chaux hydrauliques, dont les propriétés sont si différentes de celles des chaux pures ou chaux grasses, et surtout de la cuisson de la chaux et de la construction des fours destinés à cet usage selon les divers combustibles que l'on peut employer avantageusement dans chaque contrée.

Nous rappellerons seulement ici que, pour la bonne réussite de l'opération, l'expérience a montré que la cuisson de la chaux est extrêmement facilitée par la présence de la vapeur d'eau; aussi la cuisson marche-t-elle plus rapidement par un temps humide que par un temps sec. Il en est de même d'un courant d'air très-vif, tandis que d'un autre côté il résulte des expériences de Gay-Lussac et Faraday, que le carbonate de chaux n'est nullement décomposé par l'action de la chaleur dans une atmosphère d'acide carbonique pur : c'est pour cette raison qu'il est très-difficile de ramener la chaux carbonatée à l'état caustique, en la calcinant dans des creusets.

CHEMINS DE FER.

CHEMINS DE FER (*ang.* Railway, *all.* Eisenbahn). — Pour transporter un fardeau chargé sur une voiture qui roule sur le sol naturel, il faut dépenser un effort de tirage égal au quart ou au cinquième du poids total mis en mouvement; sur une bonne route d'empierrement à l'état d'entretien ordinaire le rapport du tirage à la charge totale n'est plus que de 0,080; sur des madriers en chêne il descend à 0,022; enfin sur des rails en fer en bon état il est inférieur à 0m,005; il peut descendre jusqu'à 0m,003. Tel est le premier principe sur lequel se fonde l'usage des chemins de fer; si de plus on donne au véhicule et à la voie des dispositions propres à établir entre eux une solidarité suffisante, on peut appliquer les moteurs mécaniques aux transports à grande distance et effectuer ceux-ci avec une rapidité, une puissance et une régularité incomparables. Cette solidarité s'obtient généralement en adoptant pour les surfaces de roulement de la voie la forme d'ornières saillantes et convexes; en garnissant les roues de jantes coniques, munies de boudins saillants; en fixant les essieux à des châssis rectangulaires rigides, qui, les maintenant dans une direction sensiblement perpendiculaire à celle des rails, empêchent les roues de rencontrer ceux-ci obliquement et de les franchir, notamment à l'entrée des courbes.

I. HISTORIQUE.

Ces dispositions, qui paraissent aujourd'hui fort simples, sont le fruit d'une longue et patiente élaboration, dont l'honneur doit être principalement attribué aux forgerons et aux mineurs anglais. Leurs premières tentatives remontent au commencement du dix-septième siècle; les rails primitifs étaient en bois; on ne connut l'usage des rails en fonte qu'en 1767, aux forges de Colebrooke-Dale, et en 1776 dans les houillères des environs de Sheffield. Les découvertes de Watt (1784) eurent sur l'industrie minière et sur celle des machines une influence qui devait réagir promptement sur un mode de transport encore bien imparfait; c'est à peu près en même temps que l'on inventa les roues à boudin et les rails à champignon saillant.

En 1789, Jessop apprit à les fixer sur des dés en pierre au moyen de coussinets en fonte. En 1801, se présente la première compagnie de chemin de fer, enregistrée par acte du parlement britannique, le Surrey Iron Railway, de Wandsworth à Croydon, qui n'avait que neuf milles de longueur. Il fut suivi de beaucoup d'autres, ayant principalement pour objet de mettre les houillères en communication avec les canaux et la mer. En 1805, Nexon proposa l'emploi de barres de fer posées de champ; cette substitution était fondée sur la différence en faveur du coefficient de frottement du fer comparé à celui de la fonte, mais les barres trop minces entamaient les roues; il fallut qu'en 1820 John Birkinshaw découvrît le moyen de fabriquer les rails de toutes formes au laminoir, pour que le fer acquît la prédominance qui lui était due; la fabrication de rails de grande longueur, en fer suffisamment épais et résistant, associée à l'usage des coussinets, réalisait une innovation capitale, dont les résultats ne tardèrent pas à se produire.

En effet, dès 1821, on s'occupait des chemins de fer de Stockton à Darlington, et de Liverpool à Manchester. Le 27 septembre 1825, jour de l'ouverture de la première de ces deux lignes, est une date mémorable dans l'histoire de la civilisation; c'était le premier chemin de fer public, affecté au transport des marchandises de toute nature et des voyageurs; il avait 25 milles de longueur.

Cependant la seconde partie du problème, l'application des moteurs mécaniques à la traction, était l'objet de recherches et d'essais nombreux. En 1769, Cugnot avait fait à Paris des expériences sur l'emploi de la vapeur aux transports sur les routes ordinaires : Watt avait lui-même abordé la question dans sa patente de 1784. Il faut encore citer, parmi ces précurseurs, Richard Trevithick en 1802; Trivian, Brunton, Blenkinsop, en 1811, qui introduisirent les premières locomotives dans les houillères; mais on n'entra dans une voie pratique et rationnelle qu'en 1812, lorsque Blackett eut reconnu que l'adhérence était suffisante pour déplacer le moteur et son train, sans l'intermédiaire d'aucun organe mécanique. Georges Stephenson fit bientôt usage de cette découverte; ce n'était pourtant pas assez pour réaliser les immenses améliorations qu'on prévoyait vaguement. C'est seulement en 1829, au concours ouvert par la Compagnie du chemin de fer de Liverpool à Manchester, que se manifestèrent les perfectionnements qui ont véritablement constitué la locomotive; ils portaient sur deux points : la chaudière tubulaire, inventée en France en 1828, par M. Marc Séguin, qui aurait été trouvée en même temps par M. Booth, secrétaire général de la compagnie de Liverpool à Manchester; et l'accélération du tirage par le jet de la vapeur échappée des cylindres, due à Georges Stephenson. La machine qui représentait une conquête si importante s'appelait *the Rocket*, *la Fusée*. Elle avait été construite dans les ateliers de Robert Stephenson, fils de Georges. Elle pesait 4316 kilogrammes et remorquait en palier horizontal un poids de 12,942 kilogr., y compris son approvisionnement, à la vitesse de 22k,5 à l'heure.

Les chemins de fer Anglais entrèrent aussitôt dans une période de développement rapide. Le nombre de kilomètres décrétés était de 456 en 1829; il fut doublé en 1833; il atteignit 3,046 en 1836; 16,737 en 1846; il est aujourd'hui de près de 23,000.

En France le premier chemin de fer, celui de Saint-Étienne à Andrezieux (18k), fut concédé en 1823 à M. Beaunier, et ouvert le 1er octobre 1828; celui de Saint-Étienne à Lyon (57k), concédé en 1826 à M. Séguin, a été partiellement livré à la circulation en 1830; en 1832 on y fit les premiers essais de locomotives et de transport de voyageurs. La ligne d'Andrezieux à Roanne (67k), concédée à MM. Henry et Mallet en 1828, a été ouverte en 1834. Ces trois lignes étaient des entreprises très-hardies pour ce temps, quoique bien modestes auprès de ce qu'on a vu depuis. Malheureusement cette première impulsion resta longtemps stérile. En 1833, le gouvernement avait commencé les premières études sérieuses sur l'ensemble du réseau; on ouvrit Paris à Saint-Germain en 1837; Montpellier à Cette, Paris à Versailles (rive droite), Mulhouse à Thann, en 1839; Alais à Beaucaire, Paris à Versailles (rive gauche), et Paris à Corbeil en 1840; quelques tronçons furent encore livrés à la circulation dans plusieurs départements industriels; mais jusqu'en 1842, les concessions n'eurent pas une grande importance. La loi du 11 juin de cette année détermina la direction des principales lignes du réseau national et fixa leur système d'exécution. Une période de grande activité commença immédiatement : les lignes de Paris à Orléans et à Rouen furent ouvertes en 1843; celle de Strasbourg à Bâle, en 1844; celles d'Orléans à Tours, du Nord, en 1846. La loi du 15 juillet 1845 et l'ordonnance royale du 15 novembre 1846 fixèrent les bases de la législation des chemins de fer. Au 31 décembre 1847, 4,702 kilomètres étaient concédés et 1830 exploités; c'était peu comparativement à l'Angleterre qui avait à la même époque 18,110 kilomètres concédés et 6349 exploités; cependant la crise de 1847 et la révolution de 1848 devaient nous ralentir encore. Les travaux ne furent repris avec activité qu'en 1852. Au commencement de cette année, l'étendue des concessions était de 4969 kilomètres, et celle des lignes exploitées de 3558; dès lors le réseau n'a cessé

TABLEAU DES CHEMINS DE FER DES DIVERS ÉTATS.

PARTIES DU MONDE.	ÉTATS.	SUPERFICIE. Myriamèt. carrés.	POPULATION. Habitants.	CHEMINS DE FER. Kilomètres. concédés.	CHEMINS DE FER. Kilomètres. exploités.	PAR MILLION D'HABITANTS. Kilomètres. concédés.	PAR MILLION D'HABITANTS. Kilomètres. exploités.	PAR MYRIAMÈTRE CARRÉ. Kilomètres. concédés.	PAR MYRIAMÈTRE CARRÉ. Kilomètres. exploités.	RECETTES par KILOMÈTRE. francs.	OBSERVATIONS.
EUROPE.	France [1]	5,336,50	37,129,336	20,881	13,025	562,39	351,73	3,912	2,440	42,380	(1) Situation au 31 décembre 1864. — Non compris la Corse.
	Autriche [2]	6,457.34	35,019,058	7,790	5,854	222,45	167,11	1,206	0,906	33,709	(2) Y compris la Vénétie, la Hongrie, la Bohême et la Gallicie. — Situation à la fin de 1862, ainsi que pour les pays suivants, sauf l'Italie, en ce qui concerne les chemins exploités; à la fin de 1861 pour les chemins concédés, en construction ou à construire.
	Prusse	2,202,08	17,739,913	6,353	6,058	358,11	341,48	2,267	2,162	30,944	
	Bavière	760,37	4,615,748	2,106	1,922	456,33	416,46	2,770	2,530	21,737	
	Hanovre	383,53	1,843,976	880	865	477,22	469,08	2,294	2,255	22,007	
	Wurtemberg	194,50	1,785,952	600	491	335,94	274,91	3,084	2,524	27,068	
	Saxe	149,21	2,122,148	828	761	390,19	358,61	5,457	5,107	37,152	
	Autres États	922,91	6,979,828	2,047	1,905	293,30	272,96	2,219	2,064	26,423	
	Allemagne	11,669,94	70,100,623	20,604	17,856	293,89	254,69	1,765	1,530	30,227	(3) Non compris les duchés de Holstein et de Lauenbourg, portés en Allemagne et les îles de Feroër et d'Islande.
	Belgique	294,56	4,671,187	2,170	1,950	464,56	417,46	7,368	6,621	29,712	
	Danemark [3]	473,79	2,010,458	610	461	303,48	229,35	1,287	0,973	15,207	
	Espagne [4]	4,930,51	14,957,575	5,240	2,734	350,23	182,78	1,062	0,554	20,966	(4) Non compris les îles Baléares.
	Angleterre	1,505,91	20,061,725	»	13,163	»	656,14	»	8,740	»	
	Écosse	808,68	3,061,251	»	2,862	»	934,98	»	3,539	»	
	Irlande	839,42	5,764,543	»	2,572	»	446,21	»	3,065	»	
	Grande-Bretagne et Irlande [5]	3,154,01	28,887,519	22,630	18,597	783,39	643,78	7,174	5,896	40,417	(5) Non compris les îles.
	Hollande [6]	352,00	3,521,416	1,429	373	405,85	105,93	4,059	1,059	20,008	(6) Y compris le grand duché de Luxembourg et le duché de Limbourg.
	Italie [7]	3,327,21	22,476,953	7,524	2,976	334,69	132,38	2,231	0,895	26,728	(7) Y compris les États de l'Église, la Sardaigne et la Sicile.
	Portugal [8]	972,30	3,578,677	723	204	202,96	57,01	0,743	0,209	9,801	
	Russie [9]	53,382,56	66,891,493	4,407	3,496	65,83	52,26	0,082	0,065	26,062	(8) Non compris les Açores et Madère.
	Suède et Norwége	7,702,56	5,224,287	1,274	1,241	243,87	237,55	0,165	0,161	4,383	(9) Y compris la Pologne et la Finlande.
	Suisse	405,98	2,534,240	1,474	1,132	581,68	446,72	3,631	2,788	21,104	
	Turquie d'Europe [10]	3,180,35	9,800,000	1,203	64 [11]	122,75	6,53	0,378	0,020	2,169	(10) Non compris les provinces Danubiennes et l'Archipel.
	Grèce	467,02	924,258	8	»	8,65	»	0,017	»	»	(11) Chemin de fer de Kustendje à Tchernavoda.
	Autres États et Iles	3,289,05	8,323,765	»	»	»	»	»	»	»	
	Totaux et moyennes	98,471,32	280,113,529	89,108	63,632	318,11	229,05	0,904	0,647	»	
AMÉRIQUE DU NORD [12].	États-Unis	70,840,76	31,429,891	77,441	50,205	2463,99	1597,41	1,093	0,708	»	(12) Situation à la fin de 1861, pour tous les pays suivants, excepté pour les Indes Orientales.
	Canada [13]	9,534,37	2,036,065	4,446	3,748	218,36	184,03	0,466	0,393	»	(13) Y compris le New-Brunswick.
	Mexique	22,132,94	7,485,200	960	30	128,25	4,00	0,043	0,001	»	(14) Chemin à rails en bois de Puntarenas à la Barranca.
	Costa-Rica [14]	545,94	126,750	50	16	396,80	127,00	0,091	0,029	»	(15) Trinidad, Jamaïque et surtout Cuba.
	Antilles [15]	1,434,04	1,826,895	1,390	708	761,22	387,72	0,968	0,493	»	(16) Chemin inter-océanique, — Porto-Cabello à Fonseca.
	Honduras [16]	1,196,10	350,000	240	»	685,71	»	0,200	»	»	
	Autres États	30,975,85	4,401,199	»	»	»	»	»	»	»	
	Totaux et moyennes	136,660,00	47,656,000	84,527	54,707	1773,69	1147,95	0,618	0,400	»	

AMÉRIQUE DU SUD.	Nouvelle Grenade [17]	13,483,44	2,223,873	80	80	30,98	30,98	0,006	0,006	»	(17) Chemin de fer de Panama, ouvert en 1855.
	Vénézuela [18]	11,033,25	1,564,433	100	»	63,93	»	0,009	»	»	(18) Quaira-Caracas.
	Guyane anglaise	1,938,00	127,095	34	34	267,71	267,71	0,017	0,017	»	
	Brésil	81,045,58	7,677,800	1,006	195	131,04	25,40	0,012	0,002	»	
	Pérou	13,143,61	2,500,000	419	89	167,60	35,60	0,031	0,007	»	
	Chili	3,642,02	1,558,319	723	300	464,05	192,55	0,198	0,082	»	
	La Plata	14,016,52	1,171,890	297	41	245,08	35,01	0,021	0,003	»	
	Paraguay	568,56	1,337,439	160	143	119,75	106,72	0,281	0,251	»	
	Autres États	42,763,42	3,546,551	»	»	»	»	»	»	»	
	Totaux et moyennes	181,640,00	21,708,000	2,319	882	129,89	40,63	0,015	0,004	»	
AFRIQUE.	Algérie [19]	3,902,18	2,677,973	186	50 [20]	69,48	»	0,047	»	»	(19) Non compris les concessions éventuelles pour 1211 kilomètres.
	Égypte [21]	4,596,23	5,125,000	671	478	130,92	93,26	0,146	0,104	»	(20) Alger, Blidah.
	Cap de Bonne-Espérance [22]	2,727,95	267,096	96	3	359,55	11,23	0,035	0,001	»	(21) Alexandrie, le Caire, Suez, etc.
	Autres États	289,383,69	85,594,931	»	»	»	»	»	»	»	(22) Y compris Natal.
	Totaux et moyennes	300,610,00	93,665,000	953	481	10,17	5,13	0,003	0,001	»	
ASIE.	Indes Orientales [23]	22,126,47	135,442,911	9,071	4,155	66,97	30,67	0,409	0,187	»	(23) Possessions anglaises. — Situation à la fin de 1863.
	Turquie d'Asie [24]	17,283,60	16,050,000	1,537	66	95,76	4,11	0,088	0,003	»	(24) Smyrne-Aïdin.
	Autres États	396,549,93	520,884,089	»	»	»	»	»	»	»	
	Totaux et moyennes	435,960,00	672,387,000	10,608	4,221	15,77	6,27	0,024	0,009	»	
OCÉANIE.	Australie	12,613,48	1,256,930	319	214	246,80	170,38	0,024	0,016	»	
	Autres États	97,386,52	28,743,070	»	»	»	»	»	»	»	
	Totaux et moyennes	110,000,00	30,000,000	310	214	10,33	7,13	0,003	0,002	»	
RÉCAPITULATION.	Europe	98,471,32	280,113,529	89,108	62,032	318,11	229,05	0,904	0,647	»	
	Amérique du Nord	136,660,00	47,656,000	81,527	55,707	1773,69	1147,95	0,618	0,400	»	
	Amérique du Sud	181,640,00	21,708,000	2,819	882	129,89	40,63	0,015	0,004	»	
	Afrique	300,610,00	93,665,000	953	481	10,17	5,13	0,003	0,001	»	
	Asie	435,960,00	672,387,000	10,608	4,221	15,77	6,27	0,024	0,009	»	
	Océanie	110,000,00	30,000,000	310	214	10,33	7,13	0,003	0,002	»	
	Totaux et moyennes	1,263,341,32	1,145,529,529	188,325	124,137	164,40	108,35	0,148	0,098	»	

de se développer. Les événements qui ont le plus marqué depuis cette époque, dans l'histoire des chemins de fer français, sont les fusions des compagnies, accomplies en 1855; les modifications apportées aux concessions, et la création du second réseau, en 1859; l'extension de ce nouveau réseau et les conditions plus équitables accordées par l'état aux compagnies à cette occasion, en 1863. Au 1er janvier 1865, l'étendue du réseau français est de 20380 kilomètres concédés, dont 13025 sont exploités.

Nous serions entraîné trop loin si nous entreprenions de tracer l'histoire, même abrégée, des chemins de fer en Belgique, en Allemagne et aux États-Unis, pays qui ont suivi de près la France dans ses premiers essais, et qui ont pris sur elle une avance qu'elle tend chaque jour à regagner. Les autres états ont été plus lents à entrer dans le mouvement. Nous devons nous contenter de renvoyer au tableau ci-contre, qui indique la situation générale des chemins de fer et montre qu'il n'est plus aucun pays civilisé qui n'ait compris leur importance. On a cherché dans ce tableau, emprunté pour la plus grande partie aux documents officiels, à montrer la situation de chaque état d'après les renseignements les plus récents : pour l'Europe, les renseignements remontent en général à la fin de 1862; pour le reste du monde, à la fin de 1861. Quoique les résultats inscrits ne soient pas contemporains, on a cependant présenté les totaux et moyennes qui donnent, d'une manière suffisamment approximative, une idée générale de la situation d'ensemble.

Un chemin de fer est une machine destinée au transport des hommes et des marchandises : elle se compose de trois parties intimement solidaires : la voie, les véhicules et les moteurs : dans la pratique ces trois objets ne sauraient être envisagés indépendamment les uns des autres; pour les décrire et les mieux connaître, nous devrons les étudier successivement; on verra ensuite comment ce grand appareil se construit, s'organise et fonctionne.

II. MATÉRIEL FIXE.

1° *Voie.*

Nous décrirons d'abord le système de voie le plus généralement répandu en France et en Angleterre, et nous prierons le lecteur de ne pas s'étonner si nous insistons parfois sur des détails qui paraîtront peut-être bien minutieux : rien de ce qui concerne le matériel des chemins de fer, et plus particulièrement la voie, n'est indifférent; les modifications en apparence les plus légères peuvent avoir une influence marquée sur la stabilité, la durée, le prix d'établissement et d'entretien. Chaque détail se répète des milliers de fois; chacun doit être l'objet de l'étude la plus attentive; les prévisions les plus plausibles en ce genre ont été souvent déçues par l'expérience; il n'est pas de sujet où plus d'inventions se soient produites et où le nombre des solutions vraiment pratiques soit plus limité.

Le système de voie que nous ferons connaître en premier lieu consiste dans l'emploi de rails en fer laminé, dits à double champignon symétrique; ils reposent dans des coussinets en fonte dans lesquels ils sont serrés par des coins de bois; ces coussinets eux-mêmes sont fixés par l'intermédiaire de chevillettes en fer sur des traverses en bois qui répartissent les pressions sur le sol et maintiennent l'écartement des rails : enfin tout cet ensemble est placé sur une couche de ballast, c'est-à-dire, sur un sol artificiel solide, perméable, maniable, qui le maintient dans des conditions de stabilité et de salubrité que le terrain naturel ne saurait remplir. Considérons successivement chacun des éléments de ce système, notre point de départ et notre terme de comparaison.

CHEMINS DE FER.

Rails. — Les rails sont des barres de fer encastrées ou posées sur plusieurs appuis, résistant à l'effort exercé par des charges roulant à leur partie supérieure. L'expérience, la théorie et la nécessité d'une fabrication simple et courante ont conduit à donner à leur section transversale une forme voisine de celle du double T (*fig.* 1). En général, les deux branches de ce T, ou les deux champignons sont égaux et symétriques. Le rail à simple champignon, ou à

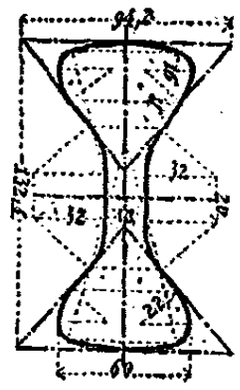


Fig. 1.

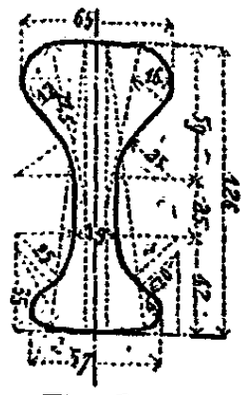


Fig. 2.

champignons non symétriques (*fig.* 2), a conservé peu de partisans. La forme symétrique du double champignon a pour objet principal de permettre de retourner le rail quand l'une de ses surfaces de roulement est usée : on s'était flatté de doubler ainsi la durée du rail; bien que cette faculté ne soit pas à dédaigner, la pratique a montré qu'on s'en était exagéré les avantages. Quand l'époque du retournement arrive, le fer est désagrégé, la nouvelle surface de roulement est creusée par l'usure au droit des coussinets; lors même que l'opération est encore possible, elle est bien moins avantageuse qu'on ne le pensait autrefois. Quoi qu'il en soit, le rail à double champignon symétrique est toujours prédominant en France et en Angleterre; il a du reste d'autres avantages sur le rail à simple champignon; la matière est répartie d'une manière plus favorable à la résistance à la flexion et au déversement; la pression sur le coussinet s'exerce sur une plus grande surface, et par conséquent le fatigue et l'use moins.

La surface de roulement des rails doit être tracée en vue de la forme des bandages des roues qui la parcourent et des phénomènes qui se produisent, suivant que la voie est en ligne droite ou en courbe. On ne peut admettre des bandages cylindriques roulant sur une surface plane, car toutes les fois que l'essieu ne serait pas parfaitement normal au rail, et à chaque instant cela se présente, même en ligne droite, il y aurait glissement, et par suite usure rapide du matériel, mouvement de lacet, accroissement de la résistance à la traction. Pour éviter ces glissements, il faut qu'en ligne droite les circonférences décrites par les points d'appui des bandages de deux roues fixées sur un même essieu aient des rayons égaux; il faut qu'en courbe ces mêmes circonférences soient des sections droites d'une surface conique, dont le sommet serait au centre de la courbe. On réalise cette double condition d'une manière approximative, mais suffisante pour la pratique, en donnant un peu de jeu aux plaques de garde, en relevant le rail extérieur dans les courbes, en terminant les bandages par une surface légèrement conique (1/20) et les rails par une surface un peu bombée. Ce bombement ne doit pas être exagéré; autrement le roulement s'exercerait à peu près toujours au même endroit et l'usure s'y manifesterait promptement : les rayons adoptés ont varié de 0m,05 à 0m,30; le plus souvent ils sont compris entre 0m,08 et 0m,14; les nouveaux rails du chemin de fer du Nord ont 0m,20. La largeur de cette surface est de 0m,050 à 0m,062.

CHEMINS DE FER.

Le rail, posé dans son coussinet, est incliné sur la verticale de la même quantité que la surface des bandages sur l'horizontale, afin de faire équilibre aux efforts latéraux tendant à son renversement ou à l'arrachement des chevillettes.

La plate-forme de roulement se termine latéralement par des courbes de 0m,008 à 0m,014 de rayon qui forment les bourrelets du champignon; ces bourrelets sont réunis à l'âme par des congés qui facilitent l'opération du laminage. Le profil de ces derniers a une inclinaison assez prononcée pour offrir un point d'appui à l'encastrement dans le coussinet ainsi qu'aux éclisses, dont nous parlerons bientôt, assez faible pour ne pas affaiblir le bourrelet par un retour trop brusque.

L'épaisseur de l'âme varie de 0m,022 à 0m,014.

La hauteur du rail doit être aussi grande que le comporte la quantité de matière disponible pour sa confection : elle est ordinairement comprise entre 0m,115 et 0m,134.

Il y a un grand intérêt à faire les rails aussi longs que possible pour diminuer le nombre des joints, points faibles où les altérations se produisent plus souvent. On est limité d'un autre côté par les convenances de la fabrication, du transport et du maniement des barres. Aujourd'hui on adopte généralement la longueur de 6m,00; on laisse au fabricant une tolérance de 0m,0015 en plus ou en moins; on admet qu'une portion de la fourniture, 1/20 environ, pourra être acceptée à des longueurs moindres, celle de 5m,96, pour être employée dans les courbes à racheter la différence de développement des rails extérieurs et des rails intérieurs, et quelques autres échantillons pour raccords.

Le poids des moteurs et des véhicules a toujours été en croissant depuis l'origine des chemins de fer; le poids des rails ou la quantité de métal employée à leur confection par mètre linéaire a dû suivre la même progression. Ainsi, les premiers rails de Saint-Étienne à Lyon ne pesaient que 13 kilog.; ceux de Liverpool à Manchester 17 kilog.; aujourd'hui ce poids ne descend guère au-dessous de 37 kilog.; quelques chemins de fer très-fréquentés emploient même des rails beaucoup plus forts; ceux du Great Northern pèsent 40 kilog., et ceux de Londres à Brighton, 46 kilog.

Fabrication des rails. — La consolidation et l'augmentation de la durée des voies est une des questions les plus graves pour l'avenir des chemins de fer : c'est surtout du progrès de la fabrication des rails qu'on peut en attendre la solution; une discussion provoquée récemment à la Société des ingénieurs civils de Paris, par M. Flachat, en a bien fait ressortir toute l'importance. On a cité en Angleterre des voies très-fréquentées qui ne durent que de 6 à 10 ans; des voies plus fréquentées encore, comme celles de Londres au littoral, ne dépassent pas trois ou quatre ans. En France, la plupart des grandes lignes dont l'ouverture date d'une douzaine d'années en moyenne, sont entrées dans la période des renouvellements de voie; on peut évaluer à 20 millions la charge annuelle qui, de ce seul chef, pèsera dans un avenir prochain sur l'entretien de l'ensemble du réseau français.

La fabrication des rails comporte les opérations suivantes :

1° Composition des paquets : les rails doivent présenter à la fois une grande dureté à la surface de roulement, pour résister au frottement des roues, et une grande ténacité, pour supporter sans se déformer le poids des véhicules. Cette double condition amène en général à former la surface de roulement avec du fer à grain ou fer n° 2, c'est-à-dire corroyé, passé deux fois au laminoir, et à former le corps du rail avec du fer n° 1 ou nerveux. Les paquets sont donc composés d'abord de deux couvertes en fer à grain, laminées à plat; elles ont environ 0m,16 de large et 0m,012 à 0m,014 d'épaisseur. Le reste du paquet, est en fer nerveux brut : ce fer sort des laminoirs en deux échantillons, l'un de 0m,081, l'autre de 0m,054 de large; les barres ont la longueur du paquet, soit 0m,80; les deux mises voisines des couvertes sont de toute longueur; on tolère des bouts dans les autres mises, pourvu qu'ils soient affranchis à une extrémité et qu'ils aient au moins 0m,10. On a soin de croiser les joints dans les deux sens.

Ce mode de composition des paquets met en présence deux qualités de fer très-différentes; leur température de soudure n'est pas la même; aussi arrive-t-il souvent qu'elles s'unissent mal; les rails périssent principalement par exfoliation et dessoudure de la couverte. On a fait des tentatives pour fabriquer les rails avec une seule qualité de fer, notamment avec le fer puddlé n° 1, et plusieurs usines de l'Allemagne y ont réussi; ce succès paraît dû aux propriétés des minerais.

Le triage des fers doit être fait avec les soins les plus minutieux; les barres doivent être classées et placées dans le paquet de manière à établir une transition aussi bien graduée que possible dans le passage du fer à grain au fer nerveux : c'est la précaution la plus essentielle pour obtenir une bonne fabrication;

2° Chauffage au rouge blanc dans un four à réverbère;

3° Laminage, quelquefois précédé d'un soudage au marteau-pilon; dans ce cas un second chauffage est nécessaire;

4° Dressement et dégauchissement des rails.

5° Coupage des bouts à la scie circulaire.

On tolère sur le poids une différence d'un centième sur une fourniture entière et de un deux-centième par rail.

Avant d'être adressés au destinataire, les rails sont reçus, examinés un à un avec soin par les agents des chemins de fer, et soumis, par échantillons, à diverses épreuves. Ainsi, les rails de l'Est, pesant 37k,50 le mètre courant, sont posés sur deux appuis écartés de 1m,25 et chargés en leur milieu d'un poids de 10000 k.; après l'enlèvement de cette charge, ils ne doivent conserver aucune flèche. Ils doivent encore résister au choc d'un mouton de 200 kil. tombant de 4 mètres de hauteur. Si plus du dixième d'une série ne résiste pas à ces épreuves, elle est rebutée tout entière.

Ces essais ne suffisent pas pour faire apprécier les défauts de soudure qui ne se manifestent qu'avec le temps; les compagnies exigent une garantie, dont le Nord et l'Est ont fixé la durée à trois ans. On est d'une sévérité extrême pour la réception définitive à l'expiration du délai de garantie; un dixième de chaque fourniture est affecté à ces expériences sur les parties les plus fréquentées de la ligne; les moindres altérations sont une cause de rebut. Grâce à ces conditions, les rails fournis au chemin du Nord, d'après son nouveau cahier de charges, par certaines usines, qui présentaient au début de 10 à 12 p. 100 de rebut, n'en donnent plus aujourd'hui que 0,6 p. 100.

L'attention générale est aujourd'hui éveillée sur l'important problème de la fabrication : il est permis d'espérer que les récents progrès accomplis dans la métallurgie du fer et de l'acier trouveront ici une de leurs plus vastes applications; déjà de nombreux essais ont été faits : 1° par l'introduction de lames d'acier dans les paquets; 2° en soumettant la surface des rails à la cémentation dans un four spécial; 3° par le coulage d'une mise en acier sur la surface des rails préalablement réchauffés; 4° par l'emploi de l'acier puddlé, du métal Bessemer et de l'acier fondu. Le haut prix de ces divers produits et les inégalités de fabrication de quelques-uns ont restreint leur emploi à de certains points très-fatigués, tels que les changements et croi-

sements de voie; cependant ils tendent à se répandre de plus en plus; la compagnie d'Orléans renouvelle la voie de la rampe d'Étampes entièrement en rails Bessemer; tout porte à espérer que le perfectionnement des moyens de fabrication amènera une baisse de prix, qui aura les conséquences les plus favorables pour la conservation et la consolidation des voies. Déjà l'on obtient des rails en acier pour 41'50 fr. les 100 kilog.; ce prix est inférieur à celui des premiers rails en fer; ne fût-ce que par analogie, on peut donc entrevoir avec confiance le commencement d'une période de progrès et de baisse de prix dans la fabrication de l'acier.

sont entraînés par le passage des trains dans le sens de la marche; en se déplaçant, ils tendent à serrer ou à desserrer les coins, suivant le sens du coinçage, qui doit par conséquent être le même que celui du mouvement. Il suivrait de là que dans les chemins à deux voies, où le mouvement a lieu continuellement dans le même sens sur chaque voie, il faudrait deux modèles de coussinet : on évite cet inconvénient en donnant l'inclinaison convenable, ou l'entrée, sur les deux faces du coussinet. Les joues sont soutenues de chaque côté par des nervures qui les réunissent à la semelle.

Fig. 3.

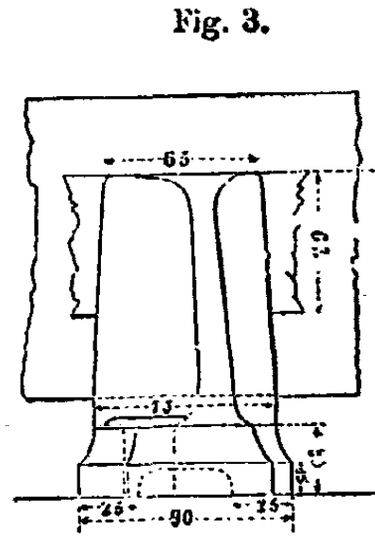


Fig. 4.

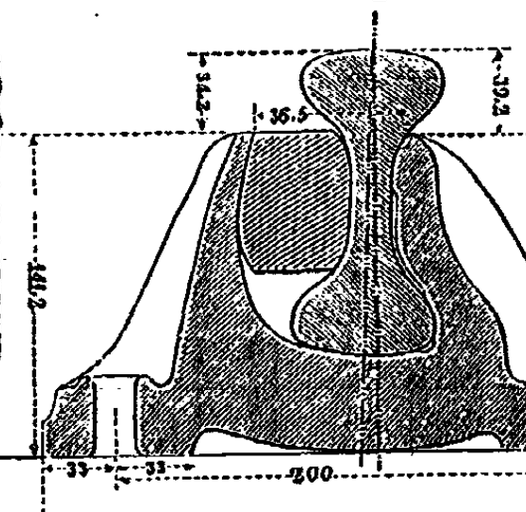
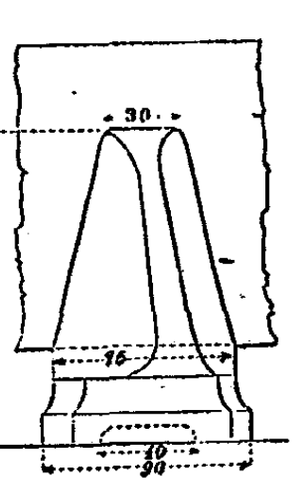


Fig. 5.



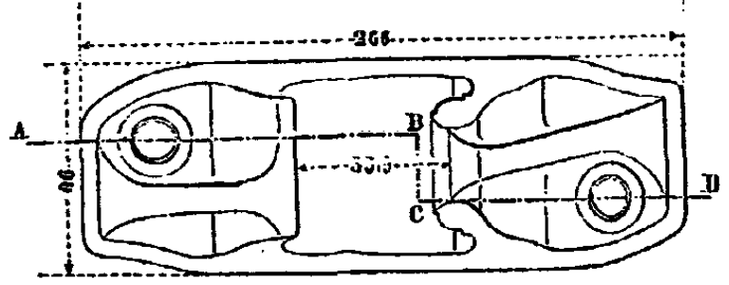


Fig. 6.

Coussinets. — Les coussinets sont des supports en fonte qui servent d'intermédiaire entre le rail et la traverse : il en existe une infinité de modèles (*fig.* 3 *et* 5; élévations latérales; *fig.* 4 *et* 6, plan et coupe suivant ABCD d'un coussinet intermédiaire); ils présentent trois parties principales, savoir :

1° Une semelle reposant directement sur la traverse, à laquelle elle est fixée par deux chevillettes en fer; ces chevillettes sont placées en diagonale, de manière à ne pas attaquer les mêmes fibres ligneuses et à éviter, autant que possible, de favoriser la tendance du bois à se fendre. La semelle doit avoir des dimensions suffisantes pour bien répartir la pression sur la traverse et opposer au déversement une résistance convenable; elle peut être évidée, pour diminuer le poids du métal, si les traverses sont en bois dur;

2° Les deux joues; l'une, intérieure à la voie, est en contact avec le rail, le maintient dans sa position régulière, l'axe incliné de un vingtième sur la verticale, normalement à la surface conique des bandages des roues, en le soutenant au-dessous du champignon supérieur, tandis qu'il repose sur la semelle par sa plate-forme inférieure; l'autre joue offre le point d'appui nécessaire pour serrer énergiquement le rail dans le coussinet au moyen d'un coin en bois. Sur quelques lignes, la surface intérieure de cette joue est cylindrique; plus souvent ses génératrices sont légèrement inclinées par rapport au rail; le sens de cette inclinaison détermine celui dans lequel le coussinet doit être placé; en effet les rails

Les coussinets de joint sont plus larges que les coussinets intermédiaires; ils n'ont pas d'entrée.

Les coussinets sont en fonte grise, ordinairement de première fusion, à grain serré et tenace. On exige que cette fonte résiste à un effort de traction de 13 k. par millimètre carré; on stipule en outre dans les cahiers des charges des épreuves de pression et de choc; l'on fixe à une année le délai de garantie.

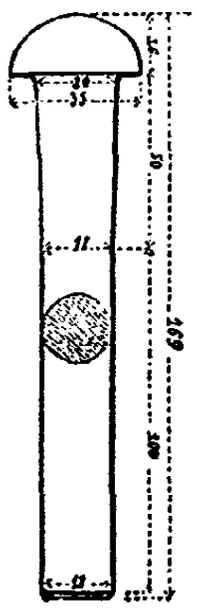


Fig. 7.

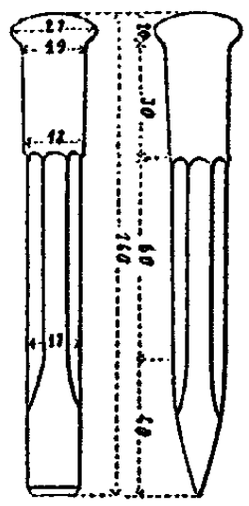


Fig. 8.

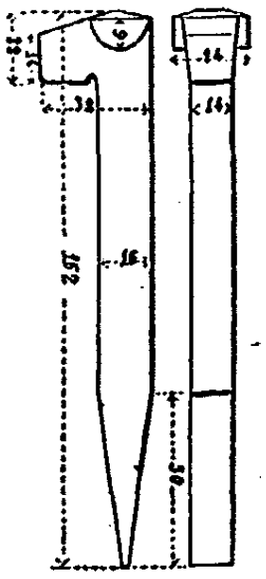


Fig. 9.

Les coussinets de joint pèsent de 11 à 14 kil.; les coussinets intermédiaires de 9 à 10 kil.

CHEMINS DE FER.

Chevillettes. — Les chevillettes (*fig.* 7 *et* 8) sont ordinairement à tête sphérique; leur tige est rondé ou octogonale : cette seconde forme exige moins de précision dans le percement du trou, et offre plus de garanties de solidité. La partie de la chevillette qui pénètre dans le bois est prismatique; la partie engagée dans le coussinet est légèrement conique. La chevillette se termine par un tranchant ou par un tronc de cône; dans le premier cas, il y a plus de chances de fendre la traverse; dans le second, le trou doit être plus profond.

Les chevillettes ont de 0m,046 à 0m,048 de diamètre; de 0m,148 à 0m,169 de longueur; elles pèsent de 0k,35 à 0k,36.

Elles sont en fer doux et nerveux; les têtes sont refoulées sur la tige. On les essaie en les enfonçant de la moitié de leur longueur dans un bloc de chêne; on doit pouvoir les plier sous une inclinaison de 45°, et les ramener à leur forme primitive sans qu'elles éprouvent aucune altération.

On a essayé de remplacer les chevillettes par des vis à bois ou par des boulons; la dépense est beaucoup plus élevée; les vis tiennent mieux et altèrent moins le bois; leur usage se répand; les boulons sont difficiles à serrer et à entretenir. Les essais de chevilles en bois n'ont résisté à aucune expérience un peu prolongée.

Coins. — On donne aux coins une forme légèrement conique (1/30 environ) pour faciliter le serrage; ils soutiennent le rail sur la plus grande hauteur possible en s'appuyant sur les champignons supérieurs et inférieurs. Ils ont 0m,25 de long sur 0m,06 à 0m,07 de large; ceux de joint sont un peu plus longs.

Les coins sont ordinairement en bois de chêne bien sec; on débite ce bois à la hache pour s'assurer qu'il est bien de droit fil; on donne la forme voulue au moyen d'une machine, dont l'agent essentiel est une paire de roues, animées d'une grande vitesse; sur leurs circonférences sont montées des lames de rabot convenablement disposées, entre lesquelles passent les coins à finir.

Traverses. — Les traverses doivent avoir des dimensions suffisantes pour bien répartir les pressions sur le ballast, s'opposer à tout mouvement de translation de la voie, soit dans le sens longitudinal, soit dans le sens transversal, résister aux variations atmosphériques et aux ébranlements produits par le passage des trains, sans fléchir, sans se fendre ni se gercer, et cependant rester facilement maniables. Leur longueur varie de 2m,50 à 2m,70; leur épaisseur de 0,14 à 0,17; leur largeur de 0m,24 à 0m,22; les traverses de joint ont environ 0m,36 de large. C'est une économie très-mal entendue d'employer des traverses trop faibles.

Les meilleures traverses sont en chêne équarri, sans aubier; on emploie aussi le hêtre préparé au sulfate de cuivre; on peut alors laisser au bois la forme demi-ronde, parce que l'aubier est la partie la mieux imprégnée de la substance conservatrice; on prépare encore, soit par le sulfate de cuivre, soit par la créosote, le pin et le sapin (procédés Boucherie, Bethell, Légé et Fleury, etc); mais les chevillettes tiennent mieux dans le chêne; cette essence doit toujours être préférée quand son prix n'est pas trop élevé. On a observé que les traverses préparées au sulfate de cuivre se détériorent au contact du fer; il faut avoir soin de goudronner les entailles pour obvier à cette cause de dégradation.

Ballast. — Le ballast est un sol artificiel qui a pour objet de protéger les traverses contre les influences atmosphériques et d'assurer la stabilité de la voie. On peut y employer les substances qui ne conservent pas l'eau, ne sont pas susceptibles d'être désagrégées ou de changer de volume par l'effet de la gelée et de l'humidité, supportent le bourrage et sont propres à répartir les pressions sur de larges surfaces. Le sable, quand il n'est pas trop fin, le gravier, les galets, la pierre cassée, les scories de forge, les briques cassées, ont été utilisés avec plus ou moins d'avantage; on a rarement le choix entre ces divers matériaux; mais on ne doit pas oublier que la bonne qualité du ballast est aussi essentielle pour le bon établissement de la voie que pour sa durée.

Le ballast a 0m,50 à 0m,60 d'épaisseur; la largeur des accotements est réglée par la condition d'offrir une résistance convenable au déplacement transversal de la voie, sans créer d'obstacle à l'écoulement des eaux; elle est ordinairement de 1m,15 en couronne.

La mise en œuvre des éléments que nous venons d'étudier comprend deux opérations principales, le sabotage et la pose.

Sabotage; largeur de la voie. — Le sabotage a pour objet de fixer les coussinets sur les traverses; cette opération suppose résolue une première et importante question, celle de la largeur de la voie. Quand Georges Stephenson construisit le chemin de fer de Liverpool à Manchester, il adopta la largeur de 1m,435 entre les bords intérieurs des rails; cette largeur a été presque universellement acceptée à peu de chose près; on l'a portée à 1m,440, puis à 1m,450.

Il serait superflu de revenir sur les discussions qui ont eu lieu en Angleterre et sur le continent, dans la première période de l'existence des chemins de fer, sur la question de la largeur des voies. Si la lutte est apaisée entre les deux écoles de Stephenson et de Brunel, qui personnifiaient chacun des systèmes, l'expérience comparative se poursuit néanmoins en Angleterre, où la plupart des chemins de fer de la région occidentale présentent une largeur de 2m,13. Ce qui en ressort le plus clairement, c'est la nécessité, pour éviter des complications infinies de service et de construction, d'adopter, dans un grand réseau, une largeur uniforme; tout au plus peut-on aujourd'hui formuler le regret que, sur le continent, on n'ait pas au début augmenté de 0m,30 ou 0m,40 la largeur admise. Dans leur isolement naturel, les chemins de fer irlandais ont pu adopter la voie de 1m,60; les chemins espagnols sont construits à 1m,70; les chemins russes à 1m,523; les chemins de l'Inde Anglaise à 1m,678. Les chemins de fer badois primitivement construits à la largeur de 1m,60, ont été ramenés à la largeur normale de 1m,450.

L'opération du sabotage doit être exécutée avec une précision mathématique. On emploie un gabarit composé de deux bouts de rail de 0m,25 de longueur fixés aux extrémités d'une barre de fer transversale dans la position adoptée pour le profil normal de la voie; on y fixe les deux coussinets à poser au moyen de coins; on présente le gabarit ainsi armé sur la traverse, et l'on pratique à l'herminette l'entaille des coussinets, de manière que la semelle repose parfaitement sur le bois bien purgé d'aubier dans tous les sens; on perce les trous des chevillettes en se servant des trous des coussinets pour guider la tarière; on enfonce les chevillettes à la masse; on desserre les coins et on enlève le gabarit. On a soin de repérer de temps en temps le gabarit avec une jauge conservée sur le chantier.

Pose de la voie. — Avant d'entrer dans les détails de la pose, il faut être fixé sur les conditions de cette opération. Les traverses sont placées perpendiculairement aux rails. Leur espacement est variable; en effet, quand un train parcourt la voie, on observe que les diverses portions des rails résistent à la flexion dans des conditions bien différentes. Les parties intermédiaires sont ordinairement chargées de part et d'autre de la traverse et peuvent être considérées comme encastrées; les parties comprises entre les joints et les

CHEMINS DE FER.

traverses voisines ne sont pas dans le même cas; le passage d'une roue sur ces parties tend à faire basculer la traverse de joint d'abord dans un sens, puis dans l'autre, quand la roue a dépassé le joint; cette action répétée incessamment, est cause que ces parties de la voie sont les plus sujettes aux dégradations et l'objet des soins continuels des agents de l'entretien. Pour obtenir autant que possible une résistance aux joints égale à celle que présentent les autres portions du rail, on a diminué la portée des parties voisines. Pour les rails de 6 mètres, supportés par six traverses, on peut adopter deux portées extrêmes de $0^m,75$ et quatre portées intermédiaires de $1^m,15$. Nous verrons plus loin comment on est parvenu à diminuer ces inconvénients des joints au moyen des éclisses.

On laisse entre les rails consécutifs un intervalle qui varie entre $0^m,003$ et $0^m,004$ suivant la température ambiante, au moment de la pose, pour que les dilatations dues aux variations atmosphériques puissent se produire sans danger.

Dans les courbes, le développement des rails intérieurs offre une longueur moindre que celui des rails extérieurs; une certaine proportion de rails plus courts, ayant $5^m,96$ au lieu de 6 mètres, est réservée à cet effet dans les fournitures; on les intercale dans la file intérieure à des intervalles égaux plus ou moins rapprochés, suivant le rayon de la courbe, et on répartit la petite irrégularité qui en résulte sur les joints de manière à la rendre insensible.

Il y a d'autres précautions à prendre dans les courbes; c'est là que les chances de déraillement sont les plus grandes; les boudins des roues se présentent, non plus parallèlement au rail, mais sous un angle plus ou moins aigu avec son rebord intérieur, et tendent sans cesse à le franchir. La force centrifuge tend à chasser les véhicules à l'extérieur avec une intensité proportionnelle à leur masse, au carré de leur vitesse et en raison inverse du rayon de la courbe. Pour annuler son action, il faudrait que la surface plane de roulement tangente aux deux rails fût normale à la résultante de la pesanteur et de la force centrifuge; on réalise cette condition par deux moyens : le jeu de la voie et la forme conique donnée à la surface de roulement des bandages permettent au véhicule poussé transversalement en dehors de s'élever sur la surface bombée du rail extérieur et de s'abaisser sur celle du rail intérieur; mais cela ne suffirait pas; il faut de plus poser le premier rail avec une légère surélévation par rapport à l'autre; il est facile d'en calculer la hauteur pour la vitesse maximum qu'atteignent les trains; elle est par exemple de $0^m,072$ pour une vitesse de 70 kilomètres à l'heure, dans une courbe de 800 mètres de rayon.

Dans les courbes de très-petit rayon, il est nécessaire de donner une plus grande largeur à la voie, car la largeur réelle se trouve réduite à la distance comprise entre le rail intérieur et la corde passant par les points de contact des boudins des roues avec le rail extérieur. Cet élargissement se calcule de manière à laisser le même jeu que dans la voie rectiligne; ce jeu est d'autant plus utile qu'il permet aux roues de se déplacer latéralement jusqu'à ce que le contact se soit établi sur des circonférences telles que leur différence de longueur compense la différence des chemins à parcourir sur les rails extérieur et intérieur.

Éclisses. — Si on laisse de côté les tentatives qui n'ont plus aujourd'hui qu'un intérêt historique, les rails en fonte, en ventre de poisson, les voies posées sur dés en pierre, les fers méplats vissés sur longrines des premiers chemins américains, etc., on peut dire que le système précédent a été le plus répandu depuis l'origine des chemins de fer; il comporte d'ailleurs une variété infinie dans les formes et dans les proportions. Une seule modification capitale a été introduite : l'application des éclisses à la consolidation des joints. Les éclisses (*fig.* 10) sont des lames de fer jumelles placées de chaque côté de l'âme des rails, s'appuyant sur les champignons hauts et bas, serrées avec

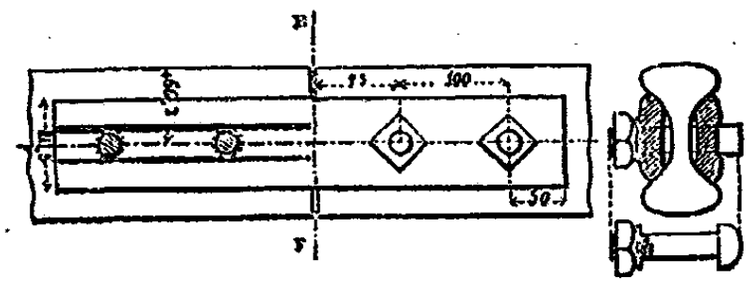


Fig. 10.

trois ou quatre boulons; elles sont analogues, comme leur nom l'indique, à l'appareil employé en chirurgie pour guérir les fractures. A cause de la difficulté de les loger dans les coussinets ordinaires, on les place entre deux traverses; le joint se trouve en porte-à-faux. Les écartements des traverses sont modifiés; avec des rails de 6 mètres, le porte-à-faux du joint est ordinairement de $0^m,60$, les autres portées sont de $1^m,08$; répartition plus favorable à la solidité de la voie que celle indiquée plus haut. De plus le mouvement de bascule des traverses de joint est supprimé.

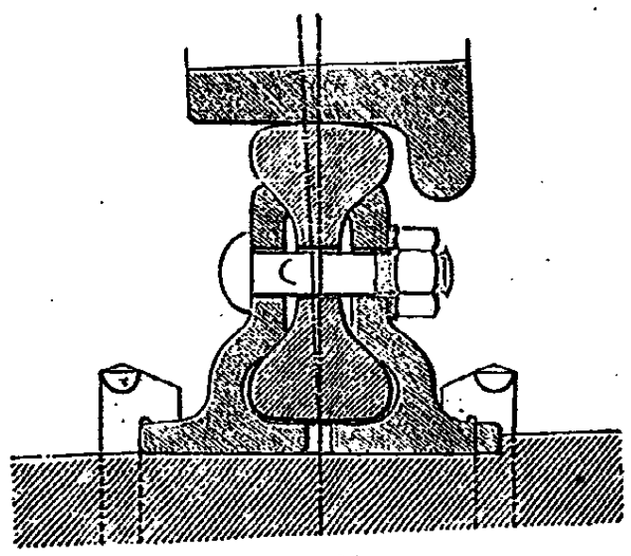


Fig. 11.

On fait aussi usage avec succès de coussinets éclisses en fer laminé, qui font disparaître toutes les objections que peut soulever le système des joints en porte-à-faux. (Chemins de fer de l'Ouest, *fig.* 11.)

Divers systèmes de voies. — Bien des tentatives ont été faites pour remplacer ou pour améliorer le système

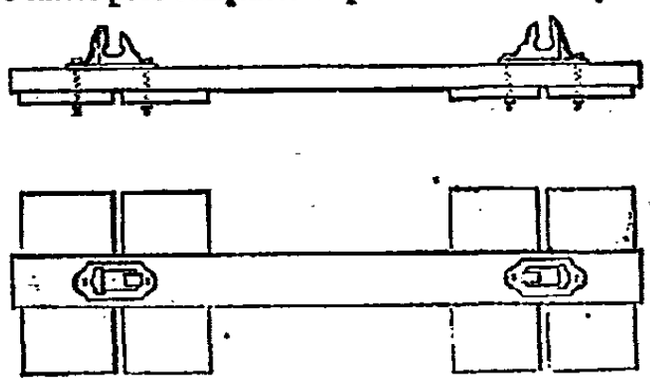


Fig. 12.

de voies que nous venons de décrire; elles peuvent se ramener à un petit nombre de types.

Système Pouillet. — Le système Pouillet (*fig.* 12) a

été appliqué à la construction du chemin de fer de ceinture autour de Paris, et essayé sur toutes les lignes françaises. La traverse est formée d'un madrier de 2m,40 de longueur; 0m,06 d'épaisseur, et 0,16 à 0,20 de largeur. Ces traverses reposent par leurs extrémités sur des tables de pression carrées, en bois, de 0m,05 d'épaisseur et 0m,60 de côté, généralement composées de deux bouts de madrier juxtaposés. Les tables sont réunies aux extrémités de la traverse par des boulons qui servent en même temps à y fixer les coussinets. Les bois sont équarris à vive arête et enduits d'un vernis composé de goudron, de poix résine et de térébenthine.

Les traverses Pouillet donnent une voie très-douce, dont l'entretien est peut-être un peu moins coûteux que l'entretien ordinaire; malgré des qualités incontestables, expérimentées sur une grande échelle, depuis quinze ans, ce système n'a cependant pas manifesté des avantages assez marqués pour obtenir la préférence sur la voie ordinaire.

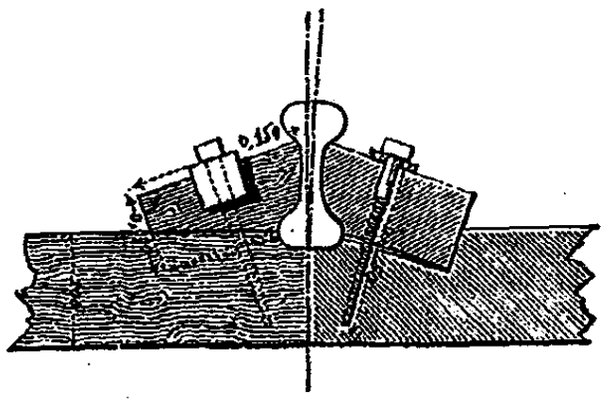


Fig. 13.

Système Barberot. — Parmi les essais ayant pour objet la suppression des coussinets, ceux de M. Barberot méritent d'être cités des premiers (*fig.* 13). Son procédé consiste à poser le rail directement sur la traverse, en le soutenant de part et d'autre par deux cales en bois de bout de 0m,15 de long, sur 0m,10 d'équarrissage. Ces cales sont découpées suivant le profil du rail, du côté où elles le joignent, et de l'autre elles sont arc-boutées dans une entaille pratiquée sur le dessus de la traverse. On les serre plus ou moins au moyen d'un tirefond, traversant une bride en fer, qui saisit leur partie supérieure et pénètre dans l'intérieur de la traverse.

Ce système offre une économie notable de premier établissement; on a dû y renoncer pour les joints; il s'applique avec les éclisses en porte à faux. Il est expérimenté sur une grande échelle par plusieurs compagnies, et il aurait peut-être pris une grande extension, si les avantages qu'on lui attribue ne se trouvaient réunis à ceux d'une simplicité beaucoup plus grande dans les rails à patin que nous allons maintenant décrire.

Rail à patin. — Le rail à patin est connu aussi sous les noms de rail Américain et de rail Vignole. Il diffère du rail à double champignon en ce que le champignon inférieur est remplacé par un empatement analogue à celui des fers en T renversé; son poids par mètre courant est le même, mais le métal dans sa partie inférieure se trouve réparti d'une manière bien plus convenable; en outre, comme ce rail n'a aucune prétention au retournement, on peut employer dans le patin du fer nerveux, qui offre une beaucoup plus grande résistance à l'extension, et réserver le fer cristallin pour la surface de roulement seule : on augmente ainsi la force du rail dans une proportion remarquable. Dans les épreuves de réception du chemin de fer du Nord, le rail Vignole de 37 kilogr., posé sur deux appuis espacés de 1m,10, supporte, sans se rompre le choc d'un mouton de 300 kilogr., tombant de 2m,25 à 2m,50 de hauteur, tandis que le rail à double champignon symétrique de même poids casse à la hauteur de 1m,25, ainsi que le rail Vignole lui-même, quand on retourne le patin en haut.

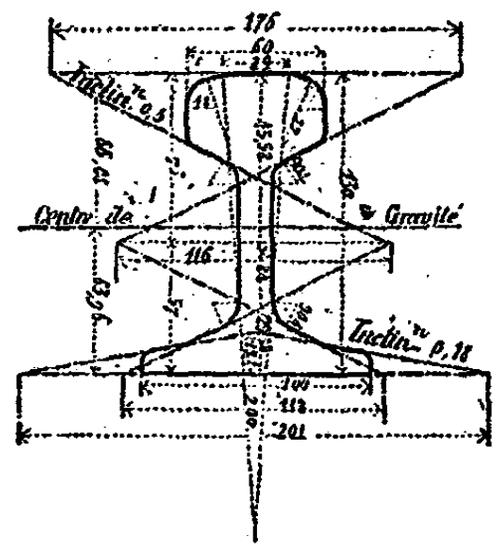


Fig. 14.

Quand les traverses sont en chêne de bonne qualité, le rail à patin repose directement sur elles, et il est fixé sur chacune par deux crampons en fer (*fig.* 9), dont la tête est munie de deux petites oreilles saillantes qui permettent d'arracher le crampon quand on veut changer un rail. Pour empêcher le déplacement longitudinal des rails, les crampons sont logés, au moins de distance en distance, dans de petites entailles pratiquées sur le bord des patins. On peut aussi employer des tirefonds, qui s'enlèvent plus facilement que les crampons.

Quand les traverses sont en bois tendre, on interpose au-dessous du patin une plaque de fer qui répartit la pression sur une plus grande surface; cette plaque est traversée par les crampons; elle contribue à empêcher le déplacement longitudinal des rails, à rendre les diverses parties de la voie solidaires et à empêcher son élargissement. Plusieurs ingénieurs conseillent d'employer toujours ces plaques dans les courbes parcourues à grande vitesse au moins aux joints et au milieu des rails.

M. Desbrière propose dans le même but une disposition beaucoup plus simple et qui paraît répondre à toutes les nécessités de la pratique : c'est une bague en fonte, logée dans une entaille de la traverse faite par la même tarière spéciale qui a creusé le trou du crampon.

On attribue au rail à patin les avantages suivants :

1° Résistance plus grande à poids égal par suite de la meilleure répartition de la matière signalée plus haut.

2° Composition de la voie et sabotage plus simple, meilleur éclissage;

3° Economie de frais de premier établissement de 4 à 5000 fr. par kilomètre, par suite de la suppression des coussinets et des coins; moins de ballast au-dessus du plan de pose des traverses; ce dernier avantage peut être contesté au point de vue de la conservation des bois;

4° Économie d'entretien correspondant aux suppressions précédentes; progrès de la sécurité dû à la simplification; plus de ruptures de coussinets, plus de coins desserrés, ni surtout de ces déplacements longitudinaux des rails, qui ont amené quelquefois des accidents désastreux (Fampoux);

5° Efforts mieux répartis sur la traverse par suite

de la plus grande étendue des surfaces de contact; moindre tendance au déversement de celle-ci.

Les rails à patin sont adoptés sur la presque universalité des chemins allemands. L'usage des traverses en bois tendre a paru jusqu'ici s'opposer à leur emploi en Angleterre. En France, la compagnie du Nord, après de nombreuses expériences, a décidé qu'il en serait fait exclusivement usage sur les voies de son réseau. Cette préférence nous paraît parfaitement motivée et destinée à trouver de nombreux imitateurs. La lecture des divers documents publiés sur ce sujet dans les *Annales des ponts et chaussées* et dans les *Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils de Paris* est de nature à répandre cette conviction; on trouvera, en même temps, dans ces publications, l'exposé des progrès importants accomplis dans la fabrication des rails, depuis quelques années, et principalement dus aux efforts persévérants des ingénieurs de la compagnie du Nord.

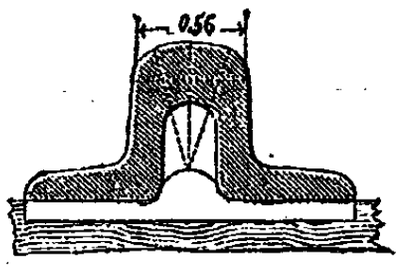


Fig. 15.

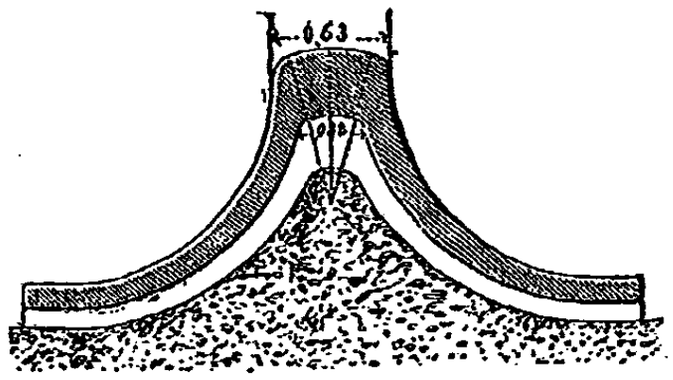


Fig. 16.

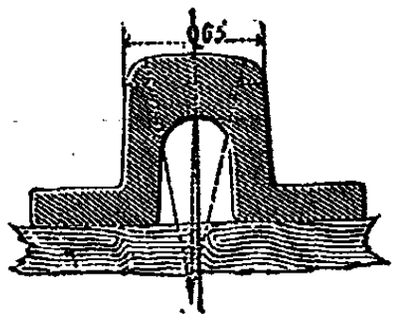


Fig. 17.

Rails Brunel. — Le rail à patin a été quelquefois posé sur des longrines ou supports continus en bois, mais c'est surtout avec le rail en U renversé, connu sous le nom de rail Brunel, ou bridge rail (*fig.* 15 *et* 16) que le système des longrines a reçu de grandes applications (Great Western, Auteuil, Midi, Baden, Hollande, etc). Soutenus sur toute leur longueur, les rails peuvent être beaucoup plus légers; ils pèsent de 20 à 27 kil.; ils sont fixés sur les longrines par des boulons, des crampons ou des vis à bois.

Les inconvénients des voies sur longrines sont nombreux; les joints sont imparfaits; la voie se plie mal aux exigences des courbes; la solidarité de toutes ses parties la rend difficile à relever quand le ballast vient à tasser; la continuité des longrines gêne l'écoulement de l'eau; la fabrication du rail est difficile; il ne se prête pas à l'établissement commode des voies provisoires ni des voies pour les terrassements et le ballast. Aussi les applications de ce système de voie se trouvent de jour en jour plus limitées à un petit nombre de cas exceptionnels, tels que le passage de certains ponts métalliques sous lesquels on dispose d'une très-faible hauteur, ou quand les points d'appui ne se prêtent pas à l'usage commode des traverses, comme sur les plaques tournantes, chariots, etc.

Voies entièrement métalliques. — Dès l'origine des chemins de fer, la question des traverses, dont la quantité est énorme et la durée très-limitée, a été l'un des principaux objets de préoccupation : il a paru à beaucoup de personnes que l'emploi d'une voie entièrement métallique résoudrait une difficulté très-grande sous tous les climats, mais d'une importance majeure dans les pays où le bois manque, et dans ceux où il ne se conserve pas. De nombreux systèmes ont été proposés.

M. Henry a employé des plateaux-coussinets, c'est-à-dire des coussinets à base très-large, reposant directement sur le ballast, reliés deux à deux par une entretoise en fer. La voie du chemin de fer d'Alexandrie au Caire (système Greave) (*fig.* 18) diffère de la précédente en ce que le plateau des coussinets présente la forme d'une cloche; la voie offre plus de stabilité; quelquefois cette cloche est allongée et porte deux coussinets. D'autres inventeurs proposent des formes qui se rapprochent des longrines; les rails suspendus entre deux cours d'éclisses en forme de cornières dont les ailes horizontales reportent la pression sur le ballast (système Mazilier), des traverses en tôle ou en fer à nervures avec divers moyens pour y fixer les rails (systèmes Falliès et Cholet, système Desbrière). Aucun de ces essais n'a encore pris une grande extension; l'augmentation des frais de premier établissement ne paraît pas en général compensée par la diminution des frais d'entretien.

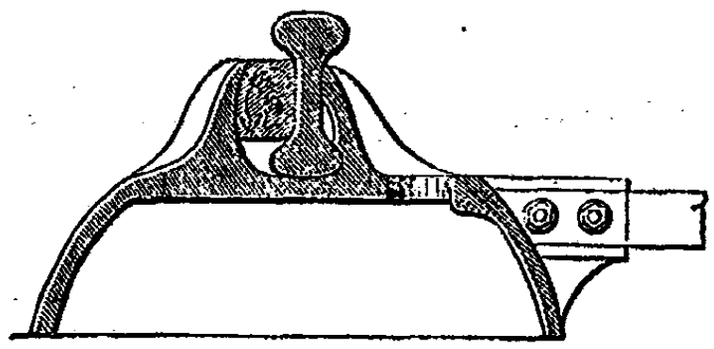


Fig. 18.

De toutes ces tentatives, la plus originale et la plus hardie est celle du rail Barlow (*fig.* 16); ce rail, dont le profil est celui du bridge-rail amplifié, constitue à lui seul, avec quelques tringles d'écartement et les selles de joint, tout le système de la voie; il pèse 80 kilog. par mètre courant. Après des essais nombreux et importants, en Angleterre et en France (Midi), on y a aujourd'hui renoncé. On lui reproche la difficulté de fabrication, une destruction rapide, une stabilité insuffisante, qui active sa détérioration.

2° *Accessoires de la voie.*

On peut faire passer les véhicules d'une voie sur une autre de trois manières : par les changements de voie, par les plaques tournantes, par les chariots roulants. Le premier appareil permet seul d'exécuter cette manœuvre sans décomposition des trains.

Changements de voie. — On distingue deux parties dans un changement de voie : 1° celle où les deux voies viennent en contact, c'est le changement de voie proprement dit; 2° celle où les deux rails adjacents à l'entre-voie se rencontrent, ou le croisement.

Il y a trois espèces de changements de voie, savoir : à rails mobiles, à contre-rails mobiles, à aiguilles.

1° Le changement de voie à rails mobiles (*fig.* 19)

CHEMINS DE FER.

est le plus simple et le plus ancien : il est encore employé sur les voies provisoires; il n'exige presque aucune modification au matériel courant; il suffit pour l'établir de rendre les deux premiers rails de la voie raccordée mobiles autour de chevilles placées aux premiers joints de cette voie et de réunir les extrémités de ces mêmes rails par une entretoise articulée de manière qu'ils restent parallèles dans toutes leurs positions. Au moyen d'une tringle de transmission et d'un levier de manœuvre placé à distance, on fait décrire aux extrémités de ces deux rails des arcs égaux; l'amplitude de ces arcs est réglée de manière que les extrémités des rails mobiles se présentent à volonté vis-à-vis celles des rails de l'une ou de l'autre des deux voies qu'il s'agit de raccorder.

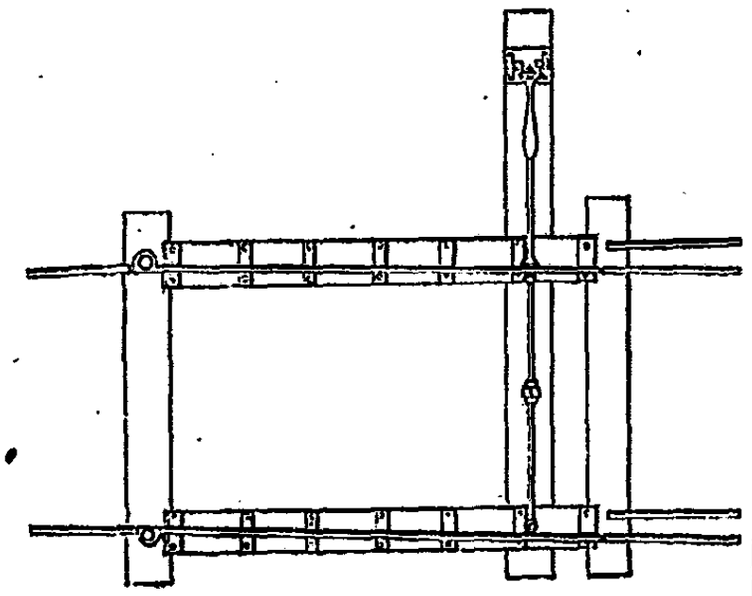


Fig. 19.

Ce système est abandonné dans l'exploitation, à cause des dangers qu'il présente. En effet, si les rails mobiles ne sont pas convenablement placés, le déraillement est infaillible pour tout train marchant vers la voie raccordée.

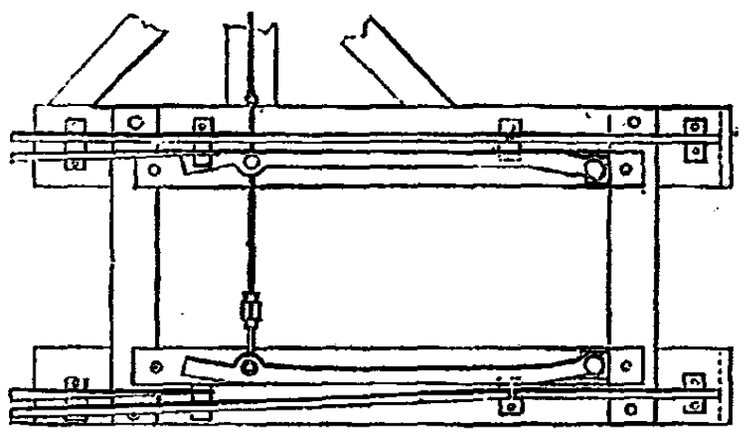


Fig. 20.

2° Dans le changement de voie à contre-rails mobiles (*fig.* 20), toutes les parties de la voie proprement dite sont fixes; un vide est ménagé aux points de contact des rails de la voie incidente avec la voie raccordée pour le passage des boudins des roues. Vis-à-vis les deux premiers rails de cette dernière voie se trouvent intérieurement placés deux contre-rails; ils sont mobiles autour de chevilles verticales placées à l'opposé des points de raccordement, réunis entre eux par une entretoise articulée, et manœuvrés, comme dans le système précédent, au moyen d'un levier extérieur. Suivant que le contre-rail s'applique sur l'une ou sur l'autre des pointes fixes, il oblige les boudins des roues, du côté où il s'appuie, à s'engager entre la pointe fixe et le rail extérieur, et dirige ainsi le train tout entier du côté voulu.

Ce système présente bien moins de dangers que le précédent; lors même que le contre-rail est mal placé, les roues peuvent le franchir, parce que son extrémité est taillée en plan incliné, et elles retombent sur la voie raccordée; mais il en résulte des secousses pénibles pour les voyageurs, fatigantes pour le matériel, non sans péril quand les trains sont lancés à grande vitesse; c'est ce qui a fait aussi renoncer au changement de voie à contre-rails mobiles.

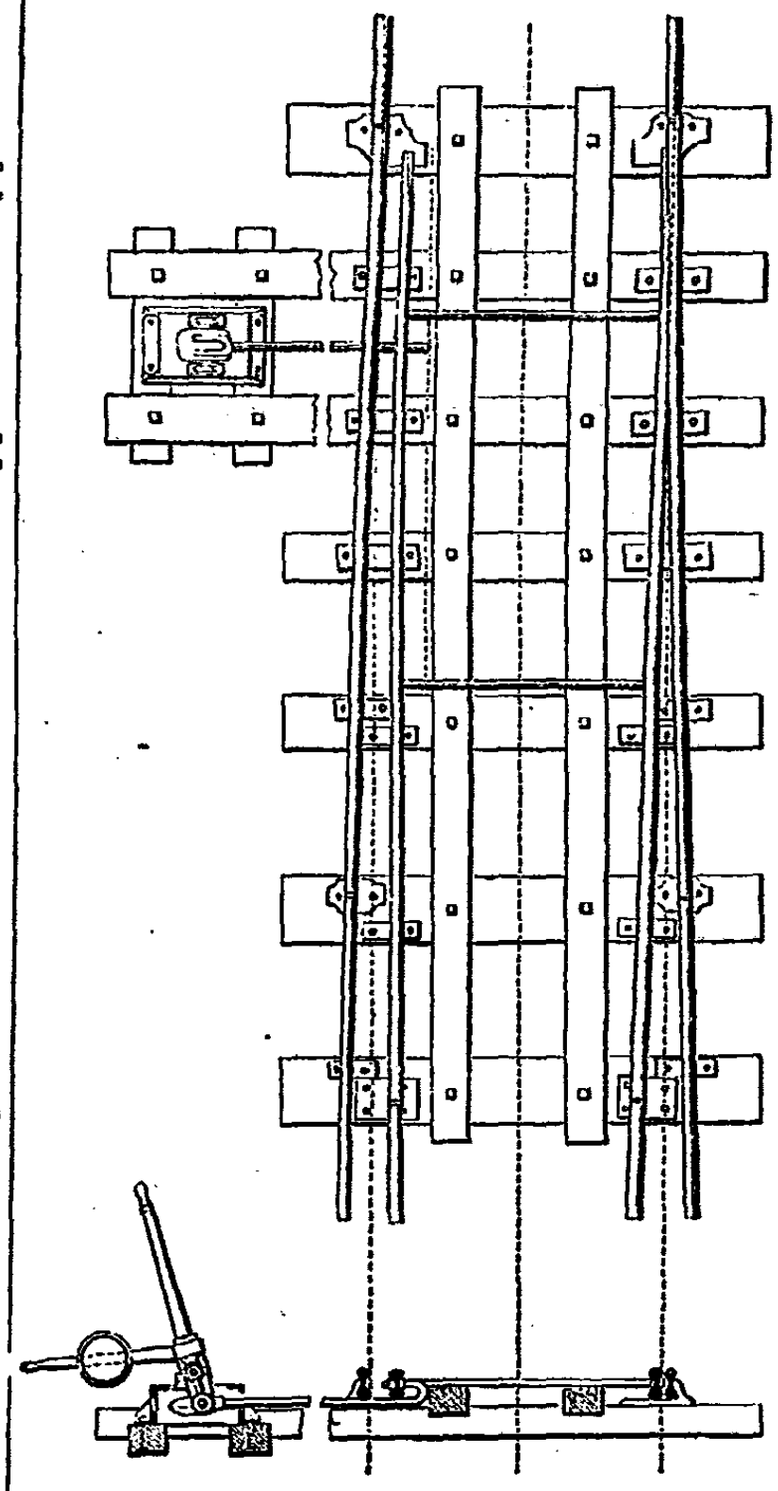


Fig. 21.

3° Les changements de voie à aiguilles mobiles (*fig.* 21) sont aujourd'hui universellement adoptés. Ils n'offrent aucun des dangers de déraillement que nous venons de signaler. Dans ce système, les rails extérieurs des deux voies à raccorder sont fixes et continus. Les deux files de rails intérieurs se terminent par des aiguilles, c'est-à-dire par des rails mobiles dans un plan horizontal, autour du dernier joint, ou talon, comme centre, amincis à leur extrémité et taillés de manière à s'appliquer exactement sur les rails extérieurs, dits rails contre-aiguilles, et à former un raccordement

continu. Ce serait sortir de notre cadre que d'entreprendre l'historique complet des perfectionnements apportés à diverses reprises à ce système, et la description détaillée de toutes les pièces, coussinets spéciaux, entretoises, leviers de manœuvre, châssis, etc., qui les composent. Nous devons renvoyer le lecteur aux collections lithographiées des compagnies, aux ouvrages spéciaux, et notamment à la notice publiée dernièrement par M. Richoux. Il nous suffira de dire qu'on a employé successivement :

1° Les changements à une seule aiguille mobile, avec rail contre-aiguille entaillé et contre-rail vis-à-vis, de Stephenson ;

2° Les changements à deux aiguilles mobiles inégales avec rails contre-aiguilles entaillés et contre-rail du côté de la petite aiguille ;

3° Les changements du système Wild, dont les pointes se dissimulent sous les rails contre-aiguilles ; ces pointes sont rabotées de manière à présenter en creux le gabarit du rail et à épouser exactement la gorge du contre-aiguille ; afin de donner plus de force à la pointe, le rail dans lequel on l'a taillée est coudé légèrement à partir de son milieu. Cette disposition protége mieux les pointes, qui ne sont plus exposées au choc direct des roues ; elle supprime les encoches, parties faibles, occasionnant des secousses dangereuses ; elle amène la suppression du contre-rail qui avait pour objet, dans les systèmes précédents, de pousser les roues vers le rail contre-petite aiguille, en un point où l'écartement de la voie dépasse la largeur normale, où les secousses produites par les encoches créent une chance de déraillement, et d'assurer la portée des bandages. On s'était cru obligé d'adopter des aiguilles inégales, malgré ces inconvénients, dans la crainte que par une manœuvre incomplète les roues d'un même vagon ne vinssent à s'engager à la fois sur des voies différentes ; il fallait donc deux modèles d'aiguilles, pour raccordement à droite et pour raccordement à gauche ;

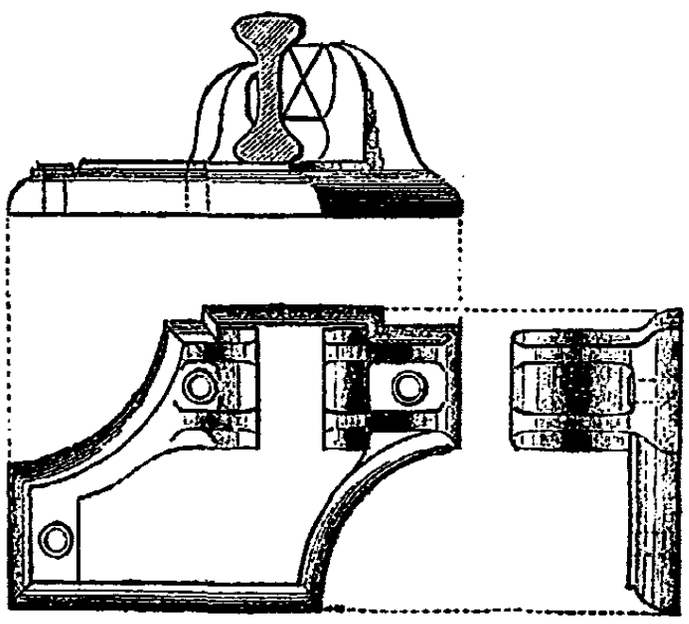


Fig. 22.

4° Grâce aux soins apportés aujourd'hui à la construction et à l'entretien des changements de voie, on a pu supprimer cette complication ; on ne fait plus que des aiguilles égales et symétriques, offrant partout le même écartement normal de la voie (1m,45), et permettant d'aller indifféremment à droite ou à gauche. La figure placée en tête de ce paragraphe représente un appareil construit suivant ces dernières données : nous y ajoutons les dessins de quelques-uns des coussinets d'aiguille, savoir :

CHEMINS DE FER.

Le coussinet de pointe, avec sa plateforme sur laquelle glisse la pointe de l'aiguille (*fig.* 22) ;

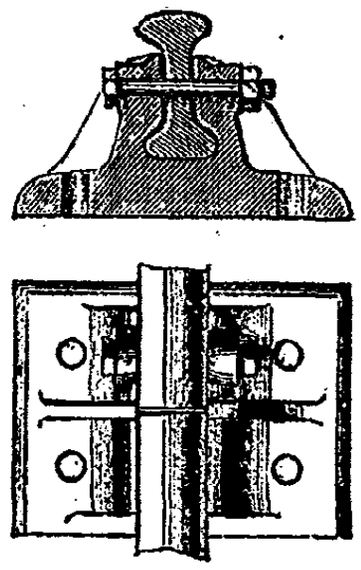


Fig 23.

Le coussinet de talon (*fig.* 23), avec le mode d'attache de l'aiguille ; on y laisse un jeu suffisant pour le déplacement angulaire du talon ;

Un coussinet intermédiaire (*fig.* 24), avec plateforme de glissement pour l'aiguille ; il n'a qu'une seule joue, sur laquelle le rail contre-aiguille est appliqué et maintenu par un boulon.

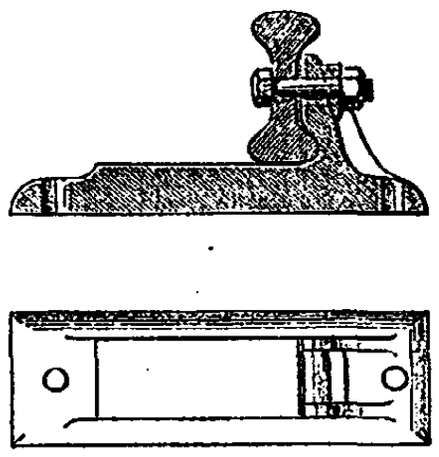


Fig. 24.

Sur les chantiers les divers modèles de coussinets spéciaux sont désignés par des numéros d'ordre.

Les changements à trois voies offrent quatre aiguilles, deux à deux, égales et symétriques ; les aiguilles appartenant à la voie du milieu sont plus courtes. Ces changements de voie ont subi successivement les mêmes améliorations que les changements à deux voies.

Les rails à patin s'appliquent très-bien à la construction des aiguilles.

Les aiguilles se manœuvrent au moyen de leviers munis de contre-poids mobiles, qui les maintiennent ouvertes, dans un sens déterminé par l'action du contre-poids, à la volonté de l'aiguilleur.

Croisement de voie. — Au point où les rails adjacents à l'entre-voie se rencontrent, et qu'on appelle le croisement (*fig.* 25), il faut ménager des coupures pour le passage des boudins des roues. La pointe formée par la rencontre des rails est le cœur du croisement : les rails qui viennent en prolongement des premiers se retournent à une petite distance de la pointe, donnée par l'épure, pour former des contre-rails qui sont parallèles à chacune des directions raccordées ; mais

CHEMINS DE FER.

entre la pointe du cœur et les sommets des coudes formés par ces rails se trouve un espace d'autant plus long que l'angle du croisement est plus aigu, où les roues ne seraient pas guidées et pourraient s'engager à faux, si l'on n'avait pas la précaution de placer vis-à-vis la pointe du cœur, le long des rails extérieurs, des contre-rails qui les maintiennent dans la direction convenable. Dans cet intervalle, les roues cessent d'appuyer sur le bord du rail et ne portent que par l'extrémité des bandages sur les parties coudées. Ce mode de roulement est nuisible à la conservation du matériel; pour en réduire l'influence, il convient de faire l'angle de croisement le plus ouvert possible : d'un autre côté le rayon de courbure ne saurait descendre au-dessous de certaines limites; 300 mètres est le minimum généralement adopté. Sur certains chemins de fer on admet un grand nombre de modèles de

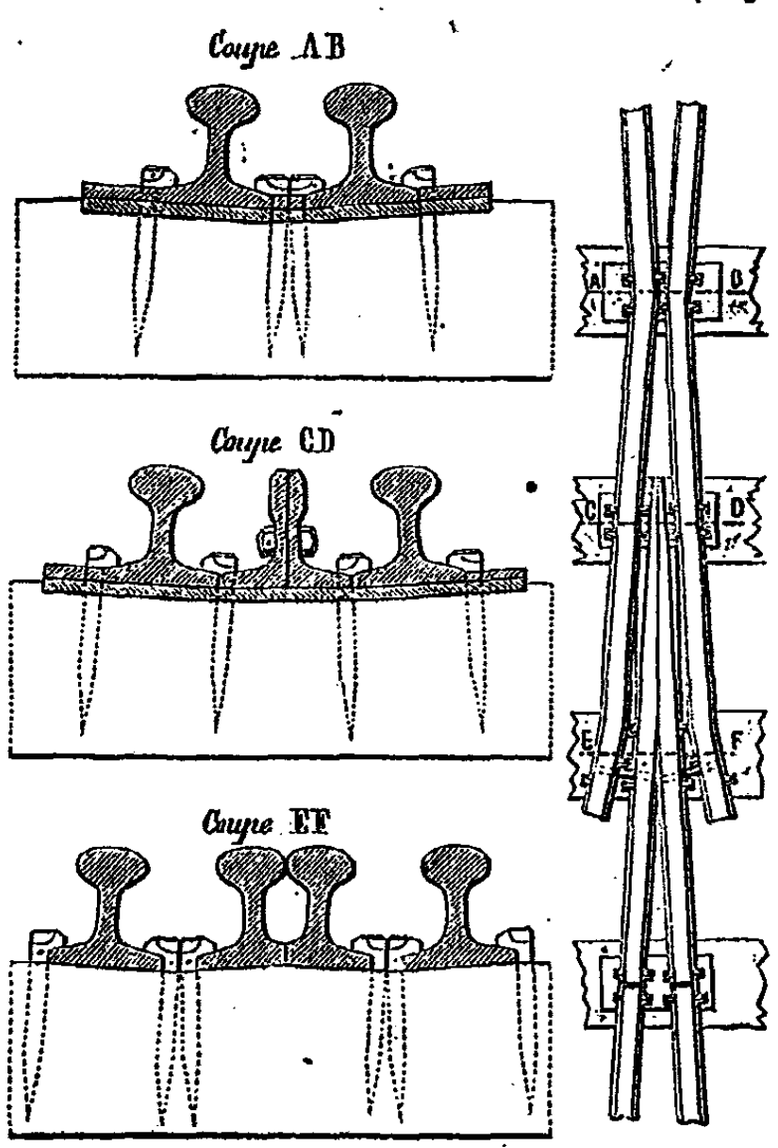


Fig. 25.

croisement pour satisfaire à toutes les combinaisons des voies dans les gares; il en résulte de grandes complications; deux modèles semblent devoir suffire : sur le chemin de fer de l'Est on s'est contenté de ceux qui présentent les angles de 5° 1/2 et 7°.

Les cœurs sont la partie de la voie dont l'usure est la plus rapide et l'entretien le plus dispendieux; on a déjà essayé bien des moyens de les fabriquer :

1° Cœurs formés de deux bouts de rail ajustés et assemblés au moyen de vis ou soudés;

2° Cœurs débités à la machine à raboter dans une masse de métal;

3° Application de l'acier fondu, du métal Bessemer, des fers cémentés par divers procédés;

4° Cœurs en fonte durcie par les procédés de M. Gruson de Magdebourg, de MM. Ransom et Sims d'Ipswich, de M. Gans d'Ofen. Ces derniers produits paraissent d'un usage économique et durable.

Traversées de voie. — Quand deux voies se coupent sous un angle plus ou moins aigu, il faut, outre deux croisements deux appareils disposés comme l'indique le croquis ci-joint (*fig.* 26), et qu'on appelle traver-

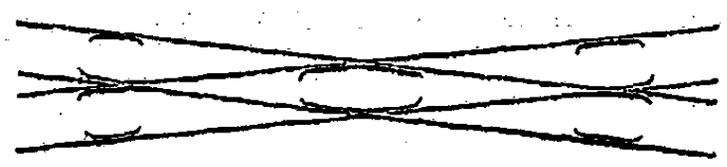


Fig. 26.

sées de voie; ils demandent aussi à être fabriqués en matériaux de choix.

Quand le coupement a lieu sous un angle droit ou à peu près, comme il arrive souvent dans les gares, l'appareil peut être simplifié; on ne modifie pas la voie principale : on établit la voie secondaire en contre-haut de 0m,03, et on entaille ses rails à la rencontre de la première, de manière que les roues qui parcourent celle-ci ne rencontrent aucun obstacle, et que les roues qui circulent sur la seconde roulent sur leur boudin en franchissant les rails de la voie principale.

Plaques tournantes. — Les plaques tournantes sont des portions de voie mobiles autour d'un axe vertical. Comme elles servent à faire passer les véhicules d'une voie sur une autre voie le plus souvent placée à angle droit sur la première, on y pose deux paires de rails normales entre elles, afin d'éviter une double manœuvre à chaque passage.

Les plaques s'exécutent en bois, en fer ou en fonte. Ce dernier métal est le plus employé; une plaque en fonte, de 4m,50 de diamètre, est représentée ci-contre par les figures 27, 28 et 29; la figure 27 donne la coupe verticale suivant BAC; la figure 28 donne le plan d'un quart de la partie supérieure; dans la portion BAC de cette figure on a supposé les rails enlevés; la figure 29 donne le plan d'un quart de la plaque en supposant le plateau mobile enlevé. Cette plaque comprend les parties suivantes :

1° Un plateau supérieur mobile, portant deux cours de rails; il est formé par le cercle de roulement et par quatre poutres placées dans la direction des rails; quatre rayons ou bras parallèles à la même direction complètent le mode de réunion de la circonférence avec le moyeu; ces diverses pièces ont en coupe la forme d'un double T. Le bord supérieur du cercle de roulement porte un valet mobile qui peut s'engager dans chacun des quatre arrêts ménagés dans le rebord supérieur de la cuve, et permet de fixer la plaque dans l'une ou l'autre des quatre positions qu'elle peut occuper.

Les intervalles entre ces pièces sont fermés par un plancher en bois ou par des plaques en fonte qui ne sont pas figurés ci-contre dans les plans;

2° Une plaque de fondation ou croisillon inférieur; elle se compose d'un moyeu et d'un cercle de roulement réunis par huit bras en forme de T renversé; le pivot, en fer, est fixé dans le moyeu avec une clavette.

Cette plaque, ainsi que le plateau supérieur, est fabriquée en deux morceaux symétriques pour faciliter la fonte et le transport;

3° Les galets interposés entre ces deux plaques pour accélérer et faciliter le mouvement sont de forme conique et disposés de manière à rester constamment

tangents aux surfaces de roulement du plateau mobile et de la plaque de fondation. Ils sont maintenus dans leur position par des tringles, qui les réunissent à la partie centrale et s'ajustent sur une couronne mobile concentrique avec le moyeu, et par un anneau polygonal qui assure la constance de leur écartement mutuel;

4° La cuve formée de huit segments cylindriques.

Une plaque, de 4m,50 de diamètre, telle que celle figurée ci-contre, pèse 9330 kilogrammes.

Les plaques pour tourner les locomotives ont 6 m. de diamètre; il faut séparer les machines de leurs tenders pour les manœuvrer. Afin d'éviter ce découplement, on emploie, quand l'espace le permet, des plaques de 12 mètres, dont la disposition est différente de la précédente. Elles ne portent ordinairement qu'une seule voie; celle-ci repose sur deux longerons parallèles en tôle, invariablement unis par une entretoise centrale en fonte, portant pivot, et par des flasques placées aux extrémités, portant les galets par l'intermédiaire desquels s'effectue le roulement sur un rail circulaire placé au fond de l'encuvement. Ces flasques reçoivent aussi le treuil de manœuvre de ces galets.

La compagnie du Nord a fait établir depuis quelques années des plaques de 12 mètres très-simples et beaucoup plus économiques que les précédentes; elles se composent :

1° D'un grand cercle de roulement extérieur de 10m,20 de diamètre;

2° D'une plaque centrale de 4m,20, semblable aux plaques de wagons, mais sans cuve;

3° De deux chevalets ou tréteaux, roulant sur le cercle extérieur, dont les galets sont mis en mouvement par une manivelle guidée par deux hommes;

4° D'une charpente supérieure composée principalement de deux longrines portant rails, reliée à la plaque centrale et aux tréteaux extrêmes.

Ces plaques ou ponts tournants ne coûtent que 9,169 fr., tandis que les anciennes plaques coûtent 29,475 fr., y compris les fondations.

Les transmissions par galets ou couronnes dentées ont été supprimées dans quelques grandes plaques anglaises et belges. Les longerons ont une grande rigidité : la plaque est calée au repos; le point de support du pivot est très-près du niveau des rails. Pour tourner une machine on l'amène sur le plateau de manière à la placer autant que possible en équilibre sur le pivot; on décale, et la rotation s'opère avec la plus grande facilité.

Chariots roulants. — Les chariots roulants sont des portions de voie portées sur des galets, qui se déplacent parallèlement à elles-mêmes en roulant sur des rails perpendiculaires à la voie principale. Ces derniers

Fig. 27.

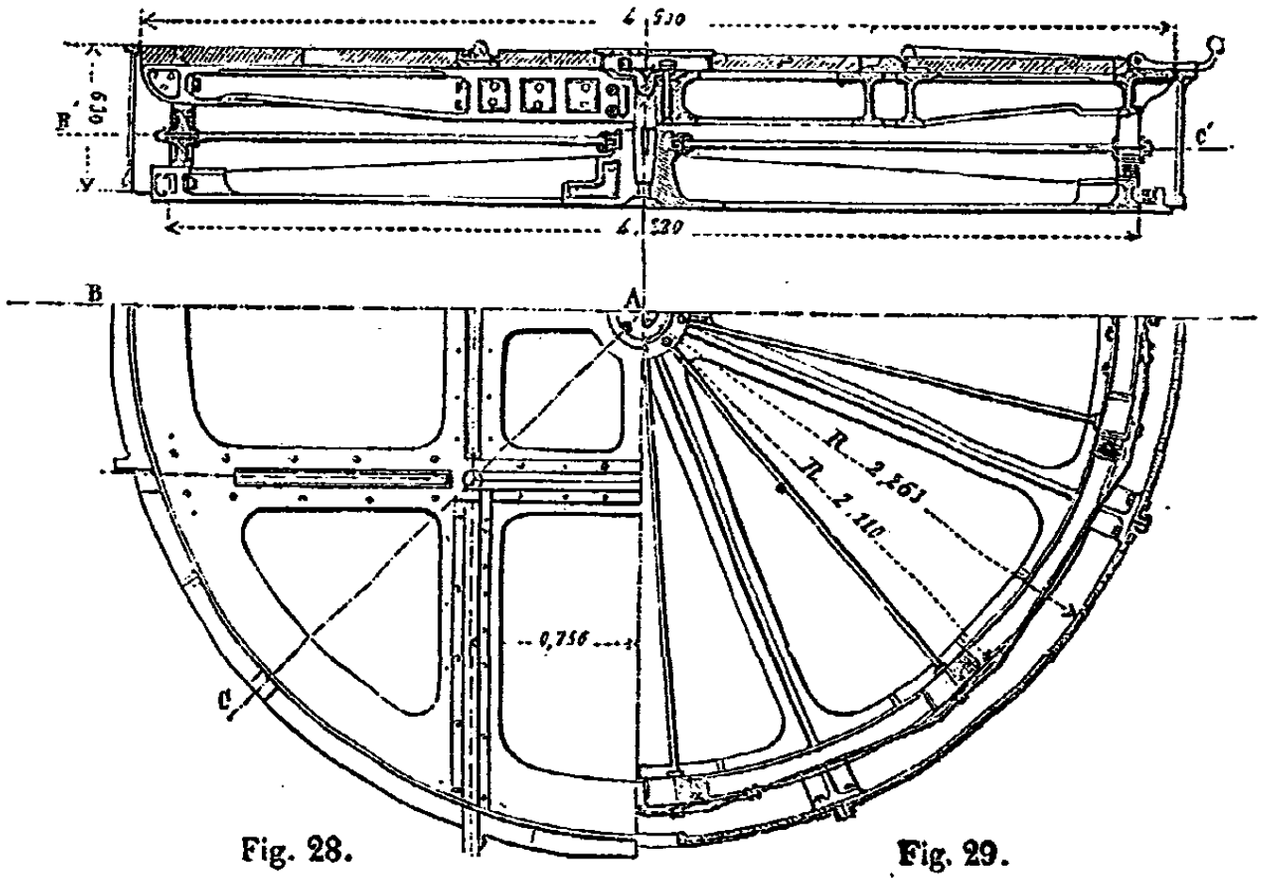


Fig. 28. Fig. 29.

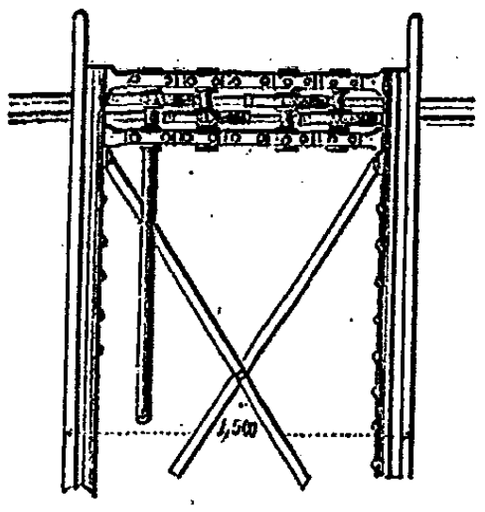
rails sont logés dans une fosse, qui présente à la fois un obstacle et un danger; aussi tous les perfectionnements ont-ils principalement pour objet de réduire ou de supprimer les fosses. Celles-ci ne sont admissibles que dans les remises et les ateliers, où l'usage des chariots réalise une grande économie sur celui des plaques. On emploie très-avantageusement de grands chariots pour locomotive et tender mis en mouvement par une machine à vapeur.

Pour les chariots à wagons, on peut réduire la profondeur des fosses à 0m,20 en suspendant les longerons aux essieux. C'est encore trop dans les gares; un tel obstacle est inadmissible en travers des voies principales. Parmi les dispositions proposées pour supprimer les fosses, il faut citer les suivantes :

1° Chariot hydraulique (Bristol, Saint-Germain); ce chariot roule sur une traversée de voie à niveau; il porte une bâche pleine d'eau et une presse hydraulique, agissant sur les essieux, au moyen de laquelle on peut soulever les wagons et les transporter d'une voie sur une autre;

2° Chariot de la gare de Lyon, à Paris : la voie transversale est composée de trois rails; six galets portent un cadre en fonte sur les rebords duquel sont montés des rails plats correspondant à ceux des voies principales et placés à 0m,04 seulement au-dessus d'eux. Les rails extrêmes de la voie principale sont

mobiles dans un plan vertical, autour du dernier joint comme centre; au moyen d'excentriques on peut soulever leur extrémité à la hauteur des rails du chariot, et faire avancer les wagons sur ce plan légèrement incliné;



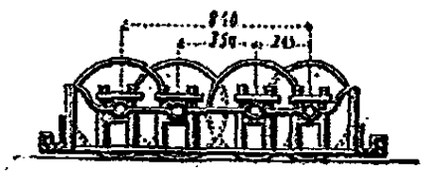


Fig. 30.

3° Chariot de Dunn (*fig.* 30); il a beaucoup d'analogie avec le précédent; les rails plats sont raccordés avec ceux de la voie principale au moyen de plans inclinés fixés contre les petits côtés du cadre par l'intermédiaire de charnières verticales à joints hélicoïdaux; on les place dans le prolongement des premiers, en les faisant tourner de 180°, quand on veut se servir du chariot;

4° On a supprimé les plans inclinés mobiles et terminé les plates-bandes du chariot par une arête en biseau; il reste une légère saillie; mais avec un petit effort les hommes d'équipe parviennent facilement à placer le wagon sur le chariot (Est);

5° On a encore perfectionné le chariot de Dunn en plaçant à côté des rails un contre-rail en pente avec rebord saillant sur lequel les roues du wagon s'élèvent en portant sur leurs boudins (Ouest). Ces contre-rails peuvent être écartés dans les parties de voie où les wagons passent sans faire usage du chariot.

III. Terrassements et travaux d'art.

Pour recevoir la voie ferrée telle que nous venons de la décrire, il faut modifier la superficie du sol naturel par des travaux de même nature que ceux des autres voies de communication; mais par leur importance, leur hardiesse et leurs grandes dimensions, les terrassements et les travaux d'art des chemins de fer dépassent tout ce qu'on avait vu jusqu'à nos jours. L'art des constructions a réalisé depuis trente ans, sous cette impulsion, des progrès tels qu'aucune autre époque n'en présente de semblables. Les procédés relatifs à l'exécution, à la consolidation et à l'entretien des grands terrassements, à la construction des ponts, viaducs, murs de soutènement, tunnels, etc., sont exposés dans d'autres parties de cet ouvrage; nous nous bornerons ici à l'énumération de quelques particularités spéciales aux chemins de fer.

La première question à résoudre avant de commencer l'étude de ces travaux de premier établissement est celle du profil en travers type qu'il convient d'adopter. Pour les chemins à deux voies, ce profil présente les divisions suivantes :

Une entre-voie, dont les derniers cahiers de charge fixent la largeur entre les axes des rails à. . .	2,06
Deux voies ayant chacune 1m,51 entre les axes des rails.	3,02
Deux accotements ayant au moins 1 mètre en couronne, et ordinairement 1m,16..	2,32
Talus des accotements, ensemble..	1,50
Banquettes aux pieds des accotements, ensemble	1,00
Total.	9,88

La largeur des accotements est d'autant plus grande que le terrain est moins solide et le ballast plus coulant. Sur les remblais, on l'étend quelquefois jusqu'à 1m,50; dans les tranchées, à la largeur précédente vient s'ajouter celle des fossés, qui est calculée en raison de la quantité d'eau à débiter (*fig.* 31). On détermine ensuite l'inclinaison des talus de déblai et de remblai suivant la nature des terres. Dans les grandes tranchées, on peut réduire le cube de déblai en contenant le ballast latéralement par des murettes en pierres sèches, qui économisent les largeurs occupées par les deux talus d'accotements.

Le passage des faîtes et des vallées profondes a donné lieu à des travaux de terrassement remarquables par leur caractère grandiose et par les puissants moyens d'action qu'on a dû appliquer. On peut citer entre autres la tranchée de Tring, sur le chemin de Birmingham, cubant 1,100,000 mètres; celle de Gadelbach (Ulm à Augsbourg), de 1,000,000 mètres; celle de Tabatsofeu, de 860,000 mètres; celle de la Loupe (Paris à Rennes), de 646,000 mètres.

Les remblais à talus peréyé et profilé suivant la courbe d'égale résistance offrent une combinaison ingénieuse qui permet d'économiser un cube de terre considérable dans les ravins profonds (chemin Saxo-Bavarois, St-Étienne à Roanne). On doit s'attendre à des tassements très-sensibles des grands remblais et prendre toutes les précautions convenables pour en prévenir les conséquences.

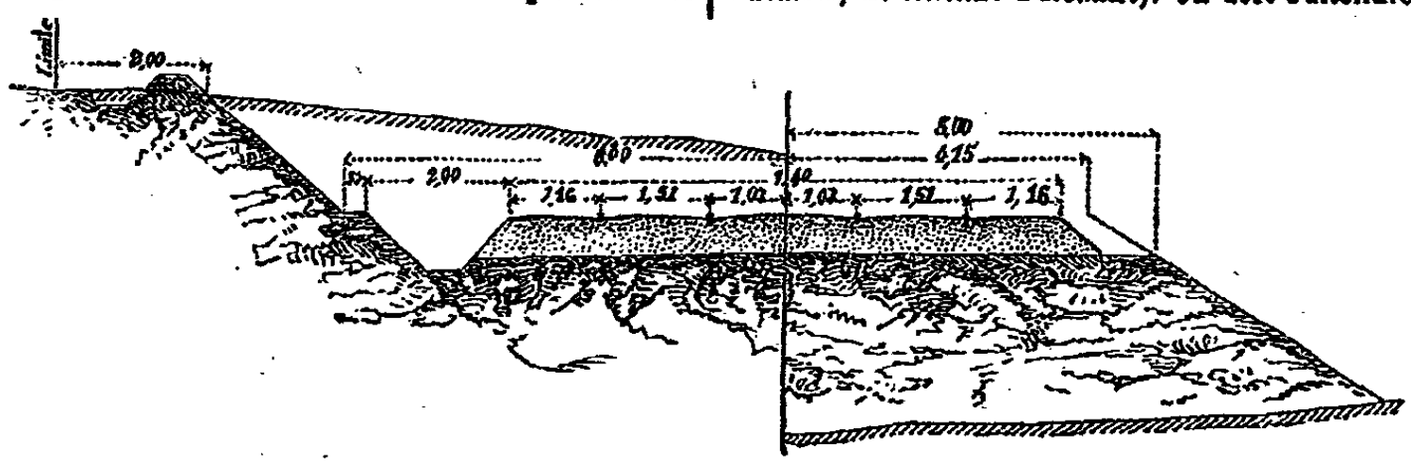


Fig. 31.

CHEMINS DE FER.

Il y a deux classes d'ouvrages d'art courants : les uns sont destinés au passage des routes; les autres à franchir les cours d'eau.

Passage des chemins. — Dans la première classe, il faut distinguer encore les passages de la voie de fer en dessus, les passages en dessous et les passages à niveau des chemins et routes de terre.

Les passages en dessus des routes, nommés aussi viaducs ou ponts sous rails, doivent avoir, entre les piédroits, une largeur au moins égale à 8 mètres pour les routes impériales, 7 mètres pour les routes départementales, 5 mètres pour les chemins vicinaux de grande communication, et 4 mètres pour les autres. La largeur entre parapets est de 8 mètres. La hauteur sous clef doit être au moins de 5 mètres, au-dessus de la chaussée pour les ouvrages en pierres et de 4m,30 pour ceux dont le tablier est en bois ou en métal. Quand la différence de niveau est considérable entre le rail et la route, il y a lieu de se demander s'il convient de faire un pont en plein-cintre d'une grande longueur et d'une hauteur sous clef minimum, avec une épaisseur de voûte proportionnée à la hauteur du remblai, ou bien s'il est préférable de faire un pont d'une faible longueur mais d'une grande hauteur, et avec de grands murs en aile ou en retour; on est généralement conduit à préférer la première solution.

Quand la hauteur manque absolument, on fait un pont à tablier métallique horizontal; on emploie des rails Brunel logés entre deux poutres jumelles, sur une longrine en bois encastrée entre ces poutres.

Les passages de la voie de fer en dessous des routes, ponts ou viaducs sur rails, doivent offrir entre les parapets les mêmes largeurs que les précédents entre leurs piédroits. Les culées doivent être écartées de 8 mètres au moins, et la distance verticale au-dessus du rail extérieur de chaque voie doit être au moins de 4m,80. On compte parmi les types principaux de passages en dessous :

1° Les ponts en maçonnerie, en plein-cintre ou surbaissés, à une ou à trois arches, avec murs en retour;

2° Les ponts en arc de cercle à culée noyée dans les talus de déblai, qui dégagent bien la vue, avantage précieux, surtout dans les tranchées courbes et aux abords des gares;

3° Les ponts à tablier métallique ou en bois, applicables quand la différence de hauteur est faible;

4° Les divers modèles de passerelles pour piétons.

Passages à niveau. — Les passages à niveau comprennent :

1° Une chaussée pavée avec contre-rails, ayant pour objet d'éviter toute saillie gênante pour la circulation des voitures, de protéger les rails, et de maintenir libre une rainure pour le passage des boudins des roues des wagons;

2° Deux barrières qui peuvent être disposées d'après divers modèles. Quand ces barrières sont à vantaux tournants, on se demande si elles doivent s'ouvrir sur la voie ou à l'opposé. Dans le premier cas, le poste du garde étant à l'intérieur, sa manœuvre est plus prompte et plus facile : plusieurs voitures se pressant pour attendre l'ouverture du passage, on n'est pas obligé de les faire reculer pour déplacer les vantaux. Ces raisons font généralement adopter cette disposition; mais les barrières doivent avoir leurs pivots assez éloignés pour n'être pas exposées, si on les a laissées ouvertes par inadvertance, à être brisées par les trains. C'est une condition qu'on ne peut pas toujours remplir, faute d'espace, dans les villes, par exemple; on emploie alors des barrières roulant parallèlement aux rails et aux clôtures;

3° Des maisons pour les gardes accompagnent presque tous les passages à niveau. Ces maisons, de 6 mètres de large sur 9 mètres de long, contiennent ordinairement un rez-de-chaussée composé d'une cuisine, d'une chambre et d'une cage d'escalier, et un petit étage divisé en deux pièces. Elles coûtent 4 à 5,000 fr. Leurs ouvertures doivent être dirigées de manière que de l'intérieur on découvre la voie et ses abords. La porte est protégée par une lisse extérieure; par l'effet de cet obstacle, on ne peut sortir qu'en marchant dans un sens parallèle aux trains qui parcourent la voie la plus voisine : cette disposition empêche qu'un garde en retard, sortant brusquement de sa maison pour gagner son poste, ne soit surpris et tué au passage d'un train, genre d'accident malheureusement très-fréquent, malgré toutes les précautions.

Sur les chemins peu fréquentés, les passages à niveau sont gardés par les femmes des cantonniers; ils restent ordinairement fermés et ne sont ouverts qu'à la requête des conducteurs de voitures. A côté des barrières on place de petites portes automobiles, disposées de manière à laisser passer les piétons, mais infranchissables pour les bestiaux.

Les barrières très-fréquentées sont habituellement ouvertes dans l'intervalle des trains; un ou même plusieurs gardes y veillent en permanence.

Les passages à niveau sont une source d'accidents. Il faut surtout les éviter à l'extrémité des tranchées et des souterrains courbes. Ils doivent être l'objet d'une surveillance attentive.

La rencontre des routes par les voies de fer fait naître diverses questions, concernant la suppression de quelques chemins et leur réunion à d'autres par des chemins latéraux, le détournement et la rectification de quelques autres, pour éviter la rencontre du chemin de fer sous un angle trop aigu. Ces questions sont résolues après des enquêtes préalables, où les intéressés sont entendus. Les cahiers des charges prescrivent d'ailleurs des pentes minimum de 0m,03 par mètre pour les raccordements des routes impériales, et de 0m,05 pour ceux des chemins ruraux. Le croisement à niveau des chemins de fer et des routes ne doit pas s'effectuer sous un angle moindre que 45°.

Passage des cours d'eau. — Les ouvrages sur les cours d'eau sont des aqueducs, ponceaux, syphons, ponts, dont les dispositions et les dimensions dépendent de l'importance du cours d'eau et de sa hauteur relativement au chemin de fer.

Ouvrages exceptionnels. — Au passage des grandes rivières et des vallées profondes, on rencontre des travaux d'art exceptionnels. Quand la profondeur à franchir est considérable, il y a lieu de choisir entre un remblai et un viaduc : le choix est ordinairement fixé par la comparaison des prix de revient. La dépense d'un viaduc est à peu près proportionnelle à sa surface en élévation; celle d'un remblai augmente rapidement avec la hauteur, non-seulement à cause de l'accroissement du cube des terrassements, mais aussi à cause de l'élargissement de la base, qui nécessite l'occupation d'une plus grande surface de terrain. C'est ainsi qu'à l'intérieur des villes de Londres et de Paris on a été conduit à établir les chemins de fer sur des viaducs de faible hauteur, pour éviter de plus grandes acquisitions de terrains très-coûteux, tandis qu'en Allemagne, sur le chemin de Lindau à Augsbourg, on a trouvé avantageux d'établir, pour la traversée de la vallée de Reutershofen, près Rotenbach, un remblai de 53 mètres de hauteur : il a 584 mètres de long; sa base occupe 279 mètres de largeur maximum et son volume est de 2,200,000 mètres cubes.

Les grands viaducs s'établissent soit en maçonnerie, soit en métal. Dans la première catégorie on cite : En Allemagne le viaduc de Goltschthal, de 80m de hauteur au maximum, et de 578m de longueur.

En Angleterre, ceux de Durham, composé de quatre arches, dont une 49m d'ouverture, de Langollen.

En France, le viaduc du Val-Fleury (Ouest), de 34m

CHEMINS DE FER.

de hauteur, avec des fondations presque aussi profondes ensevelies dans un banc de glaise; celui de Nogent-sur-Marne, avec quatre arches en plein cintre de 50m d'ouverture; celui de Chaumont, haut de 50m et long de 600m; ceux du Gouet et de Morlaix, de 60 et de 58m de hauteur.

Parmi les grands ouvrages métalliques, on remarque : en Allemagne, les ponts de Cologne, Mayence, Coblentz, Dirschau, Marienbourg; en Angleterre, les ponts de Newcastle, de Saltash avec ses deux travées de 138m,60 de portée : de Conway, de 122m; de Menai à deux travées de 140m; le viaduc de Cramlin à piles métalliques; en France, les ponts de Tarascon, de Kehl, de Bordeaux; en Suisse, les viaducs de l'Aar, de la Sitter, et surtout celui de Fribourg de 76m de hauteur, avec piles métalliques.

Le problème de l'application des ponts suspendus aux chemins de fer a été abordé aux États-Unis, avec une hardiesse extrême. Le pont du Niagara donne passage à un chemin de fer et à une route superposés, avec une portée de 246m, et à 74m de hauteur au-dessus de la rivière. Des essais ont été faits en Autriche sur une échelle beaucoup plus restreinte.

Tunnels. — Les tunnels des chemins de fer ne donnent pas lieu à d'autres précautions spéciales que de ménager l'écoulement des eaux naturelles, de conserver une partie des puits de service pour la ventilation et l'échappement de la fumée, et de pratiquer tous les 50 ou 60m des niches, pour offrir un abri aux cantonniers. On trace ces tunnels, autant que possible, en ligne droite et on y évite les fortes rampes, car l'humidité y règne; la vapeur se condense sur les rails, et fait patiner les machines.

Les tunnels les plus remarquables sont ceux de la Nerthe (Avignon à Marseille), de 4638m de longueur; de Blaizy (Paris à Lyon), de 4400m; du Credo (Lyon, Genève), de 3949m.

Le tunnel du Mont Cenis, un des plus beaux travaux du siècle, a 12,708 mètres de longueur.

IV. Gares et stations.

On classe ordinairement les gares d'après quatre ou cinq types, déterminés par l'importance des localités, et l'on s'y conforme autant que le permettent les dispositions topographiques du terrain. On distingue encore les gares extrêmes, intermédiaires, de banlieue, d'embranchement ou de bifurcation, de transbordement, maritimes, etc. Dans toute gare de quelque importance on rencontre trois divisions, affectées respectivement au service des voyageurs, des marchandises et du matériel roulant. Il est évident qu'il doit exister une liaison intime entre les dispositions des voies et celles des bâtiments des gares; nous parlerons d'abord des premières.

Les voies reçoivent les dénominations suivantes, en raison de leur destination :

1° Voies principales, réservées au parcours habituel et régulier des trains; on distingue la voie de départ et la voie d'arrivée, ou la voie montante et la voie descendante;

2° Voies de garage, où se placent les trains de marchandises, ou ceux de voyageurs, pour laisser les voies principales libres aux trains plus rapides;

3° Voies de service des machines, par lesquelles les locomotives se rendent de leur dépôt en tête des trains qu'elles doivent conduire, et de la gare au dépôt, quand leur service est terminé; elles y stationnent en attendant l'heure du départ, ou circulent pour alimenter leurs chaudières; l'injecteur Giffard rendra cette dernière manœuvre inutile;

4° Voies de formation et de décomposition des trains, près des remises à wagons ou dans les gares à marchandises, souvent confondues avec les voies de garage dans les stations de peu d'importance.

5° Voies de remisage des wagons, dans les remises et dans les gares où il est important d'avoir sous la main une réserve de véhicules en cas d'affluence imprévue;

6° Voies de service ou de dégagement des trains, utiles surtout dans les gares extrêmes de banlieue, où il faut faire passer rapidement et sans les décomposer les trains du quai d'arrivée au quai de départ, lorsque la gare n'est pas disposée de manière que les mêmes quais puissent jouer alternativement ce rôle;

7° Voies de passage et traversées pour aller d'une voie à l'autre, soit par les changements, soit par les plaques;

8° Voies de chargement et de déchargement des marchandises, chevaux, bestiaux, voitures, chaises de poste.

Les règles suivantes s'appliquent à la position relative de ces diverses catégories de voies.

Les convois doivent toujours partir par la même voie et arriver par la même voie; on déroge rarement à ce principe, ailleurs que dans les gares de banlieue où les trains partent à de faibles intervalles.

Les changements (sur les chemins à deux voies) doivent être placés de manière que les trains qui marchent sur une même voie dans une direction constante, ne rencontrent jamais les aiguilles par la pointe. Cette règle ne souffre guère d'exception qu'aux bifurcations des embranchements; les trains de marchandises doivent même entrer dans leurs gares en décrivant, par une série de va et vient, une figure, qui rappelle celle de la lettre N, et non directement; il s'est produit plusieurs fois des collisions terribles entre trains de voyageurs et trains de marchandises, à l'origine de gares à entrée directe. Au chemin de fer du Nord, on exécute en ce moment, près de la gare de Paris, un grand ensemble de travaux, qui ont pour objet de supprimer les traversées à niveau des voies des divers embranchements; elles sont remplacées par des passages en dessus et en dessous très-biais, avec pente et contre-pente aux abords; la compagnie n'a pas reculé devant cette dépense très-élevée, mais qui fera disparaître toute éventualité de collision, sur des points où la fréquence et la rapidité des trains en multipliaient les chances.

Les voies ainsi que les bâtiments doivent former des groupes tout à fait distincts, suivant leur affectation au service des voyageurs, des marchandises, des wagons ou des locomotives.

Les groupes des voies et des bâtiments doivent être disposés de manière à créer le moins possible d'obstacles à la vue, surtout sur les voies principales.

On doit éviter de multiplier les changements, les plaques tournantes et les traversées sans nécessité absolue, autant pour l'économie des frais de premier établissement que pour la sécurité du service.

Les points dangereux, où les trains peuvent se rencontrer, doivent être protégés par des signaux à distance.

Bâtiments. — Le groupe des bâtiments et constructions affecté au service des voyageurs et messageries, dit aussi de la grande vitesse, comprend deux divisions. Dans les grandes gares extrêmes, on doit y trouver les parties suivantes, du côté du départ :

1° Une cour de départ, avec descente de voiture à couvert, latrines et urinoirs;

2° Un grand vestibule ou salle de pas perdus, avec bureau de distribution de billets, pour les voyageurs, bureaux des correspondances, buvette, débit de tabac, librairie;

3° Salle et bureaux de bagages;

4° Salle et bureaux des messageries;

5° Salle et bureau des bagages laissés en dépôt;

6° Salles d'attente, salons des dames;

7° Bureaux du télégraphe, du chef et des sous-chefs de gare, de leurs employés ;

8° Corps de garde des hommes d'équipe, conducteurs des trains, gardes, etc.

9° Lampisterie ;

10° Chaufferettes ;

11° Urinoirs et latrines sur la voie.

Du côté de l'arrivée :

1° Salle de distribution des bagages ;

2° Salle d'attente des voyageurs ayant des bagages ;

3° Bureaux de messageries ;

4° Bureaux d'octroi et de douane ;

5° Vestibule de sortie ;

6° Cour d'arrivée avec abri pour monter en voiture, remises des omnibus et voitures publiques ; latrines et urinoirs ;

7° Latrines et urinoirs sur la voie.

On place suivant les dispositions locales, du côté de l'arrivée ou du côté du départ :

Un petit atelier de réparations du matériel roulant ; les bureaux du médecin, des commissaires de police et de surveillance administrative, de la poste aux lettres, le buffet et ses dépendances, quelquefois un hôtel, suivant une coutume Anglaise trop dédaignée sur le continent ;

Le bureau des réclamations, le dépôt des objets perdus ;

Les bureaux d'administration, les logements des employés, les archives.

On dispose en dehors de la gare, et à proximité, des quais, pour l'embarquement et le débarquement des voitures et chaises de poste. On y joint, s'il y a lieu, dans les grandes villes, des bâtiments disposés à la manière des halles à marchandises pour le service des denrées alimentaires à destination des marchés, qui voyagent à grande vitesse.

Suivant l'importance des gares, on modifie ce programme en supprimant certaines parties et en faisant varier les dimensions des autres.

La bonne disposition des gares exerce une influence considérable sur l'économie et la marche de l'exploitation. On est aujourd'hui généralement d'accord sur les principes suivants :

Les bâtiments doivent être placés parallèlement aux voies ; cette disposition permet de donner issue à un grand nombre de voyageurs à la fois, abrége la distance à parcourir des salles aux wagons, et facilite l'agrandissement des bâtiments si le développement du trafic l'exige.

Les salles de bagages et de messageries se placent en avant des salles de voyageurs, pour abréger le transport des colis aux fourgons, ordinairement placés en tête des trains. Cette partie du service appelle une attention spéciale ; les bagages sont signalés comme une des causes les plus fréquentes de retards.

Les voies de départ et d'arrivée doivent être accompagnées de trottoirs couverts ; dans les grandes gares l'abri s'étend sur les voies ; cette précaution rend le service moins pénible et ménage le matériel en stationnement.

Les trottoirs doivent être abaissés au niveau des marche-pieds ; ils doivent avoir une grande largeur, au moins 4 ou 5 mètres.

En Angleterre, les bâtiments des stations ont beaucoup moins d'étendue qu'en France ; les salles d'attente sont à l'état rudimentaire, mais les trottoirs sont plus larges et toujours accessibles, comme la voie publique ; les villes n'ont pas d'octroi ; les bagages sont distribués sur les quais d'arrivée ; il n'existe pas de bâtiments de ce côté ; le quai est bordé, à l'opposé de la voie, par une chaussée, sur laquelle stationnent les voitures qui attendent les voyageurs pour les transporter à leur domicile. On conçoit quelle réduction dans l'étendue, comme dans la dépense des stations, résulte de la suppression des salles d'attente et du service de visite des bagages à l'arrivée, quelle économie de temps, quelles simplifications produit cette entente tacite entre le voyageur et l'exploitant : c'est que le public Anglais se considère comme majeur ; il se croit doué d'un discernement suffisant pour marcher seul et sans lisières ; il ne recule en aucun cas devant la part de responsabilité individuelle que lui imposent ses droits et ses devoirs.

Les halles et les quais sont les constructions essentielles des gares à marchandises ; elles doivent être établies parallèlement aux voies principales ; on peut faire alors beaucoup de manœuvres avec de petites locomotives, construites pour ce service spécial ; quand les quais sont perpendiculaires aux voies, il faut tourner tous les wagons sur les plaques et il en résulte des frais énormes.

Les halles offrent à peu près partout la même disposition générale, une plate-forme à hauteur du plancher du wagon, bordée d'un côté par une voie, de l'autre par une chaussée pavée, de manière que les wagons et les voitures se chargent et se déchargent facilement à couvert.

Dans les gares d'une grande importance, il y a des emplacements spéciaux affectés aux services des expéditions et des arrivages et à certaines classes de marchandises, houilles, pierres, cotons, céréales, bestiaux, etc. Les pentes en travers des quais à bestiaux doivent être dirigées vers la voie ou en sens inverse, suivant qu'ils sont destinés à l'embarquement ou au débarquement des animaux.

On trouve encore dans ces gares des bureaux, pour l'enregistrement et la délivrance des marchandises, des écuries et remises pour le camionage, des logements d'employés, corps de garde et abris pour les hommes d'équipe, des locaux pour la douane et l'octroi, des magasins et dépôts.

Dans les ports de mer, les voies s'étendent le long des bassins ; les marchandises peuvent être échangées directement entre le wagon et le navire, souvent même les magasins et les halles sont contigus au quai ; la liaison la plus intime est établie entre la voie de fer et la voie maritime. Tout le monde a entendu parler des belles dispositions que présentent à cet égard les ports et les docks anglais ; ces combinaisons ingénieuses réalisent d'immenses facilités pour le commerce de nos voisins. En France, les ports de Marseille et du Havre offrent seuls quelque chose d'analogue.

Les parties de gare affectées au service du matériel roulant comprennent :

1° Les remises à wagons, placées dans le voisinage de la gare des voyageurs, desservies par des chariots roulants ; on y annexe quelquefois de petits ateliers pour l'entretien ;

2° Les *remises à locomotives*, dont il existe trois types principaux, rectangulaires, polygonales ou en fer à cheval. Les rotondes sont préférables parce qu'il est plus facile de dégager les machines ; cependant depuis qu'on installe des chariots à vapeur dans les remises rectangulaires, beaucoup d'ingénieurs reviennent à ce type plus simple ; les bâtiments comprennent ordinairement des bureaux et logements pour le chef de dépôt et ses employés, des corps de garde et dortoirs pour les mécaniciens, un petit magasin ;

3° Les dépôts de houille, et de coke, avec quais pour chargement des tenders ;

4° Les bâtiments et appareils affectés au service de l'alimentation d'eau, sur lesquels nous reviendrons plus loin ;

5° Les ateliers de construction et de réparation du matériel, dont la description même abrégée nous entraînerait beaucoup trop loin ;

CHEMINS DE FER.

6° Les magasins généraux.

On rencontre dans les gares, indépendamment du petit matériel affecté aux services de la voie et de l'exploitation, à l'éclairage, au chauffage, à la chronométrie, aux signaux, etc., un grand nombre d'appareils dont il est bon de donner au moins une nomenclature abrégée :

Bascules mobiles et fixes, pour le pesage des marchandises, bagages, wagons et machines;

Heurtoirs fixes à l'extrémité des voies sans issue; heurtoirs mobiles, à l'entrée et à la sortie des voies de garage et d'évitement pour empêcher les wagons en stationnement d'être poussés par le vent sur les voies principales;

Grues à pivot, fixes et roulantes, ordinairement mues à bras, quelquefois par la vapeur, quelquefois par la pression hydraulique; à la gare du Great Western, à Londres, toutes les manœuvres des grues, et même celles des plaques, se font par moteurs hydrauliques dont l'eau alimentaire est mise en pression par un accumulateur de sir William Armstrong;

Grues Arnoux et ses congénères, employées spécialement au transbordement des voitures dites maringotes, des pierres, charbons en sac, pièces de mécanique très-lourdes, etc.;

Monte-charges (hoists, jiggers, etc., des docks anglais), employés dans certaines gares pour transporter les fardeaux ou même les wagons tout chargés, d'un niveau à un autre;

Drops, machines destinées dans les ports anglais au déchargement de la houille des wagons dans les navires;

Fosses à piquer le feu sur lesquelles se tiennent les machines en stationnement, et qui permettent de nettoyer les grilles et de pénétrer assez commodément sous la locomotive pour visiter et graisser le mécanisme; elles doivent être éclairées la nuit pour éviter les accidents;

Gabarits pour régler les dimensions des chargements, de manière à franchir sans encombre les ouvrages les plus étroits de la ligne;

Pompes à incendie.

Alimentation.

Les appareils destinés au renouvellement de l'eau des locomotives méritent une plus longue mention. Ces appareils placés près des voies et des fosses à piquer s'appellent grues hydrauliques. Ils sont en communication par des tuyaux souterrains avec des réservoirs d'eau. Le problème de l'alimentation des gares est un cas particulier de celui de la conduite et de la distribution des eaux; il n'offre que la condition spéciale d'alimenter les machines en eau de bonne qualité, avec certitude et rapidité. Dans ce but les réservoirs, ordinairement construits en tôle, quelquefois en fonte, de forme cylindrique, sont ordinairement élevés sur un support en maçonnerie de 5 à 6 mètres de hauteur; leur capacité varie suivant l'importance du service entre 40 et 250 mètres cubes; ils sont pourvus d'un tuyau d'amenée en communication avec les machines alimentaires, d'un tuyau de trop plein, d'un tuyau de distribution et d'un indicateur de niveau. Dans les climats froids, pour empêcher la congélation, on les couvre et on les entoure d'une enveloppe en charpente; on ajoute même un poêle dont le tuyau traverse la masse liquide.

Les grues hydrauliques ordinaires se composent souvent d'une simple colonne en fonte, munie à sa tête d'une manche en toile, dont on pose l'extrémité sur le tender pour le remplir; à la base se trouve une soupape, manœuvrée par une vis pour éviter les coups de bélier; elle est ordinairement disposée de manière qu'en fermant la communication avec le tuyau d'alimentation la colonne se vide. Cette précaution évite les accidents que pourrait occasionner la congélation de l'eau dans la colonne en hiver; elle ne dispense pas d'entourer, pendant cette saison, la base de l'appareil

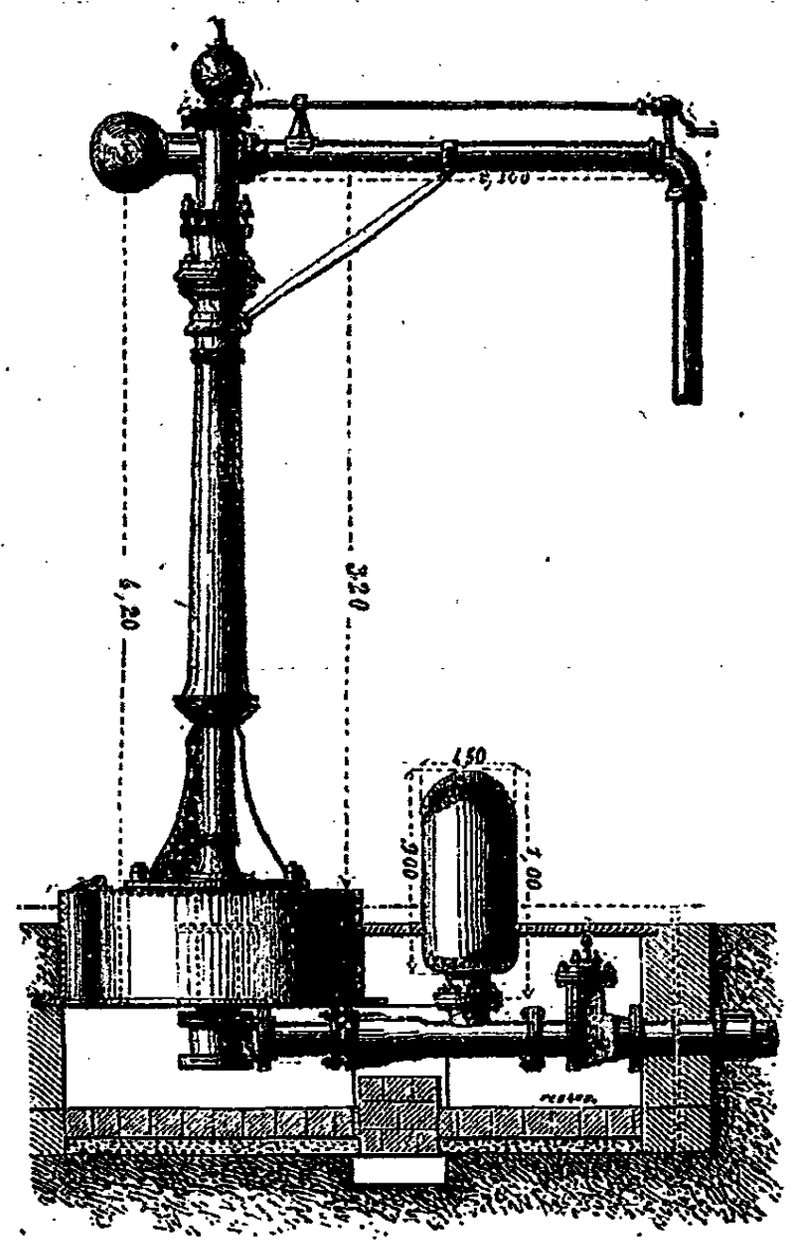


Fig. 32.

de paille et de fumier, pour protéger les soupapes contre le froid; quelquefois même on y place un petit poêle.

La grue hydraulique représentée ci-contre (*fig.* 32) est pourvue d'un branchement horizontal et d'une tige à manivelle, qui permet d'ouvrir et de fermer la soupape d'écoulement, sans descendre du tender. On remarque aussi dans cette figure le réservoir plein d'air, qui fait ressort et prévient l'effet destructeur des coups de bélier, au moment de la fermeture des soupapes.

On reproche aux grues ordinaires de ne pas remplir les tenders avec assez de rapidité, inconvénient grave dans les stations desservies par les trains express. Pour satisfaire à cette nécessité, on a quelquefois placé les réservoirs aux extrémités des quais; on alimente alors par des tuyaux articulés, branchés directement sur leur fond. Ces appareils gênent la vue et occupent un espace utile aux abords des stations. On leur a substitué des grues réservoirs, entièrement métalliques, dont la capacité correspond à celle d'un tender : il y en a deux types principaux; les grues du Nord sont montées sur une large colonne en fonte contenant un poêle; les grues de l'Ouest sont montées sur une colonne beaucoup plus mince et bien moins incommode pour la vue et pour la circulation.

Les points d'alimentation sont répartis sur une ligne, suivant la nature du profil et du trafic : ils sont espacés moyennement de 30 kilomètres. Sur un chemin à fortes rampes, ils sont plus rapprochés; au Semmering, leur distance est de 18 kilomètres. Les machines à voyageurs peuvent parcourir 80 à 100 kilomètres sans renouveler leur eau.

On a cherché à supprimer une partie des arrêts pour l'alimentation qui sont une cause forcée de retard des trains express : on emploie pour cela sur le chemin de Chester à Holyhead une disposition ingénieuse, qui permet d'alimenter en marche ; la voie est creusée entre les rails, sur une longueur en palier d'environ un kilomètre, en forme de bassin ; un tuyau mobile est fixé au tender ; on l'abaisse de manière à faire plonger son orifice dans l'eau, dont ce bassin est pourvu, pendant que le train continue sa marche ; le liquide, refoulé dans le tuyau, s'élève et remplit le tender ; grâce à cette combinaison, l'arrêt est évité ; l'on peut diminuer les dimensions exagérées des tenders, qu'on a été conduit à employer sur certaines lignes, telles que le London and North Western, où la charge d'eau est de 10 à 12 mètres cubes.

En Allemagne, on diminue beaucoup la consommation d'eau par l'appareil de condensation de M. Kirchweger, adapté aux locomotives. Un tuyau de 0m,40 de diamètre met en communication le tuyau d'échappement de la vapeur à sa sortie des cylindres avec le tender ; il aboutit dans la caisse à eau à une partie verticale recourbée, terminée par une calotte et percée de trous, qui est placée horizontalement à la partie inférieure de cette caisse. Un clapet à portée du mécanicien permet de régler le dégagement de la vapeur entre le tender et les tuyaux d'échappement. Suivant M. Dubocq, cet appareil amène rapidement l'eau du tender à une température voisine de l'ébullition, et réalise une économie de 20 p. 100 d'eau et de 6 à 8 p. 100 de combustible : sur le chemin de Basse-Silésie et Marche, les locomotives des express, qui en sont pourvues, franchissent jusqu'à 130 kilomètres sans renouveler leur eau.

V. Matériel roulant.

Les machines locomotives font l'objet d'un article spécial dans cet ouvrage; nous ne parlerons donc ici que des voitures à voyageurs et des wagons à marchandises.

CHEMINS DE FER.

Les véhicules des chemins de fer se composent de deux parties principales, le châssis ou train, et la caisse.

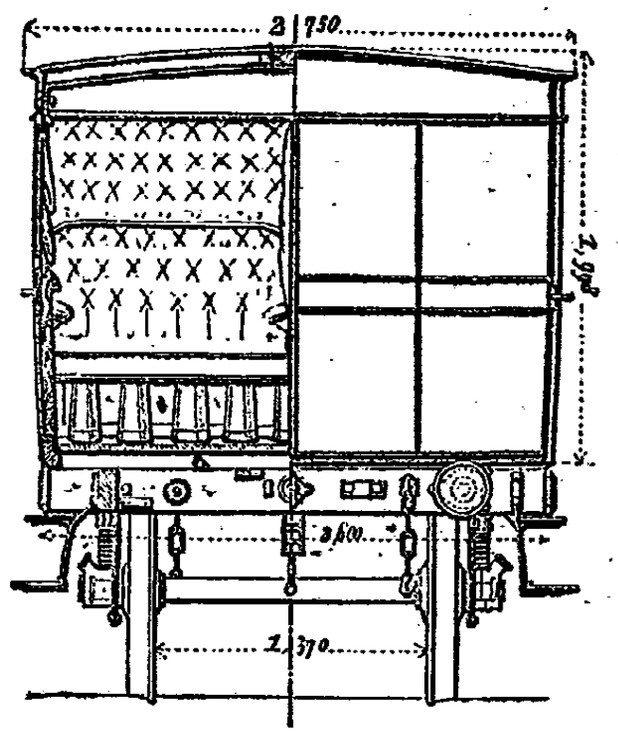


Fig. 33.

Le train comprend :

Les roues ;

Les essieux solidaires avec les roues ;

Les boîtes à graisse, reposant sur les fusées des essieux et portant le châssis par l'intermédiaire des ressorts ;

Les plaques de garde fixées sur les longerons du châssis qui maintiennent les essieux parallèles à la distance voulue ;

Les ressorts fixés sur les boîtes à graisse ;

Le cadre en bois qui forme le châssis proprement dit et supporte la caisse ;

L'attelage ; les freins.

Roues.— On emploie un grand nombre de systèmes différents de roues, parmi lesquels il faut citer les suivants :

1° Les roues en fonte sont encore en usage en Amérique, même pour les trains de voyageurs. En Allemagne et en Suisse elles sont très-répandues ; le principal centre de fabrication est à Ofen, chez M. Gans. Le boudin, ainsi que la surface de roulement, sont

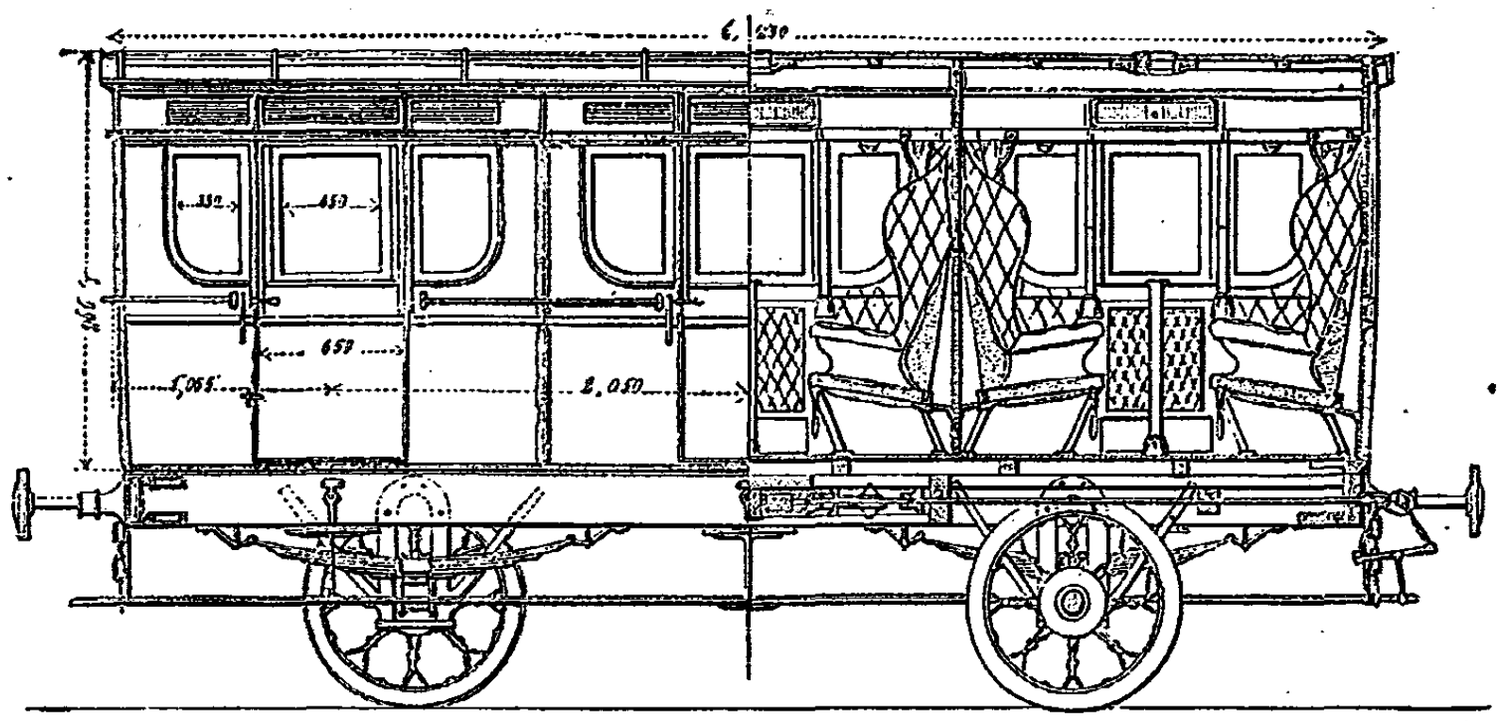


Fig. 34.

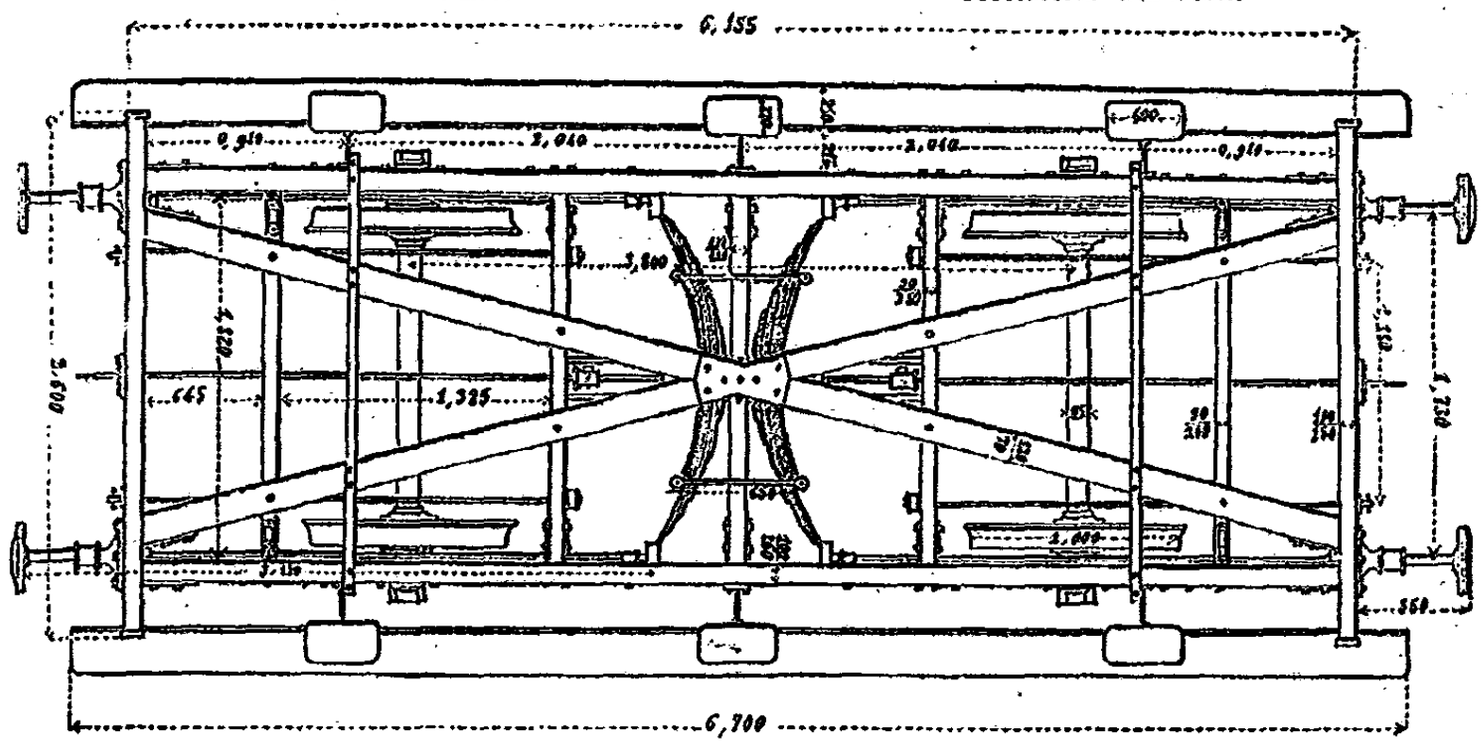


Fig. 35.

coulés en coquille et venus de fonte avec le reste de la roue, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de bandage distinct; la fonte est blanche et durcie sur 0m,008 d'épaisseur : ces roues parcourent 96,000 à 129,000 kilomètres sans que leurs cercles soient usés ; les roues de 0m,95 de diamètre pèsent 280 kilog.; elles coûtent 150 fr. Celles de 0m,74 pèsent 190 kilog. et coûtent 88 fr.

Les roues, entièrement en fonte, ne s'emploient en France que sur les chantiers de terrassements et de mines; cependant plusieurs compagnies essaient les roues Gans.

2° En général la fonte n'entre dans la composition des roues que pour la formation des moyeux, qui sont coulés sur les bouts convergents des rais et frettés en fer. Ces rais peuvent être en fers creux cylindriques, ou en fers à nervures scellés sur un faux bandage ; ou bien on leur donne la forme de T égaux, dont les branches transversales sont courbées de manière que leur ensemble forme un cercle concentrique au bandage, on rapporte une mise de soudure à chaque contact de ces branches. Souvent aussi on fait usage de pièces en fer méplat repliées sur un mandrin de manière à former des secteurs polygonaux ou triangulaires contigus.

3° On fait encore les moyeux au moyen de mises rapportées à l'extrémité des rais, que l'on soude ensemble. Ce procédé est plus coûteux, mais plus durable et plus sûr ; il est employé pour les roues motrices des locomotives.

On garnit souvent les roues de plaques en tôle mince, pour empêcher les rais en tournant d'imprimer à l'air un mouvement de tourbillonnement qui soulève une poussière gênante pour les voyageurs et nuisible à la conservation du matériel.

4° Les roues pleines peuvent se former de secteurs en bois, emmanchés d'une part sur un moyeu et de l'autre sur un faux bandage, munis tous deux de rebords saillants pour les enchâsser.

5° Les roues pleines en fer, fabriquées au marteau-pilon et par étampage, sont encore peu répandues.

Bandages. — Les fers méplats des rais peuvent être rivés directement sur le bandage, ou bien l'on interpose un cercle intermédiaire ou faux bandage, qui empêche le disloquement des rais quand on enlève un bandage usé pour le remplacer.

La surface de roulement du bandage est conique pour permettre le changement du rayon de roulement dans les courbes ; l'inclinaison des arêtes est de 1/20 ; la largeur du bandage est de 0m,13. La surface de roulement est terminée extérieurement par une surface conique dont l'inclinaison est de 3/20. Cette augmentation de l'inclinaison a pour effet de faciliter le passage dans les courbes de très-petit rayon et de prolonger la durée du bandage ; en s'usant, celui-ci tend à se creuser en forme de gorge ; ses oscillations sur le rail refoulent le métal vers l'extérieur, et la surface se rapproche de l'inclinaison primitive.

L'entretien des bandages est une des plus lourdes charges du matériel roulant ; l'attention des ingénieurs est constamment appelée sur les moyens d'augmenter leur parcours:

M. Flachat cite les résultats suivants :

ESPÈCE DES BANDAGES.	DÉSIGNATION DU MÉTAL.	PARCOURS total d'un bandage.	PARCOURS correspondant à 1mm de diminution d'épaisseur.
		kilomètres.	kilomètres.
Voitures et wagons.	Fer (Petin Gaudet)	180,000	5,000 à 7,000
Tenders.	Fer (Dietrich)	126,000	4,920
Support des machines.	Fer id.	75,000	3,000
Id. id.	Acier (Krupp)	275,000	9,000 à 11,000
Roues motrices indépendantes.	Fer.	85,000	2,500 à 3,400
Id. de 2m,10 à 1m,80	Acier (Krupp)	200,000	8,000
Roues motrices couplées.	Fer.	70,000	1,500 à 2,800
Id. de 1m,75 à 1m,53	Acier (Krupp)	150,000	4,500 à 6,000
Roues motrices couplées.	Fer.	60,500	2,420
Id. par 3 et 4 essieux.	Acier (Krupp)	120,000	4,800

La diminution d'épaisseur des bandages est due à l'usure d'une part et de l'autre à la reprise par le tour des parties non usées afin de régulariser la surface de roulement. C'est ainsi que dans certains ateliers on compte par rafraîchissage de roues motrices une épaisseur perdue de 0m,011, savoir :

0m,007 de creux ;
0m,003 de faux rond ;
0m,001 de matière reprise sur l'endroit le plus creusé par l'usure.

0m,011.

L'épaisseur des bandages de wagons neufs et tournés entrant en service est de 0m,058; ils subissent en moyenne quatre retournages avant d'être mis au rebut et sont retirés du service avec une épaisseur de 0m,025, ce qui correspond à une diminution de 0m,0067 par retournage, dont 0m,004 d'usure; on peut admettre pour les roues des wagons de 10 tonnes une diminution moyenne de 0m,003 à 0m,004 par an, ce qui donnerait à un bandage une durée moyenne de huit à onze ans.

Il existe un rapport intime entre les questions qui intéressent la forme, la dureté, la durée, la charge et la résistance des bandages et les questions de même nature relatives aux rails; il y a une action réciproque de l'un à l'autre de ces organes; on ne saurait modifier ce qui concerne l'un d'eux sans se rendre compte des conséquences qui en résulteront pour l'autre. Il est probable que les progrès de la fabrication de l'acier n'auront pas moins d'influence sur la qualité des bandages que sur celle des rails.

Les bandages sont fabriqués au laminoir, cintrés et soudés au moyen d'une mise prismatique. On emploie aussi les bandages sans soudure de MM. Petin et Gaudet.

Les bandages sont posés à chaud sur la roue, de manière qu'en se refroidissant ils la pressent très-fortement sur tout son contour; ils sont ensuite fixés au moyen de vis, de boulons ou de rivets.

Essieux. — Les essieux sont des barres en fer forgé, dans lesquelles on distingue :

1° Deux fusées placées aux extrémités, sur lesquelles portent les charges supérieures par l'intermédiaire des boîtes à graisse ;

2° Deux portées munies de rainures de calage, sur lesquelles les roues sont fixées d'une manière invariable par leur moyen, et calées à la presse hydraulique :

3° Deux parties tronconiques dont les petites bases sont raccordées par une portion centrale cylindrique.

Contrairement à ce qui se pratique pour les voitures ordinaires, la charge des voitures de chemin de fer porte sur les essieux en dehors des roues. On a été conduit à cette combinaison par les raisons suivantes : les ruptures d'essieux sont dues bien moins à l'excès des charges qu'à des modifications dans la constitution moléculaire du métal amenées par l'usage et par le temps ; ces ruptures ont lieu généralement près des moyeux et non au milieu ; c'est donc à ces points faibles qu'il faut donner le plus fort diamètre, et pour ne pas ménager d'avance des sections de rupture, les raccordements se font par des congés d'un aussi grand rayon que possible; d'après cela, si la charge porte en dehors, on réalisera plusieurs avantages importants : en cas de rupture de l'essieu, la roue sera encore liée au châssis par la boîte à graisse et le ressort; le déraillement sera possible, mais non infaillible; la caisse sera soutenue, tandis qu'avec les roues extérieures, elle tomberait forcément sur la voie ; le frottement des coussinets aura lieu sur la surface des fusées dont on peut diminuer le diamètre sans inconvénient; autrement il se produirait sur le diamètre maximum de l'essieu, ce qui accroîtrait la résistance à la traction; enfin la visite et l'entretien des boîtes à graisse sont beaucoup plus faciles.

La rupture des essieux peut entraîner les accidents les plus graves; aussi leur fabrication est-elle entourée des soins les plus minutieux ; on leur donne aujourd'hui des dimensions bien plus considérables qu'autrefois; leur rupture est devenue extrêmement rare.

Boîtes à graisse. — Les roues décrivant jusqu'à 200 tours par minute, et au delà, les fusées ont besoin d'être constamment lubrifiées; sans cela elles s'échaufferaient et se briseraient promptement; les boîtes à graisse remplissent cette fonction en même temps qu'elles servent d'intermédiaire entre les roues et le châssis. Les inventeurs se sont montrés si féconds sur ce sujet qu'il serait impossible de faire la simple énumération des systèmes proposés. En général, les boîtes à graisse comprennent les éléments suivants :

1° Le corps de la boîte, en fonte, de forme à peu près prismatique, portant latéralement deux rainures dans lesquelles se logent les plaques de garde et contenant à l'intérieur une cavité pour la graisse ou l'huile; un couvercle en tôle, assemblé à charnière, permet de renouveler l'approvisionnement de la matière lubrifiante, et protége celle-ci contre la poussière.

2° Le coussinet, en bronze ordinairement (82 cuivre, 12 étain), percé de canaux et muni sur sa face concave, en contact avec la fusée, de rainures en pattes d'araignée, par lesquelles la graisse est répandue aussi uniformément que possible sur toute la surface frottante.

3° Le fond de la boîte, en fonte, pourvu d'une cavité qui reçoit la graisse fondue.

4° Quatre boulons à bride, qui servent à la fois à réunir le fond et le corps de la boîte et à fixer les ressorts.

Les graisses employées sur les chemins de fer sont composées de matières grasses plus ou moins fluides, telles que les huiles de palme et de résine, saponifiées partiellement par l'addition d'une petite quantité de soude. Les proportions du mélange varient suivant les saisons, pour que la matière lubrifiante présente toujours le degré de fluidité convenable. Depuis quelques années les compagnies ont fait des essais pour remplacer la graisse par l'huile.

Les nombreuses combinaisons proposées pour les boîtes à graisse ou à huile peuvent se ramener aux principaux types suivants :

1° Boîtes à réservoir supérieur, dans lesquelles la matière lubrifiante est portée sur la fusée par une mèche faisant office de syphon.

2° Boîtes à réservoir inférieur, où l'huile est portée à la fusée d'un grand nombre de manières différentes, soit par des rouleaux cylindriques en fer blanc tangents à la fusée et flottant à la surface du liquide; soit par des tampons, mèches ou brosses, maintenus en contact avec la fusée par des leviers à contrepoids ou des ressorts à boudin.

3° Boîtes à fusée immergente, plongeant constamment par sa partie inférieure dans le réservoir, ou noyée dans une masse d'étoupe ou d'éponge imbibée et bourrée dans la boîte.

CHEMINS DE FER.

Il faut encore citer les essais d'appareils à rouleaux métalliques interposés entre la fusée et la boîte, afin de transformer le frottement de glissement sur le coussinet en frottement de roulement. L'application en est restée limitée à un petit nombre de cas particuliers, tels que le chariot de Dunn.

Ressorts. — Les ressorts sont fixés par leur milieu au-dessus des boîtes à graisse et par leurs extrémités aux longerons du châssis; il y a divers modes de suspension :

1° Par simple contact; les lames s'infléchissent à leurs extrémités et supportent le longeron par l'intermédiaire d'une petite semelle en fonte;

2° Par le moyen de menottes ou maillons en cuir ou en fer, fixés, d'une part, au ressort dont l'extrémité est recourbée en conséquence; d'autre part, à une pièce spéciale adhérente au châssis;

3° Pour les voitures à grande vitesse, on se réserve la faculté de régler la tension au moyen d'un boulon auquel la menotte est suspendue.

Les dimensions et les formes qu'il convient de donner aux ressorts ont été déterminées par des calculs et des expériences exposés dans un mémoire de M. Phillips, inséré aux *Annales des mines* (1852).

Plaques de garde. — Les plaques de garde sont un des organes les plus essentiels des véhicules, puisqu'elles maintiennent l'écartement des essieux et transmettent aux roues le mouvement d'entraînement du châssis. Elles sont en forte tôle ou en fer forgé, et reliées l'une à l'autre sous chaque longeron par une tringle d'écartement.

On leur laisse un jeu de quelques millimètres dans les rainures des boîtes à graisse, afin de permettre, dans une certaine mesure, la convergence des essieux dans les courbes.

Châssis. — Les trois dispositions de châssis indiquées ci-après, et surtout la première, sont les plus usitées :

1° Châssis Anglais, composés de deux longerons ou brancards et de deux traverses extrêmes, avec croix de Saint-André et trois traverses intermédiaires qui servent de point d'appui aux ressorts de choc et de traction. Les assemblages sont à tenon et mortaise, consolidés par des boulons, harpons et équerres en fer. Les plaques de garde sont intérieures au longeron, de manière que la boîte à graisse et l'essieu s'assemblent au-dessous de lui;

2° Châssis Belges, composés de deux brancards posés et boulonnés sur quatre traverses. Le fond des caisses est formé de deux cadres indépendants qui reposent sur les brancards. Chacun de ces cadres sert à guider respectivement les appareils de choc et de traction d'avant et d'arrière. Les plaques de garde relient les traverses; c'est sur celles-ci que sont fixés les ressorts, au moyen de menottes.

Ce châssis a l'avantage d'abaisser le centre de gravité du véhicule, mais il n'est pas contreventé, la charge y est mal répartie et l'attelage est dans une mauvaise position ; on paraît y avoir renoncé généralement;

3° Châssis Américains; ils appartiennent à un système de matériel tout différent de celui auquel nous sommes accoutumés en France, et disposé principalement pour parcourir des courbes de petit rayon. Ces châssis sont très-petits; les essieux sont très-rapprochés; les caisses, au contraire, sont très-longues; elles reposent à chacune de leurs extrémités sur un châssis complet où elles s'assemblent avec des chevilles ouvrières. Ce système n'est applicable qu'à des chemins à petite vitesse; les essieux, étant très-voisins, peuvent prendre une obliquité sensible sur les rails; ils fatiguent beaucoup plus et l'on déraille plus facilement.

La position des roues est un des points essentiels à prendre en considération dans la construction des voitures; si les essieux sont très-écartés, leur direction constante et normale aux rails est d'autant mieux assurée, le mouvement de lacet est d'autant moins sensible; mais, d'un autre côté, le passage dans les courbes devient plus difficile et plus dangereux; les points d'appui des longerons étant plus éloignés, ceux-ci doivent avoir des dimensions plus fortes. L'écartement des essieux est habituellement compris entre 3m,75 et 4m,45.

Les châssis à trois essieux permettent de transporter des caisses beaucoup plus longues; ils ont perdu les avantages qu'on leur attribuait au point de vue de la sécurité, en cas de rupture d'essieux, depuis qu'on fait ceux-ci assez forts pour éviter tout accident de cette nature. Ils ne semblent réellement utiles que sur les lignes à grandes courbes, à petite vitesse, à moins qu'on ne leur applique des dispositions particulières, qui permettent le déplacement des essieux dans le sens transversal par rapport à la voie.

Attelage. — Les trains se composent d'un nombre de voitures plus ou moins considérable qu'il faut pouvoir séparer et lier entre elles avec rapidité et avec une sécurité complète.

Le mode d'attelage le plus simple, encore employé sur les chantiers de terrassements et dans les mines, se compose de simples chaînes fixées à l'un des wagons et accrochées à l'autre. La mise en marche d'un

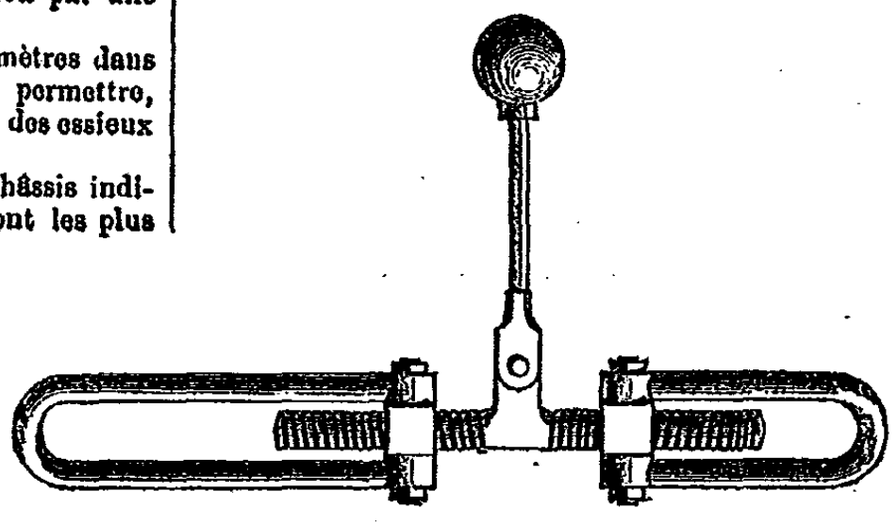


Fig. 36.

train attelé de cette manière est facile, parce que tous les véhicules sont entraînés successivement, mais les secousses et les chocs sont insupportables pour les voyageurs et ruineux pour le matériel.

Si, au contraire, tous les wagons sont liés par des barres rigides, la machine doit entraîner tout le train à la fois; le démarrage devient souvent très-difficile, et, en marche, les chocs se transmettent sans amortissement à toute la masse du train.

Le mode d'attelage aujourd'hui généralement employé lève la plupart de ces difficultés ; la barre d'attelage (fig. 36) est composée de trois parties : deux étriers bouclés, ou lanternes, et une tige à manivelle dont les extrémités sont filetées en sens opposés, et s'engagent dans des écrous ménagés dans les boucles : cet appareil se passe dans les crochets soudés aux extrémités des tiges de traction. En tournant les vis, on peut amener au contact les tampons des wagons. Les chocs sont amortis; en même temps la transmission successive de l'effort de traction est assurée grâce aux dispositions suivantes (fig. 35).

La tige de traction pénètre dans le milieu de la traverse extrême du châssis et aboutit au milieu d'un ressort dit ressort de traction.

D'autre part, tous les châssis sont pourvus en avant

CHEMINS DE FER.

et en arrière de tampons de choc, placés en regard les uns des autres; les tampons des voitures de voyageurs sont formés d'un disque en fer, recouvert en bois et monté sur une tige dont l'extrémité s'appuie sur un ressort, dit ressort de choc. Les tampons, situés aux extrémités d'une même diagonale du châssis, sont terminés par des surfaces de même nature, planes ou sphériques; il en résulte que le contact de deux tampons a toujours lieu dans le voisinage de l'axe de la tige de choc et que celle-ci risque moins d'être faussée par des efforts obliques.

Les ressorts de choc et de traction peuvent être disposés de différentes façons; la plus simple consiste à n'avoir qu'un seul ressort remplissant la double fonction, pour chaque moitié d'un wagon.

L'attelage des wagons à marchandises est plus simple; les ressorts de traction sont plus petits et appliqués sur les traverses extrêmes; il n'y a pas de ressorts de choc, mais une disposition spéciale des tampons en tient lieu; ceux-ci sont formés d'une cuvette cylindrique C en fonte fixée au châssis et d'un cylindre creux *c*, également en fonte, entrant à frottement doux dans cette cuvette; les chocs sont amortis par une série de rondelles en caoutchouc R, séparées les unes des autres par d'autres rondelles en fer ou en cuivre *r*.

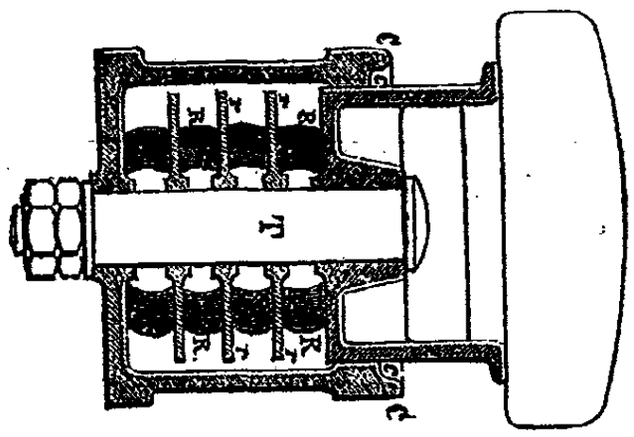


Fig. 37.

On se prémunit encore contre la rupture des tiges que pourraient amener des secousses trop brusques en interposant dans leur longueur des rondelles en caoutchouc. Cette substance a été proposée pour remplacer l'acier des ressorts, mais on s'est borné à des essais.

De part et d'autre de la barre d'attelage se trouvent fixées les chaînes de sûreté; leur usage est prescrit par les règlements pour remplacer la barre en cas de rupture, et pour soutenir la caisse au-dessus de la voie, si un essieu venait à se rompre.

Différents systèmes d'attelage permettent de détacher instantanément tout ou partie d'un train. Cette manœuvre peut être utile dans certains cas, dans les gares, sur les chantiers, dans les usines: mais il ne faut lui attribuer, en cas d'accident, aucune efficacité; tout appareil qui n'est pas d'un usage de chaque instant et susceptible d'être manœuvré en quelque sorte instinctivement par les agents, est plus nuisible qu'utile en pareil cas; tant les choses se passent d'une manière brusque et soudaine, tant la présence d'esprit nécessaire est rare.

Sur l'ancien chemin de Saint-Étienne, cette manœuvre se faisait couramment dans les gares; le premier wagon portait deux anneaux superposés entre lesquels venait s'engager un anneau correspondant porté par la locomotive. Ces trois anneaux étaient traversés par l'extrémité recourbée d'un levier fixé au châssis du wagon et maintenue relevée par un ressort; en agissant sur le levier par un excentrique, on dégageait l'anneau de la locomotive, qui se trouvait immédiatement séparée du train.

Dans la méthode de déchargement des déblais de terrassements, dite Anglaise, on doit dételer instantanément le cheval qui remorque les wagons chargés de

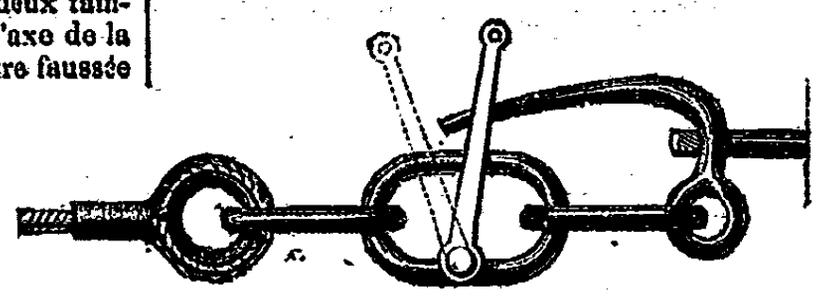


Fig. 38.

terre, au moment où l'on approche du point de déchargement; on emploie pour cela un crochet (*fig.* 38) dont la pointe est maintenue baissée par un anneau mobile attaché au dernier maillon de la chaîne d'attelage; en déplaçant cet anneau au moyen d'une ficelle que le conducteur tient en main, le crochet se relève et le cheval est délivré. Cet appareil a été appliqué au chemin de Rouen.

On emploie cette manœuvre en Angleterre pour dégager les locomotives en arrivant en gare, et pour éviter l'intervention de la machine de réserve, ou l'obligation de tourner la locomotive sur les plaques extrêmes de la gare. Après s'être séparée de son train, la machine accélère sa marche et s'engage, par des aiguilles en pointe, sur la voie de dégagement qui la conduit à son dépôt; le train continue sa route jusqu'en gare avec sa vitesse acquise. Il faut qu'on ait le temps de refaire les aiguilles pour la voie principale dans le court espace qui sépare le passage de la locomotive et l'arrivée du train au changement de voie. Cette manœuvre exige beaucoup d'adresse et un accord parfait entre les mécaniciens, les aiguilleurs et les garde-freins.

Freins. — M. Perdonnet compte environ trois mille systèmes de freins proposés depuis une vingtaine d'années; on a souvent signalé l'abus de ce nombre prodigieux de soi-disant inventions, toutes plus ou moins brevetées, plus ou moins patronnées par des industriels qui ont fait une spécialité de ce genre de spéculations; les chemins de fer souffrent plus qu'aucune autre industrie de cet état de choses; les moindres modifications au matériel deviennent l'objet de poursuites judiciaires, et la loi, détournée de son but protecteur, crée de véritables entraves au progrès. Les systèmes suivants sont les plus usuels:

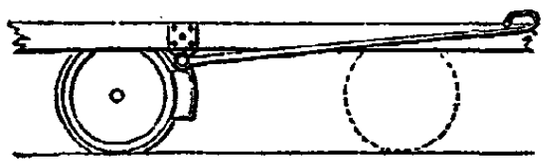


Fig. 39.

1° Frein de gare (*fig.* 39); il comprend un patin en fer, sur lequel est fixé le sabot en bois qui doit s'appuyer sur la roue: cet organe est commun à tous les freins du même genre; le charme, le hêtre, le peuplier blanc sont les bois les plus propres à cet usage. La manœuvre a lieu au moyen d'un levier coudé à deux branches très-inégales, dont la grande branche est habituellement soutenue dans des encoches en fer fixées sur le châssis; et la petite est formée par le patin lui-même. Ce frein agit très-promptement, mais le serrage n'est pas assez énergique.

2° Frein de Saint-Germain (*fig.* 40); il se compose de deux sabots qui pressent à la fois sur les deux roues et dont les patins sont articulés sur le longeron; il agit

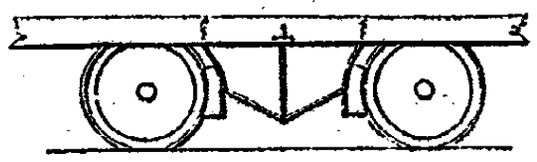


Fig. 40.

au moyen d'une tige, dont l'extrémité inférieure est liée aux patins par deux bielles symétriques et dont l'extrémité supérieure se termine par une vis à manivelle, manœuvrée par un garde-frein. Ce système a l'inconvénient de tendre à écarter les roues et à détruire le parallélisme des essieux : les sabots serrent inégalement quand la charge est irrégulièrement répartie.

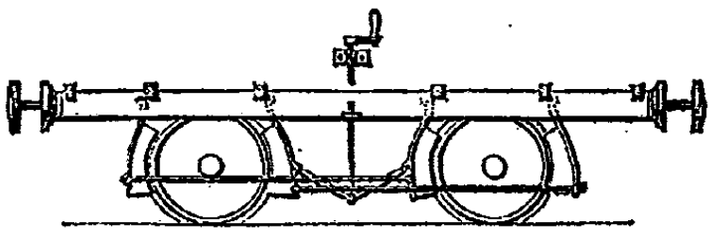


Fig. 41.

3° La disposition du frein de Versailles (rive gauche) (*fig.* 41) a pour objet de supprimer cet inconvénient; chaque roue est munie de deux sabots; ceux intérieurs sont manœuvrés comme ci-dessus : ceux extérieurs se serrent au moyen de tiges de connexion fixées aux patins des premiers.

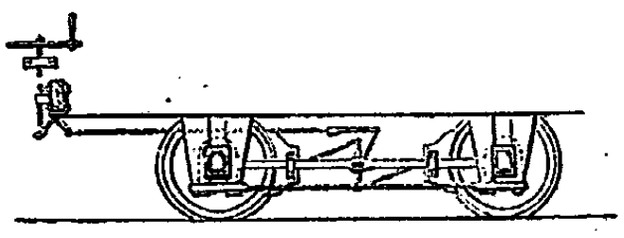


Fig. 42.

4° Frein de Rouen (*fig.* 42); les bielles sont montées, d'une part, sur les sabots, de l'autre, sur une manivelle double, fixée elle-même sur un axe parallèle aux essieux; cet axe repose sur deux entretoises qui maintiennent les essieux à l'écartement voulu, et servent de guides aux sabots; il est manœuvré par une manivelle spéciale à laquelle le mouvement est transmis par une série de renvois et de bielles. Pour obvier à l'inégalité d'usure des sabots, les trous des articulations sont ovalisés. Ce frein est d'un bon usage, mais il est plus lourd et plus cher que les précédents et on ne peut retirer les roues sans le démonter.

5° Beaucoup d'ingénieurs préfèrent encore le frein de Saint-Germain, surtout depuis qu'on l'a perfectionné en lui ajoutant une série d'articulations qui rendent son action indépendante des inégalités de la charge;

6° Citons encore le frein Stilmant, en expérience sur l'Est; il se compose de deux sabots en fer, maintenus à distance invariable entre eux par une tringle rigide : le serrage s'opère au moyen d'un coin en fer qui s'abaisse entre l'un des sabots et la roue voisine, et détermine en même temps l'action du second sabot.

Quel que soit le mode employé, il faut se réserver le moyen de régler le jeu de l'appareil à mesure que s'usent les sabots.

On reproche à la plupart des systèmes de freins d'agir trop lentement; si le mécanicien aperçoit un obstacle sur la voie, il faut, en effet, un temps notable pour faire le signal au sifflet, et serrer les vis, moyen de transmission énergique, mais peu rapide. M. Alexandre Lindner applique au matériel de la Société autrichienne une disposition très-simple et assez répandue en Allemagne, depuis 1857; son but immédiat est de limiter le desserrage de la vis, qui va ordinairement bien au delà de ce qui est strictement nécessaire, d'où résulte une perte de temps au moment de la manœuvre (*fig.* 43).

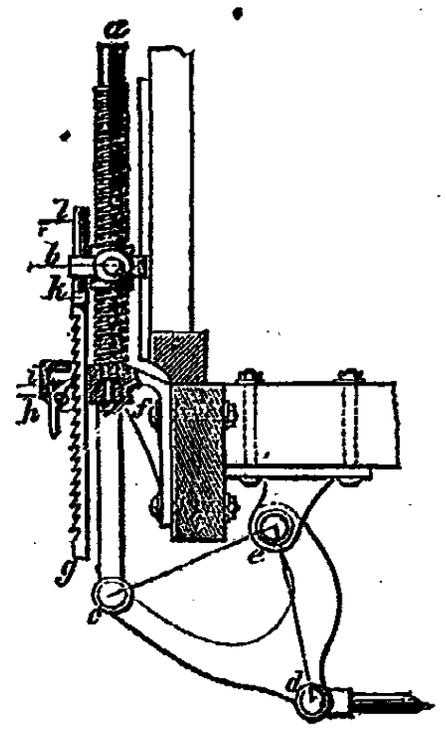


Fig. 43.

La vis *a* n'a qu'un mouvement de rotation, et l'écrou *b* n'a qu'un mouvement de translation; ce mouvement est transmis au frein par deux bielles parallèles commandant directement l'équerre *ced* fixée sur la traversine. L'écrou est traversé librement par le sommet d'une petite tige à crémaillère et s'y meut entre deux taquets *i* et *k*; cette crémaillère ne peut s'abaisser au-dessous d'un niveau déterminé par un cliquet *h* pressé contre elle par un petit ressort *i*; le taquet inférieur limite l'abaissement de l'écrou; il correspond au desserrage; le taquet supérieur correspond au mouvement de serrage; sa distance au taquet inférieur est assez grande pour qu'il ne soit atteint par l'écrou que lorsque les sabots ont acquis un certain degré d'usure; alors la crémaillère est remontée par l'écrou du nombre de crans justement nécessaire pour que le frein agisse avec efficacité. On conçoit facilement comment cet appareil, une fois réglé, fonctionne jusqu'à usure complète des sabots, sans avoir besoin d'aucune intervention étrangère. Cinq tours suffisent pour le desserrer.

Il ne faut pas songer d'ailleurs à réaliser l'arrêt instantané d'un train : ce remède serait pis que le mal; on a calculé qu'à la vitesse de 60 kilomètres, l'arrêt subit produirait le même effet que si le train était lancé d'une hauteur de 14 mètres, soit d'un quatrième étage sur le sol. Beaucoup d'inventeurs se sont préoccupés, tout en la graduant, d'accroître et d'accélérer cette action des freins; on doit citer parmi les combinaisons les plus dignes d'attention :

1° Le frein Laignel, employé sur le plan incliné de Liége, sur les locomotives des chemins de Turin à Gênes et de Culoz au mont Cenis; les freins ordinaires arrêtent le mouvement de rotation des roues, et transforment leur frottement de roulement sur les rails en frottement de glissement; il en résulte une usure rapide et inégale des bandages, qui rend à la lou-

gue les secousses des wagons très-fortes et très-fatigantes, et se traduit en frais d'entretien considérables. M. Laignel a évité ces inconvénients en faisant agir le frottement de glissement sur un organe spécial, un patin en bois, qu'on descend sur le rail avec des vis, et qui laisse les roues complétement en dehors de l'action du frein ;

2° Le système de M. Bricogne a l'avantage de mettre les freins en état d'agir instantanément, et dispense le garde-frein d'avoir à faire les sept à huit tours de manivelle, qui prennent un temps considérable, avant que le frein soit serré. L'intermédiaire adopté est un contre-poids qu'on abandonne à lui-même en pressant la détente d'un déclic; le desserrage se fait au moyen d'un volant à manivelle qui ramène le contre-poids à sa position la plus élevée, et remet le déclic en place.

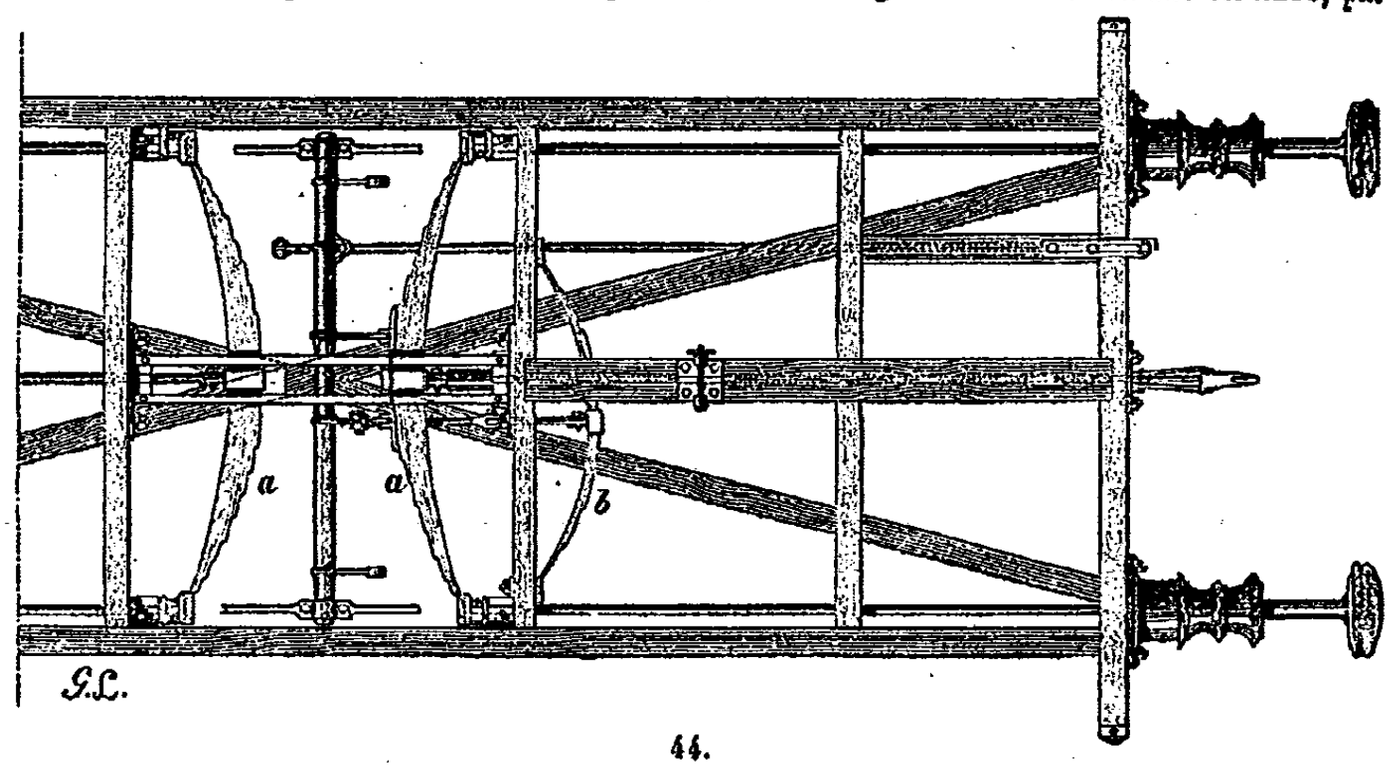
On reproche à cet appareil son prix élevé et l'espace qu'il occupe ;

3° Nous ne citons que pour mémoire les freins automoteurs américains et allemands.

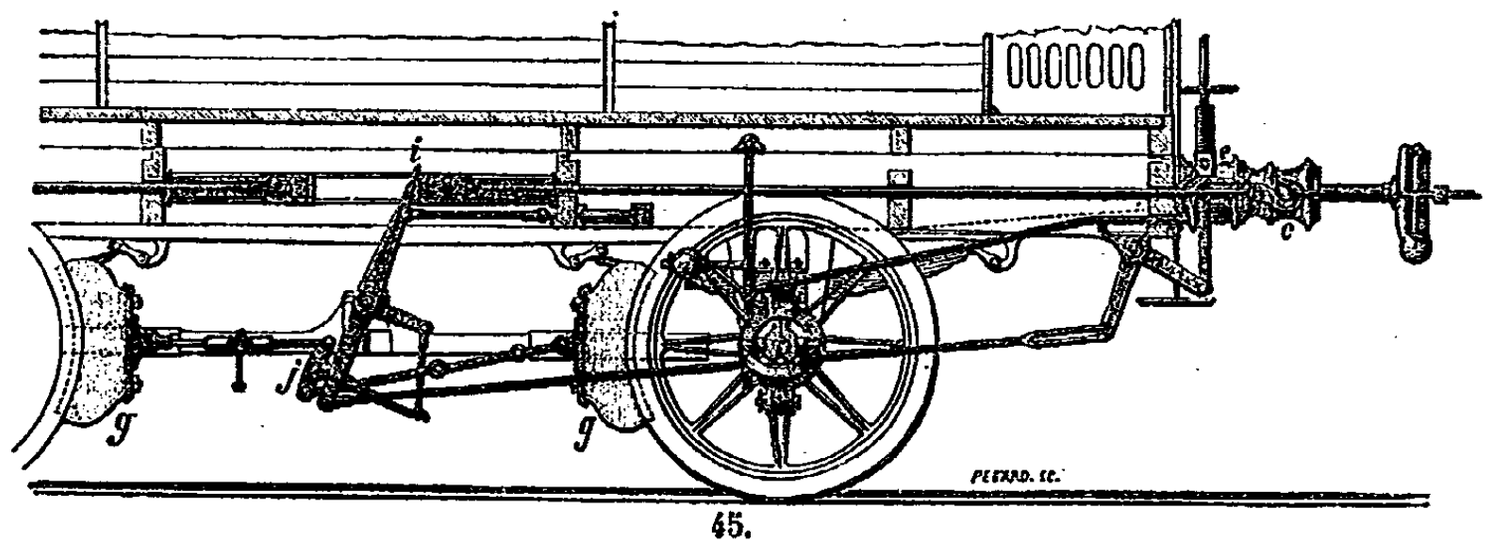
Le frein de M. Guérin est aujourd'hui assez répandu sur les chemins français ; nous en donnons ici une description détaillée qui ne fait du reste que reproduire celle insérée dans la précédente édition de cet ouvrage, d'après un rapport de M. Combes.

Le système de M. Guérin n'est applicable qu'aux voitures pourvues de ressorts de choc et de traction, comme le sont toutes celles qui entrent dans la composition des trains de voyageurs et même beaucoup de wagons à marchandises. On sait, par la description précédente, que les voitures de ce genre entrant dans la composition d'un train, sont liées les unes aux autres par deux étriers ou anneaux allongés qui réunissent les barres d'attelage de deux wagons consécutifs et peuvent être rapprochés l'un de l'autre, au moyen d'une tige en fer filetée en vis à ses deux extrémités. On rapproche les extrémités lorsque l'on compose le train, de manière à amener au contact les tampons que l'on appelle *tampons de choc*. Le plus ordinairement, la barre d'attelage placée sous le wagon et suivant son axe est fixée, par son extrémité postérieure, au milieu d'un ressort à lames courbé en un arc de cercle d'un grand rayon, dont la corde est à peu près égale à la largeur de la voiture mesurée intérieurement aux pièces longitudinales du châssis rectangulaire qui la supporte (fig. 44 et 45). Les tampons *de choc* sont fixés à l'extrémité de fortes tiges en fer rond dont les extrémités postérieures viennent s'appuyer sur les deux extrémités de l'arc formé par ce même ressort, qui est à la fois ressort de traction et ressort de choc. Lorsque le train s'avance, tiré par la machine locomotive, les pressions mutuelles des tampons de choc sont nécessairement moindres que la traction exercée par les barres d'attelage ; les tampons cessent même souvent d'être en contact. Il en résulte que le train s'allonge et que les ressorts de choc et de traction de deux voitures consécutives s'avancent parallèlement à eux-mêmes, sous ces voitures, du côté des traverses extrêmes du châssis

CHEMINS DE FER.



44.



45.

CHEMINS DE FER.

entre lesquelles se trouve le double étrier d'attelage. Si, au contraire, on fait reculer le train par l'action de la machine locomotive, les pressions mutuelles des tampons de choc deviendront plus grandes que la traction exercée par les barres d'attelage; le train se raccourcira; les ressorts de choc et de traction de deux voitures consécutives reculeront parallèlement à eux-mêmes sous ces voitures, en s'éloignant des traverses extrêmes des châssis en regard, jusqu'à ce que les milieux de ces ressorts viennent s'appuyer sur une traverse fixe encadrée dans ces châssis et qui limite leur excursion. Le même effet se produira lorsque, le train étant en marche, le mécanicien supprimera la vapeur et serrera le frein du tender. La vitesse de la locomotive et du tender diminuera par la force retardatrice du frottement, et ces masses retardées réagiront sur la voiture qui suit le tender, celle-ci sur la suivante, et ainsi de suite jusqu'à la dernière.

Plusieurs ingénieurs et mécaniciens ont déjà tenté de mettre à profit le mouvement de *recul* des ressorts de choc et de traction pour agir, par l'intermédiaire de leviers et d'un arbre de couche, sur les sabots des freins et mettre ceux-ci en prise avec les roues; rien n'est, en effet, plus simple et plus facile à réaliser. Mais la difficulté était d'imaginer des dispositions telles, que la *condensation* du train serrât les freins quand on voudrait arrêter un train en marche, et qu'elle n'eût aucun effet quand on voudrait faire reculer un train, ce qu'il est indispensable de faire, dans beaucoup de cas, soit pour des manœuvres de gares, soit pour revenir à une station que l'on a dépassée, etc. Ce serait trop allonger cet exposé que de rappeler les divers moyens inventés pour atteindre ce but, dont quelques-uns, très-simples, très-ingénieux, méritent certainement à leurs auteurs la reconnaissance publique, quoiqu'ils n'aient pas eu de succès dans la pratique. Voici celui que M. Guérin a imaginé et qui diffère essentiellement de tous ceux que l'on avait tentés avant lui.

Lorsque le wagon est au repos, les tiges des tampons sont tout à fait en dehors, le ressort le plus rapproché de la traverse antérieure du châssis est libre, la barre d'attelage fixée, par son extrémité postérieure, au milieu de ce ressort qui doit agir sur le frein, est saillante en avant de cette traverse sur une grande longueur. A la suite du crochet qui la termine antérieurement sont ménagés un renflement et une embase. Derrière celle-ci tombe une patte ou cliquet, mobile autour d'un axe horizontal fixé sur le devant de la traverse du châssis, et qui s'oppose à ce que la barre d'attelage puisse s'enfoncer sous le wagon et, par conséquent, à ce que le ressort de traction puisse reculer et agir sur le levier du frein. Le train, une fois composé, pourra donc reculer librement sous l'action de la locomotive, ou le wagon isolé sous l'impulsion des hommes d'équipe qui le pousseraient par les tampons de choc.

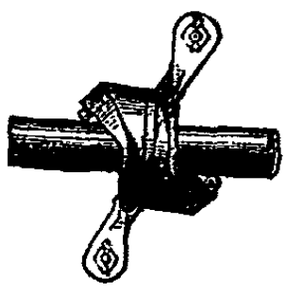


Fig. 46.

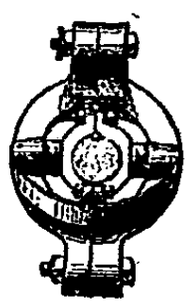


Fig. 47.

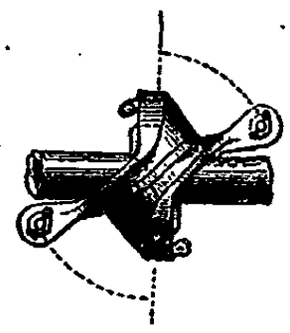


Fig. 48.

Cependant la patte ou cliquet qui s'oppose à l'enfoncement de la barre d'attelage se lève et dégage celle-ci par le seul effet de la marche du train en avant à une vitesse de 4 à 5 kilomètres par heure. Ce résultat est obtenu de la manière suivante : (*fig.* 46, 47 *et* 48) sur le milieu de l'essieu de la voiture, au-dessus duquel passe la barre d'attelage, est fixé un corps ayant la forme d'une sorte d'anneau mobile autour d'un axe perpendiculaire à l'essieu et solidaire avec lui. Lorsque le wagon est au repos, l'anneau est couché sur l'essieu par l'action d'un ressort à boudin qui entoure l'axe dont je viens de parler. L'essieu venant à prendre un mouvement de rotation, la force centrifuge tend à redresser l'anneau et à le ramener dans un plan perpendiculaire à l'essieu. Dès que le mouvement de rotation est assez rapide pour que l'action de la force centrifuge surpasse l'action en sens inverse du ressort, le redressement a lieu. Or la patte ou cliquet d'arrêt porte une branche en retour d'équerre, appliquée contre la face antérieure de la traverse et qui est poussée par une petite tige reliée par un boulon à une barre de fer mobile autour d'un axe horizontal, fixée au châssis et qui pend sous le wagon. L'action d'un contre-poids amène cette barre à presser l'anneau fixé sur l'essieu. Quand l'anneau est couché, elle est maintenue à une distance de l'essieu mesurée par le rayon extérieur de l'anneau; mais lorsqu'il est redressé, la barre vient s'engager dans un sillon qui est ménagé sur tout son contour, dans son épaisseur; l'effet du relèvement est donc de diminuer la distance de la barre à l'essieu, et ce rapprochement persiste tant que l'anneau est relevé. Le reste se devine aisément : le changement de position de la barre, déterminé par le relèvement de l'anneau, a eu pour résultat de relever la patte ou cliquet qui empêchait l'enfoncement de la barre d'attelage, et les choses restent en cet état, tant que la roue continue à tourner assez vite pour que l'anneau reste relevé. Le ressort peut donc céder à l'action des tiges des tampons de choc, et opérer, dans son mouvement de recul, le serrage du frein. Ainsi les freins agissent bien spontanément, sous l'action de forces retardatrices, créées en tête du train en marche par la suppression de la vapeur et le serrage du frein du tender; mais ils n'agissent pas lorsque le train, partant de l'état de repos, est poussé en arrière par la locomotive ou toute autre force appliquée aux tampons du choc.

Il fallait encore, pour que l'appareil fût applicable, remplir deux conditions : la première, que les freins ne fussent pas serrés par les seules réactions qui ont lieu entre les voitures du train, lorsque la vitesse est ralentie accidentellement ou par la volonté du mécanicien qui, néanmoins, ne veut pas arriver à l'arrêt complet; la seconde, que les freins, une fois serrés, s'écartassent spontanément et sûrement des jantes des roues, aussitôt que le train est arrêté. M. Guérin satisfait à l'une et à l'autre par l'addition d'un contre-ressort curviligne et à lames d'une force beaucoup moindre que le ressort de choc, appuyé, par ses extrémités, sur une traverse placée dans le châssis de la voiture, en avant de celui-ci et relié à lui par une tige en fer; la force de ce contre-ressort a été déterminée par le tâtonnement. Dans les expériences variées qui ont eu lieu sur les lignes de Paris à Orléans et de Paris à Corbeil, par une commission nommée par le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, le contre-ressort adapté par M. Guérin aux voitures de la compagnie d'Orléans a toujours suffi pour prévenir toute action intempestive des freins automoteurs, lors des ralentissements de vitesse des trains en marche et pour déterminer la *dilatation* spontanée du train après l'arrêt complet, mais seulement après l'arrêt.

Les commissaires, d'accord avec les ingénieurs attachés à l'exploitation du chemin de fer d'Orléans, ont reconnu que le système de freins automoteurs de

CHEMINS DE FER.

M. Guérin est d'un usage sûr, facile, exempt de complications et d'inconvénients.

Toutefois, la nécessité de ne jamais placer les wagons à frein à l'extrémité des convois, où leur action serait nulle; les soins nécessaires pour la conservation en bon état des appareils, et leur prix d'achat ont suffi pour en limiter la propagation. Preuve nouvelle de l'extrême simplicité nécessaire dans le matériel des grandes exploitations de chemins de fer.

4° La Compagnie de l'Est poursuit en ce moment des expériences sur un appareil à manœuvre électrique dû à M. Achard, qui met les freins entièrement à la disposition du mécanicien.

Caisses. — Si les dispositions principales des châssis peuvent se ramener à un petit nombre de types, celles des caisses présentent une variété infinie, en raison des mille usages divers du commerce et du public appelé à s'en servir. Il faut donc se borner ici à un petit nombre de renseignements généraux.

Les caisses sont entièrement distinctes des châssis; elles sont simplement posées et fixées sur ceux-ci par des équerres en fer qui se correspondent et sont réunies par des boulons.

Matériel à voyageurs. — La construction de nos caisses à voyageurs diffère peu en principe de celle des anciennes diligences; les bâtis sont seulement beaucoup plus forts; les assemblages sont à tenon et mortaise, et consolidés par des équerres, fixées par des vis à bois. Cette partie du service du matériel comprend une foule de détails qui sont du ressort de la carrosserie ordinaire; les questions du chauffage, de la ventilation et de l'éclairage des voitures intéressent à un haut degré le bien-être des voyageurs, et sont l'objet de recherches constantes; nous avons craint d'être entraîné en les exposant dans de trop longues digressions, et nous renvoyons le lecteur aux traités spéciaux.

A mesure que la vitesse et la masse des transports sur les chemins de fer ont augmenté, on a été conduit à établir un rapport de plus en plus élevé entre le poids mort et le poids utile transporté; ce rapport était d'abord 1/2 pour les wagons de marchandises; grâce à l'emploi plus général et à la meilleure qualité du fer, il est aujourd'hui 2/5 environ. Voici quelques chiffres relatifs au matériel des voyageurs de diverses classes :

DÉSIGNATION.	1re classe.	2e classe.	3e classe.
Nombre de compartiments.....	3	4	5
Longueur des caisses..... mèt.	6,56	7,00	7,34
Largeur des caisses..... id.	2,75	2,75	2,75
Écartement des essieux..... id.	3,60	3,60	3,60
Longueur des ressorts de suspension développés.....	2,00	1,40	1,40
Poids d'une voiture vide... kil.	6,500	6,400	6,200
Nombre de voyageurs.....	24	40	50
Rapport du poids mort au poids utile	3,61	2,13	1,65
Poids mort par voyageur... kil.	271	160	124
Prix d'une voiture..... fr..	10,100	7,700	5,200
Prix par voyageur..... fr..	421	192	104

Le matériel à voyageurs des chemins Américains, imité sur quelques chemins suisses et allemands, est établi sur des principes tout différents du matériel Anglais et français. Les caisses ont jusqu'à 18 mètres de long et même plus; elles sont portées sur deux trains de quatre roues chacun, à essieux très-rapprochés. La caisse ne comprend qu'un seul compartiment; il n'y a qu'une classe de voyageurs. Aux extrémités de la voiture sont de petites plateformes, servant de vestibules, auxquelles on accède de l'extérieur par des marche-pieds; elles sont abritées par un auvent. La porte d'entrée est au milieu de la paroi transversale du wagon; elle correspond à un passage ménagé au milieu de la voiture, entre les banquettes; de petits ponts jetés entre les wagons permettent de circuler d'un bout à l'autre du train. Les banquettes sont transversales; le dossier est mobile, de manière qu'on peut s'asseoir à volonté tourné vers l'avant ou vers l'arrière. Un poêle est au milieu de la voiture.

Ce matériel, très-préconisé par quelques personnes, est sujet à bien des critiques. A cause du peu d'écartement des essieux, il est plus exposé au déraillement, plus dangereux quand la vitesse s'accroît; cette facilité de circuler, agréable pendant quelques instants, ne tarde pas à devenir, dans un voyage un peu prolongé, une cause de fatigue par le mouvement perpétuel qu'elle occasionne autour du voyageur, dans cet étroit espace. Il n'y a que deux issues, placées aux extrémités de la voiture, et elle peut contenir jusqu'à 80 personnes; l'entrée, la sortie et le classement des voyageurs sont lents; en cas d'accident, d'incendie, il est impossible de faire sortir rapidement tout le monde; les voitures ne peuvent tourner sur les plaques que par une manœuvre compliquée et le service des gares est plus pénible.

Matériel à marchandises. — Il est encore plus varié que le matériel à voyageurs. On y comprend entre autres :

Les wagons couverts, avec panneaux mobiles et portes à charnières, ou mieux à roulettes, pouvant aussi servir au transport des chevaux et des bestiaux;

Les wagons plats à bords fixes, peu saillants, qui peuvent même quelquefois se rabattre, recouverts d'une bâche, si la nature de la marchandise l'exige;

Les divers modèles de wagons à bestiaux, porcs, moutons, chevaux de luxe;

Les wagons à lait, à bois, à houille, à coke, à terrassements, à ballast, les trucs à diligence, à chaise de poste, etc.

On fait entrer dans une catégorie à part les wagons de la poste, les wagons de luxe, ceux des trains impériaux, dont l'ensemble constitue un appartement complet, mis par quelques compagnies à la disposition du souverain, quand il voyage.

Du mouvement de lacet. — Le mouvement de lacet est un mouvement d'oscillations latérales, fréquentes et saccadées, bien connu de la plupart de ceux qui voyagent en chemin de fer, mais heureusement beaucoup plus rare depuis qu'on en a mieux apprécié les causes. Il peut être attribué à la voie, si les rails sont mal posés, d'une mauvaise forme, surtout si la surface de roulement est plane, de manière que les bandages portent tantôt sur l'arête extérieure, tantôt sur l'arête intérieure, et que le rayon de roulement varie à chaque instant; si la voie n'a pas assez de jeu, chaque oscillation se termine par un choc des boudins contre les rails qui rend les secousses encore plus sensibles.

Le mouvement de lacet peut être attribué aux véhicules, si les essieux ne sont pas parallèles, si les diamètres des roues sont inégaux, les bandages usés et creux; l'amplitude des oscillations peut être augmentée par l'élévation du centre de gravité au-dessus de la voie, l'excès de largeur et de longueur du matériel, la mauvaise répartition des points d'appui sur les voies, la mauvaise disposition des ressorts de suspension, le défaut de rigidité des attelages; le règlement insuf-

fisant des contre-poids des roues motrices des machines.

Ces causes diverses n'agissent les unes sur les autres que pour accroître les inconvénients du mouvement de lacet. Il importe pour l'éviter de donner aux rails un bombement convenable, et aux bandages une conicité suffisante, d'apporter le plus grand soin à la construction et à l'entretien de la voie et du matériel, de mettre les paires de roues sur le tour par couples appartenant au même véhicule, de serrer les attelages dans les trains.

VI. Études et tracés.

Après avoir étudié les éléments de ce grand organisme qui constitue un chemin de fer, il faut connaître les principes d'après lesquels on en fera l'emploi en déterminant d'abord le tracé sur le terrain. Les considérations qui interviennent dans cette opération sont très-variées, politiques, stratégiques, administratives, commerciales, financières, techniques; tel tracé, excellent à un point de vue, peut être inadmissible à tous les autres. Le problème n'est susceptible d'une solution unique et indiscutable que dans des circonstances bien rares; il faut balancer tous les intérêts en présence, souvent contradictoires, et prononcer dans le sens de l'intérêt général, entendu dans son acception la plus large et la plus élevée. En France, les projets de chemins de fer sont étudiés au point de vue politique, commercial et financier, par la commission consultative des chemins de fer, par le Conseil d'État, le Corps législatif; au point de vue stratégique, par le comité du génie et la commission des travaux mixtes; au point de vue technique, par le corps des ponts et chaussées; au point de vue de la spéculation, par les compagnies concessionnaires. Le ministre des Travaux publics prononce en dernier ressort, en se conformant aux prescriptions posées dans les lois de concession.

1° *Considérations générales.*

Les chemins de fer continuent l'œuvre de civilisation commencée dans l'antiquité et renouvelée au moyen âge par la navigation maritime, poursuivie et fécondée depuis trois siècles par la création des routes, chemins et canaux; mais ils lui ont imprimé une impulsion sans pareille. Par leur moyen, la vitesse des transports est quadruplée; un réseau de chemins de fer agit donc sur un territoire donné, ainsi que l'a fait remarquer M. Michel Chevalier, comme si ce territoire était réduit en surface en raison du carré des distances, c'est-à-dire, dix à vingt fois moins grand. Il en résulte des facilités nouvelles et incomparables pour les relations entre les citoyens, pour l'échange des idées et des richesses, pour s'entendre, se concerter, s'éclairer, rendre plus intime la communauté des intérêts, des sympathies et des opinions entre les membres d'une même société, ainsi que pour multiplier les relations de peuple à peuple, pour abolir les préjugés et les haines entre les nations comme entre les classes de citoyens.

L'histoire contemporaine nous offre déjà quelques résultats bien dignes d'attention de cette révolution pacifique, quoique rapide et profonde. Les gouvernements d'origine récente, les empires composés de races disparates et répandues sur des territoires mal délimités, ont compris les premiers l'importance politique des chemins de fer et le secours qu'on en pouvait tirer pour la fusion d'éléments le plus souvent séparés bien moins par leur position géographique, que par leurs origines, leurs traditions, leurs préjugés et leurs mœurs.

C'est ainsi que la Belgique, à peine maîtresse de son indépendance, sut attirer sur elle l'attention et l'estime universelle en devançant toutes les nations européennes dans la conception et dans l'exécution d'un réseau national. Cette détermination hardie (1834), accomplie avec persévérance, a créé le plus solide fondement de la nationalité Belge.

Les périls que suscitent continuellement à l'Autriche les vices de sa constitution hétérogène, lui ont fait une nécessité de précéder les autres nations Allemandes dans la même voie. L'une de ses premières préoccupations a été de relier sa capitale avec les frontières de la Pologne et de l'Italie, tandis qu'elle s'est longtemps refusée à permettre la jonction de Milan à Turin. Si c'était par un pressentiment superstitieux, les événements l'ont justifié; la soudure était à peine opérée sur l'Adda lorsque la Lombardie a été affranchie.

Les chemins de fer Allemands ont puissamment contribué à consolider le Zolverein et à en développer les avantages.

La Prusse a suivi de près l'Autriche; le roi Frédéric Guillaume III a légué par testament 3,500,000 f. pour l'exécution du chemin de Berlin au Rhin, destiné à réunir deux parties du royaume, fort étrangères l'une à l'autre par leur passé, non moins que par leur situation, et qui se trouvaient placées sous l'autorité du même souverain par des causes tout à fait indépendantes de leurs intérêts directs.

Le roi de Hollande a montré une initiative non moins éclairée en faisant exécuter à ses frais, risques et périls, afin de ranimer le commerce d'Amsterdam menacé par Anvers, le chemin de cette ville au Rhin, ajourné par les États généraux.

Le gouvernement Sarde s'est créé une grande influence et une popularité méritée, par la hardiesse avec laquelle il s'est engagé dans l'entreprise des chemins de fer, notamment dans celle de Turin à Gênes, l'une des plus difficiles du continent, et dans celle du mont Cenis. Depuis 1859, le gouvernement Italien, malgré des embarras sans nombre, a déployé la plus grande activité pour l'exécution de son réseau, comprenant bien qu'il y trouverait le plus puissant de tous les instruments pour l'unification des provinces de la péninsule.

L'Espagne et la Russie, pourvues l'une et l'autre de si grandes richesses naturelles, sont enfin entrées dans la carrière; elles regagneront rapidement le temps perdu. Il semble, en effet, que les voies de communication perfectionnées doivent avoir des conséquences d'autant plus marquées qu'elles desservent des pays plus neufs et plus arriérés; les capitaux et les hommes des pays plus avancés s'y portent avec ardeur et ne tardent pas à mettre en valeur les richesses enfouies et stériles. C'est ainsi que les chemins de fer ont été un des grands leviers de la colonisation aux États-Unis; ceux-ci leur doivent en grande partie le développement prodigieux de leur population.

Le chemin de fer de Suez et celui de Panama ont déjà introduit une immense révolution dans les relations entre les continents. Il ne faut aujourd'hui que six heures pour traverser l'isthme américain. Il y a peu d'années le même trajet réclamait dix-sept jours à travers mille fatigues et mille dangers.

De tels changements ne s'accomplissent pas sans troubler des habitudes séculaires, sans modifier profondément l'importance relative des places d'entrepôt et des grands marchés, sans amener des plaintes bruyantes, quelque fois justifiées. Les objections économiques soulevées par l'établissement des chemins de fer sont les mêmes que celles opposées autrefois aux machines; elles nous montrent l'éternelle lutte du producteur et du consommateur, qui finit toujours par se décider en faveur de ce dernier. Sans doute, des

CHEMINS DE FER.

industries concurrentes ont dû disparaître; un trouble profond a été apporté dans les pratiques des divers systèmes de transport; mais d'abord ce changement ne s'est pas opéré en un jour; chacun a eu le temps d'en prévoir les conséquences et de se prémunir; il y a plus, pour la plupart de ces industries, il ne s'est opéré qu'un déplacement dans le sens de leurs transactions; sous l'aiguillon de la concurrence elles ont réalisé des progrès considérables dans leurs procédés; elles ont souvent soutenu victorieusement la lutte et le chiffre total de leurs affaires, bien loin de s'amoindrir, s'est augmenté.

En France, les documents officiels répondent catégoriquement à ces objections surannées. On pouvait croire que la circulation, sur les routes impériales, aurait diminué, car ces routes desservent les directions principales suivant lesquelles les chemins de fer ont été tracés. Il n'en a rien été : la circulation moyenne était de 244 colliers en 1852; en 1857, elle s'élevait à 246 colliers; elle est de 237 en 1864; elle n'a donc pas sensiblement varié; ce chiffre rapporté à la longueur totale de 37,352 kilomètres des routes impériales, et à l'année entière, représente environ 3200 millions de colliers, ou environ 1600 millions de tonnes utiles transportées à 1 kilomètre.

Le trafic de la navigation intérieure, dont le développement total, rivières et canaux, est de 11.250 kil., était en 1850 de 1,722,000,000 de tonnes transportées à 1 kilom., correspondant à un transport moyen de 195,000 tonnes parcourant la longueur totale. En 1862, ce chiffre est de 2,360,000,000 tonnes kilomètres, soit plus de 200,000 tonnes à distance entière.

Dans la même période, le trafic des chemins de fer s'est élevé de 353,000,000 tonnes kilom. à près de 4,000,000,000. Puisqu'il n'y a pas eu diminution, bien loin de là, sur le mouvement des routes et canaux, il n'y a aucune exagération à affirmer que ce trafic énorme, qui dépasse à lui seul celui des routes impériales et des voies navigables réunies, a été entièrement et réellement créé par les chemins de fer. Il donne un premier aperçu de leur part dans le développement de la richesse publique, et cet aperçu est fort au-dessous de la vérité, car on n'a pas tenu compte du développement contemporain de la circulation des routes départementales, des chemins vicinaux et de la navigation maritime.

Les marchandises sont transportées par chemin de fer à un prix moyen inférieur à 0fr. 07 c. par tonne kilom. Le prix de transport sur les routes est de 0fr. 20c., sans compter les frais d'entretien et d'amortissement, supportés par l'impôt. Si les transports par chemin de fer étaient exécutés par terre, la différence représenterait plus de 520,000,000 fr. On peut admettre, sur le transport des voyageurs, une différence égale, sinon plus forte, en y faisant entrer l'économie de temps et de frais accessoires. Le pays, pour effectuer par terre la nouvelle masse de transports intérieurs devenue nécessaire, aurait à débourser plus d'un milliard en sus, soit la moitié du budget. On s'explique dès lors, suivant la juste observation de M. Flachat, comment de 1846 à 1863, le commerce extérieur de la France s'est élevé de 2,413 à 6,100 millions de francs.

On en conviendra volontiers, d'ailleurs, les réformes introduites offrent un grand caractère de simplification, et, parmi les industries et les intermédiaires sacrifiés, il en est de fort peu recommandables; plusieurs étaient le fléau des voyageurs et du commerce, sans parler du brigandage, encore florissant dans certaines parties de l'Europe, auquel les chemins de fer porteront certainement un coup mortel.

Le nouveau système de transports a donc laissé vivre et se développer le personnel des anciennes industries, mais en l'obligeant à se déplacer, à modifier ses habitudes et à perfectionner ses procédés; en même temps, il a créé un personnel nouveau, qui compte aujourd'hui en France plus de 400,000 individus, plié à des habitudes d'ordre, de discipline, de hiérarchie, chez lequel un contact journalier avec les merveilles de la grande industrie développe l'intelligence, le sentiment du devoir et de la responsabilité personnelle, et dont l'avenir est assuré par des institutions prévoyantes. Pour commander cette armée industrielle, un grand nombre d'hommes distingués, arrachés à une oisiveté ou à des agitations également stériles, ont appliqué leurs facultés à l'étude des questions économiques, administratives, commerciales, financières, techniques : car les chemins de fer ne sont pas seulement, comme les rivières de Pascal, des chemins qui marchent et portent où l'on veut aller, ils sont aussi, comme l'a dit un éminent administrateur, des chemins qui pensent et agissent. Pour alimenter cette immense machine, pour diminuer la part de frais généraux énormes dans les prix de revient, il faut s'appliquer sans relâche à développer la circulation, aller au-devant des consommateurs, découvrir les sources du trafic, lui chercher de nouveaux débouchés. Ce n'est pas là une des moindres causes de l'influence des chemins de fer sur l'accroissement de l'activité générale et sur le progrès des connaissances économiques. D'un autre côté, pour rassembler les capitaux nécessaires à l'exécution de ces opérations gigantesques, les questions de finances et de crédit ont dû être approfondies, une quantité de combinaisons nouvelles ont été découvertes, mises à la portée du grand nombre, et ont répandu, avec le bien-être, des notions plus exactes sur la production, la distribution et la circulation des richesses.

En dehors de ce personnel immédiat, la construction et l'exploitation des chemins de fer ont offert un travail assuré, largement rémunérateur, à d'innombrables ouvriers. D'importants ateliers ont été créés; l'art des constructions a réalisé des progrès étonnants, une classe nouvelle d'ingénieurs et d'entrepreneurs habiles s'est formée. Après avoir achevé la plus grande partie du réseau français, ils vont au delà de nos frontières porter le tribut de leur expérience et de leur activité, exercer un nouveau genre de propagande dont personne ne peut contester le caractère légitime et bienfaisant.

Dans cette transformation générale des habitudes du travail, un fait grave, une tendance funeste se sont produits : nous ne saurions passer sous silence le reproche très-sérieux adressé aux chemins de fer, de dépeupler les campagnes au profit des villes. Ce reproche est immérité; en se portant là où elles trouvent des salaires plus élevés, une demande assurée de main-d'œuvre, un grand marché toujours ouvert, les populations des campagnes obéissent à une loi naturelle et à une inclination irrésistible. C'est aux classes élevées et dirigeantes, qui ont les premières donné l'exemple, en allant dépenser dans les villes les revenus des champs, que remonte la responsabilité de ce mal social : c'est à leur suite et à leur imitation que les paysans abandonnent leurs clochers : c'est à elles qu'il appartient d'y pourvoir; de nombreux indices témoignent que les chemins de fer offriront le remède le plus efficace à ces funestes tendances : ils ramèneront dans les campagnes l'intelligence, les lumières et les capitaux; ils combleront l'abîme ouvert entre les propriétaires et les cultivateurs, et replaceront l'industrie agricole si délaissée au rang qui lui appartient légitimement.

A ces manifestations de la puissance civilisatrice des chemins de fer, nous pourrions ajouter bien d'autres citations : la facilité avec laquelle se constituent

CHEMINS DE FER.

aujourd'hui les concours industriels, agricoles, artistiques, les expositions provinciales, nationales, universelles, les congrès scientifiques; la réforme postale, que les anciens moyens de transport n'auraient certainement pas permis de réaliser; la télégraphie électrique, auxiliaire indispensable de l'exploitation; l'établissement à la campagne des maisons d'éducation en remplacement de ces prisons étroites et malsaines, qu'on décore du nom de colléges dans nos villes; la même mesure applicable aux hospices, aux maisons de retraite, ou de santé, sans rupture des relations de famille ou d'amitié; la création et le développement d'une quantité d'industries parmi lesquelles tiennent le premier rang les industries métallurgiques, si essentielles à la prospérité d'une grande nation; l'érection de monuments d'une forme et d'une destination nouvelles; l'introduction du fer et des métaux dans les édifices, dans des proportions inconnues, bien propre à fournir à notre architecture moderne des effets pleins d'originalité, de hardiesse et de grandeur, et les éléments d'une régénération dont elle a grand besoin; les améliorations exécutées dans nombre de cités pour faciliter l'accès des gares; le retour devenu impossible de ces affreuses disettes, qui désolaient périodiquement l'ancien régime; enfin, ne faut-il pas voir le symbole d'une profonde transformation sociale dans ces trains énormes emportant vers des destinations lointaines, avec une rapidité et une commodité pareilles, les hommes des conditions les plus diverses?

L'état lui-même retire de la création des chemins de fer des avantages directs, inappréciables; la transmission des ordres, le transport des agents, des dépêches, de la force publique s'exécutent avec une précision, une rapidité et une économie sans égales: leur intervention bien entendue est de nature à imprimer une activité toute nouvelle à l'expédition des affaires, à supprimer quantité de formalités inutiles, à développer la spontanéité d'action du pouvoir central, qui devra être compensée tôt ou tard par plus d'indépendance et d'initiative pour les administrations locales. Les fréquentes entrevues des souverains qui règlent directement, sans l'intervention compliquée des chancelleries, de graves intérêts internationaux, ne sont-elles pas un des exemples les plus frappants de la simplification apportée par les voies de fer dans le fonctionnement des rouages politiques?

L'accroissement des revenus indirects produit par le développement de la circulation et de la consommation n'est pas le seul profit matériel que l'état retire des chemins de fer: des charges nombreuses leur sont imposées soit sous forme d'impôts, impôt du dixième sur le prix de transport des voyageurs et des marchandises, décimes, contributions foncières et patentes, timbres, impôts sur les valeurs mobilières, contrôle; soit sous forme de services plus ou moins gratuits et d'économies réalisées sur les transports des postes, de la guerre et de la marine, des militaires, des administrations des tabacs, des télégraphes, des prisons, etc. En France, on estime aujourd'hui à près de 80 millions l'ensemble des avantages que l'Etat retire, sous ces deux formes, des chemins de fer, et à 110 millions le chiffre qu'ils pourront atteindre quand les 20,380 kilomètres du réseau seront achevés.

Ces considérations générales doivent évidemment dominer toutes les autres dans les décisions à prendre au sujet des tracés; elles déterminent les directions principales, l'importance relative des lignes et l'ordre de priorité à établir dans l'exécution d'un grand réseau, mais elles sont insuffisantes pour en arrêter complétement les bases. Si nous cherchons à en déduire quelques principes, nous observerons que si les chemins de fer développent la richesse, là, où en existent les germes plus ou moins latents, ils ne la créent pas; il y a donc lieu d'étudier d'abord ces sources de leur prospérité future, manifestées par les courants de relations antérieurement établies. On a été ainsi conduit pour les lignes internationales à relier d'abord les capitales; pour les autres, à réunir les grandes villes à la capitale, et puis entre elles, en raison de leur importance et de leurs relations antérieures; et à suivre autant que possible les directions adoptées librement par le commerce; il n'y a pas lieu d'attacher une importance exagérée à la réunion des points extrêmes par la ligne la plus courte; il faut se préoccuper bien davantage de desservir les points intermédiaires aussi complétement, aussi commodément que possible; c'est une question d'équité, de bonne politique, car on doit éviter de déposséder inutilement les localités d'avantages antérieurement acquis, et de multiplier sans nécessité absolue les maux qu'entraîne forcément après elle toute grande innovation; c'est aussi une question d'intérêt bien entendu, car aucune source de trafic n'est à négliger, et l'expérience a démontré que le parcours partiel, c'est-à-dire à petite distance, entre les petites localités, était la source la plus assurée des bénéfices des chemins de fer.

2° *Considérations militaires.*

L'établissement de relations plus faciles et plus fréquentes entre les peuples ne peut manquer de faire évanouir bien des haines et bien des préjugés: on se connaîtra mieux et on s'estimera davantage; on comprendra que chaque nation a ici-bas son rôle providentiel, que la diversité et l'inégalité des aptitudes et des conditions est aussi nécessaire à l'ordre général, entre les peuples qu'entre les individus: appréciant plus justement les bienfaits de la paix et les maux de la guerre, on aura plus rarement recours aux armes et la réconciliation sera plus aisée. Telle nous paraît être l'une des plus importantes conséquences qu'on puisse espérer de ces nouvelles voies de communication; mais trop d'événements récents ont prouvé que l'heure de la paix perpétuelle n'est pas encore sonnée; les gouvernements, jaloux de leurs devoirs et de leur indépendance, ont dû songer dès l'origine à faire profiter des progrès réalisés dans le système des transports, l'art de la guerre dont le secret consiste à savoir concentrer dans un moment donné de grandes masses d'hommes et de matériel sur un point déterminé.

Comme instrument stratégique, les chemins de fer doivent répondre à des conditions différentes suivant qu'ils sont destinés à l'attaque ou à la défense. L'avantage de l'attaque est dans sa force de concentration, dans la faculté de se porter en masse et inopinément sur un point déterminé, avantage ordinairement réservé au premier prêt à entrer en campagne, qui se donne ainsi le choix des moyens d'agression. Le chemin de fer stratégique, pour répondre aux conditions de la guerre offensive, semble donc devoir être dirigé de la base d'opération de l'agresseur à la frontière ennemie par la voie la plus directe et normalement à cette frontière.

Le désavantage de la défense vient au contraire de l'incertitude sur le point menacé, de la difficulté de s'y porter et de s'y concentrer à temps. On peut espérer que les chemins de fer contribueront à rétablir l'équilibre entre l'attaque et la défense, et seront ainsi pour les peuples un nouveau moyen de maintenir leur indépendance et leur intégrité. La tactique des guerres du premier empire consistait à atteindre les armées ennemies et à les battre isolément avant qu'elles eussent le temps de se réunir; elle deviendra beaucoup moins aisée; on pourra dégarnir avec moins d'inquiétude les frontières les moins menacées; partout sera présente la volonté dirigeante, partout se fera sentir l'action cen-

CHEMINS DE FER.

trale; les places d'armes et de dépôt établies à l'intérieur seront à l'abri des insultes; la sphère d'action des places fortes sera augmentée dans de certaines zones, surtout en seconde ligne, pour la protection des frontières. D'un autre côté, les chemins offensifs perdront leur efficacité en approchant du théâtre des événements, parce qu'ils seront plus facilement détruits; sur un territoire envahi, cette précaution sera certainement prise, et l'agresseur n'en pourra plus tirer aucun parti; les lignes défensives, au contraire, seront de plus en plus concentrées et profitables. Mais pour que les chemins de fer rendent de tels services, il faut qu'ils soient protégés par des obstacles suffisants contre les attaques de l'ennemi et que les distances à franchir soient assez grandes.

Les moyens de défense de la France, par exemple, se trouvent considérablement augmentés par le réseau qui circule au milieu des places de notre frontière; les chemins qui relient à des distances variables les voies convergeant vers la capitale, forment une série de lignes concentriques autour de Paris, dont le chemin de ceinture est la dernière et la plus complète expression; elles abordent les routes d'invasion sur plusieurs points au passage des vallées qui forment nos lignes de défense naturelles; elles permettraient de rendre bien précaire la marche et surtout la retraite d'une armée dirigée sur Paris. Ainsi s'ajoutera une force nouvelle à l'œuvre de Vauban et de Louis XIV; ainsi sera déçue la funeste prévoyance des coalisés de 1815, qui en nous enlevant Philippeville, Marienbourg, Sarrelouis, Landau, Huningue, la Savoie, pensaient se réserver des brèches toujours ouvertes à travers nos frontières : ces prévisions haineuses étaient déjà déjouées par l'entreprise patriotique des fortifications de Paris et de Lyon, par celles plus modestes et non moins utiles accomplies à Soissons, Marsal, Toul, Bitche et Belfort, et plus récemment par l'annexion de la Savoie et de Nice; la création des chemins de fer achève d'en annuler complétement la portée.

Les chemins de fer fourniront encore un nouvel élément d'action à nos armées navales en permettant de transporter les équipages d'un port à l'autre et même d'une mer à l'autre; ils feront disparaître dans une certaine proportion les inconvénients de notre infériorité numérique en rétablissant l'équilibre qui fait défaut entre notre matériel et notre personnel naval. Les chemins du littoral compenseront pour la défense les progrès que la vapeur a fait faire aux moyens d'agression maritime.

Sur les champs de bataille, les voies exposées aux coups de l'artillerie ne peuvent être utilisées comme moyen de transport; mais les modifications qu'elles apportent à la topographie naturelle, créent des abris ou des obstacles qui peuvent jouer un rôle important dans une action.

Aux abords des places fortes, les tracés seront appréciés par les ingénieurs militaires; ils ne doivent fournir aucun abri à l'assiégeant; on préfère les lignes qui peuvent être enfilées par le feu de la place à celles qui sont battues transversalement; on évite les tranchées qui pourraient donner écoulement aux eaux d'inondation et tout ouvrage difficile à détruire et propre à faciliter l'attaque. Dans une grande place, un chemin de fer intérieur, tel que le chemin de ceinture autour de Paris, peut être d'une grande utilité pour l'armement et la défense. On a vu, en 1854, les Anglais devant Sébastopol, établir des rails entre leur camp et le port de Balaclava pour assurer leurs approvisionnements.

Les guerres de Hongrie, de Crimée et d'Italie ont déjà mis en évidence l'importance stratégique des chemins de fer; on nous permettra de rappeler ici quelques renseignements, empruntés à un mémoire de M. Charié Marsaine, touchant la plus grande expérience de ce genre qui ait encore été tentée, celle de 1859. L'invasion du Piémont par les Autrichiens a eu lieu le 29 avril; à la fin de mai, 220,000 Français occupaient la Lombardie. Dans un espace de 86 jours, du 20 avril au 15 juillet, le mouvement total, réduit aux lignes de sortie par Culoz, Grenoble, Aix, Marseille et Toulon, a compris 229,398 hommes, 36,657 chevaux et le matériel de l'armée; ce mouvement a été effectué en partie par les trains ordinaires, en partie par 447 trains spéciaux; ces derniers ont transporté approximativement :

185,000 hommes avec armes et bagages à 85ᵏ	15,300 t.
33,000 chevaux avec selles et paquetages, à 500ᵏ par cheval.	16,500
4,500 voitures d'artillerie ou des équipages, à 1,800ᵏ par voiture. . . .	8,100
40 trains de matériel et munitions, à 90,000ᵏ par train.	3,600
Total.	43,500

Soit en moyenne 97 tonnes par train.

La vitesse a varié de 24 à 30 kil. et ces immenses transports n'ont occasionné aucun accident.

Sur la ligne de Paris à Lyon seulement, dans cette période de 86 jours, il y a eu 2,636 trains, dont 302 trains spéciaux : 127 trains ordinaires, dont 32 de marchandises, ont été supprimés; le mouvement par jour a été en moyenne de 3,5 trains spéciaux,

27,1 — ordinaires.

Ensemble, 30,6

Soit par heure, 1,28 train.

Si l'on rapproche de ces résultats les considérations suivantes, on reconnaîtra qu'ils sont encore loin de donner l'idée de ce qu'on pourrait faire dans un cas d'extrême urgence, en rassemblant le matériel des diverses compagnies en lançant les trains sur les deux voies dans le même sens, en concentrant en un mot tous les moyens sur une même direction. La compagnie de Lyon a employé en moyenne 518 wagons par jour; or, elle en possédait à elle seule à cette époque 6,632. La vitesse de certains trains atteignait 35 kilomètres. Quelques convois ont compté 48 véhicules; ils portaient jusqu'à 105 tonnes en hommes, chevaux et matériel, jusqu'à 125 et 147 tonnes pour l'artillerie; les nouvelles locomotives du Nord permettraient de faire aujourd'hui bien davantage. La journée la plus chargée a été celle du 25 avril; elle a présenté un mouvement de 30 trains, dont 13 trains ordinaires et 17 trains spéciaux. Ces derniers ont transporté 12,148 hommes et 655 chevaux, indépendamment des transports effectués par les 13 trains du service ordinaire.

Les résultats les plus remarquables ont été obtenus dans les dix derniers jours d'avril; dans cet intervalle le mouvement des trains spéciaux sur la ligne de Paris à la Méditerranée a été de 75,995 hommes et 4,469 chevaux. Si l'on cherche à se rendre compte du temps qu'il aurait fallu pour faire franchir une distance de 800 kilom. environ à cette masse de troupes, en la supposant divisée en autant de colonnes que l'auraient permis les routes convergentes et en tenant compte des délais nécessaires pour éviter les encombrements aux gîtes d'étape, et pour assurer les subsistances et les transports sur essieux, on trouve qu'il n'aurait pas fallu moins de deux mois. Si l'on réfléchit que le bénéfice de cette célérité, six fois plus grande, est acquis sans fatigue, sans maladies, sans traînards, sans usure de l'armement, de l'équipement ni du matériel, sans aucun embarras pour les subsistances et sans imposer aux localités traversées la moindre charge, on aura une idée des services que les chemins.

CHEMINS DE FER.

de fer ont rendus en 1859, et de ceux plus grands encore que l'on peut en attendre dans des éventualités auxquelles une grande nation doit toujours être préparée.

Les chemins de fer jouent un rôle important dans la guerre désastreuse qui désole l'Amérique du nord; ils ont contribué à donner une physionomie nouvelle à beaucoup d'incidents militaires; ils ont motivé ces incursions rapides de masses de cavalerie, ces *raids* audacieux, ayant pour objet la destruction des ponts ou du matériel accumulé dans les stations sur les derrières de l'ennemi; mais une obscurité trop grande règne encore sur ces événements lointains pour qu'on puisse en tirer aucune conclusion.

Nous nous plaisons à terminer ces considérations déjà trop longues et trop étrangères au caractère pacifique de notre sujet, en revenant sur la remarque placée en tête de ce paragraphe, en exprimant de nouveau la confiance que les chemins de fer ne manqueront pas à leur mission civilisatrice, et rendront les guerres plus rares et plus courtes dans l'ancien comme dans le nouveau monde.

3° *Considérations commerciales et industrielles.*

De même que les différentes armes qui composent une armée ont chacune son objet, sa tactique, ses propriétés caractéristiques, les différents systèmes de voies de communication présentent au commerce et à l'industrie des aptitudes spéciales, qui répondent de la manière la plus diverse à leurs besoins.

Parmi les éléments de la comparaison à établir entre les voies de communication, plusieurs peuvent se traduire en chiffres et se résumer dans le tableau suivant :

ÉLÉMENTS DE COMPARAISON.			ROUTES.	NAVIGATION.	CHEMINS DE FER.
Rapport de l'effort de traction au poids total mis en mouvement	Routes. d'empierrement.	à l'état d'entretien ordinaire. .	0,080	»	»
		parfaitement entretenues.....	0,033	»	»
	Routes. pavées.....	au pas.....	0,030	»	»
		au trot	0,070	»	»
	Canaux. Grande section..	Vitesse faible.....	»	0,001	»
		— double.....	»	0,004	»
		— quadruple.....	»	0,016	»
	Canaux. Petite section...	— faible.....	»	0,0057	»
		— double.....	»	0,0066	»
		— quadruple.....	»	0,0305	»
	Chemins de fer...	Vitesse de 32 kilomètres à l'heure....	»	»	0,005
		— 48 —	»	»	0,010
Vitesse moyenne; kilomètres parcourus en une heure.....		Voyageurs.....	10 à 16	10 à 20	35 à 72
		Marchandises.....	3 à 4	2 à 8	15 à 30
Tarifs moyens.....		Voyageurs..... francs.	0,10 à 0,12	0.03 à 0,05	0,05 à 0,07
		Marchandises ..... id...	0,20	0,03 à 0,05	0,0673
Frais de premier établissement (par kilomètre)		Routes impériales.. id...	15,000	»	»
		— .. id...	»	200,000	400,000
Frais d'entretien annuels par kilomètre ..... id...			500	1,000	10,000
Longueurs en kilomètres.	Routes impériales à l'état d'entretien au 1er janvier 1864. kil.		37,352	»	»
	Routes départementales..... id.		48,200	»	»
	Chemins vicin. de grande communication	constr. de 1837 à 1862. id.	66,000	»	»
		à construire..... id.	14,500	»	»
	Chemins vicin. d'intérêt collectif.....	construits..... id.	38,000	»	»
		à construire..... id.	36,000	»	»
	Chemins vicin. d'intérêt commun.....	construits..... id.	116,000	»	»
		à construire..... id.	267,000	»	»
	Navigation....	Rivières.....	»	6,500	»
		Canaux	»	4,750	»
		Total	»	11,250	»
	Chemins de fer	concédés au 1er janvier 1865.....	»	»	20,386
		exploités	»	»	13,025
Nombre de tonnes transportées à 1 kilomètre.	Routes impériales en 1857.....		1,600,000,000	»	»
	Navigation et chemins de fer en 1862.		»	2,360,000,000	4,000,000,000
Fréquentation diurne...	Trains.....		»	»	21
	Voyageurs.....		»	»	743
	Tonnes de marchandises utiles.....		117	575	1,011
	Colliers.....		237	»	»

Les routes ordinaires, grâce à la multiplicité des usages auxquels elles s'appliquent, à la variété et à l'extrême division des véhicules, luttent victorieusement avec les chemins de fer pour les petites distances, lors même qu'elles leur sont parallèles; elles pénètrent à l'intérieur des villes et villages, à la porte des usines; desservent tous les points intermédiaires et se prêtent aux configurations du sol les plus accidentées; leurs frais de premier établissement sont relativement peu élevés; la délivrance des colis peut avoir lieu sans transbordement ni factage. Elles conservent donc toute leur importance pour les usages les plus ordinaires de la vie, et lorsqu'elles sont perpendiculaires aux chemins de fer, elles deviennent leurs plus précieux auxiliaires.

Les canaux et rivières navigables offrent une réduction considérable des frais de traction, par suite de la faible résistance opposée au mouvement des véhicules dans un milieu liquide. Le rapport entre le poids utile transporté sur les bateaux et le poids mort est très-favorable à l'économie des transports; les voies navigables sont accessibles à tous comme les routes : mais ces avantages sont balancés par de nombreux inconvénients : l'économie des frais de traction n'est acquise qu'au prix d'une lenteur extrême, parce que la résistance croît comme la carré de la vitesse; le

CHEMINS DE FER.

temps perdu au passage des écluses, les chômages occasionnés par les glaces, par les sécheresses et par les réparations annuelles ajoutent encore à l'incertitude des arrivages, aux difficultés de la surveillance des équipages, aux chances de fraude et d'avarie; des capitaux considérables restent immobilisés sous forme de marchandises en route, frais de magasinage, approvisionnements, risques et assurances; les dépenses de construction sont considérables. Les canaux ne peuvent pénétrer partout, car il faut leur assurer un approvisionnement d'eau suffisant, qu'on rencontre seulement dans des conditions topographiques spéciales; l'établissement des contre-pentes est impossible sur un même versant d'un bassin hydrographique; l'obligation de suivre toutes les sinuosités des vallées, rend le parcours généralement du quart ou du tiers plus long que celui des chemins de fer, et diminue d'autant le bénéfice sur la traction. Ces inconvénients éloignent des canaux les voyageurs, les marchandises précieuses ou fragiles, les denrées alimentaires fraîches; leur usage se trouve restreint aux produits encombrants et de bas prix. Cependant, si les chemins de fer leur ont créé une concurrence redoutable, les canaux, et surtout les rivières soutiennent la lutte; l'ensemble de leur trafic se développe, comme on l'a vu ci-dessus. Une navigation intérieure, librement, complétement et largement organisée est le contrepoids indispensable du monopole des grandes compagnies de chemins de fer. La France a encore beaucoup à faire pour supprimer les obstacles qui séparent en tronçons insuffisants les diverses branches de son réseau navigable, et pour mettre sa batellerie en mesure de lutter partout dans des conditions équivalentes.

La continuité, la régularité, la vitesse et l'économie des transports par chemins de fer, répondent à la plupart des objections que l'on adresse aux routes et aux voies navigables; mais les dépenses de premier établissement sont énormes; l'élévation des frais généraux et des frais de traction occasionnés par l'emploi de moteurs puissants ne peut être compensée que par leur répartition sur un trafic considérable, et l'on est généralement d'accord qu'aucun chemin de fer ne pourrait fonctionner dans des conditions avantageuses avec un mouvement inférieur à 80,000 tonnes kilométriques.

RENSEIGNEMENTS sur les MOUVEMENTS DES RECETTES ET DU TRAFIC.			RÉSULTATS POUR LES ANNÉES			RÉSULTATS PROPORTIONNELS.		
			1841.	1854.	1862.	1841.	1854.	1862.
Résultats généraux.								
Longueur	totale au 31 décembre	kil.	569	4,660	11,102	1	8,2	
	moyenne pendant l'année	kil.	517	4,348	105,22	1	8,4	
Recette brute.	Voyageurs	fr..	7,882,160	83,707,721	159,781,977			
	Accessoires de la grande vitesse.	fr..	317,935	15,520,937	37,983,177			
	Marchandises	fr..	4,652,262	91,587,661	274,030,502			
	Divers	fr..	432,453	8,129,839	10,099,850			
	Totale	fr..	13,289,107	201,946,158	481,896,506	1	15,8	37
Produit net		fr..	4,674,037	114,855,105	259,722,596	1	24,5	56
Nombre de voyageurs	à toute distance		6,378,666	28,070,458	66,467,523	1	4,5	10
	à un kilomètre		112,602,286	1,375,440,419	2,853,769,358	1	12,3	25
Nombre de tonnes	à toute distance		1,059,793	8,864,501	27,297,366	1	8,4	27
	à un kilomètre		33,768,850	1,143,188,098	3,884,392,848	1	29,4	102
Proportion % sur la recette totale.	Voyageurs		59,32	41,46	33,10		»	
	Accessoires de la grande vitesse		2,39	9,18	7,90		»	
	Marchandises		35,01	42,92	56,90		»	
	Accessoires de la petite vitesse		0,03	2,40			»	
	Grande vitesse, ensemble		61,71	50,64	41,00		»	
	Petite vitesse, Id.		35,04	45,32	56,90		»	
	Recettes diverses		3,25	4,04	2,10		»	
Résultats kilométriques.								
Recette brute totale		fr..	25,704	46,445	45,799	1	1,8	1,8
Produit net		fr..	9,040	20,415	24,684	1	2,9	2,7
Documents divers.								
Nombre de voyageurs à la distance entière,	pendant l'année		217,800	316,339	271,219	1	1,5	1,2
	par jour (fréquentation diurne)		597	867	743			
Nombre de tonnes à la distance entière,	pendant l'année		74,988	262,922	309,168	1	3,5	5,4
	par jour (fréquentation diurne)		205	720	1011			
Nombre de trains à la distance entière,	pendant l'année		4,950	7,198	7734	1	1,5	1,5
	par jour (fréquentation diurne)		14	20	21			
Produit moyen	d'un voyageur	fr..	1,17	2,98	2,44	1	2,5	2,5
	d'une tonne de marchandises.	fr..	4,38	9,79	10,03	1	2,2.	2,3
Parcours moyen	d'un voyageur	kil.	17,65	49,00	43	1	2,8	2,4
	d'une tonne	kil.	36,58	128,96	142	1	3,6	3,9
Tarif moyen perçu par kilom.	par voyageur	fr..	0,07	0,061	0,0559	1	0,87	0,79
	par tonne de marchandises	fr..	0,12	0,076	0,0673	1	0,63	0,56
Rapport % de la dépense à la recette		fr..	65	43	46	1	0,7	0,7
Produit %	du capital dépensé	fr..	3,11	6,58	»	1	2,1	
	des dépenses des Compagnies	fr..	3,11	9,00	»	1	2,9	

CHEMINS DE FER.

Nous empruntons aux documents statistiques recueillis par le Ministère des travaux publics et par les compagnies quelques renseignements, pour faire ressortir les diverses circonstances qui influent sur le développement des voies de fer au point de vue industriel et commercial.

Le tableau de la page précédente place en regard les résultats de trois exercices suffisamment éloignés l'un de l'autre pour mettre en évidence quelques-unes des tendances principales dans les mouvements du trafic et de la recette.

Il est à peine nécessaire de faire observer que ces renseignements n'offrent que des résultats moyens; ils ne doivent être acceptés qu'avec les réserves comportées par l'emploi des moyennes et par l'usage des données statistiques en général; d'une ligne à l'autre, d'une section à une autre, les recettes, la nature et la répartition du trafic, les frais d'exploitation varient non-seulement suivant les tarifs et les circonstances locales, mais encore suivant les saisons; ainsi le trafic a généralement beaucoup plus d'activité de Mai à Octobre que dans les autres mois; les voyageurs de grand parcours sont moins nombreux les dimanches et jours de fête; le contraire a lieu pour les petits parcours aux environs des grandes villes; la pluie et le beau temps sont une autre cause de variation pour les lignes de banlieue; enfin l'influence du vendredi est officiellement constatée.

Le tableau ci-dessus donne encore lieu aux observations suivantes : dans l'ensemble des recettes, la part afférente aux marchandises est devenue la plus forte : elle tend constamment à s'accroître.

Ce fait est général : sur l'ensemble des chemins de fer de la Grande-Bretagne, en 1856, la recette s'est élevée à 284 millions sur les services des voyageurs, et 295 sur les services de marchandises; en 1862, la recette monte aux sommes ci-dessous :

Voyageurs.. .	347 799 625 fr.	47.76 0/0
Marchandises.	380 414 325	52.24
Total. . .	728 213 950	100.00

En Allemagne, la différence est encore plus grande en faveur des marchandises, qui représentent près des deux tiers de la recette totale.

Le mouvement kilométrique tend à augmenter dans une proportion plus forte que la recette; en d'autres termes, les tarifs moyens perçus tendent à s'abaisser; la diminution est beaucoup plus sensible pour les marchandises que pour les voyageurs dans la première période de 1841 à 1854.

L'extension du réseau a contribué pendant un certain temps à l'accroissement des recettes kilométriques, mais à un moment donné cet accroissement a dû s'arrêter, par suite de l'ouverture des lignes secondaires; le tableau suivant le démontre avec plus de détails :

EXERCICES.	RÉSEAU moyen exploité.	PRODUIT kilométrique.	EXERCICES.	RÉSEAU moyen exploité.	PRODUIT kilométrique.
	kilomèt.	francs.		kilomètres	francs.
1852	3 694	35 712	1858	8 100	41 330
1853	3 978	41 712	1859	8 851	43 908
1854	4 348	45 663	1860	9 271	43 975
1855	4 800	51 317	1861	10 090	48 038
1856	5 392	48 048	1862	10 522	45 799
1857	6 804	45 259	1863	11 518	43 190
			1864	12 347	42 380

L'action des grands centres est mise en évidence par les comptes de plusieurs compagnies, qui séparent les résultats obtenus sur chaque partie de leur réseau. Ainsi sur le Nord, pendant que la section de Paris à Amiens produit 150,000f par kilomètre, celle d'Amiens à la frontière ne produit plus que 83,000 fr.; celle de Lille à Calais et Dunkerque 26,000 fr.; Paris à Lyon produit 83,000 fr.; Dijon à Besançon 18,000.

En 1854, le nombre des billets de voyageurs délivrés aux gares de Paris dépassait 24 p. 100 du nombre total des billets délivrés sur l'ensemble du réseau; la recette de Paris représentait plus de 34 p. 100 de la recette totale; plus de 68 p. 100 en tenant compte des retours.

Les accessoires de la grande vitesse comprennent les bagages, chiens, chevaux, voitures, finances, messageries, lait, marée, gibier, fruits et légumes, denrées alimentaires, etc. La recette qu'ils produisent suit le mouvement général de la recette totale dont elle représente 7 à 12 p. 100.

Quelques résultats relatifs au service des voyageurs sont présentés avec plus de détail dans le résumé suivant :

NATURE DES RENSEIGNEMENTS.	VOYAGEURS A PRIX COMPLET. 1re CLASSE.	2e CLASSE.	3e CLASSE.	ENSEMBLE.	VOYAGEURS A PRIX RÉDUIT. TRAINS de PLAISIR.	MILITAIRES et INDIGENTS.	ENSEMBLE.	ENSEMBLE GÉNÉRAL.
Proportion 0/0 du nombre de voyageurs.	11	40	49	100	»	»	»	
— sur l'ensemble des lignes.	»	»	»	95	»	»	5	100
— —	»	»	»	»	49	51	100	
— sur les lignes de banlieue.	15,5	86,5	»	100	»	»	»	
— sur les autres lignes.....	10	24	66	100	»	»	»	
Parcours moyen d'un voyageur.....	82	34	47	54	»	»	94	49
Nombre moyen de voyageurs ramenés à la distance entière par jour.....	149	229	369	747	»	»	48	867
Recette kilométrique des voyageurs.....	»	»	»	»	»	»	»	19,252f
Proportion 0/0 sur la recette totale.....	»	»	»	»	»	»	»	41
— sur les recettes de voyageurs.	»	»	»	97	»	»	3	100
— —	29	28	43	100	36	64	100	
Produit moyen par voyageur.....	8f 45	2f 18	2f 56	3f 04	»	»	2f 17	2f 98
Tarif moyen perçu par kilomètre.....	9c 67	7c 10	4c 47	6c 32	»	»	2c 52	6c 06

CHEMINS DE FER.

Ces renseignements remontent à l'exercice 1854 : ils font ressortir l'importance du parcours partiel et des bas tarifs; le parcours moyen d'un voyageur n'est que de 49 kilomètres; il s'est abaissé à 43 en 1862; la 3e classe forme 0,43 des recettes des voyageurs. L'influence de la circulation locale a été mise en évidence par M. Minard, il y a déjà longtemps; il a fait remarquer, citant de nombreux exemples à l'appui, que le rapport du parcours partiel à la circulation générale avait varié sur les chemins Français entre 0,65 (Paris à Versailles, rive droite) et 0,92 (Paris à Mouscron), tandis que le rapport du nombre des voyageurs du parcours partiel au nombre total variait de 0,73 à 0,99. La circulation locale, très-importante pour les petites lignes l'est encore plus pour les grandes.

La répartition des marchandises suivant leur nature a eu lieu conformément aux chiffres ci-dessous en 1862:

NATURE DES MARCHANDISES.	CLASSES.	TONNAGE TRANSPORTÉ.	PROPORTION de chaque nature DE MARCHANDISES pour 100.
Houille et coke	4e	8.772.107	32
Matériaux de construction	3e et 4e	3.491.890	13
Fontes, fers et métaux	2e	2.827.647	10
Céréales et farines	2e	2.409.400	8
Vins, vinaigres, esprits	1re et 2e	1.984.628	7
Denrées alimentaires, épiceries	1re et 2e	1.213.665	4
Engrais et amendements	4e	336.753	1
Autres marchandises	»	6.258.276	25
Total	»	27.297.366	100

Contrairement aux idées qui dominaient autrefois, ce tableau montre que les chemins de fer s'adaptent parfaitement au transport des marchandises encombrantes et chaque jour apporte de nouvelles preuves à l'appui de cette assertion.

L'influence de Paris est encore plus sensible ici que pour les voyageurs; on estimait, en 1854, que, sur 100 tonnes transportées par les chemins de fer, 20 étaient en destination de Paris, et 13 expédiées de cette ville.

Les marchandises jouent un rôle d'autant plus important dans le tableau proportionnel du tonnage et des recettes qu'elles sont soumises à des tarifs moins élevés.

Le tableau placé en tête de la page suivante résume les renseignements relatifs au mouvement du matériel et à la dépense d'exploitation. L'unité de moyen de transport pour le service de l'exploitation est le train. La dépense occasionnée par le parcours d'un train sur un kilomètre peut, avec une approximation suffisante ici, être regardée comme constante, dans certaines limites habituelles, quels que soient le nombre des véhicules et leur chargement : c'est donc un terme de comparaison commode, pour se rendre compte des résultats économiques et financiers d'une exploitation. Il faut remarquer, toutefois, qu'une différence de plus en plus sensible tend à s'établir entre le prix de revient des trains de voyageurs et des trains de marchandises depuis que se répand pour ces derniers l'usage des machines spéciales d'une grande puissance.

Ce tableau donnera lieu aux remarques suivantes. Il existe un rapport frappant entre le nombre de trains par jour, le chiffre de la fréquentation diurne, d'une part, et d'autre part, l'importance et les frais d'établissement du matériel roulant, le nombre des agents et la dépense de l'exploitation.

Sur les lignes principales, la fréquentation diurne, le chargement moyen des trains, leur vitesse moyenne, l'effet utile du matériel tendent à augmenter, tandis que la dépense par kilomètre parcouru par un train tend à diminuer.

La fréquentation diurne, comme le nombre des voyageurs, varie beaucoup d'une section à l'autre; elle est beaucoup plus considérable aux abords de Paris; ainsi sur le chemin de fer du Nord, il y a quelques années, elle n'était que de 13 trains de Lille à Dunkerque; elle atteignait 55 près de Paris.

Tandis que la dépense kilométrique d'un train reste à peu près fixe, la recette au contraire dépend uniquement du chargement et des tarifs; le rapport de la dépense à la recette s'abaisse ou s'élève en même temps que le produit moyen d'un train. Les lignes sur lesquelles la fréquentation diurne est la plus forte sont généralement celles qui donnent le plus faible rapport de la dépense à la recette. Ce rapport varie de 40 à 50 p. 100, mais il est extrêmement variable d'une section à l'autre; c'est ainsi que sur le chemin du Nord, que nous avons déjà cité, le rapport est de 32 p. 100 entre Paris et Amiens, 35 p. 100 entre Paris et la frontière, 50 p. 100 entre Lille, Dunkerque et Calais, 55 p. 100 entre Amiens et Boulogne.

Le chargement moyen des trains, en matériel et en trafic, s'écarte notablement du chargement complet, même sur les lignes les plus favorisées. Dans les trains de voyageurs, le rapport du nombre des places occupées au nombre des places offertes est de 0,33; et sur certaines lignes il atteint 0,47. La charge moyenne utile d'un train de marchandises est de 80 tonnes; elle pourrait dépasser 400. Cette différence élève considérablement le rapport du poids mort au poids utile, qui serait de 6 en moyenne pour les voitures de voyageurs, et de 2 pour les wagons de marchandises.

On a calculé qu'une recette d'environ 12 francs par kilomètre pourrait être obtenue également :

Par un train de 900 militaires au quart du tarif;
Par un train express de 100 voyageurs;
Par un train-omnibus de 200 voyageurs;
Par un train mixte de 100 voyageurs et de 70 tonnes;
Par un train de marchandises de 150 tonnes.

RENSEIGNEMENTS relatifs au mouvement DU MATÉRIEL ET A L'EXPLOITATION.			VOYAGEURS.	MARCHANDISES.	DIVERS.	ENSEMBLES.
Longueur moyenne exploitée en 1862.... kilomèt.			»	»	»	10.522
1° MOUVEMENT.						
Nombre des trains.	Voyageurs et marchandises.....		546.750	456.901	»	»
	Mixtes (voyageurs et marchandises).		»	»	128.500	»
	Ensemble.....		»	»	»	1.132.151
	Ballast et service.....		»	»	107.114	
	Total.....		»	»	»	1.239.265
Parcours kilométrique	des trains.	Voyageurs et marchandises. kil	37.423.913	33.837.453	»	
		Mixtes.....	»	»	8.588.524	
		Ensemble.....	»	»	»	79.849.890
		Ballast et service.....	»	»	1.534.141	
		Total.....	»	»	»	81.384.031
	des véhicules.	Voitures et wagons. Trains homogènes.	352.252.089	1.020.351.529	»	
		Voitures et wagons. Trains mixtes.....	»	»	105.716.416	1.503.572.636
		Voitures et wagons. Service et ballast..	»	»	25.252.872	
		Machines locomotives. Spéciales.....	22.850.137	36.342.679	»	
		Machines locomotives. Mixtes.....	»	»	30.335.178	91.830.101
		Machines locomotives. Service et ballast.	»	»	2.302.107	
Situation du matériel roulant.	Voitures.	1re classe et de luxe.....	1.666	»	»	
		2e classe et mixtes.....	2.965	»	»	8.069
		3e classe.....	3.438	»	»	
		diverses pour la grande vitesse.....	»	»	3.473	
	Wagons de marchandises, ballast et service.		»	82.461	»	94.003
	Total des voitures et wagons de toute nature.		»	»	»	
	Locomotives	à voyageurs et mixtes.....	1.907	»	»	3.655
		à marchandises et de gare...	»	1.748	»	
Nombre de trains ramenés à la distance entière.....			»	»	»	7.734
Nombre moyen de trains par jour sur l'ensemble du réseau.....			»	»	»	3.395
Fréquentation diurne ou nombre de trains par jour ramenés à la distance entière.....			»	»	»	21
Composition moyenne d'un train. (*Exercice* 1854.)	Voitures de voyageurs.....		6.8	»	»	
	— de services.....		»	»	2,2	
	Wagons de marchandises...		»	25 à 30	»	
Nombre maximum de véhicules qui peuvent entrer dans la composition d'un train.....			24	60 à 80	»	
Nombre moyen de voyageurs ou de tonnes contenus dans un train.....			62	110	»	
Poids brut remorqué par un train à chargement complet.	Express..... tonnes.		100	»	»	
	Omnibus..... id...		200	»	»	
	Marchandises... id...		»	400	»	
Parcours moyen annuel. Exercice 1854.	Locomotives (1862)..... kilomètres.		27.479	22.664	»	25.176
	Voitures à voyageurs (15,000 à 35,000k)..... kilomètres.		29.975	»	»	
	Voitures diverses de grande vitesse..		»	»	21.018	
	Wagons (maximum Orléans 21,511k).		»	13.656	»	
2° DÉPENSES.						
Dépenses annuelles d'exploitation.	Pour le réseau entier.... fr.		»	»	»	222.473.910
	Par kilomètre..... fr.		»	»	»	21.115
	Par kilomètre parcouru par un train..... fr.		»	»	»	2,73
Recettes par kilomètre et par train.	Marchandises et voyageurs seuls..... fr.		3.47	7.40	»	
	Accessoires..... fr.		0.82	0.35	»	
	Ensemble..... fr.		4.29	7.75	»	5,92

Dans ces divers cas, le rapport de la dépense à la recette descendrait entre 0,20 et 0,25.

Du produit net; des tarifs.—Le produit net est égal à la différence entre la recette brute et la dépense de l'exploitation. Le but constant des compagnies est d'accroître le produit net, en augmentant la recette et en diminuant la dépense; le but non moins constant du public consommateur est d'avoir un service sûr, rapide et confortable, c'est-à-dire coûteux, et de le payer le moins cher possible; dans quelle mesure ces aspirations contradictoires sont-elles conciliables?

S'il n'était pas démontré que le mouvement général d'une voie de communication augmente avec la facilité et le bas prix des transports, le maximum de produit net s'obtiendrait en appliquant les tarifs maximum et en réduisant le nombre des trains au strict nécessaire; mais il n'en est point ainsi; le trafic augmente avec l'abaissement des tarifs et avec la fréquence des trains;

la dépense d'exploitation augmente aussi, mais bien moins rapidement; c'est par une combinaison judicieuse de ces trois éléments que les compagnies cherchent le maximum du produit net. C'est principalement par l'abaissement des tarifs qu'elles sollicitent les marchandises et par la fréquence des voyages qu'elles cherchent à attirer les personnes.

Ces considérations expliquent comment il existe un écart aussi considérable entre le chargement moyen d'un train et son chargement complet. En effet, il n'y a pas de ligne, si faible que soit le trafic, exploitée à moins de quatre trains par jour, c'est-à-dire, offrant, matin et soir, un départ dans chaque sens. Pour peu qu'une certaine activité se développe, huit trains sont établis; dès lors les facilités de communication deviennent si grandes qu'il n'y aurait intérêt à les augmenter que par suite d'un accroissement considérable du trafic. Par les mêmes raisons, le produit net est généralement d'autant plus considérable que la fréquentation diurne en trains est plus grande, et que le rapport de la dépense à la recette est plus faible. Ainsi en même temps que le trafic se développait, comme le montre le tableau précédent, les tarifs moyens perçus et les prix de revient moyens suivaient une marche contraire. Le tableau qui suit montre à cet égard l'influence de l'accroissement du trafic : les chiffres relatifs aux prix de revient sont empruntés aux documents statistiques publiés en 1856 par le Ministère des travaux publics; le calcul en est fort difficile à établir; il est douteux qu'on puisse l'obtenir avec exactitude pour les exercices suivants, à cause de la multiplication des trains mixtes principalement :

NATURE DES TRAINS.	TARIF MOYEN.		PRIX DE REVIENT	
	Voyageur.	Tonne.	Voyageur.	Tonne.
Trains de plaisir.	c.	c.	c.	c.
Nord... 1850	0,9	»	»	»
Havre.. 1850	1,1	»	»	»
Trains ordinaires.				
Havre.. 1851	6,9	9,7	3,2	4,5
— 1853	6,6	8,2	2,8	3,5
— 1854	6,1	7,6	2,6	3,3
Orléans. 1854	5,7	»	»	»
Nord... 1854	»	6,7	»	»
Lyon... 1854	»	»	2,0	2,4
Trains militaires	1,4	»	»	»
Train de voyageurs contenant plus de 600 personnes....	»	»	0,5	»
Train de marchandises contenant plus de 250 tonnes.	»	»	»	1,2
Ensemble. Exercice 1862.	5,6	6,7		
Ensemble. Lyon 1863....	5,6	6,2		

La dépense des transports se décompose en plusieurs fractions, suivant le mode d'exécution des voies de communication; ces fractions sont les suivantes :

1° *L'intérêt du capital de construction;* ce capital peut être avancé par l'état, les départements ou les communes, sans aucune garantie de remboursement, ni d'intérêt, comme pour les routes; il peut aussi être formé au moyen d'emprunts; l'amortissement et le payement de l'intérêt dû aux prêteurs sont alors assurés par la perception d'un péage; c'est la combinaison appliquée aux canaux en 1821. Les chemins de fer sont ordinairement concédés à des compagnies de capitalistes, pour un temps déterminé; l'état leur accorde le droit de percevoir des péages destinés à couvrir l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement, qu'elles ont avancé en tout ou en partie;

2° *Les frais d'entretien;* ils sont supportés par l'impôt sur les routes; sur les chemins de fer et les voies navigables, ils sont remboursés par une seconde fraction du péage; ils comprennent les frais généraux d'administration, de surveillance, de contrôle, de police, d'éclairage, de chauffage, l'entretien des bâtiments, stations et ouvrages d'art, une partie des frais d'entretien de la voie, et représentent une dépense annuelle sensiblement fixe;

3° *Les frais aux stations*, enregistrement, chargement, formation des trains et manœuvres; ils constituent une troisième catégorie de dépenses proportionnées au nombre des voyageurs et des marchandises expédiées, mais indépendantes de l'étendue des trajets;

4° *Les frais de route;* sur les voies de terre et les voies navigables, ils sont à la charge du public qui exécute les transports avec une liberté complète. Sur les chemins de fer Français, les compagnies sont tenues de les opérer à leurs frais, risques et périls, à toute réquisition, et elles sont indemnisées par les taxes. Ces frais comprennent le service d'entretien, d'alimentation et de conduite des locomotives et des wagons et la portion des frais d'entretien de la voie correspondante à l'usure produite par la circulation des trains; ils sont proportionnés au parcours.

Dans les tarifs officiels qui règlent ces taxes rémunératrices, on n'a considéré que deux parties : 1° un péage correspondant aux frais généraux; 2° une taxe proprement dite, correspondante aux frais de route. Ces tarifs sont réglés conformément aux cahiers des charges annexés aux conventions du 11 juin 1859 et modifiés le 1er mai 1863.

TARIF PAR KILOMÈTRE.	PRIX		
	de péage.	de transport	Total.
GRANDE VITESSE.			
Voyageurs : 1re classe. par tête.	0,067	0,033	0,010
— 2e — —	0,050	0,025	0,075
— 3e — —	0,037	0,018	0,055
Marchandises..... p.tonne.	0,20	0,16	0,36
PETITE VITESSE.			
Gros bétail..... par tête.	0,07	0,03	0,01
Veaux et porcs..... —	0,025	0,015	0,04
Moutons..... —	0,010	0,010	0,02
Marchand. : 1re classe. —	0,09	0,07	0,16
— 2e — —	0,08	0,06	0,14
— 3e — —	0,06	0,04	0,10
4e classe. de 0 à 100 kil., sans que la taxe puisse dépasser 5 fr..	0,045	0,035	0,08
4e classe. de 100 à 300 kil., sans que la taxe puisse dépasser 12 fr. 90 c.....	0,03	0,02	0,05
4e classe. Au-delà de 300 kil.....	0,025	0,015	0,04

Ces tarifs ne représentent que d'une manière empirique et vague la réalité des faits. Il est impossible de résumer, dans une formule simple et uniforme, la multiplicité des circonstances qui influent sur la détermination des prix de revient et des taxes, sur la proportion des recettes et des dépenses. On doit se borner à constater les résultats généraux obtenus dans les exploitations bien dirigées. Ainsi, sur les chemins de fer Français, on peut évaluer approximativement à 0f,28 par voyageur et à 1f,20 par tonne de marchandise l'ensemble des dépenses aux stations; les frais de route s'élèvent à 1f,50 par kilomètre parcouru par un train;

les frais généraux sont de 0f,40 par voyageur ou par tonne enregistrée.

C'est seulement par le jeu libre et infiniment varié des tarifs, par le mécanisme des tarifs différentiels, que l'exploitation des chemins de fer peut se mettre en rapport intime avec les besoins du commerce et de l'industrie; quoique de part et d'autre on ait souvent abusé de ce principe et méconnu sa portée, la mobilité des tarifs est aussi nécessaire au public qu'aux compagnies concessionnaires; c'est ce que nous essayerons de faire voir.

Tarifs différentiels. — Les tarifs différentiels se présentent sous des formes très-variées et particulièrement sous les suivantes :

Tarifs différentiels proprement dits, accordant des réductions de prix à raison de l'étendue des parcours; le prix à payer par kilomètre diminue quand le nombre des kilomètres parcourus augmente;

Tarifs de détournement, quand le prix des transports entre deux localités, non desservies directement par le chemin de fer, se trouve réduit à ce qu'il serait si une voie directe existait entre elles;

Tarifs internationaux ou de transit, réglant les conditions de transport des marchandises qui traversent le territoire, sans entrer dans la consommation nationale;

Tarifs spéciaux, accordant des réductions à certaines marchandises en raison de leur nature particulière;

Traités particuliers ou conventions stipulant des remises aux expéditeurs, à la condition : 1° de renoncer au bénéfice des délais obligatoires d'expédition et de remise consacrés par le cahier des charges; 2° d'affranchir la compagnie de toute responsabilité en cas d'avarie, déchet de route, etc.; 3° de fournir un tonnage minimum déterminé, et de payer l'équivalent de ce tonnage, transporté ou non;

Abonnements en faveur des industriels qui s'engagent à livrer la totalité de leurs expéditions au chemin de fer et renoncent à toute autre voie de transport.

L'usage des tarifs différentiels est justifié par la loi, qui l'a consacré formellement dans les cahiers des charges, par l'exemple de l'état, et par la pratique constante du commerce et de toutes les industries, notamment de la navigation et du roulage. Cependant ils sont journellement attaqués avec violence; il faut distinguer dans le bruit qui s'est fait autour de cette question, les plaintes naturelles des industries menacées par la concurrence des chemins de fer ou simplement troublées dans leurs habitudes séculaires par une grande révolution économique, et les récriminations inspirées par des motifs moins avouables. On a même réclamé, au nom du principe de l'égalité, si exploité, l'uniformité et la proportionnalité constante des taxes; il ne sera pas inutile de démontrer que cette mesure serait aussi funeste au bien public qu'aux exploitants, que l'usage des tarifs différentiels est fondé sur les raisons les plus légitimes, les plus naturelles et parfaitement d'accord avec les principes les plus élémentaires des échanges.

Le prix des transports n'est pas plus susceptible d'être fixé arbitrairement et déterminé par règlement de l'autorité que celui de tout autre objet de consommation; il obéit aux mêmes lois, il résulte des frais de production, de l'offre et de la demande, éléments essentiellement mobiles et variables. Sans doute, le législateur en confiant à des compagnies le monopole de l'exploitation, a pu légitimement fixer des maximum, mais, par le seul entraînement de leur intérêt propre, ces compagnies sont conduites à rester au-dessous des limites légales dans leurs relations avec le commerce. L'exemple de l'Angleterre montre bien ce qu'il y a

d'illusoire dans la fixation de ces maximum. La législation anglaise admet pour chacun le droit de circuler sur les chemins de fer; un grand nombre d'industriels usent de cette faculté; ils ont leur matériel à eux et exécutent eux-mêmes leurs transports, particulièrement dans les districts houillers, ne payant aux compagnies de chemins de fer qu'un droit de passage. Les compagnies anglaises ne sont donc pas obligées d'opérer les transports réclamés par le public : elles ont des tarifs officiels, mais elles conservent la faculté de percevoir des frais accessoires illimités, qui augmentent de beaucoup les taxes fixées par les bills de concession et les rendent à vrai dire illusoires. Si des expéditeurs réclament, elles répondent qu'elles ne sont pas tenues de transporter leurs marchandises et elles s'y refusent, en mettant seulement leur voie à la disposition des réclamants; ceux-ci se résignent le plus souvent et payent, car la loi stipule formellement que les compagnies sont autorisées à percevoir un prix supérieur au tarif légal quand l'expéditeur y consent.

Un pareil système semble mettre le public entièrement à la merci des compagnies, d'autant plus qu'aucune prescription légale ne fixe de délai pour le transport et la livraison des marchandises, ne limite la faculté de modifier les tarifs, sans même en avertir l'autorité supérieure, ni celle de conclure des traités particuliers; la tolérance s'étend jusqu'aux arrangements des compagnies de chemins de fer, soit entre elles, soit avec les canaux. La liberté la plus entière règne dans les transactions entre expéditeur et transporteur, comme entre acheteur et vendeur dans toute autre industrie, comme entre l'armateur et le négociant dans les ports; le prix du fret par mer n'est pas plus mobile que par voie de fer : le prix moyen des transports est-il pour cela plus élevé? Nullement; il ressort à 0 f. 065 par tonne et par kilomètre, à peu près comme en France.

C'est que mille raisons, inhérentes à leur nature même, se réunissent pour obliger les chemins de fer, dans l'intérêt du développement de leurs revenus, à une réduction considérable des prix officiels, et par une merveilleuse harmonie, leur font une loi impérieuse de concourir à toutes les mesures propres à faire progresser le commerce, l'industrie et l'agriculture dans l'étendue territoriale tributaire de leur réseau. Ce n'est pas par désintéressement patriotique que les compagnies sont tenues d'agir ainsi, c'est par le motif beaucoup plus solide de leur intérêt manifeste; elles l'ont quelquefois méconnu, il est vrai, mais averties par la diminution de leurs profits, elles ont dû revenir à des pratiques plus libérales. En effet, par l'analyse des revenus, on a constaté la part considérable des frais généraux dans le prix de revient des transports par voies de fer : il y a donc un bien plus grand intérêt à pousser à l'accroissement de circulation qu'à l'élévation des tarifs; si, par exemple, les frais généraux sont de 30,000 fr. pour un mouvement de 100,000 tonnes, chaque tonne sera de ce chef grevée de 0 fr. 30 c.; avec une circulation décuple, chaque tonne ne sera plus grevée que de 0 fr. 03 c.

La faculté de transporter à bon marché croît donc en raison du tonnage; d'un autre côté le mouvement des marchandises se développe en proportion des facilités et du bon marché des transports; il y a double intérêt pour les compagnies à baisser les tarifs dans la mesure du possible.

En dehors des frais de chargement et de déchargement, les marchandises occasionnent, comme on l'a vu plus haut, aux gares de départ et d'arrivée des dépenses tout à fait indépendantes du parcours, frais de manutention, d'écritures, d'abri, d'éclairage, etc. Ces

frais sont très-variables, suivant la nature de la marchandise, et d'une station à l'autre; ils sont évalués en moyenne à 1 fr. 20 c. par tonne. Ils auront d'autant moins d'influence sur le prix de revient que la distance parcourue sera plus grande.

Les frais de manutention sont d'autant plus élevés que le service des départs et des arrivages est moins régulier : on est obligé de prendre un personnel supplémentaire et provisoire, d'avoir des magasins inoccupés pendant une partie de l'année; tout cela se traduit en dépenses qui doivent retomber sur l'expéditeur accidentel; il est équitable et naturel d'assurer un traitement plus favorable à celui qui s'engage à fournir régulièrement un transport déterminé, surtout si ce transport a lieu par trains ou par wagons complets, et s'il assure des retours. Cette considération justifie pleinement les traités particuliers.

La manière dont le trafic est réparti sur la ligne et la nécessité de tirer tout le fruit possible de la puissance des moteurs donnent lieu à d'autres abaissements de taxes. Le transport des voyageurs dans son ensemble se répartit presque également dans les deux sens, mais il n'en est pas de même des marchandises. Les frais de traction sont à peu près indépendants du chargement des trains; si, par exemple, on paye par kilomètre 1 fr. 50 c. pour la traction d'un train de 100 tonnes, entre deux stations, le prix de revient sera seulement de 0 fr. 015 par tonne, lorsque le train fait ses deux trajets, aller et retour, à charge complète; mais il sera double, soit 0 fr. 030, si l'un des trajets a lieu à vide; plus généralement, le prix de traction, dans le sens le plus chargé, s'accroît de toute la dépense des retours à vide, dans une mesure variable suivant la proportion des chargements dans les deux sens. De là, des études, des recherches pour découvrir de nouveaux produits à transporter et leur créer des débouchés : la considération des distances devient tout à fait secondaire; il ne s'agit plus de savoir quel prix ces produits doivent payer, mais quel prix le consommateur peut les payer; il est encore plus avantageux de ne demander pour le transport que la différence entre ce dernier prix et le prix de la marchandise rendue à la gare de départ que de revenir à vide. C'est ainsi que les plâtres de Paris se transportent à des distances considérables suivant une échelle de tarif qui décroît en raison inverse des distances depuis 0 fr. 06 c. jusqu'à 0 fr. 015 par kilomètre. On a créé de cette manière un mouvement qui dépasse 200,000 tonnes. Il en est de même pour la chaux, pour les amendements et engrais. En même temps la certitude des retours rend le chemin de fer accessible, dans le sens du mouvement principal, à d'autres marchandises exclues auparavant par l'élévation des tarifs; et par ce double effet d'action et de réaction, la prospérité des industries locales et celle du chemin de fer sont également stimulées.

Il est évident que l'adoption d'un tarif moyen uniforme ne remplirait plus l'objet qu'on se propose; il supprimerait les transports des matières premières encombrantes les plus utiles à l'agriculture et à l'industrie, en enlevant aux chemins de fer les moyens de régulariser la charge de leurs trains et d'organiser une exploitation économique; il romprait en même temps la solidarité qui tend à s'établir entre l'intérêt du public et celui des Compagnies.

Ces notions tireraient un nouveau degré de clarté d'un mode de démonstration géométrique employé par M. Dupuit, inspecteur général des ponts et chaussées, dans les études qu'il a publiées en 1844 et en 1849 sur l'*utilité publique et les péages*. Ce genre de preuve conserve toute sa valeur, même en économie politique, quand il s'agit de quantités susceptibles de mesure, comme dans le cas présent : avec une base erronée, les méthodes mathématiques peuvent conduire à des résultats d'autant plus faux qu'on raisonne mieux; mais, quand le point de départ est sûr, on peut s'abandonner avec confiance à ce mécanisme qui dispense de longs discours. Nous essaierons d'y recourir.

On peut prendre pour mesure de l'utilité d'un objet de consommation le sacrifice maximum que le consommateur serait disposé à faire pour se procurer cet objet, ou le prix qui le déterminerait à s'en passer.

Ce sacrifice ou ce prix est entièrement distinct du prix courant ou vénal qu'on est obligé de payer pour se procurer l'objet désiré, et il est variable pour chaque consommateur.

Le nombre des objets consommés, d'une même nature, ou celui des consommateurs, est d'autant plus grand que le prix de vente est plus faible : il y a entre ces deux quantités variables une relation qui est la loi de la consommation; cette loi peut être représentée par une courbe, qu'on appellerait la courbe de la consommation et dont la considération rendra extrêmement clair l'exposé de ce phénomène économique. Supposons en effet que l'on porte sur l'axe des abscisses des longueurs proportionnelles aux prix des objets consommés, par exemple, les divers prix qu'on pourrait demander à un voyageur transporté à 1 kilomètre de distance, s'il s'agit de chemins de fer; à chaque prix offert correspondra un nombre de voyageurs d'autant plus grand que ce prix sera plus faible; prenons pour ordonnées le nombre des voyageurs correspondant à chacun de ces prix, nous aurons une courbe de consommation affectant une forme telle que celle indiquée ci-contre, *fig.* 49. Soit OP le prix de transport, le produit brut sera égal à OP × MP, et représenté graphiquement par le rectangle OPMQ;

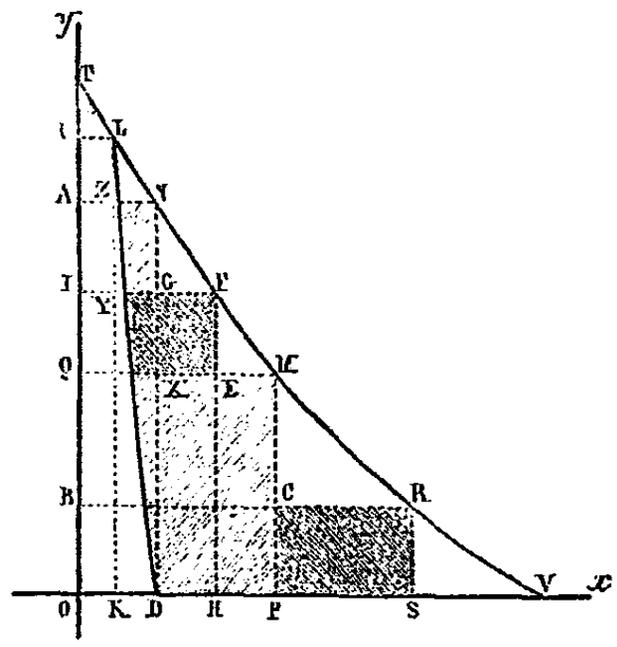


Fig. 49.

Si OD est le prix de revient, le rectangle ODXQ représente la dépense brute de l'exploitation; la différence de ces deux rectangles XDMP est le produit net. Si l'on ne demandait au public que le prix OD il se présenterait un nombre plus grand de voyageurs ND, mais le produit net serait nul; si, au contraire, on augmente le prix demandé, le nombre des voyageurs ira en diminuant. Il y aura un prix pour lequel le rectangle XDMP sera maximum, et on pourra le déterminer en égalant à zéro la dérivée du produit $xy - y \times OD$, si on connaît l'équation de la courbe. On conçoit qu'au moyen de documents statistiques, on puisse calculer par interpolation cette équation, pour un exercice donné, chercher le prix auquel corres-

pondrait le produit net maximum, et on le comparant avec le prix moyen perçu en réalité, apprécier dans une certaine mesure les résultats donnés par une exploitation industrielle.

Si nous considérons un prix quelconque OS supérieur à OP, ce prix se partage en trois parties, savoir : OD, prix de revient; DP, bénéfice du producteur; PS, somme dont bénéficie le consommateur qui pourrait payer OS et qui ne paie que OP.

La superficie TOV se partage aussi en trois parties : 1° QM'T, utilité perdue par ceux qui ne peuvent consommer parce qu'ils ne peuvent ou ne veulent pas payer au delà du prix OP; 2° OPMQ, utilité perçue par le producteur ou produit brut, divisé en dépense brute et produit net; 3° MPV, utilité restant aux consommateurs, déduction faite du prix vénal : la superficie totale représente toute l'utilité possible du service rendu.

Ces diverses parties prennent des proportions très-variables aux dépens les unes des autres, d'après la manière dont varie le prix. Les considérations précédentes supposent la détermination d'un seul prix OP; si le producteur découvre, dans le nombre MP des consommateurs qui payaient le prix OP, un certain nombre PC de consommateurs disposés à payer un prix supérieur OS, il est parfaitement légitime de leur demander ce prix, pourvu qu'il soit librement offert et librement accepté, sans fraude ni violence; et il suffira peut-être d'un motif très-futile pour détacher ces PC consommateurs du groupe restant MC; quelque préjugé mondain, tel que ceux qui motivent les prix des places au théâtre, aux courses, etc.; par ce seul fait le produit net se trouvera augmenté de tout le rectangle PSRC.

Il pourra y avoir autant et plus d'avantage pour le producteur à demander un prix OH, inférieur au prix OP, qui rendrait la consommation accessible à FE consommateurs nouveaux, et augmenterait le produit net du rectangle XEFG; de plus, l'utilité produite serait augmentée de toute la superficie QIFM, et l'utilité perdue réduite à IFT.

Au-dessous du prix de revient OD, il y aurait perte pour le producteur; mais en supposant ce prix invariable jusqu'ici, nous avons fait une hypothèse inexacte dans la plupart des cas et en particulier dans le cas des chemins de fer; le prix de revient est une fonction du nombre des consommateurs qui décroît quand ce nombre augmente; la loi de sa décroissance peut être représentée par une courbe telle que DYZL, et à chacun des abaissements de prix mentionnés tout à l'heure correspondra non-seulement l'accroissement de produit net représenté par les rectangles énoncés ci-dessus, mais encore un accroissement représenté par la surface comprise entre le côté du rectangle le plus voisin de l'axe des ordonnées et la portion correspondante de la courbe DYZL. Pour le prix OD cet accroissement sera YZNG, et il y aura avantage à établir des tarifs encore inférieurs à OD.

En résumé, le produit net maximum serait réalisé si le producteur obtenait de chaque consommateur le prix auquel celui-ci évalue à son point de vue particulier le service rendu, et il serait représenté par la surface DVL; les frais de production seraient ODLU, et l'utilité perdue TUL serait réduite au minimum.

De ces considérations résultent encore les conséquences suivantes, qui sembleront peut-être un peu paradoxales à quelques personnes, mais qui n'en sont pas moins rigoureusement vraies. Étant admis que l'offre du consommateur n'est déterminée que par des motifs avouables par la plus stricte probité et que la liberté des transactions est complète, aucune raison n'interdit au producteur d'augmenter le prix qu'il demande au delà de certaines limites d'une manière plus impérieuse que son intérêt personnel.

Les maximums fixés par les tarifs officiels ne profitent qu'aux riches, car au delà du prix OS, par exemple, l'utilité restante RSV ne profite qu'à ceux qui peuvent payer plus que le prix OS.

Il serait beaucoup plus rationnel que le triangle RSV entrât dans le profit net du producteur, et vînt en compensation d'un abaissement de tarif favorable aux petits consommateurs.

Il y a autant et il peut y avoir beaucoup plus d'intérêt pour le producteur à baisser les tarifs qu'à les augmenter; le produit net des bas tarifs applicables à un très-grand nombre de consommateurs étant d'ordinaire beaucoup plus élevé que celui des hauts tarifs qui ne sont acceptés que par un petit nombre.

On pourrait croire, au premier abord, que l'État, en mettant de côté tout point de vue fiscal, exploiterait dans des conditions beaucoup plus avantageuses pour le public. Mais trop d'expériences ont démontré à quel point l'État, dépourvu du stimulant de l'intérêt personnel et de la liberté d'allures nécessaire, est impropre à toute opération de trafic : l'industrie privée seule sait développer ce tact du négociant, indispensable pour l'exploitation commerciale des chemins de fer, deviner les prix correspondant à l'importance que chaque consommateur attache au service rendu, trouver le juste rapport des profits et des dépenses, provoquer tous les progrès techniques propres à diminuer le prix de revient et découvrir les combinaisons de taxes graduées les plus favorables au producteur et à la masse des consommateurs. On ne saurait admettre en effet que des compagnies, intéressées à un si haut degré au développement de la prospérité publique sur leur réseau, rassurées sur l'avenir par le terme éloigné de leurs concessions, compromettent bénévolement leur considération et leur fortune en imposant au commerce qui les alimente des conditions déraisonnables et ruineuses. Quelques-unes de ces spéculations malavisées, fondées sur l'emploi des hauts tarifs, ont été faites; l'expérience n'a pas tardé à éclairer les exploitants sur leurs véritables intérêts. L'histoire des chemins de fer anglais a encore été sous ce rapport d'autant plus instructive qu'une plus grande latitude était laissée aux compagnies.

Quoique le nombre des wagons de retour qui circulent à vide ait beaucoup diminué depuis quelques années, il représente 16 à 28 p. 100 du mouvement total des véhicules de la petite vitesse; il reste donc encore un travail improductif considérable à mettre en valeur; c'est là le grand et véritable intérêt des compagnies, comme du public, et ce résultat ne peut être atteint que par la création de nouveaux transports, par l'abaissement calculé de certains tarifs, et non par la fixité et l'uniformité. C'est là la plus sûre garantie de ce que réserve l'avenir.

Ces considérations nous semblent suffisantes pour justifier l'usage des tarifs différentiels sous toutes les formes; elles nous dispensent de discuter longuement les reproches puérils de troubler l'ordre géographique naturel et de s'emparer des transports de la navigation. Les chemins de fer peuvent avouer hautement ces tendances; on dit qu'ils suppriment les distances; si la métaphore est exagérée, elle offre cependant un certain degré de vérité; certaines localités, certaines industries jouissaient d'un monopole naturel, résultant du voisinage des grands centres de consommation; les chemins de fer les ont mis en concurrence avec des centres de production plus éloignés, qui ne pouvaient autrefois atteindre le marché que dans des conditions bien inférieures, quand ils pouvaient y arriver; les jardiniers de la Provence et de l'Algérie entrent en lutte avec ceux de la banlieue de Paris sur le carreau des

halles ; le commerce d'entrepôt et de commission, intermédiaire obligé de l'ancien système de transports, est ruiné dans les localités intermédiaires, qui s'étaient habituées à prélever tribut sur tout ce qui traversait leurs murs ; le prix des denrées augmente sur les lieux de production dès que les nouveaux débouchés deviennent accessibles ; de là des récriminations amères et bruyantes ; elles sont naturelles ; il est dans la loi du progrès de faire des victimes ; il est d'une bonne politique, il est du devoir des gouvernements d'adoucir des transitions pénibles et de compenser par tous les avantages possibles le trouble apporté dans des jouissances acquises légitimement ; mais serait-ce une raison pour s'arrêter et hésiter dans une voie favorable à l'intérêt général, lorsqu'il n'y a que déplacement et non anéantissement de la richesse publique? Qui profite de la suppression des obstacles physiques, des faux frais, sinon le public? Si les voies navigables étaient hors d'état de supporter la concurrence des chemins de fer, ce qui n'est pas, faudrait-il obliger les consommateurs à payer plus cher les transports dans l'intérêt d'une industrie impuissante? Si les tarifs internationaux inquiètent certains industriels, faut-il priver au bénéfice de l'étranger *nos voies de communication* de toute nature, nos ports, nos négociants, nos marins, des profits que répand dans le pays le passage des marchandises en transit?

Concluons que l'industrie des chemins de fer, comme toutes les autres, ne saurait produire les avantages qu'on est en droit d'en attendre, si la plus grande liberté d'action ne lui était laissée. Le système réglementaire étroit et rigoureux réclamé par quelques personnes serait aussi funeste au public qu'aux compagnies.

Ces développements étaient nécessaires pour bien comprendre la nature et l'influence des chemins de fer, dans un de leurs modes d'action les plus essentiels ; mais ils nous ont éloigné de notre objet ; revenons donc aux tracés, et cherchons quelles lumières peuvent donner sur leur détermination les études faites au point de vue commercial.

Il y a lieu de considérer ici les faits, suivant qu'ils intéressent le commerce extérieur, le transit et le commerce intérieur. Les considérations tirées des besoins du commerce extérieur ne peuvent agir que sur la détermination des points extrêmes des lignes et sur leur classement. Il en est de même du transit ; on croyait autrefois que ce genre de commerce n'était pas assez important pour entrer en compte, mais grâce aux chemins de fer, il s'est élevé depuis 1842 d'un tonnage de 34,000 t., et d'une valeur de 200,000,000 de francs à 207,873 t. et 632,000,000 de francs en 1863. Comme ce mouvement a lieu principalement entre l'Angleterre et la Belgique, d'une part, la Suisse et l'Allemagne, de l'autre ; les distances parcourues sont grandes et le tonnage kilométrique très-élevé ; le trafic résultant est loin d'être négligeable.

Quoi qu'il en soit, c'est au commerce intérieur qu'il appartient d'agir plus spécialement sur la détermination des tracés ; l'influence reconnue des parcours partiels, la nécessité d'alimenter l'exploitation par un tonnage suffisant, tout concourt d'ordinaire à corroborer les conclusions de nos considérations générales, et conduit à placer de préférence les chemins de fer dans la direction des courants de relations commerciales, précédemment établis dans les vallées industrielles, malgré la cherté des terrains et des travaux, malgré la concurrence des voies navigables ; tout confirme ce que nous avons dit de la supériorité des tracés légèrement déviés, propres à desservir autant que possible toutes les localités intermédiaires, et à développer le parcours partiel, sur les tracés qui affectent de raccourcir la distance entre les points extrêmes.

4° *Considérations techniques.*

Nous l'avons déjà fait remarquer, un chemin de fer est une machine ; pour apprécier les avantages relatifs des divers tracés qu'on peut proposer entre deux points donnés, il faut établir l'équation du travail de cette machine pour chaque projet aussi exactement que le permettent les données du problème. Il faut faire d'abord une analyse complète du travail des forces qui interviennent dans le mouvement des véhicules. Considérons en premier lieu les résistances au mouvement des wagons.

Résistances en ligne droite et de niveau. — Dans ce cas le plus simple, les résistances proviennent : 1° Du frottement des fusées dans les boîtes à graisse ; 2° du frottement de roulement des bandages sur les rails ; 3° du déplacement de l'air ; 4° des inégalités de la voie, de l'état hygrométrique de la surface des rails, et parfois du vent, de la neige, du verglas, etc.

Frottement des fusées. — Le travail dû au frottement des fusées dans les coussinets des boîtes à graisse est proportionnel : 1° au poids P du wagon et de sa charge, diminué du poids des roues et de leurs essieux ; 2° au diamètre de la fusée d ;

3° En raison inverse du diamètre de la roue D ;

4° Proportionnel à un coefficient de frottement f, qui dans un état moyen des fusées est égal à 0,050, et qui dans des circonstances exceptionnelles avec un graissage continu et parfait descend à 0,017.

Ce travail a donc pour expression pour le parcours de l'unité de longueur

$$fP\,\frac{d}{D} = 0{,}00375\ P,$$

en supposant $d = 0^m{,}075$, $D = 1^m{,}00$.

Il y a intérêt à faire les fusées aussi petites que possible, mais on a reconnu que la surface du coussinet devait être telle que la pression par centimètre carré ne dépassât pas 7 kil., pour que le graissage se fît dans de bonnes conditions.

Frottement de roulement. — Le travail dû au frottement de roulement des bandages sur les rails est égal au millième du poids total, c'est-à-dire, du poids précédent P, augmenté du poids des roues et des essieux p ; il a pour expression $0{,}001\ (P + p)$.

Résistance de l'air. — Le travail produit par la résistance de l'air est ordinairement considéré comme proportionnel à la projection A de la surface antérieure du convoi sur un plan normal à sa direction, au carré de la vitesse V et à un coefficient constant ; il a pour expression $0{,}005064\ A V^2$, suivant M. de Pambour.

Du vent. — Les résistances accessoires ne sont pas susceptibles d'être soumises au calcul ; leur influence peut être cependant considérable ; le vent, suivant son intensité ou sa direction, peut exercer une action très-marquée sur la marche des convois. Entre Arles et Marseille, dans les plaines de La Crau, les trains éprouvent souvent des retards uniquement causés par le vent. Le 27 février 1860 deux trains ont été renversés presque simultanément, entre Narbonne et Perpignan, par le mistral ; le même accident s'est renouvelé à la station de Leucate, le 19 janvier 1863 : les wagons étaient vides, il est vrai ; mais leur chute n'en suppose pas moins une pression d'environ 160 kilogrammes par mètre carré.

De la neige. — La neige est le plus sérieux obstacle que rencontre l'exploitation, surtout lorsqu'elle tombe en tourmente ; elle couvre la voie, s'accumule dans les tranchées et barre entièrement le passage. Cet obstacle n'est cependant pas aussi redoutable qu'on pourrait se l'imaginer d'abord. L'expérience fait connaître les

tranchées les plus exposées à l'encombrement; on peut les abriter par des cavaliers, par des plantations faites du côté du vent. Pour dégager les rails, on emploie sur les chemins de fer Allemands et sur les chemins de l'Est et du Nord Français des charrues à versoir, ou des rateaux composés de tubes creux, dans lesquels circule de la vapeur; ces appareils conduits par une locomotive déblayent bien la neige quand elle est sèche et quand son épaisseur ne dépasse pas 0m,80. Dans les pays de montagnes on se met à l'abri des avalanches par des galeries couvertes dont la toiture est inclinée suivant un angle inférieur à celui du plan de glissement des neiges.

Influence des rampes. — Si α est l'angle d'inclinaison du tracé sur l'horizontale, le travail résistant produit par la pesanteur sur la rampe aura pour expression $(P+p)\sin\alpha$, et dans les termes calculés précédemment P et p devront être multipliés par $\cos\alpha$: mais dans les limites admissibles sur les chemins de fer $\cos\alpha$ est sensiblement égal à 1, et $\sin\alpha$ à $tg\alpha$: on peut donc admettre pour le travail de la pesanteur $\pm(P+p)\,tg\alpha$, suivant que le chemin est en rampe ou en pente, et ne rien changer aux termes précédemment calculés.

Influence des courbes. — La résistance que les courbes opposent à la traction est due à des causes diverses :

1° Les roues étant égales et fixées invariablement aux essieux, parcourent chacune dans une courbe de rayon ρ des chemins inégaux sur les rails; il y a donc à chaque instant frottement de glissement, en avant, pour la roue extérieure, en arrière, pour la roue intérieure : le travail dû à ce frottement est proportionnel à la largeur de la voie, que nous appellerons $2a$, et en raison inverse du rayon de la courbe; en admettant pour le coefficient de frottement 0,16, ce travail évalué pour les quatre roues aura pour expression

$$0{,}16\ (P+p)\ \frac{a}{\rho};$$

2° Les essieux sont parallèles entre eux; il en résulte qu'ils ne peuvent pas être exactement normaux à la courbe et que les roues tendent à marcher non pas suivant la tangente, mais suivant une corde; il faut donc à chaque instant qu'elles soient ramenées vers le centre de la courbe; il en résulte un nouveau glissement parallèlement au rayon. Le frottement occasionné par ce glissement normal, combiné avec le précédent, donne lieu à une résistance proportionnelle à la projection horizontale de la distance du centre de figure du wagon au point de contact de la roue avec le rail et en raison inverse du rayon de la courbe : en appelant b le demi-écartement des essieux, on aura pour expression du travail dû à la fixité des roues sur les essieux et au parallélisme des essieux

$$0{,}16(P+p)\ \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\rho};$$

3° L'action de la force centrifuge tend à presser le boudin des roues contre le rail extérieur avec une intensité proportionnelle au carré de la vitesse, et en raison inverse du rayon; il en résulte un nouveau travail résistant, dont l'expression sera en appelant h la saillie des boudins sur les bandages et f' le coefficient de frottement

$$f'\left(\frac{P+p}{g}\right)\frac{V^2}{\rho}\ \frac{\sqrt{Dh+h^2}}{\frac{1}{2}D};$$

En définitive, on aura pour le travail T, par wagon et par unité de longueur parcourue, évalué en kilogrammètres, ou pour l'effort de traction, évalué en kilogrammes, l'expression

$$T = 0{,}05\ \frac{Pd}{D} + (P+p)\left[0{,}001 + tg\alpha + \frac{0{,}16\sqrt{a^2+b^2}}{\rho} + f'\frac{V^2}{\rho g}\ \frac{\sqrt{Dh+h^2}}{\frac{1}{2}D}\right] + 0{,}005064AV^2$$

ou en introduisant les valeurs données précédemment, prenant $P+p$ pour P dans le premier terme, et réduisant

$$T = (P+p)\left[0{,}00475 + tg\alpha + \frac{1}{\rho}\left(0{,}16\sqrt{a^2+b^2} + \frac{2f'V^2}{g}\sqrt{h+h^2}\right)\right] + 0{,}005064AV^2$$

Cette formule appelle l'attention sur plusieurs points importants.

Il y a intérêt à diminuer le poids du matériel roulant; nous avons déjà dit dans quelles limites cela se peut faire; il est avantageux de diminuer la vitesse, et les trains de marchandises doivent marcher aussi lentement que le comportent les exigences du service.

Le passage dans les courbes donne lieu à une augmentation de travail d'autant plus sensible que le rayon des courbes est plus petit et la vitesse plus grande. L'usure réciproque des bandages et des rails est encore un des graves inconvénients des petites courbes en exploitation.

Sur les lignes de premier ordre, en France, le rayon des courbes est ordinairement de 800 à 1000 mètres; sur les lignes secondaires on l'abaisse à 300 mètres; sur les lignes allemandes exploitées avec le matériel Américain, ce rayon a été réduit à 180 mètres, mais la vitesse ne dépasse pas 30 kilomètres.

On intercale ordinairement un alignement droit de 100 mètres entre deux courbes consécutives lorsque leurs courbures sont dirigées en sens contraires.

On sait que dans la pratique les résistances dues aux courbes sont diminuées par la forme conique des bandages, par le jeu laissé entre les plaques de garde et les boîtes à graisses, par la flexibilité des menotes, interposées entre les extrémités des ressorts de suspension et les châssis, par le relèvement du rail extérieur. On a vu aussi précédemment que lorsque le rayon est très-petit, on facilite encore le passage en augmentant légèrement l'écartement des rails.

Quelque minutieuse que soit une analyse comme la précédente, les praticiens ne sauraient s'en contenter. On a essayé de la contrôler et de la compléter par l'expérience. Les essais de MM. Gouin et Lechatelier ont montré que la résistance totale était de

3 à 4k,5 par tonne brute aux vitesses de 25 à 40k par h.
4,5 à 8,5. . . . . Id. . . . . 40 à 60 —
12 à 15. . . . . Id. . . . . 60 à 100 —

M. C. Polonceau avait commencé une série très-intéressante d'expériences pour mettre en évidence l'influence de tous les éléments qui peuvent agir sur la traction; sa mort en a malheureusement interrompu le cours. Nous empruntons à l'exposé qui en a été donné par M. Perdonnet, les résultats suivants, en faisant observer qu'ils s'appliquent seulement à des vitesses de 15 à 35 kilomètres, et à des trains de marchandises ou mixtes pesant de 166 à 347 tonnes.

1° L'effort de traction par tonne brute remorquée en palier et en alignement a été de 3k,20;

2° Il y a augmentation d'effort de 0k,90 par chaque millimètre de rampe en plus de 0 à 0m,046; c'est-à-dire, que pour une rampe de 0,016 l'effort est de $3^k{,}20 + 16 \times 0{,}90 = 17^k{,}60$;

3° Par chaque 100 mètres de diminution dans le rayon des courbes, de 1500 à 300 mètres, il y a un accroissement d'effort qui varie régulièrement de 0k,05, accroissement entre 1500 et 1400 mètres, à 0k,60, accroissement entre 400 et 300 mètres; au delà de 1500 mètres l'influence de la courbure est insensible.

M. Wyndham Harding a publié une formule assez simple et dont on fait fréquemment usage : Π étant le poids du train en tonnes, l'effort de traction T' par tonne brute remorquée sera donné par l'expression suivante:

$$T' = 2{,}72 + 0{,}094\,V + 0{,}00484\ \frac{AV^2}{\Pi} + 1000\,tg\alpha.$$

CHEMINS DE FER.

dans laquelle le premier terme représente les frottements des wagons; le second la résistance due aux inégalités de la voie; le troisième, l'effet du milieu atmosphérique; le quatrième, celui de l'inclinaison; les notations conservent leur signification précédente.

Nous venons de calculer les résistances dues au mouvement des wagons; pour achever de poser l'équation du travail de la locomotion, il faut considérer le moteur et ajouter les résistances qui lui sont propres à celles du convoi remorqué. On exprimera ensuite que le travail résistant est égal au travail moteur produit par la vapeur sur les pistons. Ces résistances comprennent celles de la machine considérée comme véhicule, le frottement des pièces du mécanisme, et le frottement additionnel dû à l'action de la vapeur sur les tiroirs et les pistons.

Les résistances de la machine considérée comme véhicule peuvent être calculées par les méthodes indiquées ci-dessus, pour les wagons.

Les résistances du mécanisme ne peuvent être évaluées que par l'expérience; cette recherche, ainsi que celle du travail moteur, appartient à la théorie des locomotives que nous n'avons pas à exposer ici : nous nous contenterons de rappeler les règles pratiques données par M. Lechatelier, d'où l'on peut déduire les dimensions et les éléments principaux des machines.

Les dimensions des cylindres doivent être telles que l'effort moyen de traction exercé au pourtour des roues motrices soit égal à la résistance totale qu'éprouve le train, machine et tender compris.

Cette résistance peut être calculée au moyen de la formule empirique de Harding, dans laquelle on fera entrer le poids du moteur et de son tender : on ajoutera 25 ou 20 p. 100 à la valeur trouvée, suivant qu'on s'occupera d'un train de voyageurs ou de marchandises, afin de tenir compte des résistances additionnelles dues au frottement du mécanisme et à l'action des roues motrices.

D'un autre côté, soient :

q la pression moyenne utile de la vapeur par centimètre carré ($4^k,64$ pour une chaudière timbrée à sept atmosphères);

δ le diamètre des pistons en centimètres;

l leur course en centimètres;

Δ le diamètre des roues motrices également en centimètres;

Π' le poids total du convoi, machine et tender compris.

L'effort moyen utile exercé par la vapeur sur le pourtour des roues motrices sera

$$\frac{q\,\delta^2\,l}{\Delta} = 1{,}20\,T'\,\Pi;$$

de cette formule on tirera $\delta^2 l$; en multipliant par 4π, on aura le volume de vapeur à la pression q dépensé à chaque tour des roues motrices.

Pour éviter de fatiguer le mécanisme par une trop grande rapidité d'oscillations, le nombre de tours des roues motrices ne doit pas dépasser 3 par seconde : on aura donc le volume de vapeur à dépenser par seconde pour obtenir une vitesse déterminée : on en déduira la surface de chauffe nécessaire pour engendrer ce volume, les dimensions des foyers et chaudières, la consommation de combustible, etc.

Enfin, il faut encore que le poids servant à l'adhérence, supporté par les roues motrices, soit suffisant pour entraîner le convoi; soit Π'' ce poids, soit β le coefficient d'adhérence, il faut qu'on ait

$$\beta\Pi'' = 1{,}20\,T'\Pi'.$$

On admet généralement que $\beta = 1/6$; donc, en multipliant par 6 l'effort de traction calculé précédemment, on aura la charge que doivent porter les roues motrices; si cette charge est comprise entre 12 et 20 tonnes on couplera deux paires de roues; si elle dépasse 20 tonnes, on couplera trois paires de roues.

Pour les vitesses de 25 kilomètres et au-dessus, on fait souvent usage, pour calculer l'effort de traction, de la formule empirique très simple

$$T' = \frac{1}{5}\,V.$$

Comparaison des tracés. — On comprendra facilement maintenant comment on peut établir une comparaison entre divers tracés : les éléments de cette comparaison sont les suivants :

1° *Les dépenses d'établissement;* on pourra être conduit à préférer un tracé avec fortes rampes et courbes de petit rayon à un tracé moins incliné, par une grande diminution des dépenses de construction en faveur du premier : les fortes rampes réduiront la longueur totale du trajet; les petites courbes contourneront les obstacles et feront éviter de grands ouvrages d'art;

2° *Les recettes;* d'après le système des tarifs, elles sont proportionnelles à la distance; cette considération serait tout en faveur du tracé le moins incliné et le plus long, s'il ne fallait faire entrer en balance les frais d'exploitation, l'amortissement du capital de construction, et l'obstacle qu'apporte au développement du trafic toute augmentation dans les dépenses de transport;

3° *L'effort de traction* à développer sur chacun des tracés; pour le déterminer, on se rendra compte de la composition et du poids d'un train, machine et tender compris, et on calculera l'effort de traction d'après les données précédentes. On cherchera ensuite, parmi les nombreux types connus, une machine capable de produire cet effort, présentant une surface de chauffe assez grande pour le maintenir aux vitesses exigées par le service et un poids d'adhérence suffisant pour que la résistance au glissement au point de contact des roues motrices avec les rails ne permette pas le patinage;

4° *L'importance des transports* à effectuer : connaissant la recette kilométrique prévue par les études préliminaires sur le commerce local, on peut apprécier d'après les données statistiques : 1° le produit moyen de l'unité de transport, c'est-à-dire d'un voyageur ou d'une tonne de marchandise, transportés à 1 kilomètre; c'est $6^c,4$ pour un voyageur, et 7^c pour une tonne; soit en moyenne 6^c7, en supposant le nombre des voyageurs égal au nombre des tonnes transportées; 2° le nombre des unités kilométriques correspondant à la recette kilométrique; 3° le poids brut correspondant à l'unité kilométrique, soit 633 kil. pour un voyageur, et 2050 kil. pour une tonne de marchandises, en moyenne, d'après l'hypothèse précédente 1344 kil.; 4° le poids brut total transporté correspondant au revenu kilométrique; 5° le nombre des trains nécessaires pour desservir ce trafic.

Il faut dans cette appréciation tenir compte du mouvement probable dans chaque sens.

6° *Les dépenses d'exploitation;* elles présentent des éléments variables avec le tracé, suivant qu'il est en plaine ou en montagne, et d'autres indépendants de ces considérations; parmi les premiers figurent la consommation du combustible, l'entretien et le graissage des machines, l'usure des freins, le personnel pour les manœuvrer, l'entretien et la surveillance de la voie, les machines de renfort; une part de l'intérêt du capital résultant de la différence de vitesse et de la différence de longueur des parcours comparés : parmi les seconds, on compte les frais d'administration centrale, de mouvement, le personnel des mécaniciens et chauffeurs, et des dépôts, en dehors des renforts, l'entretien et le graissage des voitures, et les frais de traction autres que ceux énoncés ci-dessus.

On trouve dans les tableaux précédents, qui accom-

pagnent les considérations relatives au trafic, et dans ceux qui suivent, à l'article des frais de premier établissement, d'administration et d'exploitation, des indications qui donnent le moyen de se faire une idée des éléments de comparaison dans les cas ordinaires que nous venons d'énumérer.

Ces éléments étant déterminés avec le degré de certitude que comporte ce genre d'appréciations, on mettra en regard pour chaque tracé : d'une part, *l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement, et les dépenses d'exploitation;* d'autre part, *la recette totale* proportionnelle à la longueur kilométrique ; la différence donnera le *produit net* et permettra de distinguer le tracé le plus avantageux, à ce point de vue.

Une partie des éléments qui entrent dans le prix de revient kilométrique sont fixes et sensiblement indépendants du trafic; si le trafic augmente, la part de ces frais généraux devient de plus en plus faible, le prix de revient total diminue, et le produit net augmente d'autant ; les avantages d'un tracé accidenté et peu coûteux, mais d'une exploitation onéreuse, iront donc en diminuant à mesure qu'on se trouvera en présence d'un trafic plus considérable; il pourra être sage, si l'on prévoit un développement suffisant des transactions, d'accepter hardiment un tracé rendu très-dispendieux par de longs tunnels, par de grands ouvrages d'art, mais d'une exploitation plus facile. On devra, d'après cette observation, se montrer beaucoup moins exigeant pour le tracé des embranchements que pour celui des lignes principales.

De la répartition des rampes sur un tracé.—Ce sujet donne lieu à quelques observations très-importantes.

Les pentes variées, même faibles, sont peu favorables au bon emploi des locomotives; car si les pentes et les rampes ne se succèdent pas de manière que les secondes puissent être remontées avec la vitesse acquise sur les premières, on ne peut remorquer que la charge compatible avec la rampe maximum.

On a proposé autrefois un système de répartition basé sur ce principe, c'est-à-dire, offrant une combinaison telle que les convois lancés sur les pentes franchissent les rampes avec leur vitesse acquise; cette manœuvre serait très-fatigante pour le matériel, de plus le moindre obstacle rencontré sur une rampe empêcherait de parvenir au sommet.

Si l'on est obligé d'adopter des pentes variées, il faut les concentrer sur une section déterminée du tracé, entre deux dépôts; on affecte à cette section des moteurs spéciaux ; ou bien on s'arrange de manière que l'effort varie du simple au double, et la traction s'opère en double attelage, c'est-à-dire par deux machines.

Il faut tenir compte du sens dans lequel se présentent les charges maximum; il est avantageux que l'effort soit le même dans les deux sens, eu égard à la différence des chargements en remonte et en descente.

Une station n'est pas convenablement placée au pied d'une forte rampe; les trains montants abordant la rampe sans vitesse acquise éprouvent de la difficulté à se mettre en marche; l'action des freins sur les trains descendants est très-nuisible au matériel roulant et à la voie. Si au contraire la station est au sommet de la rampe, cela peut donner lieu à certains accidents; les wagons en stationnement sur les voies de garage peuvent être chassés par le vent et s'échapper sur la rampe à la rencontre des trains; on se prémunit au moyen de taquets d'arrêts, placés sur les voies de garage, mais on peut oublier de les fermer.

Les rampes sont plus nuisibles dans les souterrains; l'humidité qui règne sous leurs voûtes rend le patinage plus fréquent et plus dangereux.

Les fortes pentes ne sont pas aussi dangereuses à

la descente qu'on pourrait se le figurer ; avec la vapeur renversée, on peut arrêter les trains sur les pentes de 0m,040; à la vitesse de 70 à 80 kilomètres, la résistance de l'air devient suffisante pour que les convois livrés à eux-mêmes ne dépassent plus cette vitesse.

Il ne faut pas se dissimuler d'ailleurs que l'emploi des fortes rampes constitue une lourde charge et une grande difficulté pour l'exploitation, surtout quand elles coïncident avec des courbes de petit rayon. Ces difficultés sont plus graves pour le service des marchandises que pour celui des voyageurs. On ne saurait poser de limite précise; il y a vingt ans, on ne croyait pas pouvoir dépasser 0m,005; chaque jour apporte un progrès qui recule cette limite; on ne doit accepter qu'à la dernière extrémité des rampes de 0,025; cependant on exploite sur des rampes de 0m,035, et même de 0,056.

Le tableau suivant donnera une idée de la répartition moyenne des pentes et des courbes sur nos diverses lignes à la fin de 1862 :

DÉSIGNATION.	PROPORTION POUR 100 en moyenne. Ancien réseau.	Nouveau réseau.	Ensemble.
PLAN.			
Alignements	65.6	64.3	64.9
Courbes de 500m de rayon et au-dessus	33.9	33.3	33.3
Courbes de moins de 500m de rayon	0.5	3.8	1.8
Total	100.0	100.0	100.0
PROFIL.			
Paliers	23.4	21.2	22.6
Pentes de 0m,005 et au-dessous.	63.5	45.5	57.1
— de plus de 0m,005	13.1	33.2	20.3
Total	100.0	100.0	100.0

Les maximum de déclivité sont de 0m,022 pour le réseau de Lyon, et même de 0m,0265 sur l'embranchement de la Joliette, à Marseille; de 0m,0179 sur l'Ouest, qui comprend aussi la rampe de Saint-Germain de 0,035; de 0m,016 sur Orléans ; de 0m,045 sur le Midi; de 0m,012 sur l'Est; et de 0m,0075 sur le Nord.

Ce qui précède suffit pour faire apprécier comment on peut arriver à une détermination motivée dans le choix à faire entre plusieurs tracés et entre plusieurs systèmes de traction. Quelques exemples montreront comment le problème a été résolu dans des circonstances très-diverses et souvent difficiles.

Exemples de quelques systèmes de traction. — Les compagnies ont donc pu admettre des modes d'exploitation très-variés suivant le profil du chemin, le climat et la nature du trafic.

1° *Sur le chemin de fer d'Orléans*, les règles suivies pour déterminer la charge normale des machines sont déduites de nombreuses expériences dynamométriques et de formules dans lesquelles entrent les divers éléments énumérés ci-dessus. Pour chaque type de machine, des courbes font connaître la charge correspondante aux diverses inclinaisons et aux vitesses comprises entre 15 et 30 kilom.; d'autres courbes donnent une autre valeur de la charge en raison de l'adhérence, en admettant que par un beau temps cette charge est 1/10 du poids total.

Sur la ligne de Montluçon à Moulins, la plus accidentée du réseau, qui présente des inclinaisons de 0m,010 à 0,015 et des courbes nombreuses dont le

CHEMINS DE FER.

rayon minimum est de 300 mètres; la traction est faite par des machines appartenant à deux types différents, à tenders isolés, ayant les unes trois, les autres quatre essieux couplés; leur vitesse normale est de 20 kilom., et sur rampe, de 15; elles présentent les conditions d'établissement suivantes :

DÉSIGNATION.	MACHINES à 3 essieux couplés.	MACHINES à 4 essieux couplés.
Diamètre des cylindres.....	0m,450	0m,500
Course des pistons.....	0m,650	0m,650
Diamètre des roues.....	1m,160	1m,160
Surface de chauffe.....	140m,486	206m,837
Poids en service de la machine..	36t,3	44t,2
— — du tender.....	18t,0	18t,0
Poids remorqué.....	216t	254t

2° *Sur le chemin de fer de Lyon*, les vitesses et les charges sont réglées d'après les principes suivants : l'inclinaison étant variable dans une même section, pour utiliser le travail des machines d'une manière aussi constante que possible, on admet que la vitesse doit varier en raison inverse de l'inclinaison des rampes. En tenant compte d'ailleurs des courbes, on suppose pour chaque section un profil fictif d'inclinaison uniforme; quand la section comprend des rampes très-différentes, on la divise en plusieurs parties, et l'on modifie la composition des trains de l'une à l'autre, ou bien on admet une charge constante minimum. Ainsi entre Rive-de-Gier et Saint-Étienne, on a formé deux sections; la traction est faite par des machines du type Grand-Central à trois essieux couplés pesant 37 tonnes, avec tender isolé pesant 20 tonnes; ces machines remorquent sur la première section inclinée à 0m,0125, 220 tonnes, et sur la seconde inclinée à 0,022, 122 tonnes, c'est-à-dire à peu près la moitié. En hiver, les charges sont réduites de 20 p. 100.

Sur cette ligne la traction se faisait autrefois d'une façon très-désavantageuse, au moyen de chevaux; M. Verpilleux réussit à exécuter ce service avec des locomotives, malgré les difficultés du tracé et la faiblesse des rails; son système consistait à placer sous le tender une paire de cylindres, avec un mécanisme complet, agissant sur les roues et utilisant son adhérence; un tuyau flexible amenait la vapeur à ces cylindres.

Les deux types de machines du Grand-Central sont aussi employés pour remorquer des trains de 107 tonnes et 148 tonnes, à la vitesse de 15 kilom., sur la ligne de Dôle à Neufchatel, qui présente une rampe de 0,020 sur 18 kilom., entre Mouchard et Pontarlier et une autre de 0,016 à 0,020 sur 25 kilom., entre Auvernier et Boveresse.

3° *Sur le réseau de l'Est*, les sections sont partagées en quatre classes. On emploie pour les fortes rampes les machines du Creusot à trois essieux couplés pesant 32 tonnes, qui peuvent remorquer 280 tonnes, et le type Engerth modifié, à 4 essieux couplés et tender isolé, pesant 45 tonnes.

4° *Le chemin de fer de Turin à Gênes* a été terminé en 1853, dans des conditions exceptionnelles. Le passage des Apennins présente, entre Busalla et Ponte-Decimo, un tunnel de 3,300 mètres de long, en pente de 0,0287, auquel succèdent une pente de 0,035 sur 2500 mètres de longueur, et deux pentes, l'une de 0,0281, et l'autre de 0m,0208; le rayon des courbes atteint 400 mètres; ces obstacles sont accumulés sur une distance de 9k,400, qui rachète une hauteur de 271 mètres. La traction est faite au moyen de machines tenders accouplées dos à dos, pesant garnies 27 tonnes chacune. Elles remorquent des trains de 70 à 90 tonnes; elles ont deux essieux couplés et 72m.c,15 de surface de chauffe; elles brûlent 38k,29 de coke par kilomètre parcouru, et le coke, à Gênes, coûte 75 fr. la tonne. Voici comment M. Couche formulait, en 1858, le résultat probable de ce mode de traction :

La dépense kilométrique de la voie deux ou trois fois plus grande que sur des rampes modérées ne dépassant pas 0,010;

Les dépenses d'entretien des machines, non compris le renouvellement, environ triplées, si on les rapporte au kilomètre de train, et dès lors presque décuplées, si on les rapporte à la tonne remorquée, le poids des trains étant réduit de plus des deux tiers quand on passe de l'inclinaison 0,040 à 0,030;

Une consommation de combustible que la seule participation du moteur grève d'un excédant de 60 p. 100, en admettant qu'elle soit simplement proportionnelle au poids brut élevé. Le moteur représente, en effet, 70 p. 100 du poids remorqué au lieu de 12 p. 100 sur une rampe de 0,010; mais la part spécifique du moteur est en réalité bien plus grande par suite des résistances qui lui sont propres.

5° Vers la même époque, *le passage du Semmering*, sur la ligne de Vienne à Trieste, appelait l'attention des ingénieurs sur les nouvelles machines dues à M. Engerth. Sur une distance de 41 kilomètres, entre Gloggnitz et Murzzuschlag, ce tracé présente des inclinaisons variables qui atteignent, sur d'assez grandes longueurs, de 0m,020 à 0m,038, et des courbes dont le rayon descend à 190 mètres. M. Engerth s'était proposé d'obtenir un générateur d'une grande puissance, qui devait par suite avoir une grande longueur, installé sur un véhicule se prêtant par sa flexibilité, au parcours des courbes, et en même temps, de faire servir à l'adhérence le poids entier des machines et de leurs tenders. On a été obligé de renoncer aux engrenages par le moyen desquels il établissait la solidarité nécessaire entre les roues motrices et les roues du tender, mais ses machines modifiées en couplant 4 essieux très-rapprochés n'en ont pas moins constitué un nouveau type de machines à marchandises d'une très-grande puissance. Les nouvelles locomotives du Semmering, pesant 66 tonnes, en utilisent 46 pour l'adhérence; à la vitesse de 15 kilomètres, elles remorquent des trains de voyageurs de 15 wagons ou 175 tonnes de marchandises : cette charge peut être réduite à 25 p. 100 par le mauvais temps. Les trains arrivant de Vienne comptent environ 350 tonnes brutes et sont généralement divisés en deux pour franchir la montagne. La dépense de traction qui était de 2 fr. 85 c. par kilomètre en 1860, était descendue à 2 fr. 16 c., en 1863; elle était en moyenne de 1 fr. 89 sur les autres sections de la ligne. La dépense d'entretien de la voie était de 10,719 fr. au Semmering, au lieu de 4,000 fr. sur les autres sections.

6° C'est aussi en 1854, que M. Elliet, ingénieur de *la ligne de Richmond à l'Ohio* (*Virginie*), a livré à la circulation le passage connu sous le nom de Blue-ridge top track, qui n'a pas encore été surpassé, à notre connaissance, comme hardiesse de tracé. Ce passage présente sur la longueur de 3,428 mètres de son versant Ouest une pente moyenne de 0m,0422, atteignant le maximum de 0,0533, et des courbes de 90 mètres de rayon; du côté de l'Est, sur une longueur de 4,215 mètres, la pente moyenne est de 0m,049, et la pente maximum de 0m,056; il y a une courbe de 71m,37 de rayon. Les locomotives, construites par M. Baldwin, de Philadelphie, sont montées sur six roues couplées, de 1m,067 de diamètre; les essieux extrêmes sont écartés de 2m,85. La machine pèse garnie 25 tonnes. Elle remorque un poids brut de 40

à 43 tonnes, à la vitesse de 12 kilom. en montant, et de 9 à 10 en descendant.

7° Depuis lors d'autres solutions ont été produites. M. Beugniot a construit pour le passage des Apennins, entre Bologne et Pistoia, des machines qu'il appelle *locomotives de montagne*, et qui présentent des innovations très-remarquables. Elles sont à huit roues couplées; cependant elles passent dans les courbes de 100 mètres de rayon; elles peuvent remorquer 160 t. à la vitesse de 16 kilom. sur une rampe de 0,025 et 675 tonnes sur une rampe de 0,005. Nous ne saurions en donner la description sans sortir de notre cadre. Nous devons de même nous borner à citer les deux nouveaux types du Nord, parmi les appareils appelés à réaliser les plus grands avantages sous le rapport de l'économie et de la puissance : l'une de ces machines, modifiée par M. Beugniot, a circulé sur une rampe de 0,025, en courbe de 80 mètres, en remorquant un train.

8° Citons encore un exemple tout récent; il est bien propre à montrer que du moment que l'on admet la nécessité d'une double traction, il convient d'adopter la rampe qui l'utilise le plus complétement et que, dans les parties accidentées, le tracé doit être établi en vue du moteur à employer.

Le chemin de fer de Roanne à Lyon par Tarrare remonte la vallée de Rhin avec des pentes de 0 à 13 millimètres. Après la station de Tarrare, des pentes de 0,016 et 0,018 deviennent nécessaires pour atteindre le tunnel de Sauvages, dont la longueur serait de 5 kilomètres. Le profil du côté de Lyon présente une succession de pentes analogue.

On prévoit que les trains seront organisés sur cette ligne de façon qu'une machine sera suffisamment forte pour gravir des rampes de 13 millimètres et atteindre Tarrare. Mais à partir de là, pour ne pas diviser les trains, on prendra une machine de renfort. Dans ces conditions, on peut se demander à quelle rampe limite il faut s'arrêter avant d'entrer en souterrain, de manière à avoir un tunnel minimum.

Sur une rampe de $0^m,013$ une machine à trois essieux couplés, pesant avec son tender 50 tonnes et ayant 33 tonnes de poids adhérent, peut remorquer 200 tonnes à la vitesse de 35 kilomètres à l'heure. En effet, en employant la formule $T' = \frac{1}{5} V + 1000 \operatorname{tg} \alpha$, on aura $(200+50)(13+7) = 5000$ soit environ $\frac{1}{7}$ du poids adhérent. Si on emploie une seconde machine sur la rampe x, la formule devient $300(x+7) = 10000$, d'où $x = 26$. Il est donc rationnel d'établir le tracé en rampe de $0^m,026$ à partir de Tarrare; cela réduit le tunnel de 5 kilomètres à 3; on économise près de 4 millions et le travail est abrégé de trois ans.

9° Enfin on trouvera plus loin l'indication de quelques-uns des systèmes proposés ou essayés pour résoudre le problème des courbes et des rampes, par divers inventeurs, systèmes dont quelques-uns ont reçu la sanction de l'expérience et peuvent être admis dans des circonstances exceptionnelles.

Nous avons tenu dans ce paragraphe à nous borner aux systèmes les plus usuels.

5° *Considérations financières.*

L'étude des questions financières qui se rattachent aux entreprises de chemins de fer nous conduirait à des développements disproportionnés avec l'espace dont nous pouvons disposer ici; nous devons renoncer à les exposer à un autre point de vue que celui des dépenses de premier établissement; il est inutile de faire ressortir les liens intimes de ce sujet avec celui que nous venons de parcourir dans le paragraphe précédent, et l'utilité des éclaircissements qui suivent pour apprécier les éléments de la comparaison entre divers tracés.

Frais de premier établissement, par kilomètre. — Une bonne classification des dépenses est le premier point de départ de toute estimation des frais de premier établissement.

Les détails suivants empruntés pour la plupart aux documents statistiques publiés en 1856 par l'administration Française, et complétés par quelques renseignements plus récents donneront une idée de l'importance relative des diverses natures de dépense.

On se rappellera que ces renseignements se rapportent à des moyennes kilométriques, et que les chiffres indiqués ne sauraient avoir une valeur absolue.

1° *Frais généraux.* — Ils comprennent les frais d'étude; les frais d'administration avant la concession, qui s'élèvent très-haut dans certains pays, en Angleterre, par exemple; les dépenses de l'administration centrale en personnel, matériel, publicité, voyages, etc.; les appointements des ingénieurs et de leurs agents, et leurs frais divers; les frais judiciaires, secours et indemnités, service médical, etc. Ils représentent de 3 à 7 p. 100 de la dépense totale.

Les frais d'étude proprement dits coûtent pour un avant-projet de 100 à 200 fr.; les études définitives de 1,400 à 2,400 fr. par kilomètre.

On comprend aussi d'ordinaire parmi les frais généraux l'intérêt des actions et obligations payé sur le capital pendant la construction, et les intérêts pour versements anticipés, en déduisant les intérêts perçus sur le placement des fonds. Cette dépense dépasse rarement 5 p. 100 du capital.

2° *Acquisition des terrains.* — Les 4,063 kilomètres exploités en 1853 occupaient, pour deux voies, en moyenne $3^h,4$ par kilomètre, entre les limites de $1^h.6$ et $5^h.2$ (Paris à Lyon), savoir :

Voie ou largeur en couronne.	$0^h.9$	26 p. 100.
Stations, ateliers, cours, voies d'évitement.	0 .3	9 —
Talus, fossés, banquettes, perrés.	1 .7	50 —
Déviations de chemins et cours d'eau, hors clôtures.	0 .4	12 —
Terrains pouvant être revendus.	0 .1	3 —
Totaux. . .	3 .4	100

Ainsi de toute la superficie occupée par les chemins de fer 0,15 étaient en dehors des clôtures, et 0,85 seulement étaient réellement utilisés par la voie et les gares.

Bien que les stations n'entrent que pour 0,09 dans la superficie totale, leur part dans la dépense d'acquisition des terrains est bien plus considérable, surtout pour les gares principales, situées au milieu des grandes villes. Voici quelques renseignements sur les terrains des stations :

Nord.	Gare de voyageurs, à Paris.	7^h 90	$41^h.90$
	Ateliers de La Chapelle. . .	$14^h.00$	
	Gare de marchandises. . . .	20. 80	
Est.	Gare des voyageurs, à Paris.	5. 60	$40^h.10$
	Ateliers de La Villette . . .	14. 50	
	Gare des marchand. et voies.	20. 00	
Ouest	Gare des voyageurs à Paris.	12, 50	$45^h.29$
	Ateliers de Batignolles . . .	12, 68	
	Gares à marchandises. . . .	28, 71	

Grandes gares intermédiaires	8 à 12^h
Stations d'embranchement	6 à 7
— de banlieue.	0,10 à 0,40
Gares intermédiaires 1re classe. . .	3 à 6.5
— 2e —	2,5
— 3e —	1.5 à 2
— 4e —	0,5 à 1

En France, dans des conditions moyennes, la dépense d'acquisition des terrains est de 30,000 fr. par kilomètre, à raison de 9,000 environ par hectare : mais

cette dépense est susceptible de variations énormes, comme le montrent les exemples suivants :

Nord	par kil.	47,000f
Est	—	54,000
Paris au Havre	—	72,000
— à Lyon	—	80,000
— à Orléans	—	69,000
— à Saint-Germain	—	406,000
— à Versailles, rive droite	—	83,000
— à Versailles, rive gauche	—	177,000
— à Vincennes	—	225,000
Andrézieux à Roanne	—	18,000

L'hectare s'est payé 830,000 fr. à Paris, 91,000 fr. à La Chapelle, 190,000 fr. à La Villette.

Ce genre de dépenses n'est pas moins variable d'un pays à l'autre : en Angleterre, l'hectare se paie moyennement de 15 à 20,000 fr.; en Allemagne ce prix serait exceptionnel et la moyenne varie de 2 à 4,000 fr. ; en Amérique les terrains sont très-souvent cédés gratuitement.

Les acquisitions de terrain sont l'élément de la dépense le plus incertain et le plus difficile à évaluer d'avance. On pourrait en citer de nombreuses preuves. Le terrain occupé à la barrière du Maine par l'ancienne gare de Versailles (rive gauche) avait été évalué 177,000 fr., il a été porté par le jury à 3,016,000 fr.; les projets du gouvernement avaient estimé à 1,500,000 fr. les frais de même nature entre Paris et Orléans ; ils se sont élevés à 8,491,000 fr.

Les prétentions des propriétaires et la faiblesse des jurys sont arrivés à un tel degré, qu'elles créent un véritable obstacle à l'extension du réseau. Il ne paraît pas exister d'autre moyen de revenir à une application raisonnable de la loi d'expropriation, que de mettre à la charge des départements et des communes intéressés le surplus des indemnités allouées par le jury, au delà d'une certaine somme réglée par une estimation préalable, faite de concert entre les représentants des localités et l'administration.

La crainte de faire peser directement sur leurs concitoyens des charges exagérées encouragerait probablement les membres des jurys d'expropriation à montrer plus de réserve et d'équité.

3° *Terrassements.* — Dans des conditions moyennes, pour deux voies, la dépense est de 67,424 fr. par kilomètre, y compris les travaux de consolidation : elle a varié de 35,082 fr. (3e section de Paris à Strasbourg) à 106,601 fr. (Tours à Nantes). On peut citer encore les renseignements suivants :

DÉSIGNATION DES LIGNES.	DÉPENSE par kilomètre.	PRIX du mètre cube transports compris.	NOMBRE de mètres cubes par mètre courant.	OBSERVATIONS.
	fr.	fr.	mèt. cub.	
Chemins belges	9,000	0 76	12.60	»
Saint-Quentin	32,000	1 39	23.00	»
Rouen	30,000	1 60	25.50	»
Tours à Poitiers	99,000	2 05	»	Distance 4000 mètres.
Quelques chemins anglais	130,000	2 61	»	Rochers.
Paris à Mulhouse	40,000	»	»	»
Paris à Orléans	»	1 50	33.00	»
Nimes à Montpellier	»	1 45	»	»
Versailles (Rive gauche)	»	»	72.00	»
La Loupe au Mans et à la limite de la Mayenne	47,830	1 19	38.73	*Annales des Ponts et Chaussées.*
Saint-Germain-des-Fossés à Roanne	109,000	2 10	52.00	
Poitiers à La Rochelle	59,067	1 93	30.64	
Tours au Mans	51,330	1 37	37.34	
Nantes à Saint-Nazaire	69,416	2 28	30.48	
Savenay à Lorient	63,502	1 92	31.23	Rapport de M. Morandière.
Lorient à Châteaulin	75,726	2 06	36.00	
Auray à Napoléonville (une voie)	37,661	2 01	17.79	

La difficulté d'une reconnaissance exacte du terrain dans les tranchées profondes jette un peu d'incertitude sur les évaluations des terrassements.

Pour une ligne à une voie, on peut diminuer de 1/5 la dépense des terrassemens.

4° *Ouvrages d'art courants.* — Dans des conditions moyennes la dépense est de 21,966 fr., variant de 12,691 fr. (3e section de Paris à Strasbourg), à 28,881 fr. (Centre). Cette dépense entrerait environ pour 25 p. 100, dans l'ensemble des frais relatifs aux terrassements et ouvrages d'art.

5° *Ouvrages exceptionnels.* — On comprend sous cette dénomination les grands ponts, ayant plus de 20 mètres de distance entre les culées, dont le prix par mètre courant peut varier de 1,000 à 10,000 fr.; les viaducs sous rails d'une hauteur moyenne de 10 mètres au moins, dont le prix par mètre courant peut s'élever de 4,000 à 5,000 fr.; les souterrains dont le prix par mètre courant peut varier de 400 à 2,300 fr. Ici les chances d'erreurs dans les évaluations proviennent de la difficulté de se rendre parfaitement compte à l'avance des travaux de fondation et du renchérissement qui peut survenir dans la main-d'œuvre locale, par suite d'une demande inaccoutumée; ce renchérissement varie de 10 à 20 p. 100.

Ce genre de dépenses n'est pas susceptible d'une répartition kilométrique; il forme une catégorie à part; on ne peut établir ses appréciations que par une étude détaillée de chaque ouvrage. On trouvera toutefois dans le tableau de la page suivante quelques exemples qui pourront servir de terme de comparaison.

Des documents officiels, publiés récemment sur les conditions techniques d'établissement du réseau Français, nous permettent d'ajouter les renseignements suivants; ils se rapportent à la situation au 31 Décembre 1862 et à un développement de 11099 kilomètres exploités.

PASSAGES pour ROUTES ET CHEMINS.	NOMBRE total.	NOMBRE par kilomètre.	Proportion p. 100.
Passages sous rails	5,089	0,46	35
— à niveau	6,971	0,63	48
— sur rails	2,391	0,21	17
Ensemble	14,451	1,30	100

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DÉSIGNATION DES LIGNES.	LONGUEUR des ouvrages.	DÉPENSE D'ÉTABLISSEMENT totale.	DÉPENSE D'ÉTABLISSEMENT par mètre courant	OBSERVATIONS.
1° *Ponts de plus de 20m de longueur entre les culées.*		mètres.	francs.	francs.	
Bouchemaine.....	Angers à Nantes ...	155	780,000	5,032	Sur le Maine.
Sur le Cher.....	Tours. Bordeaux...	162	380,000	2,340	
Roanne.....	Bourbonnais.....	217	1,108,103	5,106	Sur la Loire; maçonnerie,
Nevers.....	Id.	324	1,560,892	4,853	Id. 8 arches en fonte.
Le Plessis-lez-Tours.	Tours au Mans	402	1,478,000	3,677	Id. maçonnerie.
Le Mée.....	Paris à Lyon.....	130	1,276,500	9,819	Sur la Seine; 3 arc. en fonte de 40m d'ouverture,
Bercy.....	Ceinture.....	188	2,236,905	11,867	Id. maçonnerie; voie de fer et de terre.
Asnières.....	Paris.Saint-Germain.	160	1,247,378	7,766	Id. tôle; quatre voies.
Kehl.....	Est.....	233	7,528,000	32,376	Sur le Rhin; métallique; 2 ponts tournants.
Tarascon.....	Tarascon à Nîmes...	490	6,397,348	13,056	Sur le Rhône, 7 arches en fonte.
Barbentane.....	Avignon. Marseille..	490	3,632,823	7,414	Sur la Durance; 21 arches en maçonnerie de 21 m. d'ouv.
Bordeaux.....	Midi.....	500	2,828,200	5,656	Sur la Garonne; tôle et fer; fondations par air comprimé.
Langon.....	Id.....	207	1,302,000	6,720	Id. tôle.
Moissac.....	Id.....	307	2,572,250	8,384	Sur le Tarn; tôle.
527 grands ponts...	Diverses.....	41,597	151,425,119	3,640	Documents officiels publiés en 1865.

2° *Viaducs de plus de 20m de hauteur moyenne.*					Hauteur maxima.	Superficie en élévation.	Prix par mètre carré en élévation.	
Fribourg.....	Lausanne à Berne..	396	2,400,000	6,060	76	20513	117f	Piles et tablier métalliq.
Gouët.....	Rennes à Brest.....	228	1,453,500	»	57	»	»	Maçonnerie,
Morlaix.....	Id.	284	»	»	60	»	117	Id.
Busseau d'Ahun....	Montluçon. Limoges.	339	»	4,291	56.50	11914	122	Piles et tablier métalliq.
La Cère.....	Id.	208	773,000	2,506	55.30	10039	77	Id. (1 voie).
Foller et Bersac....	Vierzon. Limoges...	180	1,321,119	7,323	50.95	6451	205	Maçonnerie.
Chaumont.....	Paris. Mulhouse....	606	5,800,878	6,668	50	21983	245	Id.
Musinens.....	Lyon. Genève.....	158	462,500	2,934	50	3700	125	Id.
Fleury et Velars....	Paris. Lyon.....	220	996,450	4,530	44	7920	126	Id.
Coye.....	Nord.....	330,80	900,000	2,721	40	9778	92	Id.
Boussagues.....	Graissessac.....	711	785,000	1,104	37	14220	57	Id.
Barentin.....	Rouen. Havre.....	478	2,151,000	4,500	32.85	10669	»	Id.
Lusignan.....	Poitiers. La Rochelle.	435	1,034,500	2,379	31.58	10880	95	Id.
Nogent-sur-Marne..	Paris. Mulhouse....	595	2,347,500	4,935	»	11428	205	Id.
Rives.....	Dauphiné..... ..	277	1,000,000	3,614	41.50	8597	116	Id.
151 viadues.....	Diverses.....	29,419	79,194,889	2,692	»	»	158	Id.

3° *Tunnels.*					
					Documents officiels publiés en 1865.
La Nerthe.....	Avignon. Marseille..	4,638	10,499,311	2,263	
Blaisy.....	Paris. Lyon.....	4,100	7,910,000	1,929	
Le Credo.....	Lyon. Genève.....	3,949	6,463,404	1,640	
Rilly.....	Épernay. Rheims...	3,450	2,534,617	735	
Hebertot.....	Honfleur	2,900	2,769,078	955	
Marnay.....	Paris. Mulhouse....	200	617,724	3,089	
Surjoux.....	Lyon. Genève.....	152	427,151	2,810	Argiles et sables verts.
Chalifert.....	Paris. Strasbourg...	168	408,032	2,422	Marnes aquifères.
Souterrains de moins de 500m.....	Diverses.....	5,661	7,245,403	1,280	Enquête de 1856.
Souterrains de 500 à 1000m.....	Id.	3,404	4,630,903	1,375	Id.
Souterrains de plus de 1000m.....	Id.	20,280	32,511,544	1,557	Id.
306 souterrains....	Id.	147,372	202,061,045	1,371	Documents officiels publiés en 1865.

La longueur moyenne d'un grand pont est de 79 mètres; le prix moyen par mètre courant est de 3,640 fr.; l'ouverture moyenne d'une arche est d'environ 14 mètres correspondant à une dépense de 50,746 fr., et de 440 fr. par mètre superficiel de voie. Sur les 527 grands ponts mentionnés ci-dessus, 339 sont en maçonnerie, 122 en métal, 19 en bois, 17 d'un système mixte.

L'espacement moyen des passages pour routes et chemins est de 768 mètres.

Les diverses catégories d'ouvrages d'art donnent les résultats généraux qui suivent :

INDICATION DES OUVRAGES.	NOMBRE total.	NOMBRE par kilomètre.	LONGUEUR Ensemble entre les culées.	LONGUEUR par kilomètre.
1° *Ponts et viaducs sous rails*				
Ponceaux et aqueducs de moins de 5m d'ouverture..	15642	1.40	mètres. 25861	mètres. 2.33
Ponts de 5m à 20m entre les culées.....	1803	0.16	15500	1.39
Ponts de plus de 20m entre les culées.....	627	0.05	41597	3.75
Ensemble.....	17972	1.62	82959	4.47
2° *Viaducs*				
De plus de 10m de hauteur moyenne.....	151	0.01	29419	2.65
3° *Souterrains*.....	306	0.03	147372	13.28
Ensemble des grands travaux d'art.....	984	0.09	218887	19.68

La longueur moyenne d'un grand viaduc est de 494 mètres; la dépense est de 2,692 fr. par mètre courant, et de 458 fr. par mètre superficiel d'élévation.

La longueur moyenne d'un souterrain est de 482m, et la dépense de 1,371 fr. par mètre linéaire.

Nous citerons encore quelques renseignements empruntés à une récente publication de M. Morandière, relative au chemin de fer de Nantes à Brest; ils donneront une idée des dépenses de divers ouvrages courants. Le prix du mètre cube de maçonnerie était, en moyenne, dans les divers cas énumérés ci-dessous, d'environ 31 fr. Les ouvrages sont exécutés pour deux voies.

6° *Clôtures et passages à niveau.* — En principe, nos chemins de fer doivent être entièrement clos; la nécessité de cette mesure n'est pas partout également démontrée, et l'administration pourrait tolérer des exceptions, dans les montagnes, par exemple. Ces clôtures sont faites dans les pays d'herbages en barrières à trois lisses qui coûtent 0 fr. 45 c. le mètre courant, et habituellement, en treillages qui coûtent 0 fr. 75 c.; en dedans de ces défenses on plante des haies destinées à les remplacer plus tard; ces haies coûtent 0 fr. 80 le mètre courant, y compris leur entretien pendant dix ans.

INDICATION DES OUVRAGES.	OUVERTURE	HAUTEUR sous clef.	LONGUEUR moyenne entre les têtes.	DÉPENSES par OUVRAGE.
1° *Ouvrages en maçonnerie.*	mètres.	mètres.	mètres.	francs.
Pont par dessous.....	10.00	5.87	8.20	38,746
—	4.00	4.76	13.72	15,378
Ponceaux divers.....	2.60	2.71	13.29	7,503
Aqueducs divers.....	1.00	2.51	15.75	5,879
—	1.00	1.80	16.67	3,530
—	0.60	0.78	14.69	1,438
Ponts par dessus.....	16.00	5.45	4.64	12,504
—	9.70	5.30	4.50	12,121
2° *Ouvrages à poutres métalliques.*				
Ponts par dessous.....	9.80	4.40	8.10	27,359
—	4.00	4.30	8.10	13,815
—	3.00	3.12	8.10	8,023
Ponts divers par dessous.....	20.00	4.85	5.30	23,328
—	16.00	4.96	4.40	16,247
—	10.70	5.00	4.60	20,402

On peut évaluer les dépenses de clôtures, maisons de garde et passages à niveau, de la manière suivante, par kilomètre :

Clôtures,	2,300m par kilom. à 1f80 le mètre.	4140f	50,7 %
Maisons de garde,	0,64 à 5,000f l'une..	3200	39,2
Passages à niveau,	0,68 à 1,200f l'un...	816	10,1
	Totaux.....	8156	100,0

7° *Bâtiments, gares et stations, ateliers et remises.* — Ces dépenses sont au nombre de celles sur lesquelles on peut réaliser les économies les plus notables sur les lignes secondaires, où il n'y a pas de stations exceptionnelles à construire. On compte en moyenne en France 0,14 stations par kilomètre, ce qui correspond à un espacement moyen de 7 kilomètres, variant de 3 kil. (Paris à Saint Germain), à 10 kil. (Dieppe). Sur 100 stations, 21 sont pourvues de dépôts et 40 de moyens d'alimentation.

Les stations se répartissent en classes, d'après leur importance, approximativement, de la manière suivante :

DÉSIGNATION.	HORS CLASSE.	1re CLASSE.	2e CLASSE.	3e CLASSE.	TOUTE CLASSE.
Nombre des stations (1862).....	9	186	366	987	1548
Proportion 0/0 sur le nombre total des stations....	0,6	12.0	23.6	63.8	100
Dépense moyenne sur l'ensemble d'une station....	5,000,000f	400,000f	190,000f	40,000f	»
— maximum —	»	900,000f	200,000f	60,000f	»
— minimum —	»	200,000f	80,000f	10,000f	»
Par kilomètre, proportion 0/0 sur la dépense (1853).	»	0,50	0,14	0,41	1,00
— dépense effective.....	»	6,000f	1,500f	4,400	11,000f

On a considéré, dans ce tableau, comme stations de première classe, celles dont la recette est supérieure à 500,000 fr., et comme stations de seconde classe, celles dont la recette est comprise entre 500,000 et 400,000 fr.

8° *Mobilier des gares et stations.* — Ces dépenses comprennent le mobilier des salles d'attente et bureaux, les appareils d'éclairage, de chauffage, d'horlogerie, de pesage, de levage, etc., et l'outillage des ateliers et dépôts. En laissant de côté comme précédemment les stations hors classe, on peut admettre une dépense moyenne de 2,700 fr. pour les lignes à deux voies, et 2,400 fr. pour les lignes à une voie, comprise entre les limites de 1500 à 3,800 fr. Le mobilier des gares et stations forme environ 0,35 de cette dépense.

9° *Voie.* — Les frais d'établissement de la voie sont de ceux qu'il est possible d'évaluer avec le plus de certitude. Pour les lignes à deux voies, on peut admettre le chiffre moyen de 115,000 fr., variant entre 80,000 et 120,000 fr.; cette dépense varie avec le volume et le prix des éléments de la voie; ces prix sont très-changeant, ainsi que le montrent les renseignements suivants :

Rails.

1838.	Saint-Etienne.	50f les 100 kil.
1838.	Saint-Germain	42 —
1840.	Nord..	40 —
1846.	Est.	35 —
1852.	Metz à Thionville.	25 —
1857.	Mulhouse.	27 à 29 —
1864.	Ouest.	18 —

Coussinets.

1838.	Saint-Germain	35f les 100 kil.
1852.	Est.	16 —
1854.	*Id.*.	20 —
1857.	Tours au Mans..	24 —
1856.	Nantes à S.-Nazaire. . . .	22f,40 —
1864.	Ouest	14f,50 à 16 —

Traverses.

1856.	Metz à Sarrebruck.	75f le m. cube.
1852.	Thionville..	44 —
1858.	*Id.*	55 —
1854.	Paris.	75 —
Id.	Vesoul..	55 —
1856.	Poitiers à La Rochelle. . . .	6 fr. la pièce.

Ballast.

	Saint-Germain.	2f le m. cube.
	Poitiers à La Rochelle.	2,82 —
	Nantes à Saint-Nazaire	3,34 —
	Savenay à Lorient.	4,87 —
	Lille à la frontière	10 —

On compte 0m,50 de ballast en plus par mètre courant, pour compenser le tassement et le relèvement des voies pendant les deux premières années d'exploitation.

Chevillettes.

1856.	Poitiers à La Rochelle. . . .	45f les 100 kil.
	Nantes à Saint-Nazaire. . . .	

Coins en bois.

1856.	Poitiers à La Rochelle . . .	0f,425 la pièce.
	Nantes à St.-Nazaire	0,440 —

Éclisses.

1857.	Tours au Mans.	38f les 100 kil.
	Nantes à Saint-Nazaire. . .	37 —

Boulons d'éclisses.

1857.	Tours au Mans..	66f,50 —
	Nantes à Saint-Nazaire.. . .	

Sabotage.

1856	Poitiers à La Rochelle. . . .	0f,15 le mètre.
1857.	Tours au Mans.	

CHEMINS DE FER.

Pose, compris transports et accessoires.

1856.	Poitiers à la Rochelle. . . .	4f,00 le mètre.
1857.	Tours au Mans	3,45 —
	Nantes à Saint-Nazaire . . .	5,61 —

Le mètre courant de voie, y compris le ballastage.

1856.	Poitiers à la Rochelle. . . .	42f,60 le mètre.
1857.	Tours au Mans.	43,50 —
	Nantes à Saint-Nazaire. . . .	48,21 —

Dans la dépense totale, le ballast entre pour 14 à 20 p. 100; la pose pour 4 à 9 p. 100; les fournitures pour 74 à 82 p. 100.

On a tenu compte dans ces évaluations du développement des voies auxiliaires, qui peut atteindre environ 33 p. 100 du développement total. Dans les gares principales, ces voies offrent une longueur considérable; ainsi, au chemin de fer de l'Est, on compte :

A la gare de Paris	2,000m		
Id. de La Villette (marchandises).	12,000		49,400m
Aux ateliers *id.*	4,000		
Au dépôt *id.*	4,400		
A la gare de Nancy.		3,851	
— de Strasbourg		6,882	
— de Metz		4,600	

Pour un chemin à simple voie, les dépenses peuvent être réduites à 62,700 fr. en moyenne.

Voici, du reste, à l'appui de ce qui précède, le décompte d'un mètre linéaire de voie en rails Vignole de 6 mètres de longueur, pesant 36 kil. le mètre linéaire, sur la ligne de Savenay à Lorient :

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	QUANTITÉ.	PRIX élémentaire.	DÉPENSE.
UNE TRAVÉE DE 6 MÈTRES.:	kil.	fr.	fr.
2 rails pesant chacun 216 kil.	432,00	274,90	118,76
2 paires d'éclisses pesant ensemble.	20,00	335,40	6,71
8 boulons d'éclisse de 0k,70 chacun.	5,60	404,20	2,26
2 selles de joint de 3k,20 chacune.	6,40	340,20	2,18
82 crampons de 0k,48 chacun.	12,80	386,60	4,95
7 traverses cubant moyennement 0m,09.	7,00	6,43	45,01
Sabotage.	7,00	0,15	1,05
Ensemble pour une travée de 6 mètres.			180,92
Soit pour un mètre linéaire.			30,15
Pose des voies, transport, entretien, accessoires.			2,42
Ensemble.			32,57
Ballastage 2m,38 à 4f,87.			11,58
Total.			44,15
Changements et croisements, plaques tournantes.			2,78
Total.			46,93

10° *Accessoires de la voie.* — Ces dépenses sont ordinairement comprises entre 5,000 et 7,000 fr.; en général, elles s'élèvent à 5,700 fr. : dans ce chiffre, les plaques tournantes entrent pour 57 p. 100, les changements de voie pour 29 p. 100; les signaux fixes et l'outillage de la voie, pour 14 p. 100. Ensemble elles montent à 5 p. 100 environ des frais d'établissement de la voie.

11° *Alimentation des machines.* — Ces frais d'établissement sont très-variables; la somme de 4,000 fr.

peut être considérée comme une moyenne suffisante dans les conditions ordinaires.

12° *Télégraphie électrique.* — Un poste télégraphique vaut, tout installé, environ 720 fr.; les poteaux coûtent 150 fr. par kilomètre, et un fil avec ses accessoires 100 fr.

L'ensemble de ces dépenses peut être évalué à 470 fr. par kilomètre, en admettant que la Compagnie pose les poteaux et les fils, et à 100 fr. par chaque fil en sus du premier.

13° *Matériel roulant.* — Connaissant le nombre total des trains simples à faire circuler dans une année, on le multiplie par le nombre de kilomètres à parcourir; le produit est le nombre total de kilomètres parcourus par les machines. Or, les machines à voyageurs et les machines mixtes peuvent parcourir chacune, dans une année, de 24 à 29,000 kilomètres; les machines à marchandises de 30 à 38,000 kilomètres; les machines Crampton de 46 à 53,000 kil. On pourra donc calculer approximativement le nombre des locomotives nécessaires; et on y ajoutera les machines de gare et de réserve.

Les machines faisant environ 25,000 kilom. attelées aux trains, cela répond à 63 kil. en moyenne par jour; en service les machines font 200 kil.; il y aura donc en général deux machines au dépôt pour une sur la voie.

Le prix des locomotives a augmenté depuis quelques années avec leur poids; elles coûtaient, en 1846, 45 à 48,000 fr.; en 1854, 50 à 55,000 fr., et les machines Crampton 66,000 fr.; aujourd'hui on paie les locomotives à raison de 1,75 à 2 fr. le kilogramme, pour les types ordinaires, pesant de 26 à 30 tonnes; les tenders pesant environ 10 tonnes coûtent 0f,95 le kilogramme.

Pour déterminer le nombre des wagons, il faut chercher le parcours kilométrique annuel de l'ensemble des wagons, qui s'obtient en multipliant le parcours total des trains simples par le nombre de wagons qui composent un train moyen, et diviser ce produit par le parcours moyen annuel d'un wagon. La solution est susceptible de beaucoup moins de précision que pour les locomotives, surtout en ce qui concerne le service des marchandises. En moyenne, les wagons de voyageurs parcourent de 29 à 39,000 kil.; les wagons de 1er classe qui composent exclusivement les express, font plus de chemin que les autres; les fourgons à bagages parcourent 52 à 60,000 kilom.; les wagons à marchandises 15,000 à 28,000 kilom.; les wagons de terrassement et trucks offrent le parcours minimum.

Voici, du reste, le tableau de la composition actuelle du matériel de quelques grandes lignes :

NATURE DES VÉHICULES.		NORD.	EST.	OUEST.	MIDI.
Locomotives	à marchandises.....	265	264	»	111
	mixtes.....	»	193	»	123
	de gares.....	35	25	»	10
	à voyageurs.....	231	149	»	41
	Ensemble.....	531	631	481	285
Voitures des trains de voyageurs.	de luxe.....	7	11		23
	1re classe.....	227	259		118
	mixtes.....	61	112	1566	107
	2e classe.....	233	481		157
	3e classe.....	375	750		351
Fourgons, trucks, etc...		629	540	552	345
Wagons à marchandises, terrassements, etc.....		13239	11024	7955	8625

On a déjà donné plus haut la situation du matériel pour l'ensemble du réseau.

D'après les documents statistiques, la dépense du matériel roulant pourrait être estimée à 48,000 fr. par kilomètre pour les lignes à deux voies, et à 24,000 fr. pour les lignes à une voie. Les locomotives et tenders prennent 40 à 50 p. 100 de la dépense totale; les voitures à voyageurs 16 à 18 p. 100. Cette dépense est sensiblement proportionnelle à la fréquentation diurne en trains; elle est moyennement de 2,400 fr. par train journalier.

Voici enfin le prix de diverses natures de véhicules :

DÉSIGNATION.	Caisse et châssis.	Divers.	Totaux.
Voitures de 1re classe.....	8620f	»	
2 paires de roues de 815 kilog. à 0f,55	»	896.50	
4 boîtes à huile à 25 fr.....	»	100.00	10102
4 ressorts de suspension à 65 kil.	»	»	
2 — de traction à 80 kil..	»	»	
Ensemble 420 kil. à 0f,95	»	400.00	
3 appareils d'éclairage à 28f,50.	»	85.50	
Voitures de 2e classe.....	6180	1500	7680
Voitures de 3e classe.....	3730	1500	5230
Fourgons à bagage.....	2650	»	
Frein.....	»	500	4550
Roues, etc....	»	1400	
Wagons à bestiaux.....	1650	»	
Ressorts.....	»	200	
Roues, etc....	»	930	3100
Bénéfice.....	»	320	
Wagons à houille.....	1300	»	
Roues, ressorts.	»	1130	2700
Bénéfice, etc..	»	270	
Wagons plats, maringotes....	1100	»	
Roues, ressorts.	»	1130	2450
Bénéfice, etc..	»	220	

Résumé. — Daprès les documents statistiques, on pouvait admettre, en 1856, pour les chemins de fer établis dans des conditions ordinaires, les bases suivantes d'estimation par kilomètre :

INDICATION des DÉPENSES.	LIGNES à une voie.		LIGNES à deux voies.	
	DÉPENSE.	Proportion p. %	DÉPENSE.	Proportion p. %
Frais généraux.....	11,399	5.0	16,486	5,0
Acquisition de terrains.	30,718	13,5	30,718	9,3
Terrassements et ouvrages d'art.....	75,905	33,3	89,390	27,1
Voie de fer et accessoires.....	65,850	28.9	120,700	36,6
Gares et dépendances.	10,000	4,4	14,000	4,2
Dépenses diverses....	10,103	4,4	10,418	3,2
Matériel roulant.....	24,000	10,5	48,000	14,6
Totaux....	227,975	100.0	329,712	100.0

CHEMINS DE FER.

Les lignes principales de France avaient coûté par kilomètre.	463,000f
En 1863, on comptait que la dépense pour l'ensemble du réseau (20,392 kil. coûtant 8,750,000,000), serait de . .	428,000
En Angleterre, on compte	530,000
En Belgique (chemins de l'État)	270,000
En Allemagne.	204,000
Aux États-Unis	96,500

On doit remarquer que les estimations des dépenses peuvent être faites aujourd'hui avec beaucoup plus de précision qu'autrefois; par suite de l'expérience acquise et de la multiplicité des termes de comparaison, on n'est plus exposé aux mêmes déceptions.

VII. EXÉCUTION, ORGANISATION, EXPLOITATION, SÉCURITÉ.

1° *Systèmes d'exécution des chemins de fer.*

Les chemins de fer peuvent être exécutés par l'état ou par des compagnies. Le premier système tend de plus en plus à disparaître; le second est appliqué, dans son acception la plus large en Angleterre et aux États-Unis; les compagnies, concessionnaires à perpétuité, jouissent dans ces deux pays de la plus entière liberté sous tous les rapports. Les inconvénients du monopole sont balancés par la concurrence des lignes rivales. Entre les deux extrêmes, il est des termes moyens, et si la force naturelle des choses conduit à recourir aux compagnies, lors même que les résultats financiers d'une entreprise s'annoncent sous un aspect peu favorable, l'état peut stimuler l'intérêt privé en venant à son aide de diverses manières; soit en souscrivant une partie du capital comme actionnaire, soit par des subventions en argent, en travaux, en terrains (États-Unis), soit par une garantie d'intérêt, disposition qui paraît aujourd'hui généralement préférée. En compensation, et indépendamment de la surveillance que lui impose son rôle de gardien de la sécurité et des grands intérêts publics, l'état se réserve un droit de contrôle et d'intervention permanente, afin de veiller à la tenue régulière des comptes de dépenses et de recettes, dans lesquels il est partie intéressée, et d'obvier, s'il est besoin, aux abus du monopole.

Ce n'est pas ici le lieu d'énumérer les raisons nombreuses qui font donner la préférence aux compagnies; la tâche du gouvernement est assez compliquée; l'exploitation des chemins de fer, en le mettant aux prises, sur tous les points et à chaque instant, avec tous les intérêts, la rendrait singulièrement plus lourde. Sans insister davantage, nous nous bornerons à indiquer la situation présente des compagnies en France.

Les concessions françaises sont concentrées entre les mains de six compagnies principales, concessionnaires pour 99 ans : chaque groupe est divisé en deux réseaux, l'ancien et le nouveau, savoir :

DÉSIGNATION des COMPAGNIES.	ANCIEN RÉSEAU. Exploité.	ANCIEN RÉSEAU. Concédé.	NOUVEAU RÉSEAU. Exploité.	NOUVEAU RÉSEAU. Concédé.	ENSEMBLE. Exploité.	ENSEMBLE. Concédé.	RECETTES par kilomètre. Ancien réseau.	RECETTES par kilomètre. Nouveau réseau.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	francs.	francs.
Nord	1053	1096	122	513	1175	1609	67591	20878
Est	977	979	1577	2108	2494	3087	51278	24370
Ouest	900	900	782	1608	1682	2508	58534	13599
Orléans	1762	1765	1137	2446	2899	4211	43034	16124
Lyon	2008	2605	1198	3174	3206	5779	71962	30449
Midi	797	797	514	1382	1311	2179	38766	9203
Divers	258	»	»	»	258	1007	»	»
Totaux	7755	8142	5270	11231	13025	20380	55788	20868
Reste à ouvrir au 1er janvier 1865					7355		42380	

	PAR L'ÉTAT.	PAR LES COMPAGNIES.	ENSEMBLE.
Sur les 13,025 kilomètres exploités au 1er janvier 1865, il avait été dépensé	970,000,000f	5,530,000,000f	6,500,000,000f
Sur les 7,355 kilomètres restant à ouvrir, il restait à dépenser	470,790,000	2,130,000,000	2,600,790,000
Soit en totalité	1,440,790,000	7,660,000,000	9,100,790,000
Soit par kilomètre	70,700	357,800	446,500

Les relations de l'état et des compagnies sont réglées par les lois de concession de chacune d'elles, par les cahiers des charges annexés et par les conventions en date des 11 juin 1859 et 11 juin 1863. Entre autres clauses, dans ces actes sont stipulés le droit de rachat des concessions par l'état après quinze ans d'exploitation; les causes qui pourraient motiver la déchéance des compagnies; les tarifs, et les conditions de leur application; les servitudes imposées aux compagnies pour les transports militaires, de la poste, les frais de contrôle, etc.; la classification des lignes appartenant à l'ancien et au nouveau réseau; le mode de payement des subventions; la garantie pendant cinquante ans de l'intérêt et de l'amortissement à 4 p. 100, soit ensemble 4,655, du capital affecté à la construction du nouveau réseau, capital limité pour chaque groupe à des sommes déterminées, dont l'ensemble pour toutes les compagnies s'élève à 4,038,500,000 francs, représentant une annuité de 188,000,000 francs; pour l'application de cette garantie, il est établi deux comptes distincts du produit net, l'un pour l'ancien, l'autre pour le nouveau réseau; à partir d'un instant convenu

CHEMINS DE FER.

(1er janvier 1865, excepté pour l'Est 1864), toute la portion des produits nets de l'ancien réseau qui excèdera un revenu net déterminé, soit, par exemple, 29,000 fr. par kilomètre, sera appliquée concurremment avec les produits nets du nouveau réseau à couvrir l'intérêt et l'amortissement garantis par l'état, et lorsque celui-ci aura payé tout ou partie d'une annuité garantie, il en sera remboursé, à toute époque, avec les intérêts à 4 p. 100, dès que les produits nets additionnés, comme ci-dessus, dépasseront l'intérêt et l'amortissement garantis : enfin, il est stipulé qu'à partir du 1er janvier 1872, lorsque l'ensemble des produits nets de l'ancien et du nouveau réseau excédera la somme nécessaire pour représenter à la fois 6 p. 100 du capital dépensé pour la construction du nouveau réseau et 8 p. 100 du capital de l'ancien, le surplus sera partagé par moitié entre l'état et les compagnies.

On estime à environ 80,000,000 de fr. la somme que l'état devra payer en garantie d'intérêts, au moins pendant les premières années d'exploitation du nouveau réseau, quand il sera terminé. Pour 1866, on l'évalue à 31 millions.

2° *Organisation administrative et exploitation.*

Les compagnies de chemins de fer sont constituées en sociétés anonymes, administrées par des conseils irresponsables. Une assemblée générale annuelle des actionnaires nomme le conseil d'administration, et après avoir entendu le rapport du conseil et celui de la commission de comptabilité, discute, et approuve ou rejette les propositions et les comptes qui lui sont présentés.

L'exploitation est dirigée par un comité ou par un directeur unique, nommés et contrôlés par le conseil d'administration. Au-dessous de la direction se placent les trois chefs des services de l'exploitation, du matériel et de la voie.

Exploitation. — Le service de l'exploitation se divise en deux parties principales, service central et service actif. Le *service central* comprend à son tour les divisions suivantes, avec les attributions spéciales indiquées à la suite de chaque désignation :

1° *Service commercial* : l'étude et la mise à exécution de toutes les mesures intéressant le développement du trafic; relations avec le public, études relatives aux tarifs, traités de correspondance et de réexpéditions, abonnements, services internationaux; omnibus, factage, camionnage, bureaux de ville, douanes;

2° *Mouvement* : organisation du service des trains de voyageurs et de marchandises; utilisation des trains de marchandises au point de vue de la composition et de la charge utile; répartition du matériel roulant; vérification des séjours des wagons, accélération du service des trains dans les gares; établissement des comptes de parcours; exécution des mesures relatives à la sécurité des trains; personnel des trains, contrôleurs de routes; approvisionnements des stations en objets de toute nature, éclairage, chauffage, mobilier, habillement, inventaires, télégraphie;

3° *Secrétariat de l'exploitation et dépenses* : réception et dépouillement de la correspondance et des rapports journaliers; répartition des affaires aux différents services; correspondance avec les administrations publiques; expédition des ordres et règlements sur la ligne; dossiers du personnel; comptabilité des dépenses de l'exploitation; paiement; budgets;

4° *Comptabilité et contrôle des recettes* : réception et classement des billets de voyageurs et des pièces comptables envoyées chaque jour par les gares; vérification des taxes; contrôle de la perception et du versement des recettes; établissement du crédit et du débit des gares; comptes courants avec les autres compagnies et avec les administrations publiques; impôt du dixième; détaxes; statistique des transports et résumé des produits de l'exploitation; répartition des produits entre l'ancien et le nouveau réseau; vérification des opérations des gares par les inspecteurs de comptabilité attachés au service central qui se rendent à l'improviste sur les divers points du réseau;

5° *Réclamations et litiges* : colis égarés, objets trouvés, etc.

Le *service actif* est dirigé par un certain nombre d'inspecteurs principaux, à chacun desquels est affectée une portion du réseau; ils ont pour attributions spéciales, d'assurer la bonne marche des trains et la bonne répartition du matériel; de faire les propositions et de prendre les mesures relatives au choix, à la discipline et au payement du personnel des gares; de transmettre au directeur les rapports journaliers des chefs de gare avec leurs observations; de surveiller et de contrôler les services de factage, de camionnage, de correspondance; d'assurer la bonne manutention des marchandises, la régularité des expéditions, le règlement de certaines réclamations, l'accord des écritures des gares avec celles du service central; enfin, de développer le trafic par leurs relations avec le commerce et par leurs études constantes. Les inspecteurs principaux ont autorité sur tous les agents de leur inspection, en résidence ou de passage, chefs et sous-chefs de gare, conducteurs et garde-freins, surveillants, facteurs enregistrants, receveurs, hommes d'équipe, etc.

Matériel et traction. — Le service du matériel comprend tout ce qui est relatif à la traction et à l'entretien du matériel roulant; sous les ordres de l'ingénieur chef de ce service se trouvent placés les directeurs d'ateliers, leurs contre-maîtres et ouvriers de toute catégorie; les bureaux d'études; les chefs et sous-chefs de dépôt, mécaniciens, chauffeurs, visiteurs, graisseurs et hommes d'équipe.

Voie et surveillance. — Le service de la voie est chargé de tout ce qui concerne le matériel fixe; l'ingénieur chef de ce service dirige les chefs et sous-chefs de section chargés de l'entretien courant, les conducteurs de travaux, gardes-magasins, piqueurs, gardes-lignes, gardes-barrières, surveillants de nuit, poseurs, etc.

Enfin, au centre administratif, se trouvent encore le service de la *comptabilité générale,* comprenant la caisse et les titres, et le service du *secrétariat général,* auquel sont adjoints le *contentieux* et l'*économat général.*

Personnel. — D'après les documents statistiques publiés en 1856, le personnel des chemins de fer français était en moyenne de 7,9 personnes par kilomètre; ce nombre variait suivant la fréquentation diurne qui était de 18,1 trains pour l'ensemble du réseau; il était compris entre les limites de 4,1 (Montereau à Troyes; 8,3 trains par jour) et 8,6 (Nord, 22,4) en laissant de côté les lignes de banlieue.

La répartition proportionnelle était la suivante :

1° d'après la nature du service :

Administration 2 pour 100, variant de 7 (Montereau Troyes), à 1 (Nord, Lyon); *Exploitation* 37, variant de 42 (Montereau Troyes), à 31 (Est); *Traction* 31, variant de 39 (Montereau Troyes), à 28 (Lyon); *Voie* 30, variant de 35 (Est), à 26 (Orléans).

2° Suivant le montant des rétributions annuelles :

Agents supérieurs 2,3 recevant en moyenne 10,000f
Employés, mécaniciens, etc., 21,6 — 1,600
Ouvriers, manœuvres, etc., 76,1 — 740

Il y avait en moyenne 2 agents de la voie par kilomètre pour l'entretien et la surveillance; 16,4 employés par gare; 1,6 mécanicien et chauffeur par locomotive; le parcours moyen des mécaniciens était de 28,896 kilomètres par an, et celui des agents des trains de 75,000 kilomètres.

Il faut remarquer que si une proportion notable des agents inférieurs touche des appointements faibles, beaucoup d'entre eux jouissent en compensation de nombreux avantages gratuits; habillement, logement, circulation, service médical et médicaments; en outre des institutions de prévoyance ont été organisées pour assurer aux employés une retraite, pour leur fournir à des prix très-bas tous les objets nécessaires à la vie; il ne nous appartient pas de décrire, ni d'apprécier ici les diverses combinaisons adoptées sur les différentes lignes; nous nous permettrons seulement de rappeler entre autres les mesures qui avaient été prises par M. C. Polonceau, au chemin de fer d'Orléans, et qui fonctionnent encore au grand avantage du personnel. La même compagnie prélève annuellement sur son produit net une part qui s'élève en 1864 à plus de 2 millions pour être distribuée entre tous ses employés et les intéresser à la prospérité de l'entreprise.

Organisation et marche des trains. — Quelque compliquée que paraisse au premier abord l'organisation du service et de la marche des trains, on s'en rend parfaitement compte au moyen d'un tableau graphique, dans lequel les temps sont comptés comme abscisses et les distances comme ordonnées de lignes qui figurent la marche de chaque train; d'après cette convention, les inclinaisons de ces lignes sont proportionnelles aux vitesses; les arrêts sont indiqués par des lignes horizontales; en regard de l'axe des ordonnées est placé un profil en long de la ligne avec indication des pentes et rampes, stations, embranchements, etc.; au moyen de ce tableau, on peut tracer avec la plus grande facilité la marche d'un train spécial au milieu du réseau en apparence fort enchevêtré des trains ordinaires et facultatifs; ce tableau est entre les mains de tous les agents de l'exploitation et en cas de retard, la marche du train est modifiée de manière à prévoir tous les obstacles.

De la vitesse. — La vitesse des trains express est réglée sur nos principales lignes de la manière suivante :

DÉSIGNATION.	DISTANCES.	DURÉE du TRAJET.	PLEINE MARCHE. DURÉE.	PLEINE MARCHE. VITESSE.	VITESSE EFFECTIVE.	TEMPS PERDU.
	km.	h. m.	h. m.	k.	k.	h. m.
Paris à Bordeaux.....	581	11 35	9 30	61	50	2 25
Paris à Lyon.....	511	10 43	8 40			2 13
Lyon à Marseille.....	351	7 46	5 47	50 à 80	53	1 59
Paris à Calais.....	354	6 10	4 52	71 à 73	57	1 18
Paris à Strasbourg.....	502	10 40	8 48	58	49	2 52
Paris au Havre.....	228	6 5	4 33	51	38	1 32

Le temps perdu se décompose de la manière suivante:

1° Temps employé à imprimer au train la vitesse de pleine marche au départ de chaque station et à éteindre cette vitesse à chaque arrêt, 1' à 1' 1/2 pour chaque départ et chaque arrivée;

2° Remonte des rampes exceptionnelles, 30" ou 1' par kilomètre de rampe;

3° Ralentissement aux bifurcations et aiguilles en pointe, 1 à 2';

4° Arrêts aux stations, 1 à 30';

5° Contrôle à l'arrivée.

Les arrêts aux stations sont la principale cause de temps perdu; ces arrêts sont ordinairement imposés par le service de la poste ou par la nécessité de renouveler l'approvisionnement d'eau. On étudie divers moyens qui permettent de prendre et de déposer les paquets de dépêches sans arrêter les trains : on emploie sur le chemin de fer de Chester à Holyhead un système d'alimentation en pleine marche dont nous avons dit plus haut quelques mots.

Pour compenser les retards qui auraient pu se produire sur l'ensemble d'un trajet, on se réserve, autant que possible, avant l'arrivée, de grands espaces sans stations.

En Angleterre, on distingue les trains express dont la vitesse effective est d'environ 60 kilomètres, et les trains des malles qui parcourent de 60 à 71 kilomètres. Ces vitesses dépassent les nôtres, mais on les paye plus cher.

Les trains omnibus ont une vitesse moyenne de 30 kilomètres, qui varie en pleine marche de 40 à 50 kilomètres. Les arrêts aux stations, beaucoup plus multipliés, sont la principale cause de leur lenteur. Ainsi de Paris à Lyon, on compte 72 stations; le trajet dure 16h,40', et il y a 5h,33' de perte de temps.

La vitesse de marche des trains de marchandise est d'environ 25 kilomètres.

3° *De la sécurité.*

Les mesures à prendre pour éviter les accidents et assurer la marche des trains avec la sécurité la plus complète sont l'objet des préoccupations constantes des agents des chemins de fer. Ces accidents causent dans l'opinion publique une émotion bien légitime,

DÉSIGNATION.	Rapport au nombre de voyageurs transportés du nombre de voyageurs TUÉS.	Rapport au nombre de voyageurs transportés du nombre de voyageurs BLESSÉS.
Messageries impériales, anciennes diligences de 1846 à 1855...	1 / 355,463	1 / 29,871
Chemins de fer français, depuis l'origine jusqu'en 1855.....	1 / 1,955,555	1 / 496,551
En faisant abstraction des accidents exceptionnels (Rive gauche, 1842, 52 tués; Fampoux, 1842, 60 tués), dûs à l'inexpérience au début des chemins de fer.....	1 / 9,317,647	»
Chemins belges en 13 ans 1/2..	1 / 8,864,804	1 / 2,000,000
Chemins badois en 10 ans.....	1 / 17,514,977	1 / 1,154,231
Chemins prussiens.....	1 / 21,411,488	1 / 3,892,988

CHEMINS DE FER.

mais les préventions qu'ils ont motivées contre les chemins de fer sont très-exagérées, comme l'a démontré l'enquête exécutée en 1855 par M. Prosper Tourneux : on peut même affirmer qu'aucun autre système de transport n'est comparable aux chemins de fer sous le rapport de la sécurité. Les chiffres du tableau ci-contre prouvent suffisamment la vérité de cette assertion :

Les moyens de prévenir les accidents résident dans un choix attentif du personnel, dans le maintien d'une discipline sévère, d'un contrôle vigilant, d'une police et d'une surveillance active de nuit et de jour, dans la simplicité, la solidité et la bonne construction du matériel fixe et roulant, et particulièrement dans la bonne disposition des aiguilles, enfin dans l'emploi de signaux divers, ayant pour objet de faire correspondre entre eux à distance les agents des divers services, d'indiquer l'état de la voie, les obstacles qui doivent arrêter les trains, leur approche, etc. Ils se divisent en plusieurs catégories : signaux télégraphiques, signaux de la voie, signaux des trains.

1° *Télégraphie.* — La télégraphie électrique est le mode de correspondance le plus sûr, le plus rapide et le plus ordinaire. Elle est le complément indispensable de l'art d'exploiter les chemins de fer; ils se doivent l'un à l'autre leurs progrès les plus décisifs, mais la télégraphie électrique constitue à elle seule une spécialité dont il ne peut être question ici que pour mémoire. Rappelons seulement l'usage constant qu'on en fait pour la bonne répartition et l'utilisation du matériel roulant, de même que pour l'exploitation des chemins à voie unique, et l'application des appareils Tyer aux lignes des environs de Londres.

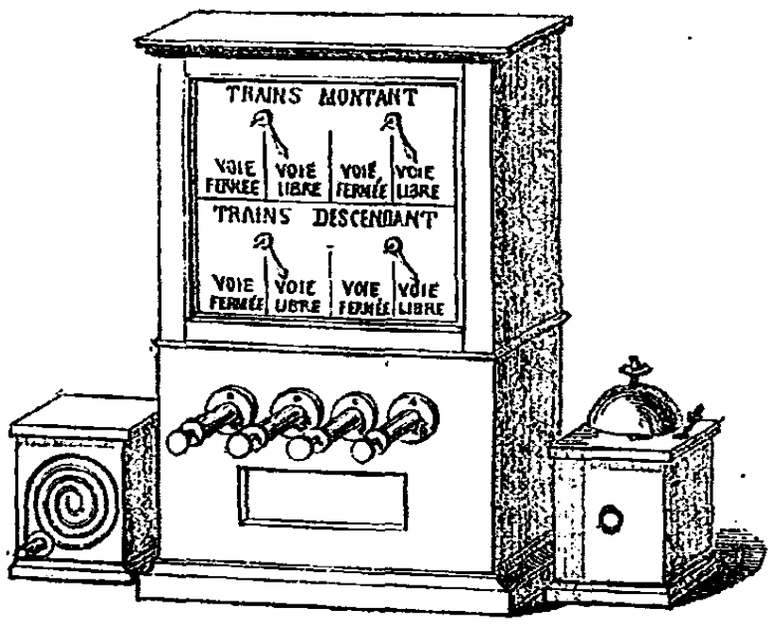


Fig. 50.

Pour obvier aux chances plus nombreuses et plus graves d'accidents que présentent la multiplicité des trains et leur grande vitesse, on partage la ligne en sections, limitées par des points plus ou moins suspects, tunnels, courbes, aiguilles ou passages à niveau; à chaque extrémité d'une section est établi un poste-signal, et aucun train n'est admis à circuler sur la section, si le poste suivant n'a fait le signal de voie libre. Ainsi de Londres à Rugby, sur une distance de 128 kilomètres, il passe 140 à 150 trains par jour dans les deux sens; il y a 42 sections de 2 à 4 kilomètres de longueur. Chaque poste communique avec ses deux voisins, de manière à pouvoir annoncer l'arrivée et le départ des trains. Tout signal reçu ne peut être changé que par le poste expéditeur. Le signal une fois fait reste en évidence jusqu'à l'expédition du signal suivant, et l'on peut s'y reporter à tout moment. Le tableau indicateur est divisé en deux parties, correspondant à chacune des voies : chaque partie est pourvue de deux aiguilles, l'une rouge et l'autre noire; l'aiguille noire indique le dernier signal reçu au poste, l'aiguille rouge le dernier signal expédié. Il n'y a que deux signaux employés, voie libre, voie fermée. A chaque instrument sont adjoints une sonnerie et un gong, correspondant l'un à la voie descendante, l'autre à la voie montante, manœuvrant en même temps que les aiguilles, et indiquant par le nombre de coups frappés la nature du train signalé, la réception des signaux ou l'arrêt. En cas d'accident, le circuit peut être interrompu à chaque poteau télégraphique par les agents des trains; les signaux ordinaires sont d'ailleurs établis à chaque poste.

Ce système est une extension de celui employé depuis longtemps, pour empêcher les trains de s'engager sur une voie déjà occupée dans l'étendue d'un tunnel.

2° *Signaux de la voie.* — Les signaux fixes protégent à distance des points déterminés de la voie, gares, embranchements, aiguilles, d'où on peut les manœuvrer. En France, ils sont ordinairement formés par un disque rouge d'un côté, blanc de l'autre, monté sur une colonne en bois ou en fer. Suivant que ce disque présente sa face rouge normalement aux rails, ou se place parallèlement à leur direction en décrivant un angle de 90°, il indique l'arrêt ou la voie libre. La nuit, une lanterne est hissée à la hauteur du disque.

On distingue ordinairement dans un disque-signal quatre parties principales (*fig.* 51) : le signal proprement dit, l'appareil de manœuvre, la transmission et le système de rappel du signal. Nous décrirons d'abord un des types les plus répandus (disque Bataille).

Le disque est fixé par son diamètre vertical sur un mât en fer traversant une colonne de fonte qui lui sert de support suivant son axe.

La lanterne est montée sur un châssis mobile glissant sur deux tringles verticales, et par ce moyen on peut la hisser ou l'amener pour la nettoyer. Il est très-important qu'elle soit indépendante du disque dont les secousses pourraient l'éteindre. Le feu est blanc; quand le signal est effacé, on le voit librement sur la ligne; quand au contraire le disque est tourné à l'arrêt, le feu ne s'aperçoit qu'à travers un verre rouge monté à cet effet sur un orifice ménagé dans la tôle. Il est essentiel qu'à la station l'on soit averti que le disque fonctionne bien; de jour on le voit généralement : pour la nuit, un autre verre coloré est attaché normalement au premier sur la face blanche du disque; de manière que, la voie étant libre, on aperçoit de la station le feu coloré, et que la voie étant fermée on aperçoit le feu blanc; ainsi le signal marque toujours une limite entre une portion de voie libre et une portion de voie fermée. Quand les disques ne peuvent être vus de la station, on place un signal répétiteur manœuvré par le même fil de transmission.

Le mât porte à sa partie inférieure une petite manivelle à l'extrémité de laquelle viennent s'attacher deux fils parallèles à la voie en prolongement l'un de l'autre : le premier aboutit à la petite branche d'un levier coudé avec contre-poids de 25 kilogr., c'est le levier de rappel; le second n'est autre que le fil de transmission qui aboutit au levier de manœuvre de la station, disposé du reste comme le premier. Les deux contre-poids agissant en sens contraire tiennent le fil toujours tendu : ils peuvent l'un et l'autre décrire un arc de 30° environ, ce qui suffit pour faire tourner le disque de 90°; l'un s'abaissant quand l'autre s'élève; mais il est nécessaire que quand la voie est libre, le contre-poids de rappel soit en l'air; en effet, il peut arriver que le fil de transmission se rompe; si la précaution que nous venons d'indiquer est prise, le disque retombe de lui-même à l'arrêt; s'il en était autrement,

le signal ne répondrait plus à l'appel de la station. Le même inconvénient se présenterait si par l'effet de l'élévation de la température le fil de transmission se dilatait assez pour que les contre-poids vinssent porter à terre; on s'est ménagé le moyen de raccourcir les fils au moyen de chaînes à crochet ou de tendeurs. Dans tout leur trajet, les fils portent sur des poulies de transmission, auxquelles on ajoute des poulies de renvoi dans les courbes et les traversées de voie.

La distance d'un disque au point à protéger dépend de la vitesse des trains, et doit être telle que le train puisse s'arrêter entre le signal et le levier de manœuvre. Autrefois la distance de 600 mètres était suffisante; aujourd'hui, on ne place pas les disques à moins de 800 mètres. Les irrégularités qui peuvent se produire par l'effet de la dilatation deviennent d'autant plus dangereuses, et l'on a cherché divers moyens de les prévenir : ces modifications au système précédent portent principalement sur le rappel et la manœuvre. Nous citerons parmi les principales, d'après une intéressante étude due à M. Clerc :

1° La manœuvre à roue, dans laquelle le fil de transmission se termine par une chaîne qui s'enroule autour d'une roue à gorge, montée sur un poteau de bois : le levier de manœuvre avec son contre-poids est mobile sur le même axe que la roue : un taquet limite sa course à la voie fermée; il se rapproche de l'horizontale à la voie ouverte, d'autant plus que le fil est moins tendu. Pour régler cette tension, on relève le levier sans changer la position de la roue; à cet effet, un certain nombre de trous égaux et équidistants sont ménagés dans la couronne de la roue; on y place une goupille qui l'arrête dans sa position; on retire le boulon qui fixait le levier sur la couronne, et on le pose sur un autre trou, de manière que le levier dépasse l'horizontale;

2° La manœuvre à chaîne de grippage se compose d'un levier coudé à bras très inégaux; le petit bras se termine par un anneau ou crochet de grippage, disposé de manière à saisir, quand on le soulève, l'un des anneaux de la chaîne de transmission qui le traverse librement. Cette chaîne est toujours tendue, mais par l'effet d'un contre-poids spécial, qui manœuvre dans un tube de fonte enterré.

Cette manœuvre dispense de régler la tension du fil; mais l'anneau de grippage est sujet à se déformer; le contre-poids s'arrête dans le tube quand il se déverse ou se remplit de glace en hiver : elle exige en un mot beaucoup de soin dans la pose et l'entretien;

3° La manœuvre d'Auteuil se compose d'un levier simple à contre-poids et d'un crochet, tous deux à position variable sur le levier; ce système est très-simple, mais n'est pas applicable au delà de 500 mètres; le contre-poids devient trop lourd pour être facilement manœuvré à la main au delà de cette distance.

Les principaux systèmes de rappel sont le contre-poids se mouvant dans un tube, comme dans la manœuvre Robert; le levier coudé à contre-poids monté sur le poteau du signal.

L'installation des signaux a encore donné lieu à beaucoup d'inventions dues entre autres à MM. Robert, Goubet, Bava, Rousseau, etc.; elles sont restées pour la plupart à l'état d'essai, ainsi que celles de MM. Limouse, Baranowski, etc., qui se sont préoccupés

CHEMINS DE FER.

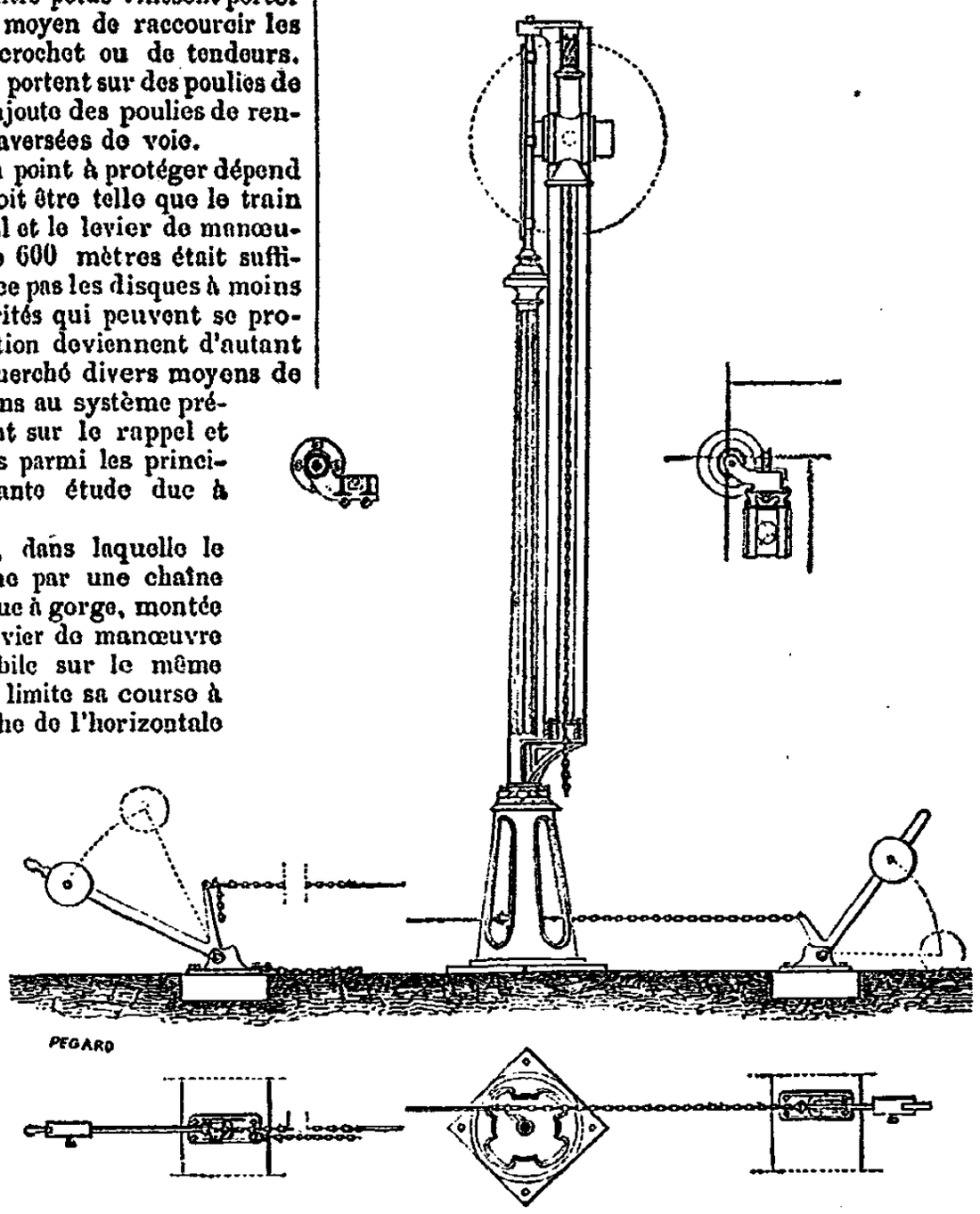


Fig. 51.

plus particulièrement de la manœuvre automatique des disques par les trains.

Il faut encore citer diverses combinaisons ayant pour objet d'accroître la confiance inspirée par les signaux et de multiplier les indications propres à augmenter la sécurité.

Afin d'être constamment renseigné sur la position du disque, on a placé près du bureau du chef de gare un trembleur électrique, en communication avec le signal, et qui sonne pendant tout le temps que celui-ci est à l'arrêt.

Sur le chemin de fer du Nord, on a fait usage en pleine ligne, pour marquer le temps écoulé depuis le passage d'un train, d'un appareil automoteur, composé d'un contre-rail et d'une pédale mise en mouvement par les boudins des roues, d'un cadran à une aiguille avec mouvement d'horlogerie à poids pouvant marcher une demi-heure, et d'un carillon marchant cinq minutes. Le déplacement du contre-rail par le passage du train a pour effet de remonter l'horloge et de ramener l'aiguille à la position initiale à partir de laquelle elle se déplace jusqu'au terme de sa course.

En Angleterre et en Allemagne, le plus ordinairement les signaux sont formés d'un mât de 10 à 15 mètres de hauteur portant à sa partie supérieure

CHEMINS DE FER.

deux bras aplatis, mobiles autour d'un axe parallèle à la voie, et que l'on manœuvre d'en bas comme il est indiqué (*fig.* 52), de manière à les amener et fixer sans effort dans trois positions différentes, verticale, horizontale, et inclinée à 45°. Ces bras, qui ont parfois 1m,10 et plus de longueur, sont souvent composés d'un cadre garni de lames de persiennes, ce qui en diminue considérablement le poids et affaiblit l'action du vent.

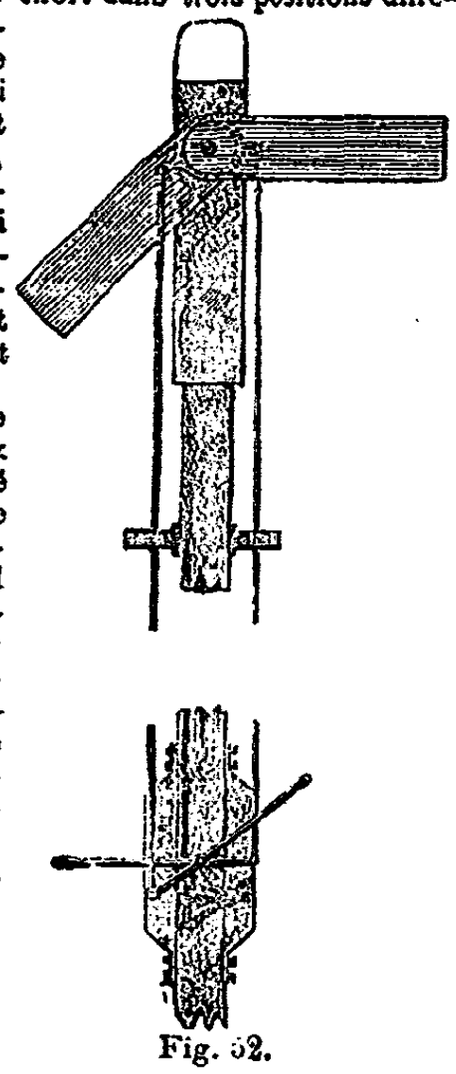


Fig. 52.

La difficulté de combiner les signaux de nuit a amené M. Treuttler à une modification très-ingénieuse de l'appareil précédent, actuellement employée sur plusieurs chemins Allemands. Dans ce télégraphe, les lames de persiennes sont remplacées par des miroirs inclinés alternativement, en sens contraire et de quantités variables, sur l'axe de rotation; une lanterne à double courant d'air placée sur le prolongement de cet axe, à une certaine distance des deux bras, lance sa lumière sur les miroirs qui sont inclinés de manière à la réfléchir parallèlement à la voie; les bras sont toujours portés par un mât de perroquet et les lanternes par les montants reliés avec le mât par des traverses. Les lanternes étant placées sur l'axe de rotation des bras, les miroirs conservent dans toutes les positions la même inclinaison sur cet axe; les bras forment, depuis la distance de 100 mètres environ jusqu'à celle de 1,000 à 1,200 mètres, à laquelle les signaux cessent d'être nettement perceptibles, deux bandes lumineuses avec lesquelles on reproduit exactement tous les signaux du jour. Les cadres qui reçoivent les miroirs sont peints en rouge et servent, aussi bien que les bras des télégraphes ordinaires, à reproduire les signaux pendant la journée. En modifiant la couleur des lanternes, on obtient des bandes lumineuses de couleurs différentes, qui sont également utilisées dans la composition des signaux.

Les appareils précédents laissent tous subsister l'objection qu'on peut ne pas s'apercevoir à temps de l'extinction d'une lanterne pendant la nuit. MM. Dufau et Hardy ont cherché à lever cette difficulté par l'emploi d'un thermoscope différentiel, composé de deux thermomètres métalliques, et placé dans la cheminée de la lanterne; par l'effet de la dilatation, quand la lanterne est allumée, les deux thermomètres viennent en contact, et forment un circuit électrique; si la lanterne s'éteint, le circuit s'interrompt et une sonnerie avertit aussitôt de l'accident. On a aussi proposé pour le même objet l'emploi d'une pile thermo-électrique.

Les signaux sur la voie se font encore au moyen de drapeaux rouges ou verts le jour, de lanternes à verres blancs, rouges et verts la nuit; la couleur rouge indiquant toujours l'arrêt, le vert le ralentissement, le blanc la voie libre. Du reste, un objet quelconque vivement agité sur la voie commande l'arrêt.

En temps de brouillard, on fait usage de pétards qui se placent sur les rails au moyen de lames de fer-blanc, et qui éclatent avec un bruit violent au passage des locomotives.

Les trains sont toujours signalés en avant par le son des cornets des gardes-lignes.

Les points de raccordement des embranchements doivent être l'objet de mesures particulières, à cause de la gravité des accidents qui peuvent s'y produire. L'appareil de M. Vignières est une des inventions les plus efficaces pour les éviter. Toutes les fois qu'un train se présente sur l'une des voies d'un embranchement, l'autre voie doit être évidemment fermée pour empêcher une collision sur les aiguilles; le système de M. Vignières consiste à établir entre les leviers de manœuvre des disques et des aiguilles une solidarité telle que ces appareils ne puissent être changés que dans un ordre déterminé; si, par exemple, une aiguille ne doit être ouverte que quand un disque est fermé, le levier de manœuvre du disque portera un verrou articulé pénétrant dans une encoche ménagée dans la tringle de manœuvre de l'aiguille, quand le disque est à la voie ouverte; pour ouvrir l'aiguille, il faudra donc fermer le disque. Réciproquement, l'aiguille en s'ouvrant arrêtera de même, au moyen d'un autre verrou articulé avec elle, tout mouvement du disque, et celui-ci ne pourra plus donner la voie ouverte, que quand l'aiguille sera de nouveau fermée.

Au chemin de fer du Nord, les bifurcations sont protégées par deux signaux; le premier est placé à grande distance, fixe et de couleur spéciale; il est destiné à prescrire le ralentissement avant d'atteindre le second signal, qui est rouge. Ce dernier doit être tourné à l'arrêt en permanence et il ne doit être ouvert que pour donner passage à un seul train à la fois.

3° *Signaux des trains.* — Les signaux des mécaniciens sont en petit nombre; ils s'exécutent avec les sifflets à vapeur montés sur la chaudière; les coups de sifflet plus ou moins nombreux, secs ou prolongés, reçoivent diverses significations ayant pour objet d'annoncer l'approche du train, de faire serrer ou desserrer les freins, d'appeler l'attention sur le train en détresse, etc.

Les lanternes et les drapeaux fixés aux trains servent de nuit ou de jour à indiquer de loin sa nature, sa longueur, s'il est ou non suivi d'un train spécial.

On s'est beaucoup préoccupé de mettre en communication entre eux les agents d'un train et même les voyageurs : l'assassinat commis, le 6 décembre 1860, sur la personne de M. le président Poinsot a fait surgir une foule de propositions qui ont été examinées par une commission spéciale; la plupart de ces projets pouvaient se ramener à un petit nombre de combinaisons; le matériel Américain, ou l'établissement de communications entre les compartiments d'une même voiture, ont été principalement mis en avant; la commission a conclu en proposant : 1° l'établissement d'ouvertures fermées par des glaces transparentes de 0m,10 de haut sur 0m,25 de large au-dessous des filets à bagages, entre les compartiments des voitures; 2° l'installation de marchepieds et de mains courantes sur toutes les voitures, pour permettre aux agents des trains ou à des contrôleurs spéciaux de parcourir toute la longueur des convois et d'exercer une surveillance efficace. Quant à la correspondance à établir entre les voyageurs et les agents, elle est subordonnée à l'organisation du contrôle de route, puisqu'il faut que l'agent puisse se rendre à l'appel du voyageur; l'abus de cette faculté pourrait amener des accidents plus graves que tous ceux qu'on croit éviter par son usage; d'ailleurs,

parmi les divers systèmes expérimentés jusqu'ici, aucun n'a donné des résultats assez satisfaisants pour être généralement accepté.

Les mécaniciens et les garde-freins sont en communication par une corde qui fait mouvoir une cloche placée sur le tender.

MM. Prudhomme et Achard poursuivent l'essai d'un système de communication électrique.

4° *Dépenses d'exploitation.*

Le tableau suivant donne la dépense d'exploitation par kilomètre pendant le dernier exercice pour l'ensemble du réseau :

INDICATION DES DÉPENSES.	DÉPENSES par kilomètre.	DÉPENSES par kilomètre et par train.	PROPORTION pour 100.
	fr.	fr.	fr.
Administration centrale..	1,080	0.14	5.13
Exploitation, mouvement, trafic.....	6,678	0.86	31.74
Traction et matériel.....	7,375	0.95	35.06
Voie et surveillance.....	4,668	0.64	22.19
Dépenses diverses.....	1,314	0.16	5.88
Totaux.....	21,115	2.73	100.00

Les traitements et salaires des agents du mouvement et du trafic représentent en moyenne plus de 80 p. 100 des dépenses affectées à ce service, et plus de 17 p. 100 du total des dépenses d'exploitation.

Sur la dépense de traction 19 p. 100 sont affectés au personnel, 32 p. 100 au combustible, 42 p. 100 à l'entretien du matériel, 7 p. 100 à l'alimentation.

On peut estimer de la manière suivante le travail et la dépense annuelle d'une locomotive :

Parcours annuel	23,567	kilomètres.
Consommation de coke. . . .	186	tonnes.
Consommation d'eau.	1,414	—
Dépense de combustible . . .	7,574	francs.
Dépense d'alimentation. . . .	374	—
Dépense d'entretien (tender compris)	5,779	—

Pour un véhicule parcourant moyennement 16310^{k}, la dépense d'entretien serait 194 fr.

La compagnie de l'Ouest a présenté dans son rapport à l'assemblée générale de 1864 la décomposition des dépenses de traction, qui se résume par kilomètre dans les indications qui suivent :

1° *Machines.*

Conduite, personnel des ingénieurs, bureaux, mécaniciens, etc.	0,1608
Combustible..	0,2712
Eau.	0,0156
Graissage, éclairage..	0,0256
Entretien et réparations..	0,1913
Frais généraux.	0,0626
Total pour les machines.	0,7271

2° *Voitures et wagons.*

Entretien et réparation des voitures. . . .	0,0817
— des wagons. . . .	0,0536
Graissage des voitures et wagons.	0,0286
Frais généraux.	0,0149
Total pour les voitures et wagons.	0,1788
Total général..	0,9059

On estime que les traitements et salaires entrent dans la dépense totale d'exploitation pour plus de moitié.

VIII. DIVERS SYSTÈMES DE CHEMINS DE FER

Dans l'exécution du réseau des chemins de fer, on a donné naturellement la priorité aux lignes les plus avantageuses, à la fois par le trafic sur lequel on croyait pouvoir compter et par la facilité de leur construction. Depuis longtemps on se préoccupe de trouver des combinaisons permettant de faire participer aux bienfaits de ces voies de communication les pays accidentés, pauvres et délaissés, et de franchir les barrières de montagnes qui s'élèvent entre les États. Bien des systèmes ont été essayés ou présentés, nous donnerons quelques détails sur les plus intéressants.

Système Laignel. — M. Laignel s'est proposé de diminuer la résistance au passage dans les courbes : sa voie, quand elle cesse d'être rectiligne, est disposée de manière que la roue extérieure roule sur son boudin, tandis que la roue intérieure continue à rouler comme à l'ordinaire sur son bandage. Il en résulte que le rayon des courbes et celui des roues doivent être constants.

Cette disposition a été employée avec succès sur les chemins d'usines, mais elle n'a pas reçu d'application sur les grandes lignes ; ses avantages sont notablement diminués dès que les roues ne sont plus neuves ; les sujétions qu'elle entraîne sont incompatibles avec les nécessités d'un grand trafic et d'un tracé long et varié.

Système Arnoux. — Le matériel créé par M. Claude Arnoux pour le passage des courbes, et perfectionné par lui avec une persévérance remarquable, est une des plus ingénieuses combinaisons mécaniques auxquelles les chemins de fer aient donné naissance. Les voitures de M. Arnoux sont composées d'un avant et d'un arrière-train (*fig.* 53). L'essieu de chaque train

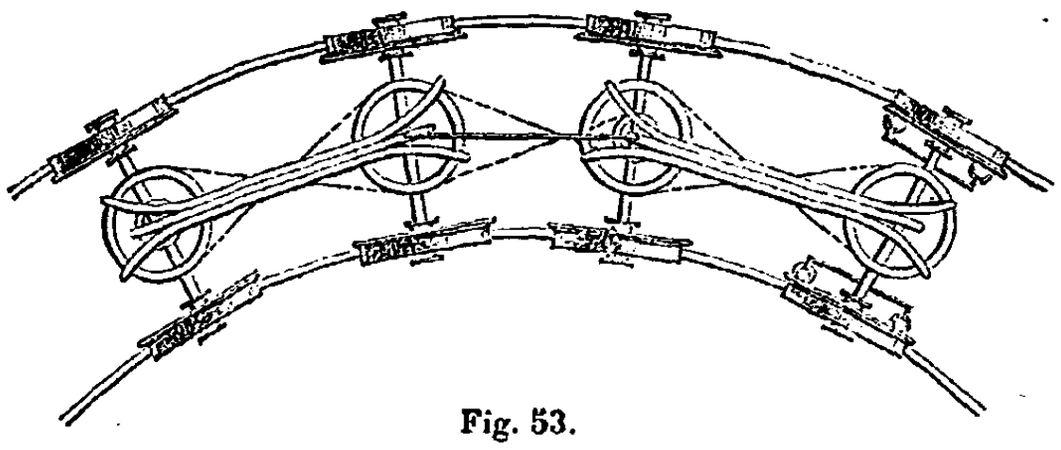


Fig. 53.

est traversé par une cheville ouvrière autour de laquelle il peut tourner. Sur cet essieu est fixée une couronne ou contre-sassoire, ayant même axe que la cheville ouvrière. Les roues tournent librement sur les fusées comme dans les voitures ordinaires. Les jantes sont cylindriques. Les deux trains sont réunis par une flèche à branches, aux extrémités de laquelle sont attachés, en dessous, des plateaux ou sassoires, concentriques aux chevilles ouvrières, qui tournent à frottement doux sur les couronnes.

Des chaînes attachées sur la circonférence des couronnes de manière à se croiser sous la flèche unissent les deux essieux ; par là, ils sont obligés de se mouvoir simultanément autour des chevilles ouvrières, en faisant des angles égaux et contraires avec la flèche. Ainsi, lorsque, le wagon parcourant un arc circulaire, le premier essieu sera normal à cet arc, le second sera aussi normal.

M. Arnoux fait diriger ce premier essieu, qui est celui de la locomotive, par la voie elle-même, au moyen de quatre galets, roulant sur les faces intérieures des rails, et fixés à l'extrémité de fourches portées par l'essieu (*fig.* 54).

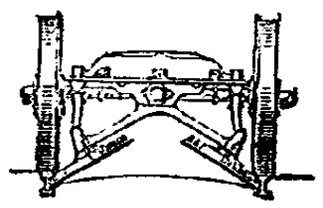


Fig. 54.

Les voitures sont liées l'une à l'autre : 1° par un timon traversé par la cheville ouvrière de l'arrière-train de la voiture précédente et par celle de l'avant-train de la voiture suivante; 2° par deux chaînes qui se croisent sous le timon, et qui sont attachées d'un bout à la circonférence de la couronne de l'avant-train de la seconde voiture, et de l'autre bout à la

dès que la première voiture est entrée dans la courbe ; pour atténuer cet inconvénient, il est préférable de tracer les courbes suivant des arcs paraboliques.

Depuis, M. Arnoux a réalisé une simplification remarquable en supprimant les chaînes, qui par leur fragilité inspiraient des craintes continuelles : un losange articulé (*fig.* 55), formé de quatre bielles égales, est fixé, d'une part, à l'essieu par deux bagues susceptibles de glisser sur lui ; d'autre part, à la flèche, d'une manière invariable ; et en troisième lieu, au timon, qu'il accompagne dans son mouvement de rotation autour de la cheville ouvrière. D'après cela, toute déviation du timon occasionne une déformation de l'appareil articulé ; mais cet appareil ne cesse pas de présenter la figure d'un losange, dont l'essieu décrit une diagonale ; cet essieu est donc dirigé suivant la bissectrice de l'angle formé par le timon et par la flèche, c'est-à-dire, suivant la normale à la courbe. Par cette ingénieuse combinaison les essieux ne deviennent convergents qu'au moment même où les roues atteignent la courbe, et ils cessent de l'être ou même convergent en sens contraire suivant que la voie redevient droite ou s'infléchit. Quand un convoi, guidé par les galets directeurs, est engagé dans une courbe, toutes les voitures à la suite dirigées par leurs timons en suivent successivement tous les contours.

Le matériel de M. Arnoux est employé sur le chemin de Sceaux, qui présente des courbes de 50m de rayon ; il a été essayé sur le chemin de fer du Nord à toutes les vitesses, et on en a obtenu des résultats satisfaisants. Mais, à côté des avantages incontestables qu'on lui reconnaît, se trouvent des inconvénients sérieux ; l'attelage est plus embarrassant et plus long ; sa rigidité rend le démarrage pénible ; les locomotives étant seules pourvues de galets directeurs, les manœuvres des voitures isolées dans les gares sont plus difficiles ; le système est plus compliqué, et de tous ces motifs résulterait certainement une exploitation moins simple et une dépense

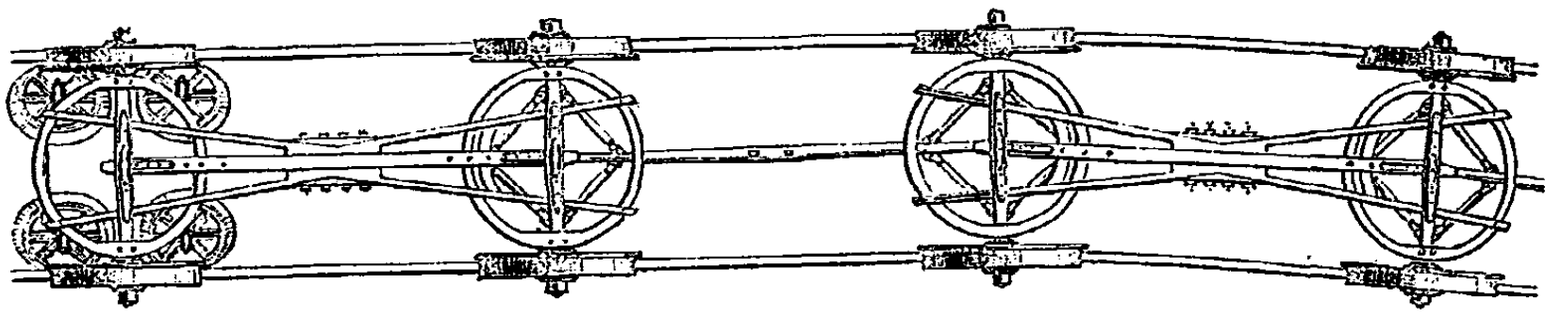


Fig. 55.

circonférence d'une couronne plus petite, fixée sous la flèche de la première voiture et traversée par la cheville ouvrière de l'arrière-train.

Ainsi, il y a trois couronnes horizontales à chaque voiture ; deux de même rayon fixées aux essieux, et une plus petite faisant corps avec la flèche à l'arrière-train.

Par conséquent, la flèche de la première voiture ne peut changer de position, sans produire un changement dans la direction des essieux de la seconde voiture. En déterminant convenablement le rayon de la petite couronne, les essieux de la seconde voiture seront comme ceux de la première normaux à la courbe parcourue. En pratique, les timons étant égaux aux flèches, et les couronnes des essieux étant toutes de même rayon, les couronnes des flèches doivent avoir un rayon moitié plus petit que celles des essieux.

Il est à remarquer que la déviation des essieux a lieu simultanément sur toute la longueur du train, plus élevée. Les progrès réalisés dans ces derniers temps permettront sans doute d'utiliser le matériel actuel dans toutes les circonstances.

Essieux brisés, système Edmond Roy. On a vu plus haut que la dépendance des roues et des essieux est une des principales causes de la résistance au mouvement dans les courbes. M. Arnoux s'est affranchi de cette difficulté en laissant ses roues libres sur les fusées, comme dans les voitures ordinaires ; mais cette disposition soulève de sérieuses objections ; la position relative des roues et des essieux ne doit être exposée à aucune variation ; le jeu produit par l'usure ne tarderait pas à empêcher ce but essentiel d'être atteint, dans un service très-chargé ; quand les roues sont indépendantes, le point d'appui des châssis et des caisses ne peut être pris qu'en dedans des fusées ; les caisses ont alors beaucoup moins de stabilité, et en cas de rupture d'un essieu la caisse tomberait forcément sur la voie. Ce sont les trois raisons principales qui ont conduit à la disposition universellement

adoptée des roues solidaires des essieux. Afin de concilier ces conditions contradictoires on a, depuis longtemps, proposé de donner à chaque roue un essieu ou une portion d'essieu articulé distincte (mines du Hartz, de Vilback, Chesneau et Verrier, C. Polonceau, etc.), et en même temps, on a cherché à faire converger les essieux vers le centre de courbure par divers mécanismes.

Celui qui a été adopté par M. E. Roy se compose de coussinets pouvant glisser dans la boîte à graisse dans une direction oblique à l'essieu; l'angle est déterminé suivant l'écartement des essieux et la position du coussinet et de la fusée; les wagons sont à six roues; les coussinets de la paire de roues intermédiaires n'offrent rien de particulier; cette paire de roues sert de point d'appui dans les courbes pour que les essieux extrêmes, dont les coussinets présentent des angles opposés l'un à l'autre, puissent converger.

Ce système a été essayé sur une machine à marchandises du chemin de fer d'Orléans à huit roues couplées, dont les essieux extrêmes étaient écartés de 6m,40. Elle a pu passer dans des courbes de 80m de rayon avec une déviation latérale des essieux de 0m,07, en remorquant un poids de 570 tonneaux.

Nous avons déjà mentionné les résultats obtenus par M. Beugniot pour sa locomotive de montagnes; nous ne saurions, sans dépasser nos limites, insister sur un grand nombre de dispositions ingénieuses, ayant pour objet le passage dans les courbes et l'accouplement des essieux, afin d'utiliser pour l'adhérence tout ou partie du poids transporté; la plupart de ces dispositions intéressent les locomotives plus que les wagons, et par cette raison nous ne pouvons que mentionner ici les systèmes de MM. Kirchweger, Lipport, Rarohaert, Waessen, Meyer, Larpent, Gouin, Pins, Fink; ce dernier vient d'être appliqué au chemin de fer d'Oravicza à Steierdorf, dans le Banat, où le tracé présente des rampes de 0m,020 et de nombreuses courbes de 114 mètres de rayon.

On trouvera dans un remarquable ouvrage de M. Flachat sur la traversée des Alpes, une quantité de renseignements précieux sur les problèmes que soulève le passage des hautes montagnes, et la description d'un tracé par le Simplon avec rampes de 0m,050 à 0m,060 et courbes de 20 mètres de rayon; la traction serait opérée par des machines présentant une surface de chauffe de 370 mètres carrés; et envoyant la vapeur à des mécanismes placés sous les wagons; le poids entier des convois serait utilisé pour l'adhérence.

Citons encore le système de lacets à rebroussement, employé en Amérique, sur la ligne de Baltimore à l'Ohio; les zigzags successifs présentent une inclinaison maximum de 0m,0556; chacun d'eux se termine par un petit palier; le train arrive sur le palier machine en tête; il passe au zigzag suivant machine en queue, et ainsi de suite.

Système Amberger, Niklès et Cassal. — Afin d'augmenter l'adhérence, sans augmenter le poids des locomotives, MM. Amberger, Niklès et Cassal ont proposé de transformer les roues motrices en un électro-aimant dont les pôles seraient placés sur le diamètre vertical. A cet effet, le bas des roues serait enveloppé par un fil d'induction en communication avec une batterie électro-motrice. Ce système a été expérimenté sur le chemin de Lyon, mais il n'a pas réussi; le fer des bandages, étant dur et fort, prend bien l'aimantation, mais il la conserve, de sorte qu'en marche, les pôles se trouvaient plutôt sur le diamètre horizontal que sur le diamètre vertical de la roue motrice.

Plans inclinés. Système funiculaire. — Les plans inclinés sont contemporains des premiers chemins de fer; dans le temps où l'on considérait comme un obstacle presque insurmontable les rampes de 0m,010 on a naturellement songé à cette solution indiquée par les éléments de la mécanique. Les plans inclinés automoteurs sont encore d'un usage journalier dans les mines : ils sont ordinairement pourvus de deux voies; au sommet de la rampe se trouve une poulie à gorge en fonte, dont le diamètre est égal à l'écartement d'axe en axe des deux voies; une seconde poulie concentrique à la première, et ordinairement venue de fonte avec elle, lui est superposée et sert à faire agir un frein à bande.

Le câble en chanvre ou en fil de fer est guidé par des poulies espacées entre les rails.

Quelquefois, au lieu d'employer deux voies sur toute la longueur de la rampe, celle-ci se divise en trois parties : la partie inférieure où il n'y a qu'une seule voie; la partie médiane, où les trains se croisent et où, par conséquent, deux voies et une entrevoie sont nécessaires; la partie supérieure, où il y a deux voies accolées, c'est-à-dire formées par trois rails parallèles pour ménager l'espace nécessaire au passage des deux brins du câble.

Les plans automoteurs peuvent aussi être disposés de part et d'autre d'un faîte à franchir (ancien plan incliné de Neuliso, chemin de fer de Roanne à Andrezieux); mais, en tous cas, pour que le système fonctionne, il faut que la charge descendante l'emporte sur la charge ascendante; cette condition se réalise dans les mines où l'exploitation est dirigée en conséquence; on y a satisfait en Amérique en remontant les trains de marchandises au moyen de wagons en tôle remplis d'eau, prise à une source au sommet et vidée au pied de la rampe. Mais, le plus souvent, on emploie des machines fixes mettant en action un treuil sur lequel s'enroule le câble moteur. Les exemples en sont nombreux; le plus célèbre est encore en activité de Ans à Liége : la hauteur à franchir de 110 mètres est partagée en deux plans inclinés égaux de 1,980 mètres de longueur chacun, séparés par un palier de 330 mètres; la pente varie de 0m,014 à 0m,030. Les machines à vapeur sont placées devant le palier; elles mettent en mouvement, sur chacune des deux rampes, un câble sans fin enroulé sur une série de poulies motrices, de renvoi et de tension disposées d'une manière savante et ingénieuse, mais dont la description nous entraînerait trop loin (Voir les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1843).

Le mouvement à la descente a lieu par le simple effet de la gravité, sans intervention des câbles. Des précautions sont prises pour modérer la vitesse : les freins ordinaires seraient insuffisants en cas de rupture d'un câble. Les trains sont donc accompagnés d'un wagon-frein spécial, à six roues, chargé d'un poids considérable : entre les roues se trouvent des patins en bois qu'on peut, à volonté, lever ou abaisser au moyen de vis et de leviers, de manière à soulever le wagon et à le faire entièrement porter sur les patins; c'est le frein Laignel perfectionné : ce wagon porte en même temps des pinces d'accrochage qui saisissent le câble moteur, et par l'intermédiaire desquelles s'opère la traction.

On a reproché au plan incliné de Liége, comme à tous ceux où la machine se trouve en dehors de la voie, la complication de son système de poulies, qui se traduit en frais d'entretien et en usure de câbles, et l'éloignement du machiniste qui ne peut surveiller la voie; diverses combinaisons présentent des conditions plus favorables à certains égards.

Le tambour peut être placé au-dessus de la voie à une hauteur telle que les wagons passent dessous; il faut nécessairement deux murs pour le soutenir; les manœuvres de décrochage ont alors lieu dans un es-

CHEMINS DE FER.

pace rétréci, ce qui peut amener des accidents graves.

Le tambour peut être au-dessous de la voie, dans une fosse; ses dimensions sont alors forcément plus restreintes; le câble doit s'enrouler plusieurs fois, ce qui accélère son usure, mais les manœuvres se font avec beaucoup plus de sûreté. (Montluçon, plan incliné de 0m,20 sur 600 mètres.)

La machine peut, enfin, se trouver entre deux voies. (Hirsbach.)

Les plans inclinés ont été employés pour remplacer les écluses sur les canaux, afin de racheter des chutes considérables. (États-Unis, canal Morris; Manchester, Silésie, Elbe.)

Le *système funiculaire* a été appliqué par Robert Stephenson au chemin de Blackwall à Londres, bien que ce chemin soit de niveau, mais son exploitation présentait des obstacles auxquels on ne croyait pas que l'emploi des locomotives pût se prêter; sur une longueur de 3,600 mètres, il y avait cinq stations intermédiaires trop rapprochées pour que les machines employées à cette époque pussent se mettre en vitesse. Le service fut assuré au moyen de deux puissants moteurs fixes, établis aux deux extrémités de la ligne, et mettant en mouvement deux tambours, sur lesquels un câble, s'étendant sur toute la ligne, s'enroulait et se déroulait alternativement. Les voyageurs à destination de chacune des gares de la ligne étaient embarqués dans des wagons spéciaux pour chaque station. Ces wagons étaient liés au câble au moyen d'un crochet à pince d'une construction particulière. Le train étant en marche, chaque wagon, dont le rang dans le train avait été réglé en conséquence, se détachait un instant avant d'arriver à sa station, et il était dirigé par des aiguilles sur une voie de garage spéciale où on l'arrêtait avec les freins; il fallait donc un conducteur par wagon; ce système très-dispendieux a été remplacé par des locomotives.

Chemin de fer de la Croix-Rousse. — Le petit chemin de fer de la Croix-Rousse à Lyon est destiné à racheter une différence de hauteur de 70m existant entre la ville et son faubourg : sa longueur est de 489m,20, et sa pente uniforme par mètre, sauf les paliers des extrémités, est de 0m,1605. Les trains partent toutes les six minutes; la durée du trajet est de trois minutes; la vitesse de 2 mètres par seconde; le tarif des places est de 0f,10 en secondes, et 0f,20 en premières. Sans entrer dans de grands détails qu'on trouvera dans la publication faite par MM. Molinos et Pronier, ingénieurs de cette ligne, qu'il nous suffise de dire que les trains sont composés de trois voitures pouvant contenir chacune 108 voyageurs. Le câble s'enroule au sommet de la rampe sur un tambour mis en mouvement par une machine à vapeur placée latéralement; le train descendant, attaché à l'autre extrémité du câble, vient, par son poids, en aide à la machine. Des trucks spéciaux sont disposés pour recevoir les voitures chargées de marchandises avec leurs attelages.

Il importait principalement, avec une aussi forte rampe, de se mettre en garde contre les accidents dus à la rupture des câbles et des attelages; il fallait trouver un système de frein présentant une sécurité absolue. On s'est arrêté aux dispositions suivantes : un premier mécanisme a pour objet l'enrayage des roues; il se compose de freins à bandes qui entourent les jantes des roues, élargies intérieurement à cet effet, et en saillie sur les bandages. Chaque bande est liée par une articulation avec un levier qui porte à son extrémité un contre-poids; en faisant tomber celui-ci, les roues se trouvent complétement enrayées.

Un autre mécanisme est placé entre les roues; il se compose d'un arbre portant à ses deux extrémités deux appareils identiques qui constituent le plus énergique de tous les freins. Ces appareils comprennent deux fortes mâchoires d'étau disposées de manière à saisir le rail en se rapprochant. Les deux mâchoires sont reliées chacune avec une pièce en forme de joug portant un écrou à son centre. L'arbre est garni de deux pas de vis en sens opposés, engagés dans ces écrous, et, entre ces deux pas de vis, est montée, au-dessus et à l'aplomb du rail, une poulie à gorge conique. Voici maintenant comment cet ensemble fonctionne : dans l'état ordinaire, il est maintenu suspendu par une came; si, par suite de la rupture du câble, le ressort de traction se détend, cette came laisse retomber tout le mécanisme; la poulie à gorge embraye avec le rail à la manière de l'engrenage à coin, et en imprimant à l'arbre le mouvement de rotation qui l'anime, elle serre les écrous et les mâchoires. Tous les wagons sont munis de freins semblables solidaires entre eux, et pouvant d'ailleurs être manœuvrés du wagon de tête par un mécanisme indépendant du premier. De nombreuses expériences ont fait disparaître tous les doutes sur l'efficacité de ce frein.

Système Agudio. — M. Agudio a proposé pour les passages des Alpes un système de plan incliné, dit à locomoteur funiculaire, qui présente une grande analogie avec le mode de touage usité sur la Seine. Il emploie deux câbles : l'un, à forte section, est fixe et immobile au milieu de la voie; on l'appelle câble d'adhérence; c'est, en réalité, un câble de touage; il passe deux fois sur la gorge de deux tambours disposés sur l'axe longitudinal d'un chariot placé en queue du train, qui constitue le locomoteur funiculaire. L'autre câble est sans fin; c'est le moteur qui transmet aux tambours, par l'intermédiaire de poulies, la force de deux machines fixes placées aux deux extrémités de la rampe. L'effet étant divisé entre les deux brins du câble moteur, et transmis par des poulies dont on peut faire varier le rayon, la vitesse et la puissance, le câble moteur peut avoir des dimensions bien moindres que celles adoptées dans les plans inclinés ordinaires.

Ce câble peut aussi être remplacé par un moteur mobile qui ferait tourner les tambours.

Système de M. le baron Séguier. — Ce système a donné lieu à une étude très-complète due à M. l'ingénieur Duméry, en vue de l'application qui devait en être faite à un chemin de fer projeté entre Paris et Marly-le Roi. Il a été l'objet d'un savant rapport de M. Combes.

La progression des véhicules a lieu par l'effet de la pression de deux roues horizontales, qui serrent et laminent, pour ainsi dire, entre elles une bande de fer large et épaisse placée de champ à égale distance des deux rails. Un mouvement de rotation est imprimé aux arbres de ces deux roues par une machine à vapeur portée sur trois véhicules dont le poids total s'élève à 52,000 kilog., et dont les roues sont libres comme celles des wagons ordinaires.

On attribue à ce système les avantages suivants :

1° L'indépendance absolue des essieux et de la machine motrice, qui permet de les multiplier et de les installer de la manière la plus convenable pour la répartition des poids et le passage dans les courbes;

2° Par conséquent, possibilité de diminuer le rayon des courbes et le poids des rails;

3° L'adhérence pouvant être augmentée en quelque sorte indéfiniment, on peut franchir des rampes quelconques.

En regard de ces avantages se placent des inconvénients qui l'emportent sur eux :

1° L'économie qui résulterait de la diminution du poids des rails n'est qu'apparente; la bande centrale devrait avoir des dimensions considérables, et les difficultés de sa pose et de son entretien feraient plus que compenser la réduction du poids des rails;

2° La saillie de la bande centrale est de 0m,35 au-dessus du sol; elle doit être interrompue au droit des passages à niveau et des changements de voie; les manœuvres de gare seraient donc impossibles sans un moteur spécial;

3° La machine motrice est plus compliquée que la locomotive ordinaire par suite de l'adjonction des roues horizontales et des efforts concentrés sur deux arbres moteurs qu'elles ont à supporter;

4° Pour franchir de fortes rampes, on doit chercher avant tout à diminuer le poids du moteur et de ses dépendances, tout en augmentant la puissance de traction et l'adhérence qui donne son point d'appui. Or, la machine motrice est nécessairement plus lourde à puissance égale que les locomotives ordinaires, puisqu'elle comprend en sus tout le système de roues horizontales;

5° L'augmentation indéfinie de l'adhérence ne peut être obtenue qu'en augmentant aussi le poids des roues motrices; en adaptant aux trains ordinaires des tuyaux de vapeur flexibles aboutissant à des appareils placés sous les véhicules, on arriverait aux mêmes résultats.

M. Fell a fait dernièrement sur le chemin de fer de Cromfort à High Peak, près Whaley Bridge, l'essai d'un système qui offre la plus grande analogie avec le précédent. Ces expériences ont eu lieu sur des rampes variant de 0m,072 à 0m,100; au sommet se trouvait un palier offrant quatre courbes et contre-courbes de 50 mètres de rayon sans raccordement droit; le moteur était une machine tender à quatre roues couplées pesant 16 tonneaux 5, avec son approvisionnement; elle agit par son adhérence, suivant le système ordinaire, mais de plus elle porte un mécanisme commandant les manivelles de deux couples de roues horizontales de 0m,406 de diamètre, qui roulent sur un rail central. Les auteurs de ce système ont proposé d'en faire l'application au passage du mont Cenis en attendant l'achèvement du grand tunnel.

Système de M. Girard. — M. Girard a proposé d'appliquer à la propulsion des convois la force vive de l'eau en mouvement. A cet effet, sous chaque voiture sont fixées symétriquement et parallèlement à l'axe longitudinal deux files superposées d'aubes courbes. Ces aubes ont la forme de surfaces demi-cylindriques à génératrices verticales; elles sont comprises entre des bandes de fer horizontales qui en limitent la hauteur. Celles de la file supérieure sont tournées dans un sens opposé à celles de la file inférieure, afin de pouvoir marcher en avant ou en arrière.

Un tuyau souterrain est établi dans l'axe de la voie; il est rempli d'eau maintenue à une pression calculée suivant la vitesse à imprimer au train. De distance en distance, de petits branchements, munis de soupapes et de tiroirs, viennent aboutir à deux becs disposés en sens inverse, de manière que l'eau est projetée par l'un dans la concavité des aubes de la file supérieure, ou par l'autre dans la concavité des aubes de la file inférieure; suivant la direction de la marche. Un mécanisme automoteur, placé sur le premier wagon du train, agit sur certaines pièces extérieures et donne issue à l'eau qui vient frapper les aubes et imprime à tout le système une vitesse qu'on peut mesurer *a priori* par la théorie des roues hydrauliques. Le dernier wagon du train est muni d'un mécanisme qui ferme le passage de l'eau, au moment même où son action doit cesser.

Cette première conception permettait d'employer le matériel actuel : M. Girard a proposé une modification radicale et qui paraît destinée tout au moins à des conséquences indirectes d'une grande importance pour la mécanique pratique. Dans cette nouvelle combinaison, les rails sont remplacés par des plaques de fonte de 0m,26 de largeur, dont la face supérieure est rabotée et polie avec soin. Le train de wagon est une simple plate-forme sans essieux ni roues, un traîneau portant sur les rails par quatre patins en fonte à rebords verticaux peu saillants, ayant la même largeur que les rails et 0m,80 de longueur. Dans la partie appliquée sur le rail, ces patins présentent une série de sillons rectangulaires parallèles au périmètre de la base. L'effort nécessaire pour mettre en mouvement ce traîneau et vaincre l'adhérence et le frottement serait au moins égal à la moitié de son poids; en introduisant sous le patin de l'eau à une pression telle que le wagon soit soulevé d'une quantité extrêmement petite, mais suffisante pour qu'une mince lame liquide s'interpose entre le rail et le patin et s'écoule constamment sur tout le contour de celui-ci, le frottement est diminué dans une si forte proportion que l'effort de traction se trouve réduit, suivant M. Girard, à un millième du poids. On peut remarquer, en passant, que cette disposition conserve toute son efficacité, quelle que soit la forme des surfaces frottantes; appliquée aux paliers des machines de toute nature, elle permettrait de réduire dans une énorme proportion les pertes de force dues au frottement, d'atteindre des vitesses de rotation inconnues jusqu'ici dans la pratique, et de supprimer l'intervention si incommode et si coûteuse des agents lubrifiants.

L'application de ces principes aux chemins de fer soulève de graves objections, quelque ingénieuses et originales que soient les dispositions proposées par l'auteur pour lever toutes les difficultés de détail. Le volume d'eau à débiter, la pression qu'elle doit avoir, la dépense des appareils hydrauliques, tuyaux, réservoirs, machines foulantes, montent à des chiffres très-élevés. Les chances de fuite et les dérangements qui arrêteraient tout le système, les gelées qui empêcheraient complétement son action, la difficulté d'approvisionner les trains en marche d'eau portée à une haute pression pour lubrifier les rails, forment une autre série d'obstacles presque insurmontables en pratique. Quoi qu'il en soit, les expériences que M. Girard a faites à la Jonchère, sur une petite portion de voie construite dans son système, offrent le plus grand intérêt et méritent d'attirer l'attention sérieuse de quiconque s'intéresse aux progrès de la mécanique.

Chemins de fer atmosphériques. — Nous ne saurions mieux faire que de reproduire ici l'article relatif aux chemins de fer atmosphériques, inséré dans la précédente édition de cet ouvrage :

« La première idée d'un chemin de fer atmosphérique est due à un Anglais nommé Vallance, qui la conçut dès 1824; mais elle ne fut mise en exécution que beaucoup plus tard par MM. Clegg et Samuda, qui établirent un chemin de cette espèce de 2,722 mètres de longueur, en Irlande, entre Kingstown et Dalkey. Voici en quoi consiste ce système :

« Au milieu de la voie se trouve un tuyau en fonte alésé à l'intérieur, dans lequel se meut un piston qui le divise en deux parties; si à l'aide d'une machine pneumatique on fait le vide dans l'une de ces parties, le piston se mouvra en vertu de la différence des pressions exercées sur ses deux faces et pourra entraîner dans son mouvement un poids variable, dépendant de l'étendue de sa surface et de la perfection du vide; toute la question consiste donc à transmettre le mouvement de ce piston au convoi. La tige métallique C (*fig.* 56) fixée au premier wagon du convoi est liée à un châssis qui porte à une de ses extrémités le piston moteur, et à l'autre un contre-poids qui sert à l'équilibrer. Ce châssis porte quatre galets, qui soulèvent dans leur marche une soupape longitudinale qui donne passage à la tige métallique. La soupape longitudinale se compose

CHEMINS DE FER.

d'une bande de cuir G, renforcée en dessus et en dessous par deux bandes de tôle. Après le passage de la tige C dans la rainure longitudinale, un rouleau R placé en arrière vient la fermer (*fig.* 57), et un tube N rempli de charbons incandescents liquéfie un mélange de cire et de suif qui recouvre la soupape, et en assure ainsi la fermeture parfaite.

cendre, par la seule action de la gravité, la pente que le chemin atmosphérique a pour objet de franchir.

« Le chemin de fer atmosphérique n'a pas dépassé l'état d'essai; aussi les questions de passage de niveau, des changements et croisements de voies, etc., sont loin d'être résolues d'une manière satisfaisante, et rien ne prouve qu'on puisse atteindre ce résultat.

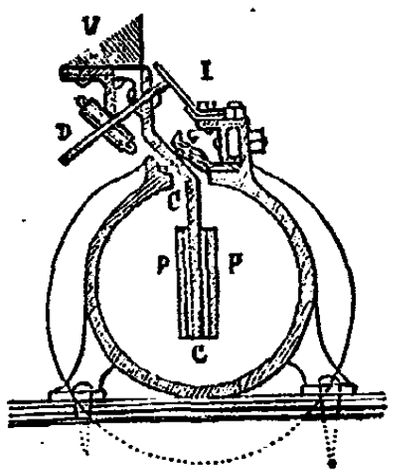


Fig. 56.

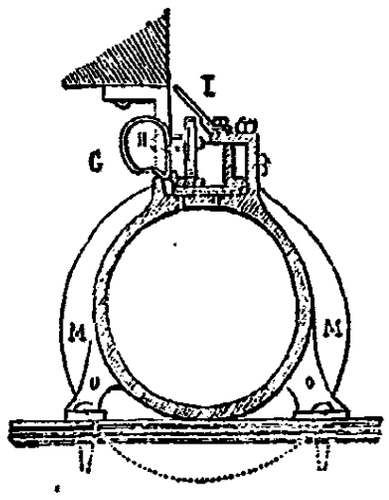


Fig. 57.

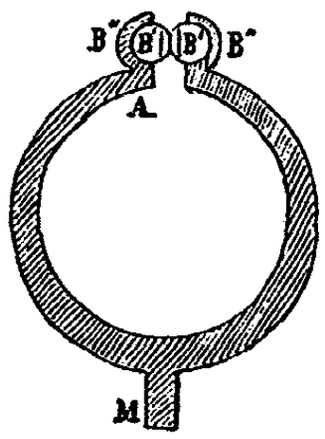


Fig. 58.

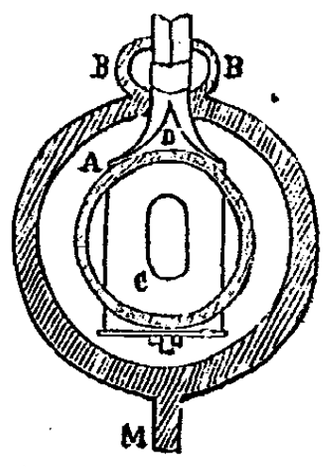


Fig. 59.

« M. Hallette avait proposé de remplacer la soupape compliquée que nous venons de décrire par deux boyaux en cuir, ou autre tissu quelconque imperméable, remplis d'air comprimé; ces deux boyaux seraient renfermés sur la plus grande partie de leur pourtour, dans deux petits tubes placés sur les deux rebords parallèles de la rainure du tube propulseur (*fig.* 58 et 59), de manière cependant à se presser par une partie de leur surface. Ces boyaux étant élastiques laisseraient aisément passer la tige métallique communiquant au convoi le mouvement du piston, et se refermeraient d'eux-mêmes immédiatement après. M. Hédiard a aussi inventé un mode de fermeture assez satisfaisant, et qui consiste en deux ressorts flexibles formant deux lèvres et serrant un cuir gras.

« Nous n'insisterons pas sur les imperfections évidentes d'un système aujourd'hui abandonné. D'un côté, les pertes par la soupape longitudinale (si difficile à conserver hermétiquement fermée sur de grandes longueurs) sont considérables, et croissent proportionnellement à la longueur du tube propulseur; de l'autre, le frottement du piston contre les parois du tube propulseur, étant un frottement de glissement, est assez considérable par suite de l'étendue des surfaces frottantes, le piston ayant un fort diamètre. Sous ce rapport, le piston adopté au chemin de fer de Paris à Saint-Germain, et que représente la *fig.* 60, est très-bien combiné. Il se compose d'un disque d'un diamètre un peu inférieur à celui du tuyau, et portant un cuir embouti pour rendre la fermeture complète. Un double piston assure toute garantie à cet égard.

Malgré cela, nous pensons qu'il ne sera pas sans intérêt de dire quelques mots sur le chemin qui se relie à celui de Paris au Pecq, et arrive au pied du château de Saint-Germain, sur la place de l'église principale et à l'entrée de la forêt. Le système atmosphérique y est établi sur une longueur de 2,500 mètres, depuis la plaine, dans le bois du Vésinet, jusqu'au plateau, dans le parterre de Saint-Germain; une différence de niveau de 54 mètres est rachetée par une pente de 1,950 mètres. Deux doubles machines à vapeur sont placées à Saint-Germain; les cylindres des machines à vapeur ont 0m,80 de diamètre; les pistons ont 2 mètres de course et 2 mètres de vitesse par seconde. Les pistons des cylindres pneumatiques ont 2m,53 de diamètre et 2 mètres de course; leur vitesse est de 0m,40 par seconde, et ils aspirent chacun, dans cet intervalle de temps, 2 mètres cubes d'air. Les quatre cylindres des machines à vapeur ci-dessus représentent une force de 400 chevaux-vapeur. Les chaudières occupent un vaste bâtiment et se composent de 12 corps cylindriques réunis deux à deux et avec un foyer par couple; chaque corps cylindrique a 3 mètres de long et 1m,10 de diamètre, et au-dessus sont des réservoirs cylindriques de vapeur de 0m,80 de diamètre et de 2m,50 de hauteur. Comme ces machines ne sont destinées à fonctionner que 3 à 4 minutes par chaque passage de train, on tient le feu constamment allumé sans trop de dépenses en fermant les registres de tirage, et, au moment voulu, on le ranime à l'aide d'un ventilateur. La consommation est d'environ 3,000 kilos de charbon par 24 heures. Deux

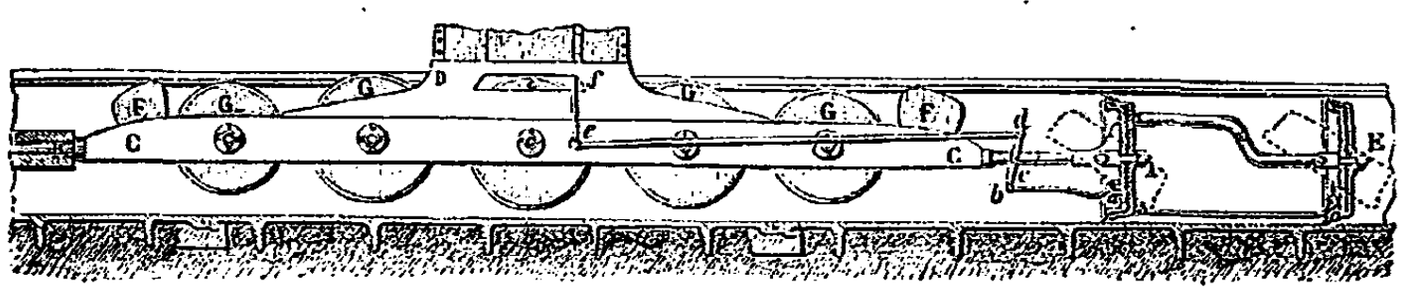


Fig. 60.

« Indiquons aussi l'avantage qu'offre ce piston, qu'il suffit de l'incliner à l'aide du levier *f e* pour que le système se meuve sans résistance, par exemple pour des-

petites machines séparées, de la force de 25 chevaux, font le service de l'eau pour les chaudières et de la condensation pour les machines; elles font également

CHEMINS DE FER.

la ventilation du foyer et les manœuvres de descente du train, à l'aide de cabestans pneumatiques; une autre machine placée au bas de la côte élève l'eau de la Seine pour alimenter les appareils. Ces diverses machines sont sorties de l'atelier de M. Hallette, d'Arras, et ont été construites sur les plans et sous la direction de M. Eugène Flachat. Un télégraphe électrique correspond avec le bois du Vésinet, et transmet aux machines les signaux pour leur mise en mouvement, car la puissance des machines est telle que l'on ne fait le vide qu'au moment où le train est attaché au piston. On évite ainsi un des grands inconvénients du système, les rentrées continuelles de l'air par la soupape, lorsqu'on veut préparer le vide à l'avance.

« A la rampe de Saint-Germain, le tube propulseur a 0m,63 de diamètre, pèse 500 kilos par mètre courant et coûte seul environ 200,000 fr. par kilomètre. Le prix total du chemin de fer atmosphérique s'est élevé à 1,800,000 fr. par kilomètre.

« La vitesse obtenue régulièrement depuis l'ouverture du chemin atmosphérique de Saint-Germain, qui a eu lieu le 14 avril 1847, varie, suivant la pesanteur des convois, de 32 à 70 kilomètres à l'heure. Un wagon, chargé d'un poids égal à celui de 40 voyageurs, lancé dans la gare de Saint-Germain et abandonné à lui-même, acquiert dans la descente une vitesse maximum de 77 kilomètres à l'heure, qu'il perd ensuite peu à peu jusqu'à son arrêt naturel sur la partie horizontale dans le bois du Vésinet. »

Le système atmosphérique est aujourd'hui abandonné; sur les chemins de Londres à Croydon, de Dublin à Kingstown, comme sur celui de Saint-Germain, la traction se fait par locomotives. Les frais de premier établissement sont trop considérables; la perte de force qui résulte de l'emploi de la soupape longitudinale toujours perméable à l'air est énorme et ne permet pas de compter sur un abaissement moyen de la colonne barométrique de plus de 0m,37; il n'est pas possible d'employer économiquement de puissantes machines fixes qui ne fonctionnent que pendant quelques minutes chaque jour. On n'a jamais pu songer sérieusement à en faire application ailleurs que sur quelques plans inclinés exceptionnels, et les progrès réalisés dernièrement dans la construction des locomotives rendent assez improbable qu'on y ait de nouveau recours.

Nous citerons cependant quelques-unes des tentatives faites dans le même sens, à cause de l'originalité d'invention déployée par les auteurs et pour prémunir ceux qui seraient tentés de s'engager trop avant dans une voie déjà explorée.

Locomotive à air comprimé de M. Andraud. — La machine se compose d'un réservoir d'air comprimé remplaçant la chaudière, accompagné d'un mécanisme ordinaire. Mais le volume d'air à employer serait si considérable, ou sa pression devrait être portée si haut pour permettre d'exécuter un trajet un peu long, que ce système n'a pas paru jusqu'ici susceptible d'être mis en pratique.

Système éolique. — M. Andraud est aussi l'inventeur d'un système de chemins de fer dits éoliques; entre les deux rails se trouve placé de champ un madrier longitudinal portant de chaque côté un tube flexible. Ce tube est en communication de distance en distance avec un réservoir d'air comprimé. Le premier wagon du train porte deux rouleaux verticaux susceptibles de se rapprocher, qui viennent presser de chaque côté les deux tubes flexibles montés sur le madrier. En introduisant l'air comprimé dans ces deux tubes, ils se gonflent, pressent les rouleaux et font avancer le train. Il y aurait probablement dans un pareil ensemble des pertes de force énormes; on ne connaît, d'ailleurs, aucune substance propre à confectionner économiquement et solidement les tubes flexibles du système éolique.

Système Pecqueur. — M. Pecqueur a imaginé une disposition qui ferait disparaître les inconvénients du transport de l'air comprimé; cet air serait pris dans un tuyau longeant la voie, et muni de distance en distance de tubulures à soupape mises en communication avec des tiroirs ou glissières creuses de grande dimension faisant partie des locomotives mêmes, ouvertes et fermées par un mécanisme spécial.

Le même auteur a proposé un système atmosphérique, analogue comme disposition générale à celui décrit plus haut, mais où la compression de l'air est employée de préférence à sa raréfaction.

Chemins de fer pneumatiques. — Un échantillon de ce mode de locomotion a été organisé et fonctionne depuis le 27 août 1864, près de Londres, au palais de cristal de Sydenham. Dans un tunnel de 548 mètres de long, sous lequel on a placé une voie en rampe de 0m,067, circule un wagon muni d'un écran en tôle avec bordure en étoffe, qui s'ajuste sur les parois du tunnel. Cet écran fait l'office d'un piston, et il est poussé par l'air comprimé chassé par un grand ventilateur; ce système, dû à M. Rammel, ingénieur Anglais, est une extension de celui qui a été essayé à Londres pour le transport des colis de la poste aux lettres dans des tuyaux en fonte de 0m,75 à 1m,50 de diamètre, système déjà proposé par Medhurst, en 1810, et plus tard par Vallance, Pinkus, etc.

Chemins de fer économiques. — On ne s'est pas moins préoccupé de trouver des combinaisons permettant d'établir les chemins de fer et de les exploiter à bon marché, que de les faire pénétrer dans les pays les plus accidentés; cette recherche a été l'un des objets principaux de l'enquête de 1863.

Chemins d'Écosse. — MM. Lan, Moussette et Bergeron ont recueilli des renseignements pleins d'intérêt sur un grand nombre de petites lignes exécutées en Écosse, et exploitées par des compagnies locales dans des conditions extrêmement économiques. Ces lignes, dont l'étendue est de 20 à 30 kilom. en moyenne, ont coûté de 70 à 125,000 fr. par kilom., non compris le matériel roulant, dont le prix a varié de 10 à 20,000 fr. par kilom. Le service se fait presque toujours en navette par un seul train; les stations sont placées à des passages à niveau, dont le garde, qui n'est pas même logé, est en même temps chef de gare, receveur et facteur : les expéditeurs et destinataires font eux-mêmes le chargement de leurs marchandises; la traction est faite par des machines-tenders de 18 à 20 tonneaux. Il n'y a ni service de nuit, ni éclairage, ni barrières, ni signaux dispendieux. Quelques-unes de ces petites compagnies exploitent à 45 p. 100, et donnent un bénéfice de 5 p. 100; celle de Eskbank à Peebles, par exemple, donne un produit brut de 10,000 fr. par kilomètre, et sa dépense ne s'élève qu'à 4,970 fr., répartis de la manière suivante :

Entretien de la voie.	860 fr.
Traction.	1,000
Matériel.	1,210
Trafic.	1,350
Frais généraux	550
Total.	4,970 fr.

On a remarqué avec juste raison que ces petites compagnies locales offrent de grands avantages pour la souscription du capital et la construction à bon marché; les éléments de l'entreprise peuvent être immédiatement contrôlés par les souscripteurs et suivis dans leur développement; on peut construire d'une façon plus modeste; on est exposé à moins d'exigences de la part des détenteurs des terrains, des entrepre-

CHEMINS DE FER.

neurs et des fournisseurs, et, pour l'exploitation, les relations avec le public sont plus familières, plus simples et plus faciles. Le capital de beaucoup de lignes Anglaises s'est constitué de même, sur place, par l'accord spontané des industriels et des propriétaires intéressés à leur exécution ; l'intérêt du capital est souvent très-bas, mais ce désavantage est amplement compensé pour les intéressés par les économies réalisées sur le transport de leurs produits et par la plus-value de leurs propriétés.

De telles combinaisons ne peuvent réussir que dans un milieu où l'esprit public, l'esprit et la liberté d'association et l'initiative individuelle sont largement développés. Si louable que soit l'entreprise des chemins de fer vicinaux du département du Bas-Rhin, elle ne présente que bien incomplétement ce caractère ; c'est le commencement d'un troisième réseau ajouté à ceux qu'exploitent les grandes compagnies par l'intervention de l'administration, et non l'œuvre spontanée des influences et des intérêts locaux. Cependant, comme la marche suivie en Alsace a justement éveillé l'attention publique, comme elle est bien adaptée à notre régime intérieur, et paraît sur le point d'être imitée par d'autres départements, il faut en donner ici un aperçu rapide.

Les chemins de Strasbourg à Barr et Wasselonne, et de Haguenau à Niederbronn, ont, l'un 49k,45, l'autre 20 kilom. de longueur : le maximum des pentes est de 0m,040 ; le minimum de rayon des courbes de 350 mètres. Leur exécution offre une application combinée de la loi du 21 mai 1836 sur les chemins vicinaux, et de la loi du 11 juin 1842 sur les chemins de fer. Les dépenses sont réparties de la manière suivante, par kilomètre :

INDICATION DES DÉPENSES.		STRASBOURG ▲ BARR, ETC.	HAGUENAU ▲ NIEDERBRONN.
Construction de la voie vicinale, aux frais des communes et du département, au moyen des prestations en nature, avec des subventions librement consenties par les industries locales, et une subvention de 12,000 fr. de l'État.	Études et surveillance par le personnel des chemins vicinaux, pour mémoire	»	»
	Acquisitions de terrains	16.895f 00c	8.323f 00c
	Terrassements et ballast	16.792 00	7.732 00
	Ouvrages d'art	3.745 00	3.900 00
	Totaux	39.432 00	19.955 00
Aux frais du département	Stations	8.522 59	7.809 72
	Maisons de garde, passages à niveau, clôture des stations	1.511 44	1.060 96
	Traverses	4.202 50	4.418 99
	Poteaux et fils télégraphiques	260 17	250 01
	Totaux	14.496 70	13.539 68
Aux frais de la compagnie de l'Est	Voies de fer, compris voies de garage et injection des traverses	35.000 00	35.000 00
	Frais généraux	1.735 00	1.735 00
	Totaux	36.735 00	36.735 00
Dépense totale par kilomètre		88.663 70	70.229 68
Dépense totale pour l'ensemble des lignes		4.347.200 87	1.399 503 02
Dépense moyenne par kilomètre		82 096f 00c.	

Le matériel roulant reste en dehors de cette évaluation. L'exploitation est faite par la compagnie de l'Est, avec garantie d'intérêt par l'État, suivant les dispositions adoptées pour le second réseau.

La commission d'enquête de 1863 a terminé ses considérations sur les chemins de fer économiques par les conclusions suivantes :

1° La plus grande latitude devrait être laissée, tant à l'administration pour autoriser, qu'au concessionnaire pour construire et exploiter les chemins de fer d'intérêt local ;

2° Les lignes de ce genre devant être, dans la plupart des cas, des chemins à transbordement, elles pourront et devront même différer essentiellement, tant sous le rapport de la construction que sous celui de l'exploitation, des chemins compris dans les réseaux jusqu'ici établis ;

3° Dès lors les prescriptions du cahier des charges ordinaire devraient être simplifiées, en ce qui concerne ces lignes, de manière à permettre de faire varier la largeur de la voie, le poids des rails, le système de matériel roulant, les rampes et les courbes, à supprimer l'obligation des clôtures en tant que règle absolue, et à autoriser pour les bâtiments les formes les plus simples ;

4° Toutefois, il serait désirable que dans chaque groupe les chemins locaux fussent construits avec la même largeur de voie, de manière à pouvoir être desservis par le même matériel roulant, mais cette uniformité ne doit pas être érigée en règle absolue ;

5° A l'égard de l'exploitation de ces lignes, la réglementation administrative devrait se borner aux mesures de police indispensables à la sécurité publique ;

6° Le bénéfice de la loi du 21 Mai 1836, sur les chemins vicinaux, pourrait être étendu aux chemins de fer d'intérêt local, notamment dans celles de ses dispositions qui concernent les enquêtes et les acquisitions de terrains.

Chemins de fer sur les routes. — D'autres personnes

proposent d'utiliser les routes actuelles, dont la largeur est souvent plus que suffisante, en y plaçant des rails toutes les fois que le tracé le permet. On a de nombreux exemples de voies de fer suivant les routes et même les rues des villes; à Nantes, à Berlin, à Gênes, en Belgique, aux États-Unis; il n'en résulte pas de sérieux inconvénients; on se contente de réduire la vitesse des trains à 16 kilomètres. MM. Molinos et Pronier ont lu, en 1861, à la Société des Ingénieurs civils de Paris, un intéressant mémoire sur les moyens d'exploiter des chemins de ce genre installés sur les accotements des routes, au moyen de machines locomotives. Mais, jusqu'à ce jour, la traction par chevaux a été employée de préférence : tel est le chemin de fer de la place de la Concorde à Versailles, et celui de Rueil à Port-Marly : ils sont des imitations des chemins installés dans les rues de New-York et de plusieurs autres villes des États-Unis.

Les rails sont posés sur longrines; ils pèsent 20 kilos le mètre courant. Les longrines sont reliées par des traverses espacées de $1^m,25$. Le kilomètre de voie posé coûte 27,000 francs.

Les véhicules contiennent 50 voyageurs. D'après les expériences faites par M. Tresca, ils pèsent chargés environ 6,000 kilos; le rapport du tirage à la charge est de 0,007; l'effort moyen de traction de 39 kilos 45, et chaque cheval produit en moyenne 65 kilogrammètres 57 par seconde. La traction est plus pénible sur les chaussées empierrées que sur les chaussées pavées.

Chemins d'usines et de mines. — Enfin, il est une autre classe de chemins de fer plus économiques et plus modestes que les précédents, qui n'en rendent pas moins d'immenses services dans les mines, sur les chantiers, dans les usines, dans les fermes. Ces chemins sont ordinairement composés de rails en fer méplat de $0^m,07$ de hauteur sur $0^m,014$ d'épaisseur, posés de champ et maintenus par des coins de bois dans des traverses de $0^m,11$ d'équarrissage espacées de $0^m,65$. L'écartement des rails est en moyenne de $0^m,50$. Le poids des véhicules est de 500 à 800 kilos. Dans ces conditions le mètre courant peut être évalué de la manière suivante :

Fer.	5 f.	60
Traverses en chêne à 1 fr..	1	50
Pose, déblais, remblais.	0	60
Total.	7	70

Dans les courbes on double les traverses pour soutenir le rail extérieur et on élève ce rail de $0^m,02$ à $0^m,03$ au-dessus du rail intérieur. Ces chemins peuvent se démonter et se transporter rapidement; ils sont bien préférables aux longrines garnies de bandes de fer clouées, quoique les frais de premier établissement de celles-ci soient un peu moins élevés. Les chariots descendent seuls les pentes de $0^m,006$.

Les forges livrent maintenant des rails de divers échantillons et de divers profils plus avantageux que le profil méplat, et applicables à tous les besoins de l'industrie.

Ces petits chemins sont ordinairement dépourvus de changements de voie et de plaques tournantes; aux bifurcations, l'on se contente de ménager des entailles suffisantes pour le passage des boudins des roues (*fig.* 61); et en poussant le véhicule, on le dirige avec toute la précision nécessaire vers la voie qu'il doit prendre. Les plaques tournantes sont suppléées par des plaques fixes en fonte ou en tôle, au droit desquelles les rails sont interrompus; afin d'éviter les tâtonnements, ces plaques sont pourvues d'arcs saillants venus de fonte ou rivés (*fig.* 62), qui se terminent par des tangentes

parallèles au rail et conduisent les chariots dans la direction voulue.

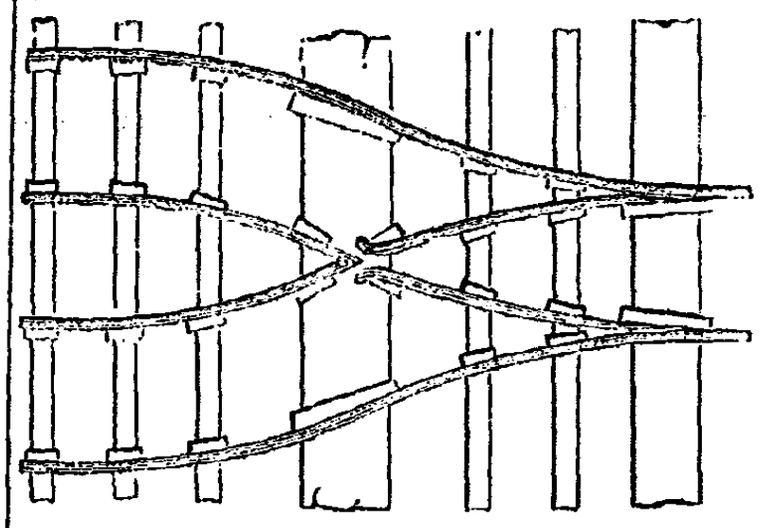


Fig. 61.

Dans les carrières des environs de Paris (Meudon, Trilport), on emploie un mode de transport qui se plie aux plus grandes inégalités du sol et de la voie, sur des terrains mobiles et imprégnés d'humidité. La voie a $0^m,27$ à $0^m,30$ de largeur; les roues sont remplacées par des rouleaux ayant la forme de deux troncs de cône juxtaposés par leur grande base (*fig.* 63 *et* 64); les chariots peuvent ainsi franchir sans dérailler des courbes de très-petit rayon et passer sur des voies impraticables avec toute autre disposition.

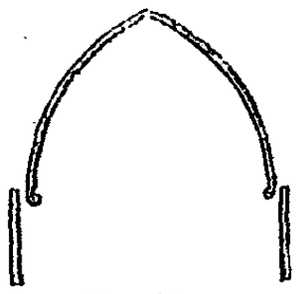


Fig. 62.

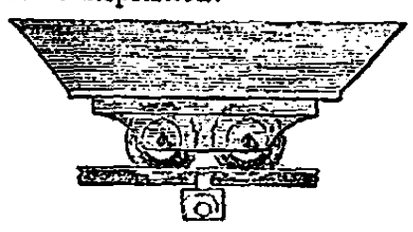


Fig. 63.

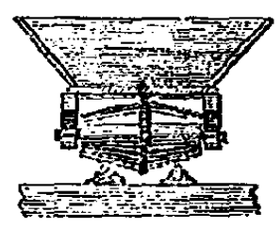


Fig. 64.

Ces chariots portent jusqu'à 600 kilogrammes.

On trouve dans quelques mines (la Grand-Croix) des chemins de fer suspendus, dits à la Palmer, dans lesquels le véhicule est soutenu par un fléau centre-coudé en fer qui reporte son centre de gravité dans la verticale du point d'appui; ce fléau est fixé à l'essieu d'une poulie roulant sur un rail suspendu et fixé à une longrine. Cette disposition est susceptible de nombreuses variétés qui ont été utilisées dans les usines et chantiers pour le transport des matériaux. (Carrières d'Angers, etc.) Voici la description donnée par M. Debette du chemin établi à Marvelay, près Épinac, par M. Delvaux.

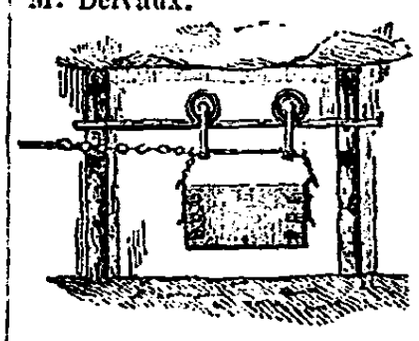


Fig. 65.

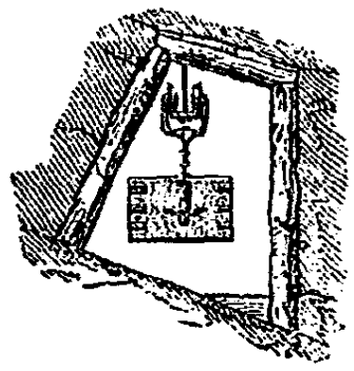


Fig. 66.

La voie (*fig.* 65 *et* 66) se compose d'une suite de longrines assemblées à leur extrémité à mi-bois et

reliées par des boulons à écrous. Cette voie est suspendue aux chapeaux des cadres de soutènement par de longs clous taraudés à l'extrémité qui doit s'engager dans le chapeau; elle est destinée à supporter quatre roues ou galets reliés deux à deux par un essieu recourbé qui passe sous la voie suspendue. Le galet est maintenu à l'extérieur par une petite clavette (*fig.* 67); chacun des essieux est lié par un boulon à écrou à une grande tringle longitudinale, à laquelle la caisse est suspendue au moyen de deux petites chaînes terminées par une ferrure en patte d'oie solidement clouée à une des parois de la caisse. Pour les traversées et changements de voie, une des longrines est entaillée à mi-bois et est renforcée dans cette partie par une bande de tôle fixée par des boulons. Une autre pièce, taillée à mi-bois de la même manière que la première, s'adapte sur celle-ci par un tenon autour duquel elle peut tourner; cette pièce se termine par un biseau qui va s'adapter, au moyen d'un petit tenon en fer, dans une autre bande de longrines appartenant à une autre voie, et constitue ainsi une véritable aiguille qui permet facilement au chariot de passer d'une voie sur l'autre. L'extrémité de la bande et la pièce tournante doivent être arrondies près du pivot à leur partie extérieure, afin de pouvoir permettre le libre mouvement des galets.

Fig. 67.

Citons encore le *chien de mine* (*fig.* 68 et 69), usité

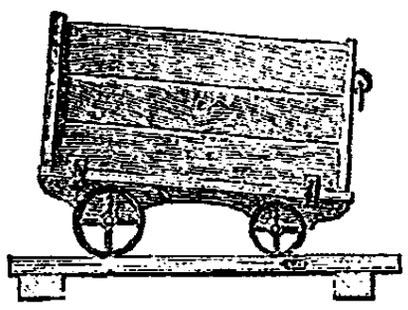


Fig. 68.

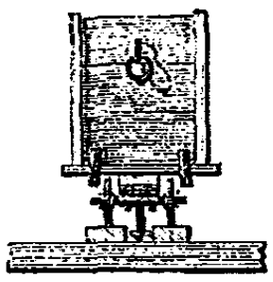


Fig. 69.

de temps immémorial dans les mines d'Allemagne pour le transport des minerais dans des galeries ordinairement étroites et tortueuses. Il consiste en une caisse prismatique à base quadrangulaire longue, haute et étroite, portée sur quatre roulettes ordinairement placées au-dessous de son fond, pour ne pas diminuer sa largeur. L'essieu des roues de devant est plus court que celui des roues de derrière, et ces deux essieux sont fixés, l'un tout près de la partie antérieure du chariot, l'autre en arrière du milieu et un peu au delà de la verticale, passant par le centre de gravité de la caisse chargée. Au milieu de l'essieu antérieur est fixée verticalement une cheville en fer qui sert à guider le chariot, ce qui est d'autant plus nécessaire que les rouleurs circulent en général sans lumière et en courant sur les voies de roulage souterraines. La voie de roulage est formée par deux lignes parallèles de solives en bois de $0^m,05$ à $0^m,06$ d'épaisseur et $0^m,10$ à $0^m,12$ de largeur au moins. Ces solives, quelquefois recouvertes de bandes de fer mince ou de plaques de fonte, sont fixées par des chevilles sur des traverses en bois posées sur le sol de la galerie ou appuyées par leurs extrémités dans des entailles faites dans les parois. Leurs faces verticales intérieures laissent entre elles un intervalle d'environ $0^m,03$, dans lequel est engagée la cheville directrice que l'on termine en général par un galet horizontal. Le rouleur se place derrière le chien et le pousse devant lui en s'appuyant sur sa partie postérieure.

Bibliographie. Les livres publiés sur les chemins de fer constituent déjà une bibliothèque spéciale très volumineuse : nous ne saurions citer tous ceux auxquels nous avons eu recours pour préparer cette notice, mais c'est un devoir de nommer au moins les ouvrages et les auteurs auxquels nous avons fait les emprunts les plus considérables, et principalement : les *Annales des ponts et chaussées*, les *Annales des mines*, les *Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils de Paris*, les *Documents statistiques publiés en* 1856 pendant l'administration de M. le comte Dubois, l'enquête de 1862, les œuvres de MM. Bazaine, Michel Chevalier, Couche, Daru, Eugène Flachat, Perdonnet, Teisserenc, Prosper Tourneux, etc. ELPHÈGE BAUDE.

CHEMINÉE (*angl.* chimney, *all.* schornstein). La cheminée est le conduit qui donne passage aux produits de la combustion et les conduit à une hauteur convenable. Toute la chaleur produite qui n'a pas été communiquée aux corps à chauffer, se trouve dans les gaz qui parviennent dans la cheminée, et celle-ci faisant, comme on le sait, que l'air traverse rapidement le foyer où est placé le combustible, on voit qu'elle permet à une partie de la chaleur de se transformer en force vive mécanique, en force ascensionnelle. Malgré toute la simplicité qui la rend applicable en toutes circonstances, on voit que sa théorie complète du mode de construction de la cheminée peut être intéressante et difficile.

Nous ne nous occuperons ici que des règles pratiques utiles pour l'établissement des cheminées. Ce fut *Mongolfier*, le célèbre inventeur des ballons, qui s'occupa le premier de leur tirage, et reconnut qu'il était dû à la différence de température qui existait dans leur intérieur et à leur extérieur. Soit h la hauteur verticale de la cheminée, $\alpha = 0{,}00366$ la dilatation de l'air pour 1° C., t la température ambiante, et t' celle de l'air chaud qui remplit la cheminée; la hauteur que prendrait une colonne d'air, remplissant la cheminée, à la température t, en passant à la température t', étant $h\,\frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}$, la hauteur motrice sera $h\,\frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t} - h = h\,\frac{\alpha(t'-t)}{1+\alpha t}$ ou approximativement, en remarquant que αt est très faible et peut être négligé, $\alpha h\,(t'-t)$, de sorte que la vitesse théorique du courant d'air chaud ascendant sera $v = \sqrt{2g\alpha h\,(t'-t)}$. Mais la vitesse réelle est beaucoup plus faible, ce qui tient, d'une part, à ce que l'air chaud entrant dans une cheminée par la partie inférieure se refroidit graduellement à mesure qu'il s'élève, par l'effet de l'irradiation et du contact des parois, proportionnellement à la différence de sa température et de celle de l'air extérieur, et en raison inverse de la vitesse du courant et du diamètre de la cheminée; et d'autre part, à l'effet du frottement qu'éprouve la colonne d'air chaud contre les parois. MM. Girard et d'Aubuisson ont prouvé que la résistance que les tuyaux de conduite opposent au mouvement des gaz, est proportionnelle au carré de la vitesse et à la longueur des tuyaux, qu'elle croît en raison inverse des diamètres, et qu'elle varie aussi selon la nature de la matière dont ces tuyaux sont formés; elle est plus grande dans les tuyaux de terre cuite que dans ceux de tôle, et plus grande dans ces derniers que dans ceux de fonte. M. Péclet a reconnu par expérience que la même loi s'applique exactement au mouvement de l'air chaud dans les cheminées. Quoique la fonte et la tôle, étant beaucoup meilleurs conducteurs de la chaleur que la brique, occasionnent dans les courants d'air chaud un refroidissement beaucoup plus rapide, il en résulte que les cheminées à parois métalliques tirent mieux que celles en briques; cependant celles-ci, étant beaucoup plus solides et plus durables, sont généralement préférées.

La résistance due au frottement du courant d'air

chaud ascendant contre les parois étant en raison inverse de l'aire de section et proportionnelle à son périmètre, il convient de choisir pour la forme de la section intérieure celle qui, sous le même périmètre présente l'aire maximum, c'est-à-dire le cercle ; la forme la plus convenable à donner à la section intérieure des cheminées, sous le rapport du tirage, est donc la forme circulaire, et c'est maintenant celle que l'on adopte généralement pour les cheminées des chaudières à vapeur.

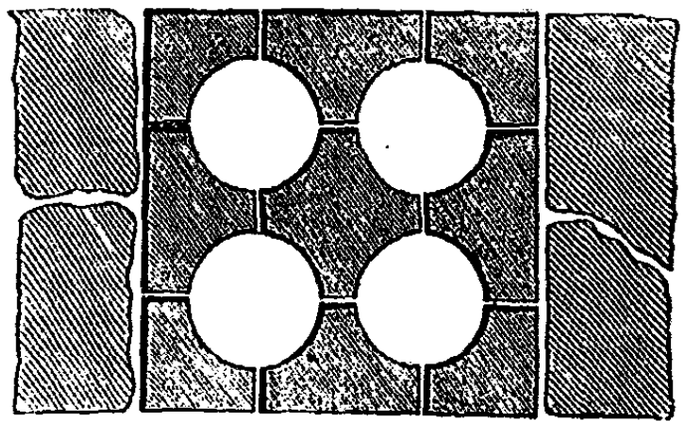
Lorsqu'on rétrécit l'orifice supérieur d'une cheminée en y adaptant un diaphragme, la dépense d'air et par conséquent le tirage diminuent, mais non pas proportionnellement à l'ouverture du diaphragme ; parce que la vitesse à l'intérieur, le long des parois, diminuant en même temps, la résistance due au frottement devient moindre, et qu'on raison de cela la vitesse d'écoulement par le diaphragme augmente ; de telle sorte que si le diamètre de la cheminée était grand par rapport au diamètre du diaphragme, la vitesse de l'air à l'orifice serait presque égale à la vitesse théorique. Quand le diaphragme est placé à la partie inférieure, les effets sont à peu près les mêmes, et la diminution de dépense est encore moindre, parce que la vitesse d'écoulement à l'orifice supérieur ne dépend que de la pression et non du diamètre, et que la dépense augmente avec celui-ci.

On voit d'après ce qui précède que l'activité du tirage peut s'obtenir soit en donnant aux cheminées une grande hauteur, soit en augmentant leur diamètre intérieur ; si l'on prend en considération le prix de la main d'œuvre et le refroidissement graduel de la colonne d'air chaud, on sera porté, toutes choses égales d'ailleurs, à donner la préférence à ce dernier procédé, qui permet en outre de diminuer la résistance due aux frottements contre les parois, en ayant soin de disposer, dans l'intérieur de la cheminée, un ou plusieurs diaphragmes d'un diamètre convenable ; il est nécessaire dans ce dernier cas que le diamètre de ces diaphragmes soit tel que l'air chaud ne s'écoule pas au dehors avec une vitesse de moins de 3 à 4^{m} par seconde, afin que le courant puisse résister à l'action des vents extérieurs et ne soit pas refoulé dans la cheminée.

Il est très difficile, pour ne pas dire impossible, dans la plupart des cas, de mesurer la température de l'air sortant, afin de pouvoir déterminer la température moyenne de l'air dans la cheminée, ainsi que de déterminer la perte de force vive due au frottement des parois ; ce qu'il y aurait de mieux à faire serait d'apprécier en bloc toutes ces résistances en comparant, dans un grand nombre de cas, la vitesse théorique de l'air donnée par la formule que nous avons établie plus haut, avec la vitesse réelle mesurée directement au moyen de l'*anémomètre de M. Combes*, que nous décrirons à l'article VENTILATION. Des mesures faites avec des instruments moins précis ont montré que la vitesse réelle n'était que 1/4 à 1/5 de la vitesse théorique.

Nous avons déjà donné dans cet ouvrage les règles pratiques qui servent à déterminer les dimensions des grilles et cheminées des CHAUDIÈRES A VAPEUR ; il est inutile d'y revenir ici. Les cheminées des maisons d'habitation ont proportionnellement une section beaucoup plus considérable, ce qui tient au mode de ramonage généralement adopté et qui ne permet pas de descendre au-dessous de certaines dimensions ; il en résulte que la vitesse de sortie de l'air étant très faible, le moindre vent rabat la fumée dans l'intérieur des cheminées et les fait fumer ; il serait très facile de parer à cet inconvénient en plaçant dans l'intérieur de chaque cheminée, un ou plusieurs diaphragmes mobiles de diamètre convenable, de manière à donner une vitesse suffisante au courant d'air chaud ; ce procédé, beaucoup plus simple que tous les appareils inventés jusqu'à ce jour par les fumistes, est d'un emploi certain, et nous sommes en droit de nous étonner qu'il n'ait encore été appliqué presque nulle part, ce qui pourrait se faire dans toutes les cheminées à peu de frais, sans changer leurs dimensions et le mode de ramonage habituel.

Ce qu'il y a de mieux pour les maisons d'habitation, sont les cheminées en briques à section intérieure circulaire (fig. 540) de M. *Gourlier* ; ces cheminées, placées dans l'intérieur des murs, n'en augmentent pas l'épaisseur et n'en diminuent pas la solidité ; elles peuvent se ramoner facilement en y promenant un fagot d'épines attaché par les deux bouts à des cordes de la longueur de la cheminée.



540.

L'établissement des cheminées hautes et isolées, telles que celles des chaudières à vapeur, etc., se faisait autrefois à l'aide d'un échafaudage extérieur et était très coûteux. Actuellement on les construit sans aucun échafaudage, en encastrant dans la maçonnerie, à l'intérieur, des barres de fer que l'on espace de 0^{m},60, et qui forment une échelle au moyen de laquelle on s'élève aisément dans la cheminée ; cette échelle sert à la construction et aux réparations. Un bon ouvrier, aidé d'un manœuvre qui lui passe les briques et le mortier, peut élever en quelques semaines une cheminée de 13 mètres de hauteur, ayant de diamètre à la base, extérieurement, 1^{m},70, et intérieurement 0^{m},80, et au sommet, extérieurement 0^{m},70, et intérieurement 0^{m},50. Pour alléger les cheminées et pour leur donner plus de solidité, on les construit en plusieurs assises, superposées comme on le voit plus loin fig. 514 ; on comprend sans peine qu'il faille leur donner une certaine épaisseur à la base, pour qu'elles puissent résister aux coups de vent et ne pas souffrir de l'action des gaz chauds qui y affluent. Lorsqu'une pareille cheminée doit desservir plusieurs foyers, il faut que la section soit au moins égale à la somme des sections des rampants qui viennent y déboucher.

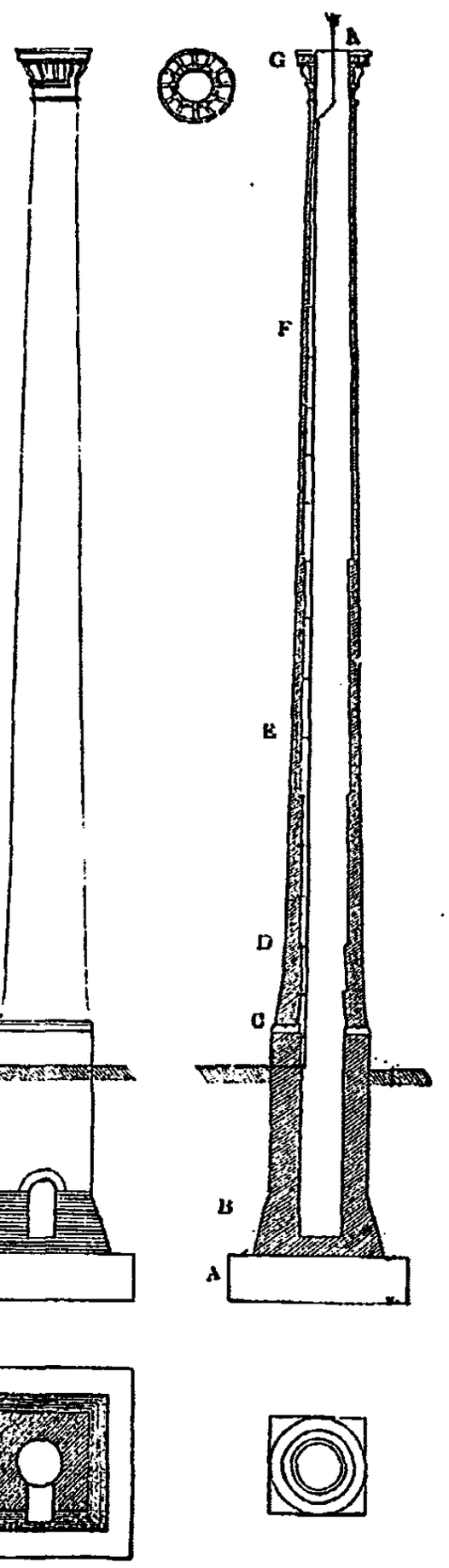
Comme lors de la mise en feu, les cheminées d'appel sont remplies d'air froid et ne produisent aucun tirage, il est nécessaire de faire au bas de la cheminée un feu très vif avec de la paille, ou toute autre matière facilement combustible. Du reste, les grandes cheminées conservent leur chaleur pendant assez de temps, pour qu'elles puissent reprendre immédiatement leur service sans échauffement préalable, après une interruption de quelques jours. Pour certaines cheminées d'appel, comme celles qui servent à la ventilation, on construit près de leur base un petit fourneau particulier, dit *fourneau d'appel*, qui sert à lancer dans la cheminée la quantité d'air chaud nécessaire pour déterminer le tirage.

Comme les hautes cheminées courent le danger d'être frappées par la foudre, il convient de les munir d'un paratonnerre dont la chaîne descend le long des parois extérieures ou intérieures et s'enfonce dans le sol comme à l'ordinaire. Il vaut toujours mieux donner aux cheminées plus de hauteur qu'il n'est nécessaire, car on peut toujours diminuer le tirage au moyen de registres convenablement placés, tandis qu'on ne peut l'augmen-

ter, ce dont on a besoin dans certains cas, lorsque par exemple, en été, la température extérieure est très élevée, ce qui diminue d'autant la force motrice, et rend plus considérable la consommation en combustible, car on sait qu'une combustion vive consommant une quantité d'air moins considérable, produit un effet calorifique beaucoup plus grand qu'une combustion lente.

Comme exemple de construction d'une cheminée, nous donnerons l'une de celles construites, d'après les dessins du célèbre ingénieur Robert Stephenson, pour les chaudières des deux machines à vapeur, de la force

511. 515. 512.



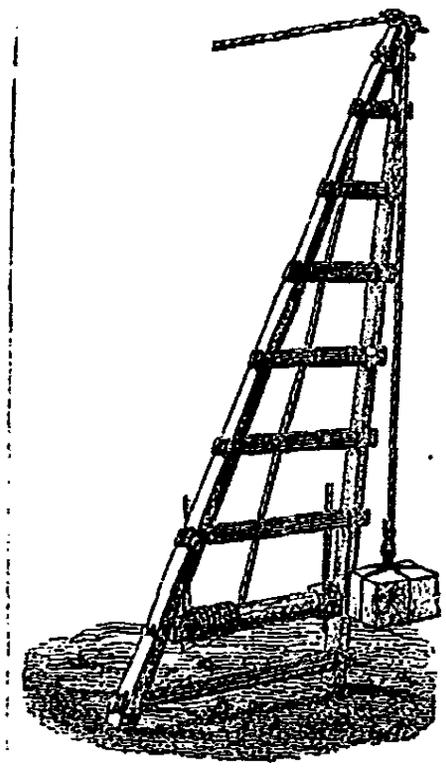
513. 514.

de soixante chevaux chacune, établies sur le chemin de fer de Londres à Birmingham, près de Camden, et servant à remonter les trains sur le plan incliné de Hampstead.

La fig. 511 en représente l'élévation ; la fig. 512, la coupe verticale; la fig. 513, la coupe horizontale au niveau du rampant ; la fig. 514, la coupe horizontale au niveau du sol; et la fig. 515 est le plan du chapiteau G qui surmonte la colonne. La fondation A de la cheminée est un massif en pierres de taille à base carrée de 7m,20 de côté et de 1m,80 de hauteur ; au-dessus est un tronc de pyramide en briques ayant à la base 5m,70 de côté, supportant un prisme de 3 mètres de côté qui s'élève jusqu'au niveau du sol II. La partie inférieure de la cheminée CD, se raccorde par un arc de cercle de 35 mètres de rayon avec la partie moyenne E de la cheminée, qui a 15 mètres de haut et qui porte la partie supérieure F, ayant 18 mètres de hauteur ; enfin le tout est couronné par le chapiteau G construit en pierres de taille consolidées par un anneau en fer. K est le paratonnerre.

La plus haute cheminée qui existe au monde est une cheminée construite dernièrement à Manchester, et qui a 125 mètres de hauteur, son diamètre extérieur à la base est de 7m,50, et au sommet de 2m,70; on y a employé 4,000,000 de briques.

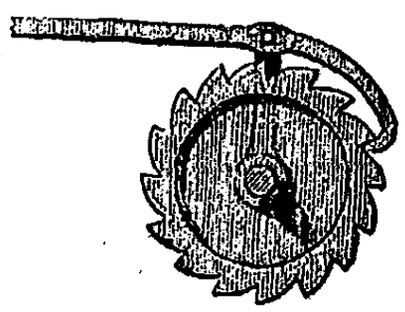
CHÈVRE. On appelle chèvre une machine très employée dans les constructions pour élever les matériaux. Elle se compose essentiellement (fig. 1) d'un treuil dont l'axe tourne entre deux montants qui se réunissent au-dessus de lui, et qui à leur jonction portent une poulie. La corde attachée au fardeau à élever passe sur cette poulie et vient s'enrouler sur le treuil, que l'on manœuvre à l'aide de leviers. La chèvre est maintenue dans une position presque verticale à l'aide d'une corde attachée d'une part à l'extrémité supérieure, et de l'autre à un point fixe situé dans le voisinage. La chèvre n'est en réalité qu'un mode d'emploi du treuil pour élever des fardeaux suivant une verticale placée en avant de celle qui passe par l'axe du treuil. Il est bien clair que le hauban qui maintient la chèvre est tendu en raison de l'inclinaison que l'on donne à celle-ci, et que la flexion qu'éprouvent les montants suit la même loi, d'où l'on doit conclure que la chèvre doit toujours être employée à une faible inclinaison sur la verticale.



1.

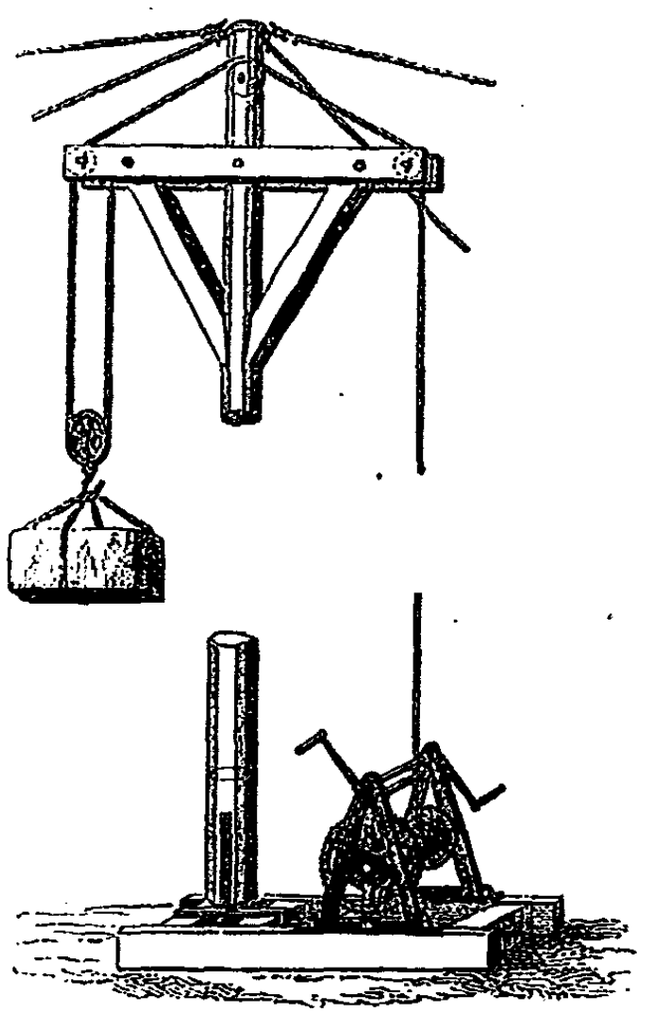
L'emploi de la chèvre, disposée, par exemple, à la partie supérieure d'un édifice en construction, offre des inconvénients nombreux, tant par la nécessité de la déplacer à mesure que l'on s'élève, que par la lenteur et la gêne qu'offrent les placements et déplacements des leviers. On ne peut guère songer à compliquer notablement le mécanisme d'une machine dont la légèreté et la simplicité font le principal mérite. Nous citerons, parmi les essais tentés dans cette direction, la disposition due à M. Noveu, représentée fig. 1560, article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE, qui permet de remplacer avec avantage la corde qui s'enroule autour du treuil par une chaine en fer.

Il est aussi une disposition que nous avons vu appliquer avec avantage dans l'artillerie, et qui est due à un capitaine d'ouvriers d'artillerie nommé M. Laurent, et qui a été imitée par plusieurs entrepreneurs de la capitale. Elle consiste à munir l'extrémité du treuil d'une espèce de roue à rochet (fig. 2), et à monter sur l'axe un levier tournant librement sur lui, à l'extrémité duquel est articulée une espèce de dent terminée par un long levier en fer, ou par une boîte dans laquelle s'engage l'extrémité d'un levier en bois. En soulevant l'extrémité de ce levier le rochet avance de deux ou trois dents; en l'abattant il fait tourner le treuil de l'arc correspondant à ces deux ou trois dents. On peut rendre ces mouvements alternatifs très rapides quand le poids du fardeau n'est pas trop considérable, et gagner ainsi beaucoup de temps sur la manœuvre ordinaire de la chèvre. Il va sans dire qu'un encliquetage empêche tout mouvement de recul du treuil.



2.

Depuis quelques années on emploie beaucoup à Paris, surtout pour les constructions importantes, un appareil dit *sapine* (fig. 3), dans lequel les ressources



3.

qu'offre la mécanique sont bien mieux utilisées que dans la chèvre ordinaire.

Il se compose d'un treuil à engrenages et d'un mât vertical formé d'un sapin tout entier, terminé en croix à sa partie supérieure. Ce mât s'appuie par un pivot en fer dans une crapaudine adaptée au châssis en charpente auquel le treuil est fixé; il est maintenu verticalement par quatre haubans, qu'on attache à des points fixes situés dans le voisinage. Une corde s'attache à l'un des bras de la croix, descend pour passer dans la gorge d'une poulie mobile, à la chappe de laquelle est suspendue le corps que l'on veut élever, remonte ensuite pour passer dans trois poulies fixes, et descend enfin pour s'enrouler sur le treuil. Deux manivelles placées aux deux extrémités d'un axe horizontal servent à faire tourner un pignon monté sur cet axe. Le pignon communique son mouvement à une roue dentée qui est fixée au treuil, la corde s'enroule et fait ainsi monter le fardeau. Un encliquetage est adapté à l'axe des manivelles, pour empêcher que le corps ne redescende lorsqu'on l'abandonne. On voit aisément que, d'après la disposition de cette machine, les tensions des haubans qui maintiennent l'extrémité supérieure du mât ne sont jamais très grandes.

Il est facile de donner aux roues dentées du treuil à engrenages des dimensions telles que pour le fardeau habituellement en usage, le travail des ouvriers soit dans des conditions de maximum d'effet utile. On voit aussi toute l'économie que l'on trouve, pour des constructions importantes, dans l'emploi d'un appareil qui sert sans être démonté pour la construction complète de l'édifice.

CHLORATES. Les chlorates sont des sels formés par l'*acide chlorique;* le seul d'entre eux employé dans les arts est le suivant :

CHLORATE DE POTASSE (*angl.* chlorate of potash, *all.* chlorsaures kali). C'est un sel blanc, cristallisé en lames hexagonales ou rhomboïdales, qui se dissout dans 16 p. d'eau froide et 2 1/2 p. d'eau bouillante; ces dissolutions ne sont pas précipitées par le nitrate d'argent. Soumis à l'action de la chaleur, le chlorate de potasse fond, bouillonne, produit un dégagement d'oxygène, et laisse un résidu formé d'un mélange de chlorure de potassium et d'hyper-chlorate de potasse. En chauffant plus fortement, il se dégage une nouvelle quantité d'oxygène, et il ne reste plus à la fin, dans la cornue où se fait l'opération, que du chlorure de potassium pur.

Le chlorate de potasse est assez fréquemment employé dans les laboratoires pour produire de l'oxygène et comme réactif oxydant; mêlé avec quelques matières combustibles telles que le soufre, le charbon, etc., ce sel détonne violemment par le choc; plusieurs de ces mélanges s'enflamment par le contact de l'acide sulfurique. On s'en sert pour la préparation des ALLUMETTES dites *oxygénées*, ainsi que pour celle des capsules fulminantes; dans ce dernier cas, on prépare la poudre fulminante ainsi qu'il suit : on lave à l'eau 10 parties de poudre, on mélange le résidu encore humide qui se compose de charbon et de soufre avec 5 p. 1/4 de chlorate de potasse très finement pulvérisé, et on broie le tout avec une quantité d'eau suffisante pour en former une bouillie assez liquide et bien homogène; on en introduit alors une goutte dans l'intérieur de chaque capsule et on l'y laisse sécher. Comme par la détonation de cette poudre il se dégage du chlore qui attaque fortement les pièces en fer qui composent la batterie, et que d'un autre côté il reste un résidu assez considérable de chlorure et de sulfure de potassium qui encrassent très rapidement les cheminées, on en a presque entièrement abandonné l'emploi et on l'a remplacé par la poudre fulminante de Howard (voyez FULMINATE DE MERCURE), qui est à présent généralement adoptée pour amorcer les capsules.

Le chlorate de potasse se prépare en saturant de chlore une dissolution de potasse ou de carbonate de potasse, aussi exempte que possible de sulfate. Si la dissolution de potasse était très étendue, on n'obtiendrait que peu de chlorure de potasse, tandis que quand elle est concentrée, il se produit au contraire une grande proportion de chlorate de potasse, et une quantité équivalente de chlorure de potassium (réaction que l'on peut

représenter par la formule : $12\ Cl + 6\ KO = [(Cl^2\ O^5 + KO) + 5\ Cl^2\ K)]$; ce dernier plus soluble reste dans la liqueur, tandis que le chlorate de potasse cristallise et se précipite au fur et à mesure au fond de la dissolution; comme il obstrue facilement le tube de dégagement par lequel arrive le chlore gazeux, il est nécessaire d'employer des tubes d'un grand diamètre, dans la partie inférieure desquels on fait pénétrer un tube fermé et recourbé en crochet, qui passe à travers un bouchon, et qui sert à les dégager.

Lorsque la liqueur contient un léger excès de chlore, on arrête l'opération, on fait égoutter les cristaux, et on les purifie par une seconde cristallisation en les dissolvant dans 2 1/2 à 3 fois leur poids d'eau bouillante, filtrant, puis laissant refroidir, afin d'enlever le chlorure de potassium entraîné en petite quantité dans les premiers cristaux, ainsi que la silice, dont toutes les potasses du commerce renferment toujours une quantité plus ou moins considérable à l'état de silicate, et qui est précipitée à l'état gélatineux par l'action du chlore.

Les eaux-mères évaporées donnent du chlorure de potassium.

La petite quantité de chlorate de potasse que l'on obtient par le procédé que nous venons de décrire, et qui ne s'élève guère qu'à 1/10e de celle du carbonate employé, a porté plusieurs chimistes à chercher à préparer ce sel par l'oxydation du chlorure de potassium. Voici les résultats obtenus par Liebig :

On forme avec de l'eau et du chlorure de chaux une pâte que l'on évapore à siccité, ou bien on fait passer du chlore dans un lait de chaux maintenu presque bouillant; il se produit du chlorate de chaux et du chlorure de calcium; on dissout à chaud dans l'eau, on ajoute du chlorure de potassium et on laisse refroidir; il se précipite beaucoup de cristaux de chlorate de potasse que l'on purifie par une seconde cristallisation. Si on se contentait de laisser refroidir la première liqueur, on n'obtiendrait pas tout le chlorate; il s'en dépose encore pendant 3 ou 4 jours. Avec 12 parties de chlorure de chaux de mauvaise qualité, qui laissait en se dissolvant dans l'eau 65 p. 100 de résidu, Liebig a obtenu 1 p. de chlorate de potasse cristallisé.

Le chlorate de potasse cristallisé est un sel anhydre qui renferme sur 100 parties :

Acide chlorique. .	61,50	$Cl^2\ O^5 + KO$.
Potasse.	38,50	
	100,00	

CHLORE (*angl.* chlorine, *all.* chlor). Le chlore est l'un des corps simples de la chimie; c'est un gaz jaune-verdâtre dont la densité par rapport à celle de l'air est de 2,47, et qui se liquéfie sous la pression de 4 atmosphères. Son odeur est très forte et caractéristique; il provoque la toux et peut même déterminer des accidents graves s'il est respiré en trop grande quantité : il agit alors comme corrosif très énergique. A la température et sous la pression atmosphérique, l'eau dissout environ le double de son volume de chlore gazeux : cette dissolution présente la couleur et toutes les autres propriétés du chlore. Lorsqu'on fait arriver un courant de chlore dans de l'eau placée dans un bocal entouré de neige, il se forme un hydrate de chlore solide sous la forme de flocons jaune-serin, qui se composent pour 100 de :

Chlore.	27,7	1 at.
Eau.	72,3	5 at.
	100,0	

Lorsqu'on chauffe cet hydrate, il commence à fondre à 10°, et se transforme rapidement en une solution aqueuse de chlore et en chlore gazeux qui se dégage avec effervescence.

Le chlore a une grande affinité pour l'hydrogène, et lorsque ces deux corps sont mélangés à l'état gazeux, ils se combinent avec explosion par l'approche d'un corps en ignition, l'étincelle électrique ou l'action directe des rayons solaires; il se forme alors de l'*acide* HYDRO-CHLORIQUE. De même, si l'on expose une dissolution de chlore à l'action de la lumière, l'eau se décompose peu à peu, et il se forme de l'acide hydrochlorique et de l'oxygène qui donne de l'eau oxygénée; aussi doit-on conserver les dissolutions de chlore à l'abri de la lumière dans des flacons recouverts de papier noir.

Le chlore se combine directement avec un grand nombre de corps, plusieurs même, tels que le soufre, le phosphore, l'antimoine, etc., y brûlent avec flamme. Les combinaisons binaires du chlore portent le nom de *chlorures* (voyez INTRODUCTION, CHIMIE), et jouent un rôle très important dans les arts.

Le chlore se combine également, mais seulement d'une manière indirecte, avec l'oxygène, pour donner naissance à quatre acides savoir : les acides *hypochloreux*, *chloreux*, *chlorique* et *perchlorique*. Parmi les sels formés par ces acides, nous citerons les *hypochlorites* ou CHLORURES DÉCOLORANTS et les CHLORATES, dont nous ferons l'objet d'articles séparés.

Le chlore gazeux détruit les matières colorantes, en s'emparant de l'hydrogène qu'elles renferment et pour lequel il a une grande affinité; les dissolutions aqueuses ont une énergie bien plus grande, ce qui tient à ce qu'alors, comme nous l'avons dit, il se forme, par suite de la décomposition de l'eau, de l'acide hydrochlorique et de l'eau oxygénée qui par son énergique action oxydante détruit très rapidement les matières colorantes. Le chlore agit d'une manière analogue sur la plupart des autres substances organiques; aussi est-il très employé pour détruire les miasmes morbides qui se répandent dans les hôpitaux, les amphithéâtres de dissection, etc... Il décompose complétement l'hydrogène sulfuré avec précipitation de soufre, et est par suite souvent employé pour détruire l'hydrogène sulfuré et l'hydrosulfate d'ammoniaque, qui se développent particulièrement dans les fosses d'aisance.

On prépare le chlore, soit en attaquant le peroxyde de manganèse par l'acide hydrochlorique, soit, ce qui est préférable, en chauffant modérément un mélange de 3 parties de sel marin, 2 p. de peroxyde de manganèse, 2 p. d'acide sulfurique et 2 p. d'eau; dans le premier cas il se forme du chlorure de manganèse, de l'eau et du chlore; dans le second, il se produit des sulfates de manganèse et de soude, de l'eau et du chlore, et on obtient pour la même quantité de peroxyde de manganèse une quantité double de chlore, que par le premier procédé.

CHLOROMÉTRIE (*angl.* et *all.* chlorometrie). La chlorométrie a pour but l'essai des dissolutions de chlore, et surtout des CHLORURES DÉCOLORANTS. Le plus ancien procédé chlorométrique dû à M. Gay-Lussac, consiste à chercher la quantité d'une dissolution titrée de sulfate d'indigo, que peut décolorer une quantité donnée de la dissolution de chlore ou du chlorure décolorant. On prend pour unité le pouvoir décolorant de 1 litre de chlore gazeux à 0°, et sous la pression de 0m,76 de mercure; ce volume absorbé dans son volume d'eau, sert à titrer la dissolution d'indigo dans l'acide sulfurique, que l'on étend d'eau jusqu'à ce que 10 parties de cette dissolution soient exactement décolorées par 1 p. en volume de chlore gazeux. Maintenant, si on cherche le volume de cette dissolution titrée d'indigo, qui sera décoloré par 1 partie en volume de la dissolution de chlore à essayer, le nombre qui exprimera ce volume, divisé par 10, indiquera le titre de la dissolution, et pour prendre un exemple, si la dissolution de chlore décolore 15 parties de la solution titrée

d'indigo, elle renferme 15/10 ou 1 fois 1/2 son volume de chlore.

D'après M. Gay-Lussac, 1 partie de chlorure de chaux pur dissous dans 100 p. en poids d'eau, donne une dissolution qui renferme à très peu près son volume de chlore, et qui par conséquent décolorerait 10 fois son volume de la solution d'indigo ; si donc on prend 5 gram. du chlorure à essayer et qu'on les dissolve dans 1/2 litre = 500 gram. d'eau, puis qu'on essaie cette dissolution et qu'on trouve qu'elle ne décolore que 7 fois 1/2 son volume de la solution titrée d'indigo, on en conclura que le chlorure essayé ne renferme que 75 p. 100 de chlorure de chaux pur. Les essais chlorométriques se font de la même manière que les essais alcalimétriques (voyez ALCALIMÉTRIE), et avec les mêmes appareils, ce qui nous dispense d'y revenir ici ; on s'arrête, lorsqu'en ajoutant une nouvelle portion de la solution titrée d'indigo, la couleur n'est plus entièrement détruite et passe au vert.

Au lieu d'indiquer la teneur chlorométrique en centièmes, on l'exprime souvent en dixièmes ou degrés. Ainsi dans les exemples que nous avons pris, on dirait que la dissolution de chlore était à 15°, et le chlorure de chaux à 7° 1/2.

Le principal inconvénient de ce procédé, tient à ce que la solution titrée d'indigo s'altère à la longue, de sorte qu'on ne peut avoir des résultats exacts qu'avec des solutions récemment préparées.

Depuis M. Gay-Lussac a inventé un autre procédé, qui consiste à remplacer la solution d'indigo par une dissolution d'acide arsénieux dans l'acide hydrochlorique, à laquelle on ajoute quelques gouttes de sulfate d'indigo, qui la colore en bleu ; le procédé consiste à ajouter avec une pipette la dissolution de chlorure décolorant à une quantité donnée de la solution d'acide arsénieux, jusqu'à ce que celui-ci soit complétement transformé en acide arsénique, ce que l'on reconnaît à ce que le chlore qui se dégage réagit alors sur l'indigo et en détruit la couleur. On prend pour unité le pouvoir oxydant d'un litre de chlore gazeux à 0°, sous la pression de 0m,76 de mercure, et on la suppose divisée en 100 parties. On fait ensuite une dissolution de chlore dans l'eau qui renferme son volume de chlore gazeux, au moyen de laquelle on prépare une dissolution normale d'acide arsénieux, qui sature exactement son volume de la solution de chlore ci-dessus. On peut encore, d'après M. Gay-Lussac, préparer la solution normale d'acide arsénieux en dissolvant 4gr,439 d'acide arsénieux, parfaitement pur, dans de l'acide hydrochlorique tout à fait exempt d'acide sulfureux, puis étendant d'eau, jusqu'à ce que le tout forme un volume d'un litre. Pour faire l'essai d'un chlorure, on en prend 10 grammes que l'on dissout dans 1 litre d'eau, puis on détermine combien il faut ajouter de centimètres cubes de cette dissolution à 100 centimètres cubes de la solution normale d'acide arsénieux, pour convertir complétement ce dernier en acide arsénique ; on reconnaît que l'on atteint le point de saturation, à ce que la couleur bleue due à l'indigo disparaît. Il est évident que le titre du chlorure de chaux sera en raison inverse de la quantité qu'il faudra en ajouter : si l'on doit en ajouter 100cc, le chlorure essayé sera du chlorure de chaux pur renfermant son volume de chlore gazeux, et si l'on emploie 133cc, le chlorure essayé renfermera 100 : 133 ou 75 p. 100 de chlorure de chaux pur.

On ne peut opérer inversement, c'est-à-dire chercher à saturer une quantité donnée de chlorure de chaux en dissolution, en y versant par petites portions la solution normale d'acide arsénieux, parce que l'action de l'acide hydrochlorique sur le chlorure de chaux détermine un dégagement de chlore gazeux, qui ne réagirait qu'incomplétement sur la faible proportion d'acide arsénieux en présence, ce qui n'a pas lieu par le procédé que nous avons indiqué, et dans lequel l'acide arsénieux se trouve en excès par rapport au chlore qui se dégage.

On peut encore employer d'autres procédés chlorométriques, parmi lesquels nous citerons celui du docteur Ure, fondé sur la décomposition de l'ammoniaque par le chlore et la mesure de l'azote dégagé, et celui que nous avons décrit à l'article BLANCHIMENT, basé sur la transformation du sulfate de protoxyde de fer en sulfate de peroxyde par l'action du chlore ; mais ces divers procédés sont loin de présenter l'exactitude et la commodité du dernier procédé que nous avons décrit.

CHLORURES. Les combinaisons binaires dans les quelles le chlore est l'élément électro-négatif portent le nom de chlorures. La plupart des chlorures sont solides à la température ordinaire, cependant il y en a de liquides comme les chlorures de silicium et de titane, les perchlorures de chrôme, de manganèse et d'étain, et même de volatils comme le chlorure de bore. Aucun ne jouit de l'éclat métallique, si ce n'est le perchlorure de fer lorsqu'il a été sublimé. Leur couleur est en général la même que celle des sels ou des oxydes correspondants. Ils sont tous fusibles, et la plupart à une chaleur inférieure au rouge, les chlorures de bismuth, de zinc et d'antimoine, se liquéfient à une chaleur inférieure à 100°. Ils sont presque tous volatils et même assez fortement ; les perchlorures le sont plus que les protochlorures.

Les chlorures sont tous indécomposables par la chaleur seule, à l'exception de ceux d'or, de platine, de rhodium, d'iridium et de palladium, qui sont réduits à l'état métallique. La lumière en décompose lentement quelques-uns ; par exemple, elle noircit le chlorure d'argent en en dégageant une partie du chlore.

L'oxygène et l'air décomposent à l'aide de la chaleur les chlorures des métaux très oxydables : tels sont ceux de chrôme, de manganèse, de fer, de nickel et de cobalt ; il se dégage du chlore qui entraîne souvent avec lui une certaine quantité de chlorure en vapeurs, et le résidu est de l'oxyde pur. Les chlorures alcalins et ceux de plomb, d'argent, etc., ne s'altèrent pas par le grillage. L'hydrogène réduit tous les chlorures métalliques à une température plus ou moins élevée, à l'exception de ceux qui ont pour base des métaux alcalins ou terreux : le métal reste pur et il se dégage de l'acide hydrochlorique. Le charbon pur ne les altère pas ; mais quand il n'a pas été très fortement calciné, il agit sur eux par l'hydrogène qu'il renferme. Le soufre en vapeur en décompose un grand nombre : il se forme alors du chlorure de soufre et un sulfure métallique ; lorsqu'il n'y a pas excès de soufre, il se forme souvent des sulfo-chlorures. Les métaux se comportent avec les chlorures à peu près comme avec les oxydes et les sulfures, c'est-à-dire que les plus oxydables décomposent les chlorures des métaux moins oxydables. Le potassium et le sodium les réduisent tous.

Les chlorures sont tous solubles dans l'eau, et la plupart sont même très solubles et déliquescents, à l'exception du chlorure d'argent et des proto-chlorures de cuivre et de mercure qui sont insolubles et du chlorure de plomb qui est fort peu soluble. Quelques-uns se décomposent par le contact de l'eau, en acide hydrochlorique et en oxydes, ou en oxy-chlorures qui restent en partie dissous dans la liqueur, tels sont les chlorures de silicium, de titane, d'antimoine, de bismuth, etc. La vapeur d'eau en décompose un grand nombre à la chaleur rouge. Beaucoup de chlorures sont solubles dans l'alcool. On reconnaît les chlorures solubles au précipité blanc caillebotté, passant presque instantanément au bleu-violacé sous l'action des rayons solaires, qu'ils donnent par l'addition d'un peu de nitrate d'argent.

L'acide sulfurique anhydre n'a aucune action sur les chlorures, mais en présence de l'eau, il les décompose ; si en même temps on ajoute du peroxyde de manganèse, il se dégage du chlore, caractère distinctif des chlorures.

L'acide nitrique concentré et bouillant décompose également les chlorures en donnant lieu à un dégagement de chlore, mais son action est très faible sur les chlorures insolubles ou même peu solubles. Les acides fixes, tels que l'acide silicique, décomposent au rouge tous les chlorures, en présence de la vapeur d'eau, cette propriété permettrait d'obtenir très aisément l'*acide* HYDRO-CHLORIQUE à un prix assez bas, si les fabriques de SOUDE *artificielle* n'en fournissaient pas une quantité plus que suffisante aux besoins du commerce.

Plusieurs chlorures (le protochlorure de cuivre et la deutochlorure d'or par exemple) peuvent se combiner en proportions définies, avec l'acide hydrochlorique pour former des *hydrochlorates de chlorures*, avec les oxydes correspondants pour former des *oxy-chlorures*, avec l'ammoniaque pour former des *ammonio-chlorures*, et enfin entre eux pour former des *chlorures doubles*. Les chlorures se combinent aussi, comme nous l'avons déjà fait remarquer, avec les sulfures, pour donner des *sulfo-chlorures*.

Les chlorures neutres sont formés de 2 at. de chlore et de 1 at. de métal.

On peut considérer les chlorures, quand ils sont dissous, soit comme des chlorures métalliques hydratés, soit comme des hydro-chlorates d'oxydes dans lesquels l'oxygène de la base est à l'hydrogène de l'acide dans le même rapport que dans l'eau. Comme la plupart des dissolutions reproduisent des chlorures purs par l'évaporation à sec, il est plus simple d'admettre qu'elles renferment les chlorures tous formés, plutôt que de supposer qu'elles contiennent des hydro-chlorates qui changent de nature par la dessiccation. Cependant il est certain que l'acide hydrochlorique forme des sels, puisqu'il se combine avec l'ammoniaque et avec les bases organiques.

Dans l'ancienne hypothèse, qui faisait du chlore un corps oxygéné, l'*acide muriatique oxygéné*, l'acide hydrochlorique portait le nom d'*acide muriatique*, et les chlorures étaient regardés comme des sels ordinaires ou *muriates*, nom sous lequel on les désigne encore quelquefois.

On obtient les chlorures par l'un des procédés suivants :

1° Par l'action du chlore gazeux sur les métaux ou sur leurs oxydes, purs ou mélangés de charbon, ou sur leurs sulfures ;

2° Par l'action de l'acide hydro-chlorique sur les métaux ou sur leurs oxydes ;

3° Par l'action de l'eau régale, contenant un excès d'acide muriatique, sur les métaux ;

4° En chauffant un métal avec du perchlorure de mercure ;

5° Par double décomposition ;

6° En chauffant un chlorure hydraté ou un hydrochlorate avec du sel ammoniac.

Voici les principaux chlorures, nous traiterons des autres à l'article de chaque métal :

HYDROCHLORATE D'AMMONIAQUE, SEL AMMONIAC (*angl.* sal ammoniac, *all.* salmiak).

L'hydrochlorate d'ammoniaque est composé d'acide hydrochlorique et d'ammoniaque dans les proportions suivantes :

Acide hydrochlorique . .	68,39	$H^3 Cl^2$.
Ammoniaque.	31,61	
Pour.	100,00	parties de sel

supposé parfaitement pur ; dans le commerce, on trouve le sel blanc sublimé qui, par sa pureté, se rapproche extrêmement de cette composition.

La forme primitive du sel ammoniac est l'octaèdre, dans quelques circonstances cependant on l'obtient cristallisé en gros cubes ; ordinairement on le retire de sa dissolution concentrée, sous la forme d'agglomérations qui présentent l'aspect de feuilles de fougères. — Le sel ammoniac est volatil à une température inférieure au rouge-brun, il s'exhale en vapeurs blanches épaisses et très abondantes, faciles à condenser à une température même assez élevée ; dans la fabrication, nous verrons qu'on a tiré parti de cette propriété pour épurer le sel et lui donner une forme commerciale qui facilite son transport.

L'hydrochlorate d'ammoniaque est très soluble dans l'eau ; sa dissolution concentrée marque 25° à l'aréomètre de Baumé ; il a une saveur analogue, mais plus piquante que celle du sel marin, et d'ailleurs, on le reconnaît facilement par le dégagement d'ammoniaque que l'on obtient lorsqu'on le traite par de la chaux humectée.

Le sel ammoniac est originaire de l'Egypte, qui avait jadis le privilége exclusif de le fournir à toute l'Europe ; son nom dérive évidemment de celui du temple de Jupiter Ammon.

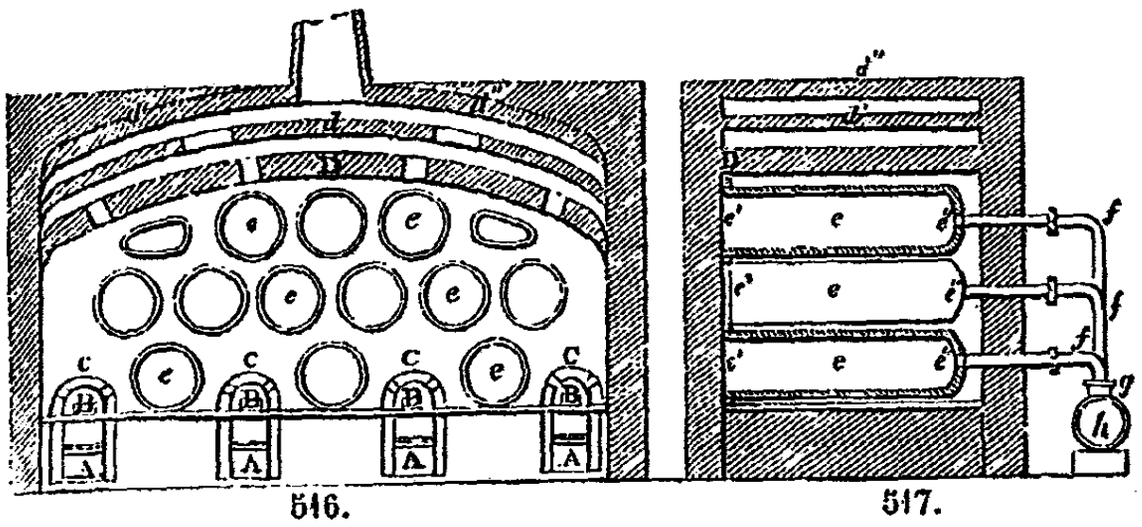
Dans ce pays le sel ammoniac se rencontre tout formé et en assez grande abondance dans l'urine et dans la fiente des chameaux ; ces matières premières étaient autrefois les seules employées pour le produire. Rien n'est plus simple que cette fabrication primitive ; la fiente desséchée au soleil tient lieu de combustible très rare en Egypte, et donne par sa combustion des vapeurs épaisses qui entraînent le sel ammoniac sublimé ; celui-ci se dépose mélangé avec la suie sur les parois des cheminées ; cette suie recueillie est livrée aux fabricants qui la subliment dans des ballons en verre enduits de terre limoneuse desséchée ; le reste de l'opération est identique à ce qui est pratiqué en Europe, et que nous décrirons plus loin ; ajoutons seulement, pour donner de suite une idée des perfectionnements introduits dans cette industrie, que le sel ammoniac d'Egypte se vendait autrefois en Europe 6 et 7 francs le kilogr., tandis que les fabriques françaises le livrent aujourd'hui à 2 francs le kilogr. sublimé, et à moins de 1 franc seulement cristallisé, mais très pur.

Aujourd'hui, les sels ammoniacaux se préparent en Europe, sans exception, avec des produits provenant de trois sources distinctes ; mais qui ont toutes pour point de départ la décomposition des matières animales ou azotées. Ces trois matières premières sont : 1° les produits volatils condensés que développent les divers débris d'animaux, soit pendant leur fermentation spontanée, soit durant leur décomposition à une haute température. — Tout le monde sait que, dans ces circonstances, il se dégage, entre autres produits volatils, une grande quantité de carbonate, d'hydrosulfate et d'acétate d'ammoniaque, et même de l'ammoniaque libre ; 2° l'urine putréfiée, provenant des vidanges des villes ; à Paris, par exemple, cette matière première est d'une très grande importance, puisqu'elle donne lieu à une production annuelle de 8 à 900,000 kilogr. de sels ammoniacaux ; 3° les eaux de condensation des usines à gaz, connues sous le nom d'eaux ammoniacales ; déjà nous avons vu, dans l'article AMMONIAQUE, que ces eaux pouvaient donner directement de l'alcali volatil d'une grande pureté.

Les deux dernières matières premières, c'est-à-dire l'urine putréfiée et les eaux condensées, se rencontrent toutes prêtes à servir à la fabrication du sel ammoniac ; il n'en est pas ainsi de celles de la première section, dont la préparation exige une opération préalable que nous devons décrire avant d'aller plus loin : cette opération consiste à distiller à une haute température des matières animales d'un prix peu élevé, telles que la chair de cheval desséchée, le sang, les cornes, les chiffons de laine, de soie ou de crin, etc., et dans ce cas, on obtient pour résidu un charbon propre à la préparation du *prussiate de potasse* (voyez BLEU DE PRUSSE), ou bien des os d'animaux, et on obtient alors du NOIR ANIMAL

CHLORURES.

destiné à la décoloration des sirops de sucre. Cette distillation s'opère dans des cornues cylindriques en fonte de 1m,80 de longueur sur 0m,70 à 0m,80 de diamètre



516.

517.

placées dans un fourneau dont les fig. 516 et 517 représentent deux coupes verticales; A, cendriers; B, foyers recouverts de voûtes en briques réfractaires C, percées chacune de 8 ouvertures pour répartir également la flamme dans l'intérieur du fourneau, qui est lui-même recouvert d'une triple voûte D, dont la première est percée de 20 évents, la seconde de 4 évents, et la troisième d'une seule ouverture, qui forme la base de la cheminée. Les cornues *e* sont fermées, à l'une de leurs extrémités, par des plaques de fonte *e'*, lutées et assujetties avec des vis; les tubes *f*, *f*, *f*, qui s'adaptent à leurs autres extrémités *e''*, *e''*, *e''*, conduisent les produits de la distillation, par le tuyau *h*, dans un condenseur. — Quelle que soit la matière animale distillée, les produits liquides que l'on obtient sont à peu près les mêmes; ils consistent en huiles empyreumatiques à odeur repoussante que l'on recueille à part, et en un liquide composé pour la plus grande partie, de sous-carbonate d'ammoniaque en dissolution, et retenant encore une certaine proportion d'huile.

C'est cette liqueur ammoniacale, marquant à peu près 8 ou 9° à l'aréomètre de Baumé, qui sert à préparer le sel ammoniac, en concurrence avec l'urine et avec les eaux de condensation du gaz d'éclairage.

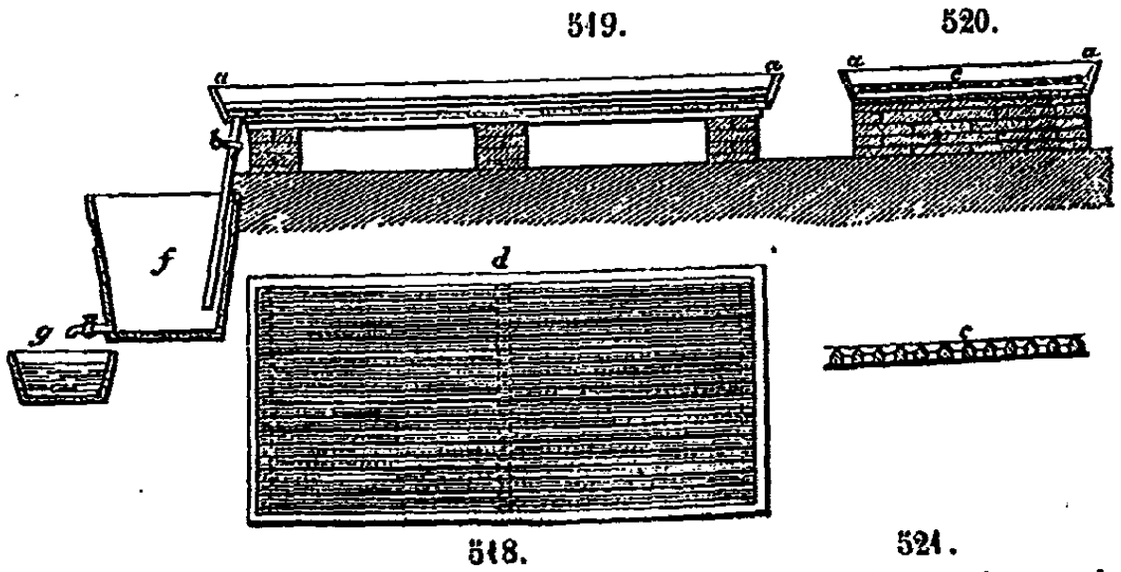
Ces trois matières premières peuvent donner du sel ammoniac par deux procédés différents; l'un consiste à saturer directement les liqueurs avec de l'acide hydrochlorique, puis à évaporer la dissolution de l'hydrochlorate jusqu'à 22° Baumé, point où la liqueur cristallise; cette évaporation se fait dans des chaudières en plomb. Ce procédé est surtout préférable, lorsque l'acide hydrochlorique est à bas prix; il a l'inconvénient, peu important du reste, d'introduire dans le sel ammoniac une certaine quantité de fer que renferme toujours l'acide du commerce et qui colore en jaune les pains de sel ammoniac. Lorsque les liqueurs ammoniacales sont très étendues, comme le sont en général les eaux de condensation du gaz, et surtout les urines, il convient pour économiser les frais de combustible, de les distiller sur de la chaux et de ne saturer par l'acide, que le produit de la distillation.

Le second procédé est plus compliqué, il consiste à produire l'hydrochlorate d'ammoniaque par double décomposition en préparant d'abord du sulfate d'ammoniaque, puis en le traitant par du sel marin ou chlorure de sodium; ces deux sels, dissous, mis en présence à la température de 100 degrés centigrades, se décomposent mutuellement et forment du sulfate de soude et de l'hydrochlorate d'ammoniaque. Ce procédé très ingénieux appliqué d'abord sans résultats économiques, en 1760, près de Charenton, par le célèbre Baumé, puis repris avec succès en 1797, par MM. Payen et Pluvinet, est encore employé dans plusieurs fabriques; il est surtout applicable aux liqueurs ammoniacales provenant de la distillation des matières animales, et dans les localités où l'acide hydrochlorique revient à un prix élevé. Voici les détails de l'ensemble de ce procédé : il se compose de trois opérations distinctes. 1° La préparation du sulfate d'ammoniaque au moyen de plâtre; 2° la décomposition du sulfate d'ammoniaque par le sel marin; 3° enfin la sublimation du sel ammoniac.

1° *Préparation du sulfate d'ammoniaque.* Dans le but d'économiser l'acide sulfurique, on décompose le sous-carbonate d'ammoniaque contenu dans les eaux provenant de la distillation des matières animales, en filtrant ces eaux sur du sulfate de chaux (plâtre) réduit en poudre grossière. Le filtre se compose d'une caisse rectangulaire en bois, doublée de plomb, et munie d'un grillage en bois disposé bien horizontalement à quelques centimètres du fond; on étend sur ce grillage une toile forte et claire, bien tendue, sur laquelle on dispose une couche de plâtre de 10 centimètres d'épaisseur; pour que la décomposition soit plus complète et que le plâtre soit mieux épuisé, on a toujours quatre filtres en marche et l'on fait successivement passer la liqueur sur tous les quatre, en ayant soin d'opérer méthodiquement, c'est-à-dire, de faire passer le liquide de plus en plus saturé sur du plâtre de plus en plus neuf. Malgré cette précaution, il reste toujours dans la liqueur un excès d'ammoniaque et de carbonate d'ammoniaque qu'il convient de saturer avec de l'acide sulfurique en quantité suffisante pour que le liquide soit légèrement acide.

Les filtres ci-dessus sont représentés en plan, fig. 518, en coupe longitudinale, fig. 519, et en coupe transversale, fig. 520; *a*, caisse en bois doublée en plomb; *b*, tuyau de décharge en plomb; *c*, *c*, grillage en bois (*d* sur le plan) représenté en coupe à une plus grande échelle, fig. 521 : sur ce grillage supporté par des tra-

519. 520.



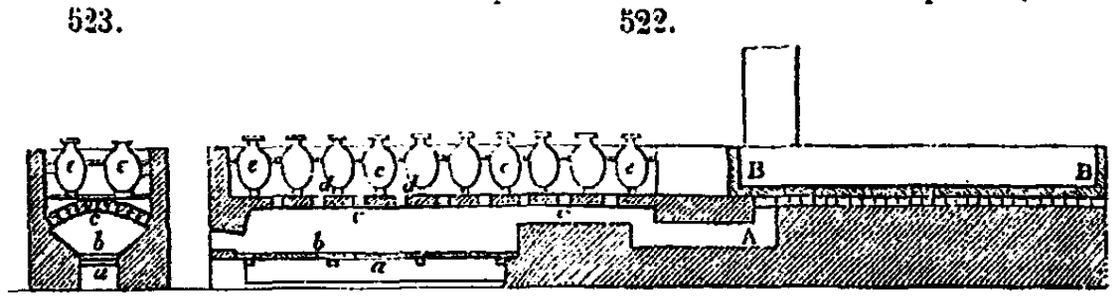
518. 521.

verses à quelques centimètres du fond, est tendue une toile en fort canevas, que l'on recouvre d'une couche de 0m,10 de plâtre ; *f*, réservoir doublé en plomb, et muni d'un couvercle.

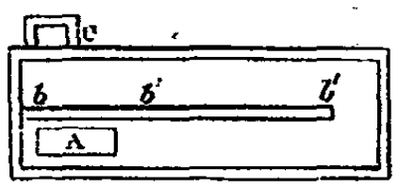
2° *Décomposition du sulfate par le sel marin.* La liqueur filtrée, et saturée comme nous venons de le dire, est remontée à l'aide d'une pompe dans un réservoir supérieur qui la distribue à volonté dans des chaudières évaporatoires en plomb de 7 à 8 millimètres d'épaisseur ; le fond de ces chaudières repose, au-dessus du foyer, sur une voûte en briques qui le préserve de la réverbération directe du feu et au-dessus des carneaux qui circulent en dessous, sur des plaques en fonte.

Lorsque la liqueur est amenée dans ces chaudières au point de marquer 19 à 20 degrés à l'aréomètre de Baumé, on y ajoute peu à peu la quantité de sel marin calculée d'avance pour décomposer entièrement le sulfate d'ammoniaque, et on a soin de remuer continuellement jusqu'à ce que la dissolution soit complète. On soutire alors à l'aide d'un siphon, le liquide dans un réservoir assez profond, où les substances insolubles contenues dans le sel marin se déposent ; la liqueur déposée et soutirée au clair est remontée dans une chaudière d'évaporation, où après quelques heures d'ébullition elle laisse déposer des cristaux grenus de sulfate de soude beaucoup moins soluble que le sel ammoniac, lequel reste au contraire en dissolution.

523.



524.



525.

Tant que dure la précipitation du sulfate de soude on doit agiter continuellement avec un râble en bois, surtout dans les parties de la chaudière les plus chauffées ; sans cette précaution le sel pourrait s'attacher au fond, et dans ce cas la chaudière ne tarderait pas à se fondre. Le sulfate de soude se rassemble spontanément vers les parties voisines des bords de la chaudière qui sont les moins chauffées, on le ramasse à l'aide d'une drague en cuivre, et on le jette dans des trémies placées sur le bord de la chaudière ; les eaux-mères retournent donc directement dans cette dernière.

Le sulfate de soude bien égoutté est ensuite porté dans d'autres trémies, où on le lave méthodiquement, d'abord avec des eaux de lavage d'une précédente opération, puis en définitive avec une faible proportion d'eau pure ; on en sépare ainsi la plus grande partie de l'hydrochlorate d'ammoniaque qu'il retenait. Ce sulfate égoutté et bien desséché peut être livré en cet état au commerce ou employé à la fabrication du carbonate de soude.

Lorsque la liqueur qui est restée dans la chaudière a laissé précipiter la plus grande partie du sulfate de soude qu'elle peut donner, et que d'ailleurs le sel ammoniac est assez concentré, on arrête le feu et on fait passer à l'aide d'un siphon la liqueur dans les cristallisoirs. Ces cristallisoirs sont des caisses rectangulaires, en bois, doublées de plomb de 4 à 5 millimètres d'épaisseur ; ayant à peu près 1m,50 de large, 2m à 2m,50 de long et seulement 0m,40 de profondeur. Pour la commodité du service, et l'économie de la main-d'œuvre, ces cristallisoirs sont à bascule, afin que les eaux-mères puissent s'enlever plus facilement. Après 24 ou 30 heures, suivant la température extérieure, la cristallisation est terminée, on enlève les eaux-mères, et on incline les cristallisoirs, pour achever l'égouttage des cristaux.

Le sel ammoniac brut bien égoutté est purifié par des lavages avec une très petite quantité d'eau ; si l'on veut obtenir un sel sublimé blanc, il est même nécessaire de redissoudre les cristaux, et de les faire cristalliser de nouveau, etc.

Le sel ammoniac brut débarrassé du sulfate de soude est ensuite parfaitement desséché, sur des plaques en fonte, sur lesquelles on l'agite à l'aide d'une pelle, en ayant soin surtout de diviser les agglomérations de cristaux ; lorsqu'il est bien sec on le ramasse, on le pulvérise dans un moulin à bras et on l'enferme immédiatement dans un lieu bien clos et à l'abri de l'humidité.

3° *Sublimation du sel ammoniac brut.* Quelque soin que l'on ait pris dans les opérations précédentes, le sel ammoniac brut que l'on obtient par le procédé que nous décrivons est toujours fortement coloré, contient des matières étrangères, et entre autres une petite quantité de sulfate, qui le rendent impropres à l'emploi direct ; il devient nécessaire de l'épurer par la sublimation.

Le fourneau de sublimation se compose, comme on le voit dans les fig. 522, 523, 524 et 525, d'une rigole A, où l'on dispose deux par deux les matras en grès *e*, dans lesquels on sublime le sel. Ces matras qui sont enduits d'un lut argileux, reposent sur la voûte *c*, qui les préserve de l'action trop directe du feu *b* ; des orifices *d*, permettent à la flamme de traverser cette voûte et de venir lécher la surface extérieure des bouteilles. A 0m,40 du fond de la rigole se trouvent des plaques en fonte percées d'orifices qui permettent d'introduire les bouteilles, mais qui isolent de la flamme ou des produits de la combustion leur partie supérieure où doit se condenser le sel ammoniac, sublimé dans la partie inférieure ; à la suite du four de sublimation est placée une chaudière de concentration B B, chauffée à flammes perdues. Après avoir placé les bouteilles en grès, comme l'indique la figure, on les recouvre d'une couche de cendres qui repose sur les plaques en fonte, et qui a pour but de les préserver du contact immédiat de l'air froid. Le sel ammoniac brut en poudre fine est introduit dans les bouteilles à l'aide d'un entonnoir, on l'y tasse fortement avec un pilon en bois façonné de manière à pouvoir entrer dans la bouteille. Tout étant bien disposé, on allume le feu, et on élève très graduellement la température pour ne pas briser les vases de sublimation. La petite proportion d'eau que contient encore le sel brut se volatilise dès le commencement ; quelque temps après le sel lui-même commence à se réduire en vapeurs ; on recouvre alors l'orifice avec un petit pot renversé qui est destiné à recueillir le sel qui aurait échappé à la condensation. Lorsque la sublimation est commencée le feu doit être conduit très régulièrement, de manière à ce que la différence de température entre le fond et le dessus des bouteilles suffise pour volatiliser le sel à la partie inférieure, et le condenser à la partie supérieure ; pour obtenir de bons résultats, l'ouvrier qui conduit le feu doit avoir une assez longue expérience. L'orifice des bouteilles s'engorge de temps en temps ; aussitôt que cela arrive on doit le déboucher, afin qu'une trop forte pression ne les fasse pas éclater ; malgré toutes les précau-

tions cet accident se reproduit de temps en temps ; lorsqu'on s'en aperçoit, il faut se hâter d'enlever le vase avec des pinces, afin de ne pas perdre entièrement le sel ammoniac qu'il renferme.

Dès que la sublimation est arrivée à son terme, ce que l'on reconnaît à l'épaisseur du pain de sel ammoniac, on cesse le feu, on enlève les cendres qui recouvrent les vases ; puis après quelques heures de repos, on enlève les bouteilles elles-mêmes de dessus le fourneau ; le refroidissement s'opère alors rapidement et détermine de nombreuses fractures ; on achève de casser les vases, afin d'enlever le pain qui est attaché à leur partie supérieure ; on en détache avec une hachette les fragments de grès adhérents, et le pain est définitivement livrable au commerce.

Les pains de sel ammoniac ont environ 0m,33 de diamètre, et à peu près 9 à 10 centimètres d'épaisseur au centre ; ils pèsent de 9 à 11 kilogrammes.

Le résidu qui est resté au fond des bouteilles pèse de 2 à 3 kilogr., on le pulvérise et on le fait passer dans une opération suivante ; il contient toujours une certaine proportion de sulfate de soude.

Les frais de sublimation du sel ammoniac sont considérables, puisqu'ils en doublent le prix ; il convient donc dans la plupart des circonstances d'employer directement l'hydrochlorate d'ammoniaque simplement cristallisé ; on en fait aujourd'hui d'une grande pureté en traitant, comme nous l'avons dit, le produit de la distillation des urines ou des eaux de condensation du gaz par l'acide hydrochlorique, puis en faisant cristalliser la dissolution par évaporation ; ce procédé si simple est même le seul qui puisse être appliqué à ces deux matières premières, car elles contiennent, outre le carbonate, une grande proportion d'hydrosulfate d'ammoniaque qui n'est pas décomposé par le sulfate de chaux et qui se perd en grande partie pendant la filtration.

Les deux procédés que nous venons d'indiquer ne sont pas les seuls qui aient été mis en usage, on s'est encore servi, pour saturer le liquide ammoniacal obtenu, des matières animales calcinées en vases clos, des eaux-mères qui proviennent du traitement des os par l'acide hydrochlorique (voyez COLLE FORTE). Ce traitement donne lieu à un abondant précipité de carbonate et de phosphate de chaux, et d'ailleurs la présence de la gélatine dissoute dans l'acide rend les eaux-mères difficiles à cristalliser. Ce procédé, qui paraît économiser au premier abord l'acide hydrochlorique, ne présente en définitive des avantages sur les précédents que dans quelques circonstances particulières. A Bouxvillers, par exemple, où l'on obtient en même temps les eaux ammoniacales, de la distillation des matières animales, et le résidu du traitement des os par l'acide hydrochlorique, et où d'ailleurs cet acide revient à un prix assez élevé ; ce procédé paraît donner des résultats économiques.

Enfin il nous reste à parler d'un procédé beaucoup plus économique que les précédents, et qui, certainement, est appelé à fournir avant peu tout le sel ammoniac que la consommation exige. Ce procédé, dû à M. Mallet, est lié intimement à l'épuration du gaz d'éclairage, et il est déjà appliqué dans plusieurs usines du nord de la France ; voici en quoi il consiste :

Le gaz d'éclairage, tel qu'il sort des usines à gaz n'est jamais pur ; entre autres produits il renferme toujours du carbonate et de l'hydrosulfate d'ammoniaque ; M. Mallet a eu l'idée de le débarrasser de ces gaz à odeur infecte en le faisant barboter dans du chlorure de manganèse neutre ; nous n'insisterons pas ici sur cette épuration qui trouvera sa place à l'article ÉCLAIRAGE AU GAZ. Constatons seulement que le gaz d'éclairage est complétement dépouillé des sels ammoniacaux qu'il renfermait et qui, en présence du chlorure de manganèse, se transforment en hydrochlorate d'ammoniaque, en donnant lieu à un précipité de carbonate et de sulfure de manganèse ; lorsque la liqueur est complétement saturée, c'est-à-dire quand tout le chlorure de manganèse est décomposé, on vide les vases d'épuration, on laisse déposer la liqueur ; on la soutire à clair et l'on obtient, de prime abord, une dissolution de sel ammoniac presque entièrement privée d'oxydes métalliques par l'acide hydrosulfurique contenu dans le gaz, et qui marque 7 à 8° à l'aréomètre de Baumé. Toute la fabrication se réduit donc à évaporer cette dissolution, puis à la faire cristalliser. On obtient ainsi un sel de bonne qualité qui est excellent pour la sublimation, et qui revient à un prix bien inférieur à celui qui résulte des autres procédés de fabrication. En effet, le chlorure de manganèse est un résidu sans emploi et extrêmement abondant, de la fabrication du chlore et de celles des chlorures décolorants ; l'acide hydrochlorique qu'il contient a donc une faible valeur. L'ammoniaque ne coûte rien, puisque c'est le gaz qui l'a fourni ; enfin tous les frais de fabrication sont nuls, puisqu'ils ont pour résultat très important l'épuration du gaz ; il ne reste donc plus que les frais d'épuration qui sont proportionnellement très peu considérables.

Ce procédé réussit très bien dans les trois ou quatre usines à gaz où il a été adopté ; il est probable qu'il le sera bientôt à Paris, et dans ce cas, cette méthode n'aurait plus de concurrence, non seulement pour la fabrication de l'hydrochlorate, mais aussi pour celle de sulfate que l'on préparerait d'une manière analogue au moyen du sulfate de manganèse.

Le sel ammoniac est indispensable dans l'étamage du fer, du cuivre, du laiton, et surtout des ustensiles de ménage ; on l'emploie encore pour précipiter le platine de ses dissolutions.

Il y a quelques autres applications peu importantes.

CHLORURE D'ANTIMOINE ou *beurre d'antimoine* (voyez ANTIMOINE) ; est employé dans les arts pour *bronzer* le fer et l'acier.

CHLORURE D'ÉTAIN. Il y en a deux : le protochlorure souvent appelé *sel d'étain*, et le perchlorure ou *liqueur fumante de Libavius* (voyez ÉTAIN) ; le *sel d'étain* est un mordant très employé en peinture, surtout pour fixer la couleur rouge de la cochenille ; il sert également à préparer le *pourpre de Cassius* pour le peintre sur porcelaine (voyez POTERIES).

CHLORURES DE MERCURE. Il y a deux chlorures de mercure : le protochlorure, aussi nommé *calomel* ou *mercure doux*, et le bi-chlorure ou *sublimé corrosif* ; ces deux sels sont d'un usage très fréquent en médecine.

Le protochlorure de mercure est blanc, insoluble et par suite peu vénéneux, mais il s'altère peu à peu par le contact de l'air en se changeant en un mélange de mercure métallique et de deutochlorure. On le prépare soit par voie de double décomposition, en précipitant du protonitrate de mercure par du sel marin, ou en chauffant un mélange de protosulfate de mercure et de sel marin pour volatiliser le protochlorure produit, soit en triturant 4 parties de deutochlorure avec 3 parties de mercure métallique, puis chauffant le mélange jusqu'à sublimation. Il est indispensable de laver à l'eau avec soin le produit obtenu, pour en séparer la petite quantité de sublimé corrosif qu'il renferme presque toujours, lorsqu'il a été préparé par l'un des deux derniers procédés que nous venons d'indiquer.

Le deutochlorure ou sublimé corrosif est très insoluble dans l'eau, et cristallise en aiguilles d'un blanc nacré ; sa saveur est styptique et métallique, très forte et désagréable ; c'est un poison des plus violents ; son antidote est l'albumine ou blanc d'œuf, délayé dans de l'eau. Il est employé dans les laboratoires, comme chlorurant énergique, et dans la teinture. On le prépare soit directement en dissolvant du mercure dans de l'eau régale et faisant cristalliser, soit par voie de double décomposi-

CHLORURES DÉCOLORANTS.

tion, en soumettant à la distillation un mélange de deutosulfate de mercure et de sel marin, ou bien de 2 parties de sulfate de mercure, 2 p. de sel marin et 1 p. de peroxyde de manganèse.

CHLORURE DE POTASSIUM. C'est un sel qui ressemble beaucoup pour la forme et les propriétés chimiques au sel marin ; sa saveur est salée, mais un peu amère ; en se dissolvant dans l'eau il produit un abaissement remarquable de température qui peut aller, selon M. Gay-Lussac, jusqu'à 11°1/2. Il est quelquefois employé en médecine.

CHLORURE DE SODIUM. (Voyez SEL).

CHLORURES DÉCOLORANTS. Ces composés, qui ont les propriétés des dissolutions de chlore, étaient autrefois regardés comme des *chlorures d'oxydes;* plus tard *Berzelius* les considéra comme des *chlorites;* actuellement l'opinion la plus généralement admise consiste à les regarder comme des *hypo-chlorites.* Enfin, dernièrement, M. *Millon* a conclu de ses recherches que ces composés correspondaient à un degré supérieur d'oxydation, dans lequel l'excès d'oxygène qui constitue le peroxyde serait remplacé par une quantité équivalente de chlore, ce qui reviendrait à très peu près à l'ancienne hypothèse des chlorures d'oxydes. Quoi qu'il en soit, ces composés sont tous solubles et très peu stables; ils sont décomposés par tous les acides minéraux et même par l'acide carbonique qui donne lieu à un dégagement de chlore; c'est même à cette influence que l'on attribue les phénomènes du blanchiment en grand par le chlorure de chaux. On sait en effet que la dissolution de chlorure de chaux n'est pas capable d'altérer les couleurs végétales les plus fugaces, à l'abri du contact de l'air; avec ce contact, ou plutôt à la faveur de l'acide carbonique contenu dans l'air, elle détruit, au contraire, les couleurs les plus stables avec une grande rapidité. S'il y a en présence une matière organique, le chlore au lieu de se dégager réagit sur cette matière en formant de l'acide hydrochlorique qui réagit sur le chlorure restant et donne lieu à un nouveau dégagement de chlore, de sorte que l'action de la dissolution en devient beaucoup plus rapide. Souvent, ainsi que nous l'avons vu à l'article BLANCHIMENT, on rend cette action plus prompte et plus régulière en trempant d'abord l'étoffe à blanchir dans une dissolution de chlorure de chaux, la retirant, l'égouttant légèrement et l'immergeant ensuite dans de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique qui dégage seulement une quantité de chlore proportionnelle à la quantité de chlorure dont le tissu est resté imprégné. Il résulte de ce qui précède que pour conserver les chlorures décolorants il est nécessaire de les conserver dans des vases bien bouchés, à l'abri du contact de l'air.

Nous allons successivement décrire les principaux de ces composés.

CHLORURE DE CHAUX (*angl.* chloride ollime, *all.* chlorkalk). Le chlorure de chaux se prépare en saturant de chlore soit de l'hydrate de chaux en poudre, soit un lait de chaux.

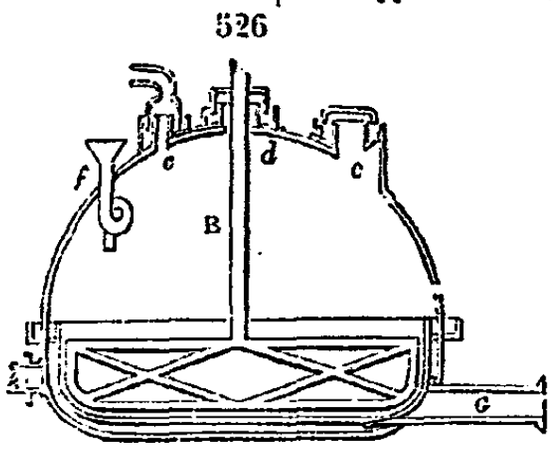
On place ordinairement la chaux éteinte en poudre par couches de 3 à 4 centim. d'épaisseur sur des planches de 0m,60 de largeur, munies de rebords et disposées en étages contre les parois d'une chambre de 2m,50 à 3m,00 de hauteur, bâtie en grès et hermétiquement fermée, dans laquelle on fait arriver du chlore préparé avec un mélange de peroxyde de manganèse, de sel marin et d'acide sulfurique au degré de concentration qu'il atteint dans les chaudières de plomb (voyez CHLORE). Les cornues qui servent à préparer le chlore sont ordinairement de forme à peu près sphérique et construites en plomb ; elles sont alors chauffées au moyen d'un courant de vapeur qui les enveloppe sur leur partie inférieure. Quelquefois la partie supérieure de la cornue est seule en plomb, tandis que la partie inférieure est en fonte et reçoit directement l'action du feu. On débarrasse ordinairement le chlore qui se dégage de la petite quantité d'acide hydrochlorique qui peut s'être formé en même temps, en le faisant passer au travers d'un flacon laveur renfermant un peu d'eau qui retient l'acide ; on le fait ensuite arriver au sommet de la chambre en maçonnerie, dans l'intérieur de laquelle il se répand uniformément en descendant peu à peu en vertu de sa grande densité qui est d'environ deux fois et demie celle de l'air. La durée totale de la saturation est d'environ quatre jours. Pour rendre facile à juger la marche de l'opération, il faut établir sur deux côtés en regard des ouvertures closes avec des vitres afin d'apercevoir la couleur de l'atmosphère. Les ouvertures qui servent à pénétrer dans la chambre sont fermées pendant l'opération par des portes mobiles, dont les bords sont garnis de lisières recouvertes de bandes de papier collé. Quand l'opération est terminée, on ventile la chambre, avant d'y pénétrer, en ouvrant deux ouvertures opposées, ou bien en la mettant en communication avec une cheminée où il y a du feu et permettant à l'air d'y pénétrer par une autre ouverture.

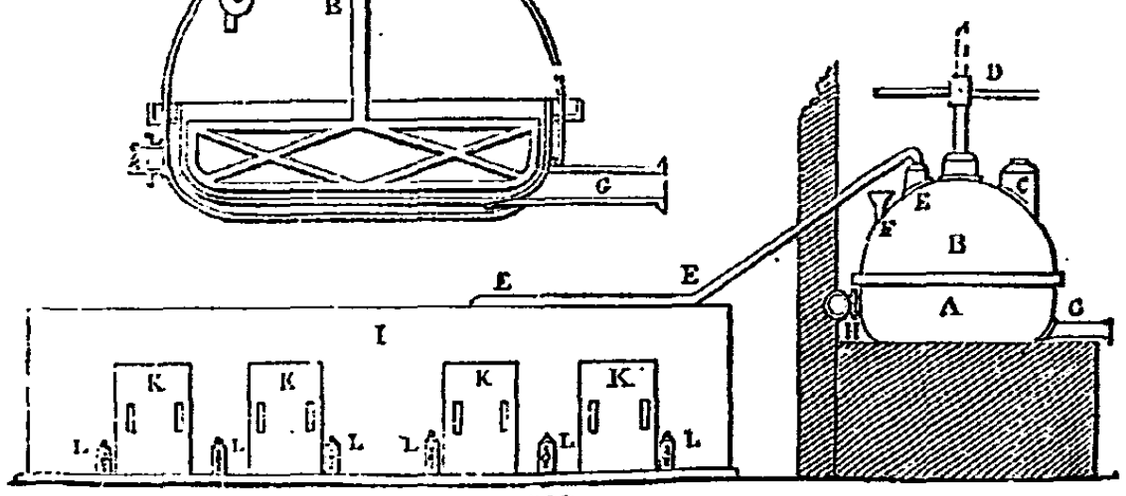
Souvent on ouvre la chambre tous les deux jours en la chargeant par moitié à chaque fois, ce qui rend le travail plus facile et plus régulier.

On obtient moyennement 150 kilogr. de chaux solide du commerce, de bonne qualité, pour 100 kilogr. de sel marin employé; il est probable qu'on pourrait en obtenir jusqu'à 200 kilogr., en employant une proportion plus considérable d'acide sulfurique et de peroxyde de manganèse.

Les fig. 526 et 527 représentent un appareil du genre de celui que nous venons de décrire. La cornue dans laquelle on prépare le chlore est formée de deux parties en plomb A, B; la partie inférieure A est entourée d'une enveloppe en fonte; un courant de vapeur arrivant par

526





527.

le tuyau H, dans l'espace compris entre les deux fonds, sert à chauffer la cornue ; un tuyau de vidange G sert

à evacuer les résidus de l'opération ; C, ouverture par laquelle on charge le sel marin et le peroxyde de manganèse; F, tube en S servant à introduire l'acide sulfurique ; D, agitateur formé d'un axe vertical mis en mouvement par une machine, et portant un châssis qui sert à maintenir constamment les parties solides en suspension ; È, tube de dégagement servant à conduire le chlore dans la chambre I, divisée en quatre compartiments.

Le chlorure de chaux solide se transporte facilement et se conserve mieux, sans altération, que le chlorure liquide, à cause de l'excès de chaux qu'il renferme; mais cet excès même s'oppose à ce que l'on puisse obtenir aussi aisément par son moyen des liqueurs aussi concentrées; aussi dans les lieux de très grande consommation, comme à Mulhouse, par exemple, il est avantageux de préparer immédiatement le chlorure de chaux à l'état liquide. Voici, d'après M. Schwartz, le procédé de préparation suivi dans cette localité :

Le chlore produit dans un double rang de ballons de verre chauffés au bain de sable, est conduit de chaque côté dans une auge en grès silicieux (de Guebwiller), par des tubes qui traversent un couvercle en bois enduit de mastic résineux reposant dans une rainure pratiquée sur les bords de l'auge. Un axe qui passe dans la longueur de l'auge porte des palettes en hélice dont les bords se trouvent à 5 ou 6 centim. de celle-ci ; cet axe reçoit un mouvement continu au moyen d'une manivelle placée à une de ses extrémités. Un entonnoir placé à l'extrémité opposée de l'auge, s'élevant à la hauteur du couvercle, communique avec l'auge par un tube horizontal et est destiné à l'introduction du lait de chaux ; enfin une ouverture placée du côté de la manivelle sert à retirer le chlorure.

Pour que l'opération marche bien, il faut élever immédiatement la température à 50° environ et l'y maintenir tant que le gaz se dégage ; on la porte ensuite rapidement à l'ébullition et on la maintient à ce point quelques instants. Il faut avoir soin d'employer un excès d'oxyde de manganèse, et de placer un vase entre les ballons et l'appareil absorbant ; les vases intermédiaires servent à retenir l'acide hydrochlorique qui en se distillant empêcherait le liquide des appareils producteurs de passer dans la cuve ; ils ont l'inconvénient d'augmenter la pression dans les appareils et pour atténuer cet effet, il faut que les tubes ne plongent que d'une faible quantité dans le liquide. Si cette pression devait être assez forte pour faire boursoufler, on pourrait se servir au lieu de flacons d'une petite caisse en bois de la longueur de l'un des côtés, dans laquelle on mettrait une légère couche d'eau où l'on ferait plonger les tubes de quelques millimètres seulement; une ouverture devrait y être pratiquée dans la partie la plus déclive pour retirer facilement le liquide de la caisse.

La dissolution de chlorure de chaux, mêlée de chaux hydratée, se décompose à peine près de son point d'ébullition, tandis qu'elle se décompose avant 45° quand elle ne contient pas de chaux. L'agitation de la liqueur mettant sans cesse la chaux en contact avec le gaz empêche l'échauffement, et par conséquent la formation du chlorure de calcium. Aussitôt que la liqueur est saturée, il faut la retirer de l'appareil parce qu'elle s'y échauffe.

Le chlorure liquide le plus concentré marque 9°, tandis que les liqueurs les plus concentrées obtenues avec le chlorure solide ne marquent que 6°.

CHLORURE DE MAGNÉSIE. *Davy* recommande l'emploi de ce chlorure comme plus avantageux pour le blanchiment que celui du chlorure de chaux. Depuis, *Ure*, voulant vérifier l'exactitude de ce fait, fit préparer une grande quantité de ce chlorure en remplaçant dans une des chambres de saturation d'une fabrique de Glascow, la chaux éteinte par de l'hydrate de magnésie Le chlorure obtenu jouissait d'un pouvoir décolorant très actif, mais le chlore y était retenu avec si peu de force qu'il agissait dans tous les cas aussi rapidement que s'il eût seulement été dissous dans de l'eau, ce qui, contrairement à l'opinion émise par Davy, rend tout à fait impossible l'application de ce chlorure en grand, tant au blanchiment des tissus, que dans l'impression des indiennes, pour enlever par places la couleur du fond.

CHLORURE DE POTASSE (*angl.* chloride of potash, *all.* chlorkali). Le chlorure de potasse ou *eau de Javelle*, très employé pour le blanchiment des toiles de fil, se prépare en saturant de chlore une dissolution de 7 p. de carbonate de potasse dans 100 p. d'eau ; la liqueur étant très étendue, il ne se forme pas de chlorate de potasse.

CHLORURE DE SOUDE (*angl.* chloride of soda, *all.* chlornatron). Le chlorure de soude, aussi connu sous le nom d'*eau de Labarraque*, et quelquefois coloré artificiellement en rose violacé pâle, se prépare soit directement, en saturant de chlore une dissolution renfermant environ 20 p. 100 de carbonate de soude cristallisé, soit en décomposant le chlorure de chaux par le carbonate de soude ; à cet effet on prend 1 kilogr. de chlorure de chaux au titre de 0,92, on le délaie dans 12 litres d'eau, on laisse déposer, on décante, on filtre et on traite le résidu par 2 litres d'eau ; on mêle les liqueurs réunies avec une dissolution tiède de 2 kil. de carbonate de soude cristallisé dans 4 litres d'eau, on filtre, et on renferme la liqueur dans des flacons bien bouchés ; on obtient ainsi 20 litres de chlorure de soude liquide.

Le chlorure de soude est employé dans le blanchiment du linge, ainsi que comme un moyen puissant de désinfection des objets suspects dans les maladies contagieuses

CHOC. Lorsqu'un corps en mouvement vient à rencontrer un corps en repos, il se passe une série de phénomènes que l'on désigne sous le nom de choc, au moins quand il s'agit de deux corps solides. Lorsque le corps à l'état de repos est un liquide ou un gaz, les phénomènes de pénétration ou de résistance suivent des lois particulières que nous étudions dans des articles spéciaux, nous bornant ici à l'étude du choc entre les corps solides.

On peut partager en trois époques distinctes la durée entière du choc : dans la première, les corps se compriment, se refoulent; dans la deuxième, leur déformation est devenue la plus grande possible, et ils ont nécessairement acquis la même vitesse au point où s'opère la réaction réciproque ; dans la troisième, enfin, les corps reviennent vers leur position primitive et tendent de plus en plus à se séparer, en vertu de l'énergie plus ou moins grande de leur force de ressort. Les éléments du calcul des effets du choc sont la vitesse du corps en mouvement, et les masses des deux corps entre lesquels le choc a lieu. (On sait que la masse est une quantité égale au poids du corps, divisé par $9^m,81$). Il est bien évident que les effets d'impulsion sont en raison de cette quantité proportionnelle aux molécules matérielles qui constituent le corps.

Bien des exemples indiquent cette influence de la masse des corps. C'est ainsi que les cordonniers placent sur leurs genoux une forte pierre pour recevoir les coups de marteau dont ils frappent les semelles de souliers, et qu'il est possible de forger du fer sur une forte enclume posée sur le corps d'un homme, ou sur le plancher flexible d'un étage supérieur, sans blesser cet homme, sans endommager ce plancher. En effet, la vitesse communiquée à la pierre ou à l'enclume, et par suite au corps qui les supporte, est extrêmement faible comparativement à celle que possède le marteau ; de sorte que la flexibilité, l'élasticité naturelle de ces corps, suffit pour amortir les coups sans qu'il survienne d'accidents.

On distingue deux cas différents des effets du choc :

celui qui a lieu entre des corps non élastiques, et celui qui a lieu entre des corps parfaitement élastiques. Nous allons examiner ces deux cas, et les résultats de nos observations s'appliqueront aux divers corps de la nature, en raison de ce qu'ils se rapprocheront davantage de l'une de ces deux classes.

Corps non élastiques. Lorsqu'un corps est dénué d'élasticité, ou qu'il peut perdre celle qu'il possède par suite de la grande déformation produite par le choc, la troisième période que nous avons supposé exister ne se produit plus. Les deux corps continuent à cheminer ensemble en vertu de leur vitesse acquise, sans réagir désormais l'un sur l'autre. La vitesse des deux corps réunis est absolument la même que celle qui eût été imprimée aux deux corps s'ils avaient été primitivement réunis par la force qui n'a mis originairement en mouvement que l'un des corps. Le cas que nous supposons ici arrive, par exemple, quand une balle d'argile ou de cire molle, lancée contre un corps résistant et élastique, demeure collée après ce corps, ou quand une balle dure et élastique, lancée contre un bloc de bois suspendu librement au bout d'une corde, demeure enfoncée dans l'intérieur de ce bloc.

Corps parfaitement élastiques Toutes les fois que les corps auront suffisamment de ressort pour revenir exactement à leur forme primitive, après l'instant de la plus grande compression, la force de réaction reprenant dans le débandement des corps les mêmes valeurs pour les mêmes positions relatives de ces corps, il est clair que les vitesses exprimées ou détruites seront précisément égales à celles qui l'ont été pendant la compression.

C'est ce que l'on voit au jeu de billard : quand une bille vient en choquer une autre directement, il arrive qu'elle s'arrête tout à coup dans la place même qu'occupait cette autre, tandis que celle-ci chemine avec toute la vitesse de la première. La même expérience se répète bien facilement, et d'une manière peut-être plus frappante, en *juxtaposant* plusieurs billes. Le choc direct d'une autre bille ne met en mouvement que la plus éloignée, tandis que toutes les intermédiaires restent en repos, après avoir reçu et transmis intégralement l'effet du choc. Cette expérience se répète dans tous les cours de physique à l'aide d'une série de billes d'ivoire librement suspendues à des fils de soie. En écartant la dernière bille et la laissant retomber, la bille de l'autre extrémité s'éloigne des autres par le choc; en écartant deux billes, les deux billes opposées s'éloignent des autres, et ainsi de suite.

Il faut observer que dans la pratique il n'en est pas comme dans l'exemple précédent; outre que la plupart des corps ne peuvent être considérés comme parfaitement élastiques, il arrive que le plus souvent les molécules conservent, à l'instant de la séparation, des vitesses qui constituent des mouvements vibratoires, lesquels absorbent toujours une certaine portion du mouvement primitif, et souvent une partie considérable. C'est tant à cause de cette consommation du travail moteur, qu'à cause de la destruction et des altérations des pièces et des assemblages, que le choc doit en général être évité avec le plus grand soin, toutes les fois qu'il ne forme pas, ce qui n'arrive que dans des cas rares, le meilleur mode d'agir de l'opérateur.

De la communication du mouvement par le choc. Ce qui caractérise le mode de communication dont nous parlons, c'est l'excessive petitesse de durée du choc entre des corps très résistants; ce n'est qu'en cela que cette communication de mouvement diffère de celle qui a lieu par les forces motrices ordinaires, telles que la pesanteur, etc. On ne doit pas pour cela, comme l'ont fait quelques auteurs, considérer la durée des chocs comme entièrement nulle, ce qui les a conduits bien à tort à supposer infinies les forces de réaction qui se développent pendant la compression réciproque des corps.

« Le choc produisant, dit Poncelet, dans un temps excessivement court, un travail ou un effet comparable à celui que produisent dans un temps généralement beaucoup plus long les pressions ordinaires, il y a souvent avantage, nécessité même d'employer ce mode d'action dans les arts, malgré les inconvénients qui y sont attachés (principalement la consommation d'une grande quantité de travail), car, toutes les fois que la pression ou l'effort direct dont on pourra disposer pour produire un travail mécanique sera au-dessous de la résistance à vaincre, il faudra recourir au choc qui développe des pressions considérables, et toujours en rapport avec la force de réaction. »

Mais nous ferons remarquer que dans les applications de la théorie du choc, la division précédemment établie en corps qui ne réagissent pas et en corps élastiques ne se rapporte pas seulement à la nature des corps, qu'il faut pour ceux qui paraissent doués d'élasticité, observer dans chaque cas si l'effet produit par le choc n'est pas supérieur à la limite d'élasticité, car alors il se produit des déformations permanentes, des ruptures qui empêchent que le mouvement soit transmis aux molécules de proche en proche. C'est ainsi qu'une balle de plomb, lancée légèrement contre un carreau de fenêtre, est renvoyée sans qu'il se produise de rupture. Si on lui imprime à la main une plus grande vitesse, elle traversera le carreau en déterminant un grand nombre de fissures qui rayonneront autour du trou par lequel elle aura passé. Mais si la balle est lancée par une arme à feu, elle ne fera dans le carreau qu'un trou rond; le reste du carreau restera intact. Il n'aura nullement réagi, et se sera comporté, pour cette vitesse, comme un corps dénué d'élasticité.

Ici, nous ne nous occuperons que d'un emploi du choc, à savoir du battage des pilotis employés dans les fondations des ponts et ouvrages hydrauliques, battage qui s'effectue à l'aide de machines connues sous le nom de sonnettes, et qui consistent, en général, en des systèmes propres à élever à une certaine hauteur une masse pesante en fonte appelée *mouton*, qui retombe sur la tête du pilotis.

Pour utiliser le plus avantageusement possible le travail du mouton qui sert à battre les pilotis, il faut qu'il soit employé seulement à les enfoncer, du moins autant que faire se peut. On en consolide la tête par une frette en fer, et on arme la pointe d'un sabot de fer pour éviter la consommation de travail qui résulterait de l'écrasement des extrémités. Enfin, on dresse et on arrondit les côtés pour diminuer les résistances qui s'opposent à l'enfoncement.

On dispose le pieu et on l'enfonce par une action peu énergique, jusqu'à ce qu'il commence à offrir une certaine résistance; puis, par des moyens plus puissants, on le met *au refus*. Il en est ainsi quand l'enfoncement d'un pilotis de $0^m,25$ de diamètre et de 3 à 4 mètres de longueur, n'est que de 4 à 5 millimètres pour chacune des dernières volées de trente coups d'un mouton de 3 à 400 kil., tombant d'une hauteur de $4^m,30$. On peut alors, d'après les observations de Perronet, charger en toute sécurité chaque tête de pilotis jusqu'à 25,000 kilogr.

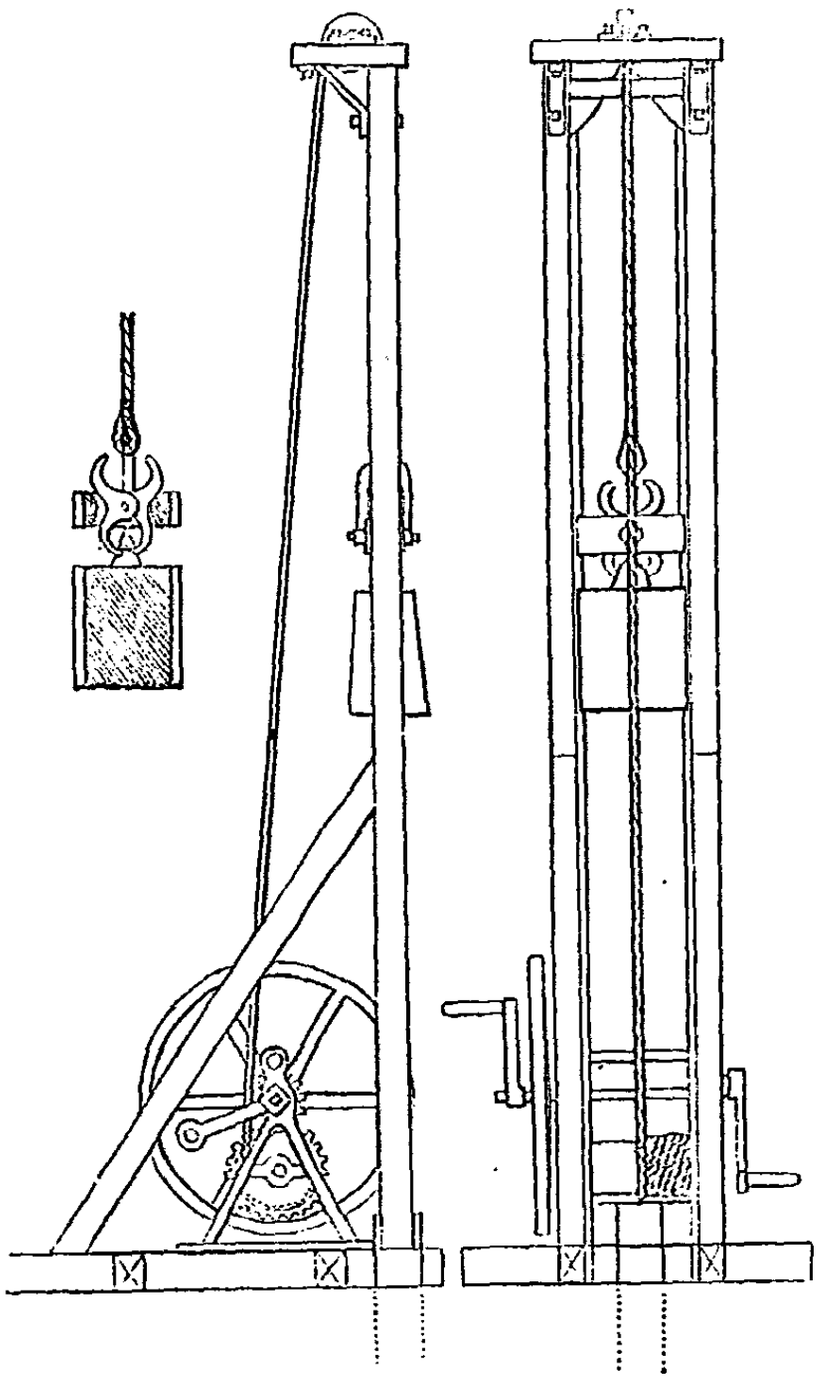
Nous ne donnerons ici que les anciens appareils dits *sonnettes*, habituellement employés dans les travaux; mais nous donnerons à l'article PILOTIS du *Complément* les sonnettes mues mécaniquement et le mouton à vapeur de *Nasmyth*, servant à enfoncer les pilotis, marchant par l'action directe de la vapeur.

Les appareils les plus simples et les moins coûteux d'établissement, les sonnettes le plus généralement employées dans les travaux hydrauliques pour enfoncer les

pilotis sont fort simples. La *sonnette à tiraude* se compose simplement d'un mouton suspendu sur une poulie par un cordage. L'extrémité de ce cordage est attachée à un faisceau de cordes, sur chacune desquelles des hommes tirent ensemble et lèvent le mouton, qu'ils laissent retomber en lâchant tous en même temps. Cette sonnette est très simple, ce qui fait qu'elle est souvent employée, mais elle fatigue beaucoup les ouvriers. Des expériences comparatives faites entre cet outil et celui dont nous allons parler, prouvent que le travail nécessaire pour enfoncer un pieu avec ces deux outils varie dans le rapport de 153 à 34.

La *sonnette à Déclic* (fig. 528 et 529) se compose d'un

529. 528.



treuil et d'une poulie, autour de laquelle passe le cordage qui soutient le mouton. Celui-ci peut être élevé beaucoup plus haut que dans la sonnette à tiraude, et par suite agir bien plus puissamment. Le mouton est saisi par une pince (fig. 530), dont les branches croisées tendent à se rapprocher par le bas par l'effet de leur poids et d'un double ressort convenablement disposé. Le mouton étant saisi par la pince, on le fait monter au moyen d'un treuil ; quand il arrive au haut de la sonnette, les bords supérieurs de la pince rencontrent des obstacles qui les forcent à se rapprocher, et par suite celle-ci s'ouvre et laisse tomber le mouton. On redescend la pince et la manœuvre recommence. Afin d'abréger le travail, on fixe le tambour du treuil sur son axe au moyen d'une cheville; en enlevant cette cheville, le treuil se déroule et la pince tombant sur le mouton avec une certaine vitesse, ses deux mâchoires s'ouvrent et saisissent l'anneau placé à la tête du mouton. On remet la cheville ci-dessus, et l'appareil est de nouveau prêt à fonctionner. (Voy. PILOTIS. *Comp.*)

CHOCOLAT (*angl.* et *all.* chocolate). Le chocolat, employé depuis un temps très reculé au Mexique, fut importé en Europe pour la première fois, en 1520, par les Espagnols, qui tinrent longtemps sa fabrication secrète.

La matière première du chocolat est la fève de *cacao*, semence du cacaotier (*theobroma cacao*. — Linnée), qui croît sous les tropiques, en Amérique et dans les Indes occidentales; cet arbre, de la grosseur d'un oranger, porte des fruits rouge-jaunâtres, de la forme d'un concombre, et ayant 0m,15 de long sur 0m,07 à 0m,15 de diamètre. Ces fruits présentent dix côtes et sont remplis, à l'intérieur, d'une substance rougeâtre spongieuse, analogue à la chair des melons d'eau, qui englobe de 25 à 40 fèves de cacao disposées sur cinq rangs; ces fèves se composent d'une substance noir-rougeâtre d'un goût aromatique et agréable, quelque peu amer, renfermée dans une pellicule ou cosse rouge-noirâtre. Le fruit des cacaotiers des Indes occidentales (Berbice et Demerara) est beaucoup plus petit, et ne contient guère que de 10 à 15 fèves.

Le meilleur cacao est le *caraque*, qui nous arrive du Caracas renfermé dans des sacs de cuir. Les fèves doivent être très grosses et très épaisses, grasses au toucher, d'un goût agréable, et recouvertes d'une poussière d'un blanc argentin, sans aucune moisissure. Les cacaos des Indes occidentales et des Antilles sont plus clairs, moins gros, et ont une saveur plus amère que le caraque.

Le cacaotier donne deux récoltes de cacao par an, chacune de 1 à 4 kil. Aussitôt que les fruits sont mûrs, ce qu'on reconnaît à leur couleur jaune-rougeâtre, on les cueille et on en sépare les fèves que l'on met dans des caves ou des fosses, où on les laisse pendant quelques jours après les avoir recouvertes de planches chargées de pierres, en ayant soin de les remuer chaque matin ; on détermine ainsi une sorte de fermentation, par suite de laquelle le cacao augmente de volume et se fonce en couleur, en perdant une partie de son amertume; on achève ensuite de le sécher au soleil avant de le livrer au commerce.

D'après Lampadius, le cacao des Indes occidentales renferme, non compris la cosse, qui forme environ 15 p. 100 du poids des fèves :

Beurre de cacao.	53,10
Matière brune albumineuse qui renferme le principe aromatique du cacao.	16,70
Amidon.	10,94
Matière gommeuse.	7,75
Fibres végétales.	0,90
Matière colorante rouge.	2,04
Eau.	8,63
	100,00

Les cosses ne renferment aucune matière grasse, mais elles donnent par une ébullition prolongée avec de l'eau un extrait coloré en brun d'un goût assez agréable, et qui, à cause de son bas prix, est assez employé dans la classe pauvre au lieu et place du chocolat. Ainsi en

Irlande, pays proverbial pour la misère de ses habitants, la consommation annuelle des cosses de cacao s'élève à plus de 300,000 kil., tandis que celle du chocolat n'atteint pas 2,000 kil.

En exprimant à chaud les fèves de cacao, on en retire de 30 à 36 p. 100 de *beurre de cacao*, corps gras, que l'on peut purifier en le faisant fondre dans de l'eau, puis laissant refroidir; il est alors blanc, a la consistance du suif et fond à 50° C. Il se distingue des autres corps gras, en ce qu'il rancit très-difficilement.

Pour fabriquer le chocolat, on commence par torréfier le cacao, sur un feu très-doux, dans des cylindres en tôle analogues à ceux que l'on emploie pour griller le café, dans le but de développer son arome, de lui enlever une partie de son amertume, et de rendre les coques fragiles. Lorsqu'on a atteint le degré de torréfaction convenable, on vide le cylindre sur une table, et lorsque le cacao est à demi refroidi, on brise les coques en passant légèrement dessus un rouleau en bois, ou en faisant passer le cacao dans une espèce de moulin concasseur, puis on le vanne, afin de séparer entièrement les coques. On réduit ensuite le cacao en pâte molle, en le pilant vivement à la main dans un mortier en fonte, que l'on a fait chauffer d'avance avec son pilon à une température de 60 à 80°, en y plaçant des charbons incandescents, et que l'on enveloppe d'une forte toile d'emballage pliée en plusieurs doubles et maintenue par une ficelle, après en avoir retiré le charbon, pour y maintenir la chaleur le plus longtemps possible. On ajoute par tiers, en continuant le broyage, le sucre, dont le poids total doit être égal à celui du cacao employé. Lorsque l'on incorpore dans le chocolat des aromates, tels que de la vanille, de la cannelle, etc., on les ajoute en même temps que le dernier tiers de sucre. Pour la cannelle, rien n'est plus facile, il suffit de la prendre de bonne qualité et en poudre très-fine; mais la vanille, qui ne peut être pulvérisée par les moyens ordinaires, exige une préparation particulière, qui consiste à la couper en fragments et à la broyer à froid avec du sucre en morceaux, qui la déchire et qui finit par la réduire en une pulpe, à laquelle on ajoute du sucre en poudre pour la diviser complétement. On emploie une cosse de vanille par 750 grammes de cacao.

Le dernier broyage pendant lequel on incorpore le sucre se fait ordinairement sur une plaque en grès, en marbre ou en fonte, préalablement chauffée à une température de 50 à 60°, à l'aide de rouleaux en fer ou en granit, tournés et animés d'un mouvement de va-et-vient qu'on leur communique à la main, ou qu'ils reçoivent d'une machine à vapeur, ou de tout autre moteur, au moyen de mécanismes faciles à imaginer. C'est au moyen d'une malaxeuse qu'on pétrit la pâte dans les grandes fabriques, qu'on chasse par pression les bulles d'air et qu'on la repousse en un long boudin dans un tuyau qui l'amène sur le plateau d'une balance, où elle tombe en tronçons d'égale longueur, auquel on donne le poids exact de 250 grammes, et qui du plateau tombent dans les moules.

Quand le mélange est bien opéré, on divise rapidement le chocolat par parties de 250 grammes, que l'on place dans des moules en fer-blanc, dont la forme est bien connue. Ces moules sont ensuite placés sur un châssis en bois que l'on incline alternativement de chaque côté, par de brusques mouvements d'un système qui constitue la tapoteuse, pour étaler le chocolat. Par le refroidissement, il prend un peu de retrait, de telle sorte qu'il se détache ordinairement de lui-même lorsqu'on retourne le moule; s'il ne se séparait pas, il faudrait légèrement forcer le moule en le tenant par les deux extrémités d'une même diagonale. Quand la pâte est trop chaude, il arrive quelquefois qu'elle adhère au moule et qu'elle se boursoufle; quand elle est trop froide, elle se moule mal et ne prend pas de brillant : il faut donc opérer à une température fixe, que l'habitude apprend à reconnaître par la consistance de la pâte, qui doit être molle sans être fluide.

De l'utilité du chocolat. — Parvenu à un certain état de civilisation, dit le savant M. Boussingault (Rapport du jury, 1862), l'homme associe fréquemment à sa nourriture des infusions de plantes qui agissent sur son organisme à la manière des boissons fermentées. Comme le vin pris à dose convenable, ces infusions favorisent la digestion, surexcitent la mémoire, exaltent l'imagination, et développent un sentiment de bien-être général, sans donner lieu à cette réaction fâcheuse qu'occasionne souvent l'usage des liqueurs alcooliques.

De même que les diverses races humaines adonnées à la culture ont eu leurs plantes alimentaires qui les ont suivies dans leur migration, de même aussi des peuples séparés par les plus grandes distances, n'ayant jamais eu de communication entre eux, ont préparé avec certains végétaux des breuvages excitants : le thé en Chine, le café en Arabie, le maté au Paraguay, le coca au Pérou, le cacao au Mexique, utilisant tantôt les feuilles, tantôt les graines de ces plantes, dont les genres botaniques n'ont pas la moindre analogie.

Cependant, malgré ces dissemblances d'origine, l'action de ces infusions sur le système nerveux, sur l'appareil digestif est la même. C'est qu'en réalité elle est déterminée par des substances de composition très-rapprochée quand elle n'est pas identique, par des alcaloïdes doués de propriété semblables. C'est la *caféine* dans le thé, le maté et le café; la *cocéine* dans le coca; la *théobromine* dans le cacao. Ainsi, le Chinois, l'Arabe, l'Indien du Paraguay, l'Inca, l'Aztèque, étaient sous l'influence du même agent thérapeutique quand ils avaient pris leur boisson habituelle, dont l'usage est maintenant si répandu parmi les nations européennes.

Les infusions de thé, de maté, de café, de coca, ne sauraient être considérées comme des aliments, mais comme des auxiliaires de l'alimentation. Les proportions de matières fixes qu'elles contiennent sont trop faibles pour agir autrement que par leur alcaloïde. Il n'en est pas ainsi du cacao : c'est à la fois un aliment complet et un excitant énergique. Il possède la constitution de l'aliment par excellence, le lait. En effet, comme cette sécrétion, il offre la réunion de l'albumine ou *viande végétale;* de l'amidon entretenant la combustion respiratoire, et, sous ce rapport, équivalant à la lactine; des phosphates, matériaux du système osseux; et de plus, ce que le lait ne contient point, de la théobromine et un arome délicat. Torréfié, broyé, mêlé au sucre, le cacao constitue le chocolat, dont les propriétés nutritives et la saveur agréable excitèrent l'étonnement des premiers Espagnols qui envahirent le Mexique.

« Celui qui a bu du cacao, écrivait le page de Fernand Cortès, peut marcher pendant toute une journée sans prendre d'autre nourriture. »

En Europe le chocolat a pris rang parmi les substances alimentaires. En France, l'usage s'en répand de plus en plus.

En 1849, il entrait 31,328 quintaux métriques de cacao, dont 20,852 mis en consommation; en 1860, 62,834 quintaux, dont 46,630 mis en consommation.

Ainsi, la quantité de chocolat fabriqué en France, en 1860, approchait de 9 millions de kilogrammes, représentant 4 millions et demi de cacao, sorti d'une culture de 3 millions de cacaoyers, en supposant un rendement annuel de 4,5 kil. par arbre, moyenne prise entre les récoltes du littoral de Caracas et celles du Rio-Grande de la Magdalena.

De toutes les plantes intertropicales, le cacaoyer est, sans aucun doute, la plus exigeante; il lui faut une température élevée, de l'ombrage, une atmosphère humide, une terre neuve, riche.

CHROMATES. Les chrômates sont des composés assez stables formés par l'acide chrômique; il y en a de neutres, de basiques et d'acides, qui sont tous colorés en jaune ou en rouge; un certain nombre d'entre eux sont insolubles. Tous les chrômates solubles sont des poisons assez violents. Les principaux chrômates sont les suivants :

CHRÔMATE DE MERCURE. S'obtient en précipitant une dissolution de proto-nitrate de mercure par du chrômate de potasse; le précipité qui est d'un beau rouge, bien lavé et séché, sert à la préparation de l'oxyde de chrôme.

CHRÔMATE DE PLOMB (*angl.* chrom-yellow, *all.* chromgelb). Ce sel est insoluble, d'un beau jaune et s'obtient par double décomposition en versant du chrômate de potasse dans une dissolution d'acétate de plomb. Sa teinte passe du jaune-serin au jaune-orangé suivant que le chrôme employé est acide ou basique. Il est très employé en peinture.

CHRÔMATES DE POTASSE (*angl.* chromate of potash, *all.* chromsaures kali). La potasse forme avec l'acide chrômique deux sels employés dans les arts, savoir :

1° Le chrômate de potasse se prépare au moyen du chrômite de fer ou fer chrômé qui est composé d'oxyde de chrôme, de peroxyde de fer, d'un peu d'alumine et de silice; on pulvérise ce minerai très finement et on le chauffe avec une certaine quantité de nitre, jusqu'au blanc naissant, dans des creusets ou même dans des fours à réverbère; on reprend ensuite par l'eau et on fait cristalliser. En introduisant de la chaux dans le mélange de minerai et de nitre, on augmente sa porosité et on facilite beaucoup la production de l'acide chromique, l'oxydation du composé chromé. Le chrômate de potasse cristallise en petits prismes transparents, d'un beau jaune. Il est très soluble dans l'eau. Du linge et du papier imbibés de ce sel et desséchés brûlent comme du papier nitré. Le sulfate de potasse cristallise facilement avec le chrômate, qui peut en renfermer jusqu'à 50 p. 100 (ce qui arrive quelquefois dans le commerce), sans en altérer la couleur. On reconnaît cette fraude en dissolvant un poids donné de chrômate cristallisé dans de l'eau, y ajoutant de l'acide tartrique et faisant même au besoin bouillir pendant quelques minutes, puis précipitant l'acide sulfurique à l'état de sulfate de baryte par un sel soluble de baryte. On doit agir sur des dissolutions assez étendues parce que le tartrate de potasse étant peu soluble pourrait induire en erreur dans la cas de dissolutions concentrées.

2° Le bi-chrômate de potasse cristallise en larges tables rectangulaires d'un beau rouge-orangé; il est beaucoup moins soluble que le précédent dans l'eau qui n'en dissout à froid que 1/10e de son poids; on l'obtient en ajoutant une certaine quantité d'acide nitrique à une dissolution de chrômate neutre et faisant cristalliser; lorsqu'on emploie de l'acide sulfurique, le sel que l'on obtient renferme toujours une proportion plus ou moins grande de sulfate de potasse, que l'on reconnaît, comme nous l'avons dit plus haut, pour le chrômate neutre.

Ces deux chrômates servent dans la teinture.

CHRÔMATE DE SOUDE. Se prépare comme le chrômate de potasse, et est encore plus soluble. CHRÔMATE DE ZINC. Voyez BLANC DE ZINC.

CHROME (*angl.* chromium, *all.* chrom). Le chrôme est un métal découvert en 1797 par Vauquelin, très difficile à obtenir pur, et qui n'a aucune importance sous le rapport industriel; mais il en est tout autrement de plusieurs de ses combinaisons dont nous parlerons tant dans cet article qu'au mot CHRÔMATES.

Le chrôme en se combinant avec l'oxygène forme un oxyde, un acide et un composé intermédiaire de peu d'importance, que l'on regarde comme du chrômate d'oxyde de chrôme.

Le *protoxyde de chrôme* est vert, insoluble dans les acides quand il a été calciné, et au contraire très soluble lorsqu'il a été précipité à l'état d'hydrate d'une dissolution; infusible par lui-même, il fond très bien avec les fondants qu'il colore en beau vert d'émeraude; il est isomorphe avec le peroxyde de fer et se compose de 2 atomes de chrôme et 3 atomes d'oxygène; il constitue l'une des trois couleurs qui peuvent seules s'appliquer au grand feu sur la porcelaine, et est celle des trois qui donne les contours les plus nets. Voici quels sont les principaux procédés que l'on suit pour les préparer :

1° On précipite du proto-nitrate de mercure par du chrômate de potasse; le précipité lavé est du chrômate de protoxyde de mercure en poudre rouge que l'on calcine : le mercure est ramené à l'état métallique et se volatilise, tandis que l'acide chrômique se décompose, il se dégage de l'oxygène et il ne reste que de l'oxyde de chrôme pur;

2° On projette successivement par petites portions, dans un creuset en terre, chauffé au rouge, parties égales de bi-chrômate de potasse et de soufre; une partie du soufre se combine avec le potassium pour former du sulfure de potassium, tandis que l'autre s'emparant de l'oxygène de la potasse réduite, et d'une partie de celui de l'acide chrômique qui se transforme en oxyde de chrôme, donne naissance à de l'acide sulfurique qui se combine avec une partie de la potasse pour donner du sulfate de potasse; en lavant ensuite le tout, on dissout le sulfure de potassium et le sulfate de potasse, et l'on isole le protoxyde de chrôme insoluble;

3° On fait bouillir du chrômate neutre de potasse avec de l'eau et la moitié de son poids de fleur de soufre, jusqu'à ce que tout le chrôme se soit précipité à l'état d'oxyde hydraté; on le sépare du soufre en excès avec lequel il se trouve mélangé, en le dissolvant dans de l'acide sulfurique étendu, précipitant par du carbonate de potasse et calcinant le précipité;

4° On fait bouillir une dissolution de chrômate de potasse avec de l'acide hydrochlorique et de l'alcool, on obtient dans la liqueur un mélange de chlorure de potassium et de chlorure de chrôme, et selon qu'on y verse une dissolution de potasse caustique ou carbonatée, on en précipite de l'hydrate ou du carbonate de protoxyde de chrôme, qui calcinés l'un et l'autre donnent de l'oxyde pur;

5° On prépare une dissolution concentrée de chrômate de potasse, que l'on sature avec de l'acide sulfurique étendu, puis on ajoute du sel marin et de l'acide sulfurique concentré, et l'on fait bouillir; il se forme des sulfates de potasse et d'oxyde de chrôme, et il se dégage du chlore; on évapore à siccité, on reprend par l'eau, on filtre et on précipite par la potasse caustique; l'oxyde de chrôme que l'on obtient ainsi a une couleur verte teintée de bleu.

L'acide chrômique est d'un beau rouge de rubis, très soluble dans l'eau et peu stable lorsqu'il est isolé, c'est un acide très puissant, qui se compose de 10 atomes de chrôme et de 3 atomes d'oxygène, et qui forme des sels isomorphes avec les sulfates. On l'obtient en décomposant la perfluorure de chrôme par la vapeur d'eau, ou bien en décomposant le bichrômate de potasse par l'acide hydro-fluosilicique, décantant, et concentrant dans le vide.

Les sels de chrôme se distinguent en sels à base de protoxyde et en CHRÔMATES.

Les sels de protoxyde sont d'un beau vert émeraude ou de couleur améthiste foncée; ils sont précipités en gris-verdâtre par les alcalis ou leurs carbonates, ainsi que par les hydrosulfates alcalins.

Nous avons déjà décrit les caractères des chrômates.

Le seul minerai de chrôme un peu abondant est le *fer chrômé*, composé d'oxyde de chrôme, de peroxyde de fer, d'alumine et de silice. Il nous vient actuellement de Norwége. Le *spinelle* doit sa couleur rouge à une faible quantité d'acide chromique, et l'*émeraude verte* est colorée par un peu d'oxyde de chrôme.

CHRONOMÈTRE. Les ouvrages d'horlogerie désignés spécialement par le nom de *chronomètres*, sont destinés à donner une division du temps plus exacte et plus subdivisée que les instruments employés à l'usage civil. Les chronomètres sont nécessaires à la navigation, à l'astronomie, à la physique, et à toutes les observations dans lesquelles le calcul de la durée ou de l'époque des phénomènes exige une appréciation minutieuse. On peut, avec des instruments de cette espèce, évaluer la durée en dixièmes de secondes, et même à 3 ou 4 centièmes de secondes près.

Les chronomètres ou garde-temps se divisent en trois classes : 1° les horloges marines qui se placent sur les bâtiments; 2° les montres dites garde-temps que l'on porte sur soi; et 3° les horloges astronomiques à pendule, qui se placent dans les observatoires et servent à toutes les observations que les astronomes sont appelés à faire. Ces derniers instruments étant fixes, possèdent une marche bien supérieure à ceux qui sont portatifs.

Les horloges marines et les montres à longitudes s'emploient pour conserver le temps en mer, ou dans les voyages terrestres, et servent principalement à déterminer les degrés de longitude entre le méridien du lieu où se trouve le voyageur, et celui du point de départ ou de tout autre méridien convenu.

Lorsque l'on dirige sa route vers l'Orient, on a le Midi plus tôt, de la quantité de degrés réduite en temps dont on se trouve avancé dans cette direction; le contraire a lieu en marchant vers l'Occident, où le Midi arrive plus tard. Si le voyageur est muni d'un chronomètre dont la marche diurne lui soit bien connue, et se soit conservée depuis l'heure prise au point de départ au moyen d'observations astronomiques, la direction de la route vers l'Est ou vers l'Ouest n'ayant point influé sur la marche de ces instruments, il donnera toujours la mesure du temps telle qu'on la compte au point de départ (1). Le chronomètre porté vers l'Orient paraîtra donc en retard, puisqu'on y a le Midi plus tôt, et porté vers l'Occident il paraîtra en avance. La comparaison de l'heure qu'il indiquera avec celle du point de station du voyageur, connue par de nouvelles observations faites sur ce point, donnera, par la différence entre les deux temps réduite en degrés, la position du lieu en longitude, à l'égard du premier méridien, ou de celui du point de départ.

La hauteur du pôle, ou celle des astres, fera connaître facilement la latitude à l'aide des tables astronomiques.

Le voyageur pourra donc déterminer ainsi sa position dans les deux sens, à l'égard de tout autre lieu dont la longitude et la latitude sont déjà fixées.

Pour connaître en pleine mer la position d'un navire, on a longtemps employé uniquement, et l'on emploie même encore souvent, la méthode pratique de l'estime, en mesurant la vitesse du bâtiment et la direction de son mouvement par le moyen du loch et de la boussole.

Ce moyen appliqué seul devient fort incertain dans les voyages de long cours, par la déviation des courants, les variations locales de la direction de l'aiguille aimantée, l'incertitude du calcul de la vitesse surtout par certains temps, etc., ce qui expose le navigateur à se trouver sans le savoir près des côtes, des bancs ou d'autres écueils, cachés par l'obscurité des nuits, ou dans le jour par les brumes.

On fait aussi usage de moyens purement astronomiques pour connaître la longitude d'un lieu, tels que l'observation des satellites de Jupiter, le lieu de la lune, ou sa distance au soleil ou aux étoiles, les oscillations d'étoiles par la lune, les éclipses. Ces observations sont difficiles, quelques-unes même sont impraticables à bord; elles exigent toutes des calculs compliqués. L'usage des horloges marines est beaucoup plus simple. Cependant l'observation des mouvements de la lune, grâce à la précision actuelle des tables, peut être d'une grande utilité. La méthode pratique de l'estime devient aussi nécessaire pour de courts intervalles, pendant lesquels l'état du ciel ne permet pas d'observer, et l'appui mutuel de ces moyens en assure l'exactitude.

Newton indiqua le premier le secours de l'horlogerie, dont il semble avoir pressenti les progrès, comme le moyen le plus facile pour déterminer les longitudes en mer, si l'on parvenait à exécuter des instruments portatifs de ce genre assez exacts pour conserver l'heure sur le vaisseau, sans erreur de plus de deux minutes de temps après une traversée de quarante-deux jours (la différence qui résulte d'un tel écart est de 10 lieues environ pour l'équateur, et diminue à mesure que l'on est plus près du pôle). On commençait à construire à cette époque des horloges à pendule un peu régulières, mais il n'y avait pas d'instruments portatifs en état d'éprouver sans dérangement les secousses d'un voyage de terre ou de mer, et même, longtemps après cette époque, la marche des meilleures montres ou horloges à balancier, bien que placées dans un lieu fixe, était loin d'égaler celle des horloges à secondes et à pendules les plus médiocres. La grande facilité que présentait l'horlogerie pour connaître la longitude, si cet art pouvait acquérir assez de perfection, détermina des nations commerçantes à stimuler le zèle et les efforts des plus habiles artistes par des encouragements à la fois honorables et lucratifs. A force de recherches et d'expériences, on parvint à composer des horloges marines qui se firent remarquer par un commencement de succès. Souvent aussi des résultats moins heureux donnèrent lieu de craindre que pendant de longs trajets, dans des intervalles d'observations éloignées, il n'y eût dans les meilleures marches indiquées de fortes variations qui se fussent compensées sans avoir été connues; les horloges consultées dans ces moments d'écart auraient pu entraîner le navigateur dans des erreurs funestes.

On devait penser en effet que la régularité de ces instruments, dépendant particulièrement de l'application délicate de principes physiques et mécaniques fort compliqués, et de la constance dans les effets d'un mécanisme extrêmement subtil, pouvait être aisément altérée par les mouvements irréguliers du bâtiment, par le choc des vagues dans les temps orageux, les secousses de l'artillerie, la différence des climats, les grandes variations de température, etc. Il était donc peu probable que leur exactitude se soutînt constamment au milieu de tant d'obstacles et d'influences sur les métaux et sur l'huile absolument nécessaire dans les frottements de plusieurs parties; la moindre de ces

(1) Le temps se mesure par les retours réguliers d'un même phénomène. Le retour d'un même méridien terrestre vers une même étoile sert à mesurer la durée du jour sidéral. Ce même retour, à l'égard du soleil (en tenant compte des variations annuelles données par les tables d'équation pour chaque jour), mesure le jour solaire moyen ou le temps moyen. Si la direction du voyageur est toujours dans le même méridien, c'est-à-dire s'il marche bien directement d'un pôle terrestre à l'autre, les temps d'intervalle entre les retours du méridien terrestre vers le même corps céleste, corrigé par les tables, seront égaux. Mais si le voyageur dévie dans sa route et change de méridien, s'il s'avance vers l'est ou vers l'ouest, il en résultera pour lui une différence sur la durée du jour, en moins dans le premier cas, ou en plus dans le second.

causes devrait nécessairement altérer le résultat du calcul des forces et des résistances que l'artiste avait eu tant de peine à combiner. Cependant les succès ont en quelque sorte surpassé l'espoir, et heureusement l'examen plus approfondi de toutes les difficultés, la persévérance dans de nouveaux essais, l'expérience, la découverte heureuse de principes inconnus jusqu'alors, ont enfin procuré la régularité désirée, au point de pouvoir souvent déterminer la longitude d'un navire, après plusieurs mois de traversée, à moins d'une demi-lieue sous l'équateur, et d'obtenir quelquefois des horloges marines une exactitude semblable à celle des meilleures horloges astronomiques à pendule.

Il ne suffisait pas toutefois aux besoins de notre navigation que l'on fût parvenu à rendre les horloges marines exactes et solides, il fallait encore les établir en fabrication comme les horloges et les montres ordinaires, seul moyen d'en réduire le prix, d'en faciliter, d'en multiplier l'emploi et de couvrir ainsi les frais d'établissement. Chaque ouvrage de ce genre avait toujours exigé l'étude spéciale de l'artiste le plus habile, de longs tâtonnements, enfin des soins particuliers et différents pour chaque pièce, et ne pouvait conséquemment être copié et multiplié en manufacture.

Cet avantage ne pouvait résulter que d'un concours heureux de circonstances rarement réunies; car, pour entreprendre un pareil établissement, il fallait d'abord bien connaître les règles générales de la composition de cette sorte de machines, avoir vaincu les dégoûts d'un tâtonnement sans bornes, et après avoir fourni aux frais qu'entraînent les épreuves nécessaires en tous genres pour découvrir les principes, trouver encore les moyens de pourvoir aux dépenses des instruments d'une construction et d'une justesse particulières à ce genre de travail et exigés par une fabrication en grand. On voit qu'il n'est point de sacrifices de temps et de fortune auxquels on ne doive se résigner, si l'on veut obtenir à la fois la sûreté et l'économie réclamées par la navigation; aussi ne compte-t-on qu'un petit nombre d'artistes en France qui se soient occupés avec succès de l'horlogerie marine, et ce n'est que dans ces dernières années que nous avons pu voir en établir la fabrication en manufacture.

Pénétrés de l'utilité d'une telle entreprise, ainsi que des difficultés qu'elle présente, nous avions depuis longtemps dirigé nos recherches vers ce sujet, et comme, après l'étude des principes qui lui sont particuliers, l'expérience devait surtout nous guider dans leur application, nous avons recueilli en notes, depuis plus de trente années, toutes les causes de dérangement, d'altération, de destruction quelconque, d'arrêt ou d'autres accidents que nous avons eu l'occasion d'observer dans toutes les horloges ou montres marines de divers auteurs qui nous ont été adressées. En réunissant nos efforts à ceux de nos prédécesseurs, nous sommes enfin parvenus à établir un modèle nouveau, plus régulier, de chronomètres que les navigateurs et les astronomes ont trouvés exempts des défauts dont on avait eu si souvent à se plaindre. Lorsque nous avons cru pouvoir embrasser l'ensemble des principes et de leurs résultats, nous avons cherché les moyens de rendre l'application tout à fait directe, pour que le succès ne dépendît plus d'aucun tâtonnement, que l'on fût assuré de l'obtenir sûrement, et qu'un artiste en état de faire une bonne montre à l'usage civil exécutât facilement et à coup sûr, dans un temps donné, des chronomètres réunissant toute la perfection et la sûreté permises par l'avancement de l'art. C'est dans l'espoir d'atteindre plus généralement ce but important pour la navigation et l'astronomie, c'est aussi pour l'utilité des artistes et la satisfaction des savants et des amateurs que ce sujet intéresse, que nous offrons nos réflexions et les résultats de nos travaux.

Afin d'exposer plus clairement ici l'abrégé des principes généraux de la matière que nous traitons, il nous a paru convenable, pour l'ordre des idées, de résumer les principes qui doivent guider le constructeur, travail qui pourra paraître de peu d'utilité à ceux qui ont étudié cette partie de l'horlogerie, mais qui peut être désiré par ceux qui l'auraient perdu de vue et par les amateurs.

Le système général d'un chronomètre se compose de quatre systèmes particuliers, qui sont : 1° le moteur; 2° le rouage; 3° l'échappement; 4° le régulateur.

Le régulateur est le véritable diviseur du temps. Dans les horloges marines et les montres à longitudes, c'est un corps dont l'axe est porté par deux pivots, dont toutes les parties sont en équilibre autour de son centre et susceptible de recevoir un mouvement circulaire; mais ce corps étant lié à un ressort spiral ne peut plus effectuer qu'un mouvement oscillatoire. Lorsqu'on le sort de son état de repos (ce qui arme nécessairement le ressort spiral), et qu'on l'abandonne ensuite, il fait un certain nombre d'oscillations produites par la réaction du spiral, mais dont l'étendue diminue peu à peu, et qui cesseraient bientôt par la résistance de l'air, celle des frottements des pivots et celle des molécules du ressort, si le mouvement n'était entretenu par les impulsions régulières d'un mécanisme que l'on appelle échappement.

L'échappement est un système qui répare à chaque oscillation, ou de deux en deux oscillations, la perte de mouvement du régulateur.

L'échappement est réglé dans ses fonctions par les oscillations elles-mêmes, et reçoit son action du rouage.

Le rouage, système de plusieurs roues dentées et de pignons, transmet à l'échappement la force du moteur.

Ce système prolonge l'action de la force motrice en ne la communiquant que par degrés; il indique la division du temps en heures, minutes et secondes, par des aiguilles fixées aux axes de quelques-uns de ces mobiles.

Le moteur des chronomètres portatifs est un corps élastique comprimé, dont la réaction ou la force est appliquée au rouage, qui la transmet par parties et par instants au régulateur, pour entretenir son mouvement oscillatoire.

La mesure du temps par les horloges marines et les montres à longitudes, instruments portatifs, résulte donc des oscillations d'un corps tournant sur lui-même, produites par l'élasticité d'un ressort qui est le spiral, et entretenus aussi par un moteur élastique (les ressorts contenus dans les barillets). Dans les horloges astronomiques à pendule et instruments fixes, les oscillations sont celles d'une verge métallique suspendue horizontalement; elle est supportée par une lame de ressort fixée à sa partie supérieure et porte à sa partie inférieure un poids assez lourd appelé lentille, parce qu'il en a la forme, afin d'offrir moins de résistance à l'air. Ce système, qu'on appelle un pendule, écarté une fois de la verticale et abandonné à lui-même, oscille par l'effet de la gravité. Le moteur qui entretient ces oscillations, par les systèmes intermédiaires du rouage et de l'échappement, est ordinairement un poids.

Ainsi, les principes du système régulateur dans les chronomètres et dans les régulateurs astronomiques sont l'élasticité dans les horloges marines et les autres instruments portatifs de ce genre, et la gravité dans les horloges astronomiques à pendule.

Le régulateur des instruments portatifs est formé de trois parties; les deux principales sont : 1° le balancier; 2° le ressort réglant, contourné en hélice, mais que l'on appelle communément spiral, parce que dans son origine, et même actuellement encore dans la plu-

part des montres, ces lames ont été pliées en volute dans un même plan.

Le balancier est formé de deux arcs métalliques d'un peu moins d'une demi-circonférence, fixés chacun par une de leurs extrémités aux deux points extrêmes d'une pièce d'acier faisant diamètre ; le milieu de ce diamètre est le centre des deux arcs métalliques. Ce système est fixé par son centre sur un axe en acier, terminé par deux pivots disposés de manière à réduire autant que possible les frottements ; il est porté sur une platine et maintenu par un pont appelé *coq*, fixé sur la platine. Les choses sont disposées de manière que le poids soit reporté le plus possible près de la circonférence, et que le centre de figure coïncide exactement avec le centre de gravité.

La suspension est la troisième partie du régulateur. Le ressort spiral ou ressort réglant est une lame d'acier (quelquefois d'or) pliée en hélice ou en vis (en ressort à boudin), formant plusieurs tours qui représentent un cylindre à jour, de 16 à 18 millim. de diamètre, placé concentriquement à l'axe du balancier.

Si l'on imprimait au balancier, suspendu comme il a été dit, mais sans communication avec le ressort spiral, un mouvement de rotation, on sait qu'il obéirait à ce mouvement en continuant de tourner dans le même sens, jusqu'à ce que le frottement et la résistance de l'air eussent absorbé toute la force communiquée ; mais si le balancier est lié au ressort spiral, il ne peut continuer à effectuer un pareil mouvement sans faire plier et fermer les tours de lames du spiral, jusqu'à ce que la force du mouvement imprimé au balancier se trouve en équilibre avec la résistance toujours croissante de ce ressort ; alors le mouvement du balancier cesse et le spiral le ramène vers le point commun de repos d'où ils étaient partis.

Ce mouvement rétrograde du balancier, lent dans les premiers degrés, devient de plus en plus rapide en raison composée de sa masse, de la forme du ressort spiral et de l'étendue de l'arc décrit, et la vitesse acquise est la plus vive lorsqu'il arrive à son point de départ, c'est-à-dire où il était en repos avant le mouvement imprimé. Le balancier dépasse donc ce point pour décrire de l'autre côté un second arc de même étendue, moins ce qui résulte de sa perte de mouvement par les frottements et les résistances qu'il éprouve dans sa marche ; un second arc ne peut avoir lieu sans armer le spiral dans un sens contraire (et pour suivre le même exemple), en ouvrant alors les tours de ses lames. Lors donc que les forces opposées du balancier et du spiral se trouvent aussi en équilibre de ce côté, le mouvement du balancier cessant, le spiral le ramène encore vers le point de repos qu'il dépasse une seconde fois, par la même cause de son mouvement acquis.

Le balancier, joint au spiral, continue ainsi à effectuer plusieurs mouvements circulaires de va-et-vient, qu'on appelle oscillations ; mais la perte d'une partie de son mouvement par les résistances dont nous avons parlé ci-dessus, et de plus par le frottement des molécules du spiral qui s'oppose au changement de forme de sa lame, diminuant progressivement l'étendue des arcs, ceux-ci se trouveraient, comme nous l'avons dit, peu à peu réduits à zéro, sans la réparation immédiate de l'échappement. Ainsi le balancier (composé lui-même d'ailleurs de plusieurs autres parties que nous expliquerons plus loin), le spiral ou ressort réglant et la suspension, forment le premier système appelé régulateur.

Pour réparer la perte de mouvement du régulateur et maintenir l'étendue égale des oscillations, on établit près de son axe un système de pièces que l'on nomme l'échappement. Il se compose de la dernière roue dite d'échappement, d'une détente à repos, et d'un cercle d'échappement entaillé en un point de sa circonférence, lequel se trouve placé sur l'axe même du balancier. Il y a aussi tout près de ce cercle une pièce fixée sur le même axe, et appelée doigt de dégagement.

Le déplacement de la détente produit par le doigt pour dégager la roue, est proprement le rappel de la force motrice. L'action d'une dent de la roue d'échappement sur le cercle se nomme impulsion ou réparation.

On vient de voir comment la roue d'échappement, toujours sollicitée par la force motrice (lorsque celle-ci est armée), mais retenue par la détente, est tirée de son repos par le déplacement de cette même détente, opérée par le doigt de dégagement que porte l'axe du balancier, agent le plus direct et le plus propre à cette fonction par la régularité de ses retours, et que c'est alors que, par l'impulsion, la roue restitue au régulateur, déjà en mouvement, toute la force absorbée par les frottements de la suspension, par les résistances de l'air, du spiral, et même du dégagement.

Lorsqu'on aura bien saisi ces effets, rien ne paraîtra d'abord plus simple que l'action mutuelle de l'échappement sur le régulateur dans l'impulsion, et du régulateur sur l'échappement dans le rappel de la force motrice, et il semble que la vitesse, la durée des oscillations, la tension proportionnelle du spiral et sa réaction dans les diverses étendues d'arc, les résistances des frottements et autres obstacles, peuvent facilement être soumises à l'analyse. Mais il faut aussi considérer que les éléments dont nous venons de parler varient par les effets insensibles de l'usure, qui change les surfaces en contact, par l'état des huiles qui se décomposent, par les irrégularités qui restent dans la force motrice, malgré tous les soins donnés au rouage, par les effets de la température sur les dimensions du balancier, sur l'élasticité du spiral, et même sur toutes les parties du mécanisme ; que les moyens par lesquels on y remédie sont soumis eux-mêmes à d'autres causes perturbatrices ; qu'enfin l'expérience semble indiquer que des propriétés encore inconnues, et probablement très variables de la matière, viennent se mêler à ces effets ; que toutes ces influences, quoique imperceptibles, ne sont que trop amplifiées par le nombre prodigieux des oscillations, et devraient être connues d'autant plus exactement que la régularité de chaque oscillation, et par suite la durée d'un grand nombre d'oscillations consécutives, dépendent de l'intensité des causes qui les entretiennent et de celles qui les attirent.

On sentira facilement alors qu'il est peu d'études aussi compliquées, aussi conjecturales, que celle de toutes ces combinaisons, qui échappent trop souvent à l'analyse de l'esprit le plus observateur, le plus pénétrant et le plus méthodique, malgré la régularité que procure au rouage l'emploi de machines très ingénieuses et qui donnent aux dentures une précision extraordinaire. Le peu d'imperfection qui reste inévitablement à tout ce que produit la main de l'homme, fait encore changer très sensiblement les rapports des leviers, dans les engrenages, outre les différences qui surviennent dans le glissement des courbes par les adhésions, les grippements, la présence de corpuscules étrangers, enfin par les changements de température. Il s'en suit que la force motrice transmise ne peut pas être toujours absolument la même, et que les arcs changent nécessairement d'étendue et de durée suivant les lois ordinaires du mouvement. Cependant, sans la condition rigoureuse de l'égalité absolue de durée dans les oscillations, il ne peut exister de bons garde-temps, de véritables chronomètres, et il est très probable que d'après les bases de construction qu'une longue expérience a fait adopter dans l'horlogerie civile, on ne serait jamais parvenu à exécuter des instruments de précision sans la découverte heureuse des moyens d'ob-

tenir, par les dimensions du spiral, des oscillations d'une même durée, quels que fussent les changements de leur étendue. C'est cette propriété que l'on nomme isochronisme du spiral, parce que ce ressort rend les oscillations du balancier isochrones, c'est-à-dire que les arcs grands ou petits décrits par le balancier sont exécutés dans le même temps. Le ressort réglant, qui produit les oscillations du balancier, devrait donc être par lui-même ce qu'on appelle isochrone, c'est-à-dire que sa tension dans les divers degrés devrait toujours être en rapport avec les arcs à faire parcourir au balancier; mais malgré la découverte et l'étude des proportions qui peuvent donner à ce ressort une telle propriété, on l'obtient rarement au degré convenable à cause des irrégularités de la matière, de la trempe et de la forme des tours de sa lame lorsqu'elle s'ouvre ou se resserre. On trouve rarement un spiral isochrone dans les diverses étendues d'arcs que produit la variation de la force motrice, ou sa diminution progressive causée avec le temps par l'épaississement des huiles: effets toujours à combiner avec ceux de la température sur l'élasticité des ressorts, les frottements, etc.; encore trouve-t-on qu'un spiral que l'on a rendu isochrone avec beaucoup de soin, ne l'est plus quand il a fonctionné pendant un temps plus ou moins long. Nous venons d'observer que les moindres variations dans tous ces effets produisaient à la longue des erreurs importantes par la multiplication des mêmes mouvements. On ne peut, en effet, considérer sans étonnement le peu d'altération qu'il suffit de faire éprouver à la durée de chaque oscillation pour produire l'erreur d'une seconde au bout de vingt-quatre heures. Et nous saisissons cette occasion d'en faire ici la remarque positive, pour n'être pas taxés de minutie dans l'examen des causes de variations des horloges, ou soupçonnés d'exagération dans les difficultés que nous exposons, et dans les précautions qu'exige tout ce qui concerne le régulateur.

La durée de chaque oscillation dans les horloges marines, où elles sont le moins fréquentes, est d'un quart de seconde.

Ainsi, si la durée de chaque oscillation est altérée de la 86,400e partie d'un quart de seconde, il en résultera une erreur d'une seconde dans la marche diurne de l'horloge. Cette erreur, si petite sur un jour, peut déjà, en s'accumulant pendant quelques mois, donner une erreur de plusieurs lieues en longitude. Les oscillations des montres à longitude de poche sont encore plus promptes : on fait battre à l'échappement cinq et même préférablement six oscillations par seconde, pour les rendre moins sensibles à l'agitation du porter. Ces pièces battent donc jusqu'à 518,400 oscillations en vingt-quatre heures. Si ces oscillations d'un sixième de seconde se trouvent altérées chacune dans sa courte durée d'une 86,400e partie, il y aura aussi une variation d'une seconde au bout de vingt-quatre heures, erreur que l'on pardonne à peine à un garde-temps médiocre.

Que l'on réfléchisse maintenant au pouvoir borné de l'homme, si éloigné de pouvoir produire deux effets, deux quantités matérielles qui soient mathématiquement identiques, et l'on concevra aisément combien il doit être difficile d'obtenir une régularité aussi minutieuse avec une constance suffisante d'un mécanisme si délicat, si exposé aux altérations, et combien par conséquent doit être sévère l'analyse des moindres causes de variation d'un chronomètre.

Nous avons dit que le ressort réglant doit être isochrone, c'est-à-dire qu'il doit croître en force dans le rapport des moments d'inertie du balancier, ou, en d'autres termes, qu'il doit avoir acquis en s'armant d'autant plus de force qu'il a plus de chemin à faire parcourir au balancier en le ramenant, afin que les grandes vibrations s'exécutent dans le même temps que les petites, quelque variable que soit l'étendue des arcs; mais les résultats d'une telle propriété ne se soutiennent qu'autant que dans l'échappement l'équilibre des forces et des obstacles, des frottements et des autres effets, se conserve constamment le même (1). Parmi plusieurs autres conditions, la suspension du régulateur doit donc être telle qu'il ne résulte aucune différence pour lui des changements de position que l'horloge prend toujours par l'agitation du bâtiment, malgré que l'ensemble soit suspendu à cadran comme la boussole marine. Toutes les parties du régulateur, et le spiral particulièrement dans le mouvement produit par les lames, doivent aussi être disposées de manière que leur centre commun de gravité ne cesse jamais de coïncider avec leur centre de mouvement dans tous les degrés d'arcs parcourus.

Un régulateur ainsi établi avec toutes les attentions convenables, telles que le choix des métaux, la perfection de la main-d'œuvre et les conditions que nous avons jusqu'ici développées, semblerait pouvoir déjà donner exactement la mesure du temps, si la température restait constamment la même; mais comme elle varie continuellement et souvent tout à coup, et d'une quantité de degrés considérable particulièrement dans les voyages, elle altère très sensiblement l'exactitude des fonctions du régulateur :

1° Les différences dans la température changent les dimensions du balancier, et par suite la durée des oscillations. Lorsque le balancier devient plus grand par le chaud, les oscillations sont retardées, comme lorsqu'il devient plus petit par le froid, elles sont accélérées ;

2° Elles allongent ou raccourcissent le spiral, ce qui détruit l'isochronisme dépendant d'un rapport très précis entre la longueur et la force de sa lame, et ce changement de longueur déplace encore le point de repos du spiral, à l'égard du point d'échappement, d'où résulte une différence marquée dans les effets de l'impulsion.

3° Elles changent aussi la force élastique du spiral et par conséquent les rapports de cette force avec les arcs ;

4° Elles influent encore sur la quantité de frottements de tous les pivots, sur l'état de l'huile et sur les engrenages, et enfin sur le degré d'action du moteur. Pour remédier à ces causes de variation, on a imaginé de faire varier aussi proportionnellement l'inertie du balancier, afin que les oscillations eussent toujours la même durée, malgré les changements produits par la température.

Le balancier a donc été tellement composé, que par l'effet de la chaleur, par exemple, des parties de son cercle se rapprochent du centre à proportion de l'allongement qu'elle produit sur les rayons et sur le spiral, en sorte que pour la même cause le résultat de ces trois derniers effets donnant du retard est compensé et détruit par le résultat simultané du premier qui donne une avance proportionnelle; le contraire a également lieu par le froid.

Ainsi l'on a placé des masses réglantes à l'extrémité de chacun des rayons, qui forment avec eux et avec l'arc environ la moitié du poids du balancier, et l'on a formé le cercle extérieur de parties de cercles (concentriques pour une température donnée) fixées d'un bout aux rayons, et isolées de l'autre, où elles portent des

(1) Le ressort réglant ne doit même produire des oscillations isochrones qu'en comprenant toutes les résistances et l'inertie que lui oppose le balancier. Les oscillations d'un balancier sans échappement, etc., étant rendues isochrones par les dimensions du spiral, ne le seraient plus alors que le balancier aurait à vaincre les résistances de l'échappement.

masses compensantes, le tout formant la seconde moitié du poids total du balancier. Ces parties de cercles sont composées chacune de deux lames de métaux qui diffèrent en dilatation, jointes ensemble sur toute leur longueur par les goupilles rivées et très rapprochées, ou simplement et mieux par une soudure.

Le métal le plus dilatable est en dehors; son extension par le chaud et sa contraction par le froid font changer la courbure des parties de cercle, d'où il résulte que les masses de compensation placées à l'extrémité isolée et libre des lames sont portées vers le centre par le chaud et s'en éloignent par le froid, tandis que les masses réglantes des barettes éprouvent l'effet contraire. La proportion de ces masses entre elles, pour produire une juste compensation, se détermine par des épreuves spéciales sur les changements de température, en exposant la machine alternativement au froid et ensuite à la chaleur d'une étuve disposée pour cet objet.

Le diamètre virtuel du balancier restant ainsi le même, sa vitesse n'est point changée. La partie du retard ou de l'avance qui a pour cause la différence de longueur et d'élasticité du spiral, ainsi que les variations de la force motrice causées par la température, sont aussi comprises dans cette correction par le rapprochement ou le poids augmenté suffisamment des masses compensantes; car leur effet doit être proportionné non-seulement à l'écart des masses réglantes, mais encore à l'ensemble des autres altérations dans le même sens qu'il s'agit de corriger, et c'est ce qu'on appelle compensation absolue.

L'accord du mouvement des lames pour que le centre de gravité du balancier composé ne cesse pas de coïncider avec son centre de mouvement, pour maintenir en un mot son équilibre et la conservation de l'isochronisme des oscillations par le spiral, dans l'étendue variable des arcs, au milieu des altérations produites sur toutes les parties du mécanisme par les différences de température, sont des perfections très difficiles à obtenir.

Il est important que les lames de compensation soient fortes et courtes, pour ne céder que le moins possible à la force centrifuge qui les fait toujours ouvrir et se fermer dans chaque oscillation. Cet effet est moins sensible au froid qu'au chaud, et dans les petits arcs que dans les grands; il change en conséquence les degrés de vitesse du balancier, et trouble en s'y mêlant les rapports qui constituent l'isochronisme; il doit donc être aussi apprécié en raison de son influence dans la combinaison générale (1).

Parmi toutes les causes perturbatrices qui viennent entraver le moyen si heureux et si simple dans son principe d'obtenir l'isochronisme par les proportions du ressort réglant, il faut compter encore pour beaucoup le dégagement ou rappel de la force motrice, opéré par le régulateur, et la réparation ou impulsion produite par l'échappement. Ces deux effets occupent une portion d'arc déterminée, pendant laquelle la vitesse du balancier est ralentie par la résistance de la détente et l'appui de la roue sur le repos, puis accélérée suivant les variations de la force motrice dans l'impulsion.

(1) Le balancier d'une horloge doit avoir son poids en rapport avec son diamètre, pour le nombre des vibrations données par seconde. Il n'est pas indifférent que les éléments ou facteurs du mouvement soient plus ou moins en poids qu'en vitesse. On détermine par expérience la force du spiral, le poids et le diamètre du balancier, enfin le rapport le plus convenable entre la force de mouvement de celui-ci et celle du ressort réglant, forces qui se commandent alternativement; c'est dans ce rapport que le régulateur est le moins troublé par l'agitation et les secousses accidentelles, qu'il peut vaincre le plus d'obstacles, et que l'on obtient plus de constance dans les effets.

D'ailleurs, le plus ou le moins d'activité ou d'inertie de la roue, la facilité, ou l'engourdissement des rouages par les inégalités des engrenages, de l'état des huiles, les frottements, etc., font que la dent atteint plus tôt ou plus tard la levée, et change sensiblement l'intensité de force qu'elle communique, comme aussi la résistance au dégagement.

Cette portion d'arc n'est donc point réellement isochrone. Et d'après le calcul donné plus haut du changement occasionné dans la marche totale en vingt-quatre heures par la moindre altération de la durée d'une oscillation, ou d'une partie de l'oscillation, on voit combien l'échappement peut encore troubler cette durée, quand même la partie libre des oscillations serait exactement isochrone.

Le meilleur échappement serait sans doute celui qui ne troublerait pas plus le mouvement du régulateur dans la réparation de sa force que s'il n'existait aucune communication entre eux, et dont la force réparante serait toujours égale à la perte qui la nécessite.

L'échappement est de toutes les parties d'une horloge celle qui a présenté aux artistes le plus d'espoir d'atteindre à la perfection des garde-temps, et ce qui a le plus exercé leur esprit de recherche. Aussi existe-t-il une foule d'inventions en ce genre qu'on a divisées en trois classes : les échappements à recul, ceux à repos, et les échappements libres. Cette dernière classe, la seule dont nous nous occupons ici, est exclusivement adoptée pour les montres et les horloges portatives destinées à l'observation. (Voir pour plus de détails l'article HORLOGERIE.)

Nous terminerons donc ce qui concerne les horloges marines par la remarque suivante : c'est que toutes les règles établies par l'expérience sembleraient devoir suffire pour atteindre le but, si l'on pouvait être sûr de l'homogénéité des métaux, de l'uniformité de la trempe, d'une exécution rigoureusement pure, et si les pénétrations, les jeux, le centrage, les frottements, les huiles, etc., se conservaient les mêmes avec toute la rigueur des rapports établis par la théorie; mais, outre les variations de ces rapports, il se présente souvent d'autres causes d'anomalies qui échappent à la sagacité de l'artiste le plus expérimenté. Elles ne tendent jamais toutes dans le même sens, et elles s'entre-détruisent irrégulièrement, en laissant en résultat une différence dont l'origine compliquée ne présente aucun indice et ne permet que des conjectures, ce qui nécessite de longs tâtonnements pour arriver plus ou moins près du degré d'exactitude que l'artiste ne cesse d'ambitionner.

Les inventions les plus remarquables auxquelles sont dues les premiers succès des chronomètres sont : 1° la découverte, par M. P. Leroy, de la propriété isochrone d'un ressort d'une certaine longueur; 2° l'emploi de métaux différemment dilatables, par Harisson, pour produire la compensation dans le pendule; 3° l'application de ce même moyen au balancier des chronomètres portatifs, idée de P. Leroy exécutée par Arnold; 4° le choix par Arnold de la forme du spiral en hélice (ressort à boudin), qui permet, par l'uniformité de ses tours, de trouver plus facilement l'isochronisme et de conserver mieux la coïncidence du centre de gravité avec son centre de mouvement; 5° l'échappement libre, dont la première idée appartient à M. Dutertre, mais que P. Leroy, Arnold et Harenschaw ont beaucoup perfectionné.

Telles sont les bases de construction des instruments faits jusqu'à ce jour. Ils ne diffèrent entre eux que par quelques changements dans la situation ou la forme des pièces; les principes sont les mêmes dans tous; on les trouve dans divers ouvrages écrits sur ce sujet, et particulièrement dans ceux d'Harisson et de P. Leroy : ce dernier surtout les a développés d'une manière

claire et succincte. La théorie n'y est pas noyée dans une quantité d'essais, de moyens et de plans d'exécution, adoptés laissés et repris plusieurs fois, ce qui

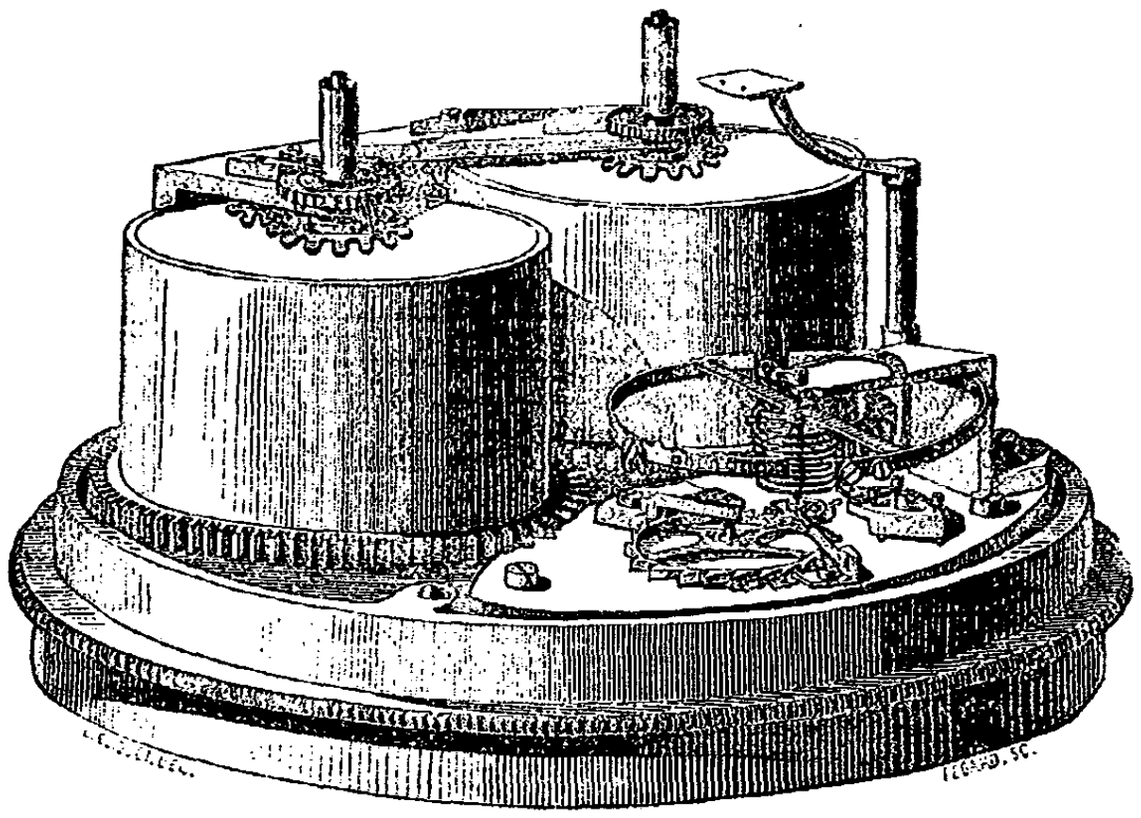


Fig. 1.

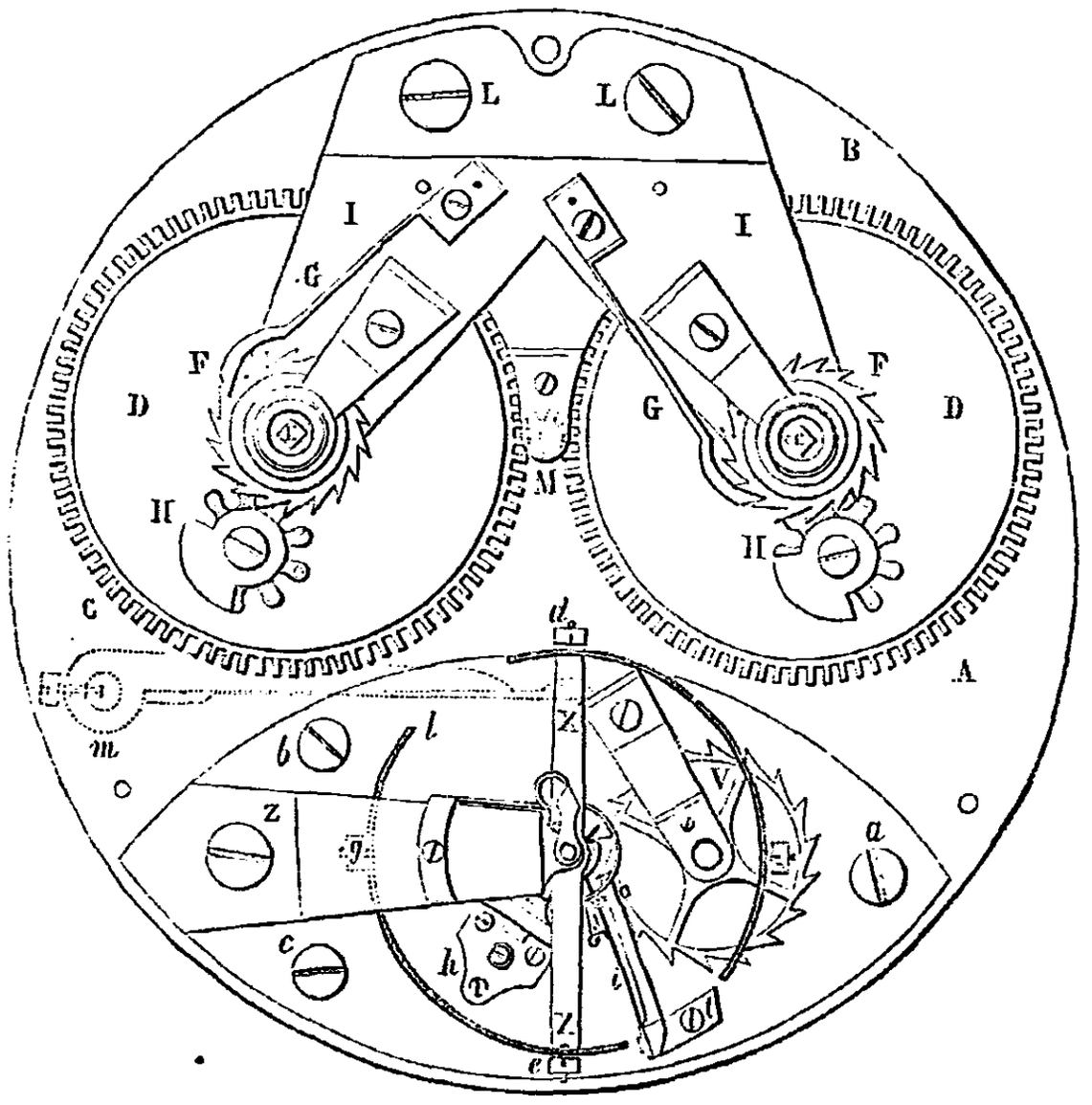


Fig. 2.

ne peut manquer de jeter dans le vague et l'incertitude, et de paralyser souvent l'esprit de recherche auquel les arts doivent leurs richesses.

Il a parfaitement établi les vrais principes qui peuvent se résumer en peu de mots : 1° Le balancier des montres marines doit de lui-même, par sa construction propre, compenser les effets de dilatation produits par les variations de température. 2° Le ressort spiral sous l'action duquel il oscille doit être isochrone dans son essence; en d'autres termes, les oscillations de ce balancier compensateur doivent avoir une durée indépendante de l'amplitude des arcs qu'il décrit. 3° L'échappement, ce mécanisme par lequel le balancier compensateur isochrone est mis en rapport avec le rouage et le ressort moteur, doit être tel qu'il ne puisse troubler en aucune manière l'isochronisme des oscillations; en un mot, ce balancier doit osciller comme s'il était séparé de la montre.

Si l'on parvenait à réaliser mécaniquement les propriétés fondamentales du balancier des montres marines et de son ressort spiral, les imperfections du rouage, l'usure des différentes parties de la montre, n'auraient aucune influence fâcheuse sur la régularité de son mouvement, et tant qu'elle pourrait marcher, c'est-à-dire tant que la force motrice serait suffisante pour entretenir les oscillations du balancier, la marche de la montre serait parfaite, jusqu'au moment où elle s'arrêterait par suite de la faiblesse de l'impulsion donnée par l'intermédiaire de l'échappement. Dans ce système, l'ingénieux mécanisme de la fusée deviendrait inutile, et le rouage communiquerait directement avec le barillet. Telles seraient les conséquences de ces principes si l'on parvenait à réaliser en toute rigueur le balancier compensateur isochrone et l'échap-

pement libre. Mais Pierre Leroy s'est bien gardé d'en faire une application aussi radicale, et, à son exemple, les horlogers ont de bonnes raisons pour rester fidèles à la fusée (à laquelle la maison Bréguet est revenue, malgré le succès d'excellents chronomètres à double ressort, parce qu'elle a reconnu qu'avec la fusée on était plus sûr de bons résultats), et pour donner aux pivots des roues et aux engrenages de leurs chronomètres, à tous les organes accessoires, toute la perfection possible.

Une des principales raisons, c'est qu'avec le balancier tel qu'on le construit aujourd'hui, on n'est pas encore parvenu à annuler entièrement les variations de la marche qui proviennent de tous les changements de température. On arrive bien à déterminer la position des masses compensatrices sur les arcs bimétalliques du balancier, de manière que la marche diurne soit exactement la même à 0 et à 30 degrés, par exemple; mais de 0 à 15 degrés, cette marche va en s'accélérant de petites quantités; à 15 degrés elle atteint sa plus grande valeur et elle décroît de 15 à 30 degrés, en reprenant toutes les valeurs qu'elle avait entre 0 et 15 degrés. Cette propriété du balancier bimétallique, qu'une longue expérience avait déjà révélée aux fabricants de chronomètres les plus habiles, a été mise en lumière par M. Lieussou, enlevé trop tôt au corps des ingénieurs hydrographes de la marine française. (Voy. *Complément*, art. CHRONOMÈTRE.) Il a montré, en discutant les marches diurnes d'un grand nombre de chronomètres anglais et français, observés pendant une année, que tous étaient soumis à la loi énoncée plus haut. Pour combattre les irrégularités de marche qui résultent de cette défectuosité du balancier à lames bimétalliques, les artistes n'établissent pas un isochronisme parfait, comme le recommandait Pierre Leroy; ils laissent au spiral une très-légère accélération dans les petits arcs; mais s'ils parviennent par cette nouvelle erreur à détruire les effets de la première, cette compensation des deux erreurs a peu de durée, et son insuffisance ne tarde pas à se manifester. Ce défaut du balancier actuellement en usage paraît tenir au mode d'action des arcs bimétalliques, et on peut douter qu'il existât dans le premier balancier que Pierre Leroy construisit pour la montre qui remporta le prix de l'Académie, balancier pour lequel la compensation s'obtenait par le mouvement d'une certaine quantité de mercure et d'alcool contenue dans deux tubes de verre opposés, recourbés en forme de V, et fixés à l'axe d'un balancier formé d'une seule lame en acier. Le véritable moyen de corriger l'erreur en question paraît donc être de modifier la construction du balancier bimétallique, et c'est vers ce but que tendent aujourd'hui tous les efforts des fabricants de

CHRONOMÈTRE.

chronomètres. On peut dire que les essais se portent surtout dans la voie de compléter le balancier compensateur à arcs bimétalliques par un système accessoire, soumis à des lois différentes, et fournissant une *compensation supplémentaire*. La petitesse des organes, le peu de place et de masse dont on peut disposer pour ne pas rencontrer des défauts supérieurs à ceux auxquels on cherche à remédier, n'a pas permis de résoudre complétement ce difficile problème. Nous revenons, au reste, sur ces divers éléments, à l'article HORLOGERIE, mais au point où ils sont parvenus, les chronomètres paraissent déjà bien voisins du degré de perfection qu'il est possible d'atteindre d'un ouvrage sorti des mains de l'homme.

Pour que l'on fasse plus facilement l'application de l'article qui précède, nous plaçons ici la description sommaire d'un de nos chronomètres.

La fig. 4 présente la perspective et l'ensemble du mouvement découvert d'une de ces horloges, le cadran étant placé sur un plan horizontal. Le plan ABC (fig. 2) est une grande et forte platine, première base d'assemblage pour toutes les autres pièces. D et D sont deux barillets dentés contenant des ressorts qui se remontent par leurs axes en E et E, et restent armés au moyen des rochets F et F et des ressorts cliquets G et G; H et H sont les roues d'arrêt des remontoirs. Les deux barillets sont contenus sur la platine par le pont à deux branches II fixé par les vis L L.

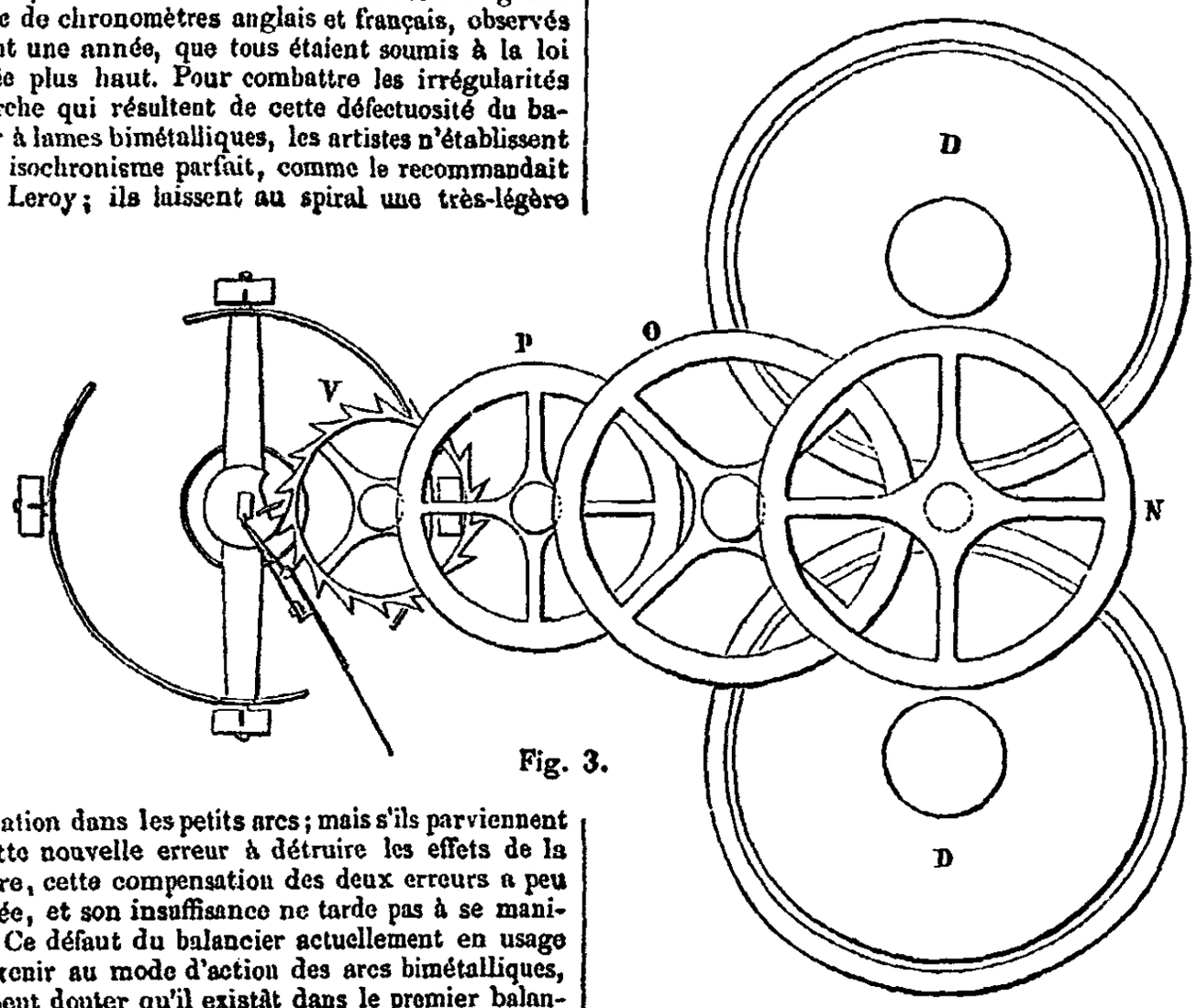


Fig. 3.

Les ressorts contenus dans les barillets font vingt tours; l'on ne se sert que des quatre tours du milieu pour cinquante heures, et comme on les remonte chaque vingt-quatre heures, il s'ensuit que deux tours seulement sont employés et donnent presque une force uniforme.

Ces barillets mènent tous deux dans le même sens le pignon M de la grande roue de minutes N. Cette roue se trouve placée sur le revers de la platine (la

fig. 3 donne en plan les dimensions relatives de toutes les parties du mécanisme qui constituent la minuterie), conduit le pignon et la roue O, qui mène le pignon et la roue de secondes P; ces trois roues ont d'un côté leurs pivots dans un pont placé au dessous de la platine. Les autres pivots des deux dernières roues sont dans la platine, mais la tige plus longue de la roue N a son pivot dans un petit pont placé entre les deux barillets; il est fixé sous le grand pont I, I (fig. 2).

Nous n'avons pas représenté le détail de la minuterie placée sur le chronomètre, parce qu'elle n'offre rien de particulier. Nous observerons seulement qu'un petit pont, passant au travers de la platine sans la toucher, maintient de ce même côté l'axe et le pignon de la roue d'échappement. L'axe de la roue d'échappement traversant la platine, cette roue se trouve reportée du côté du balancier et des barillets en V (fig. 2). Les deux ponts U et V de cette roue sont fixés tous les deux à une autre platine dite d'échappement *a b c* (même fig. 2), tenue par trois vis à la grande platine, mais avec un intervalle entre elles formé par trois petits plots. La roue d'échappement V agit un instant de deux en deux oscillations sur un cercle d'échappement porté par l'axe du balancier XX; celui-ci est maintenu en cage sur la platine d'échappement au moyen du pont ou du coq Z. Nous avons adopté, d'après l'expérience, une diminution très-rapide dans le diamètre et le poids des mobiles pour diminuer, autant que possible, l'inertie de ceux qui avoisinent l'échappement.

Le balancier est garni de deux masses réglantes, *d*, *e*, et de deux masses compensantes *f*, *g*; celles-ci sont portées par les deux lames circulaires de compensation, *d*, *f* et *e*, *g*, faites chacune de deux métaux différents en dilatation, le plus dilatable en dehors, et qui se courbent plus ou moins par la seule différence de la température; *h*, est un plot triangulaire garni de trois vis à caler et fixé sur la platine d'échappement par sa vis du milieu; il porte le piton attaché au bout inférieur du ressort spiral, dont l'autre bout supérieur est attaché à un bras que porte l'axe du balancier.

La fig. 4 représente les trois formes que prend le spiral pendant les mouvements du balancier lorsque son milieu est très-mince, que sa section n'est pas uniforme dans toute sa longueur. B le montre quand

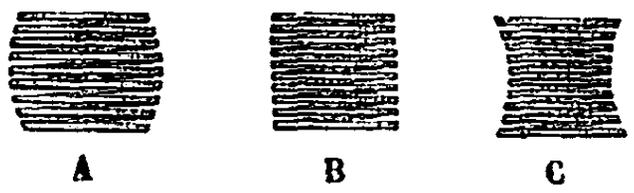


Fig. 4.

il est au repos; A, quand il fait son premier mouvement; C, quand il revient sur ses pas pour faire une seconde oscillation. (Nous renvoyons à l'article HORLOGERIE pour la théorie du spiral élucidée par les travaux de M. Philips.) La pièce *i*, *i*, *j*, fixée aussi sur la grande platine d'échappement, porte une détente à ressort *i*, *j*, qui tient en repos la roue d'échappement pendant la partie libre des oscillations du balancier. Mais celui-ci porte un doigt de dégagement qui, de deux en deux oscillations, dégage un instant cette détente, ce qui permet à une dent de la roue d'échappement d'agir sur une entaille faite à cet effet sur le bord du cercle, et de restituer ainsi au balancier le mouvement qu'il perd par diverses résistances.

La platine d'échappement portant le balancier, le spiral, son plot, la roue d'échappement et sa détente, peut-être enlevée du mouvement sans dénaturer aucune de ces pièces ni le reste de l'horloge; il suffit de desserrer et d'ôter les trois vis *a*, *b*, *c*. Une de ces vis est plus longue que les deux autres: son bout conique, quand elle est serrée, tient écarté un ressort de précaution (fig. 2), qui retombe dans les dents de la roue de secondes, lorsque l'on desserre la vis pour enlever la cage du régulateur, ce ressort empêche ainsi le rouage de courir et les accidents qui pourraient en résulter. BRÉGUET.

CHRONOSCOPES, ou CHRONOGRAPHES. On donne ces noms à des appareils à l'aide desquels on parvient aujourd'hui à évaluer les durées excessivement courtes de phénomènes mécaniques. C'est l'électricité, dont la rapidité de transmission est extrême, qui a fourni les moyens d'obtenir des indications en divers instants peu distants, et par suite de construire des appareils extrêmement sensibles, permettant d'évaluer de très-grandes vitesses en observant les moments de passage en deux points très-peu éloignés l'un de l'autre. C'est surtout pour les recherches de balistique que de semblables appareils ont été combinés, et on doit citer comme les principaux ceux dus à M. Bréguet, au capitaine Navez, à M. Gloesener, à M. Martin de Brettes, et enfin celui dû au capitaine Schutz et à M. Lissajous. Outre l'application aux phénomènes des explosions qui ont pu seuls, à cause du culte rendu à l'artillerie, au plus puissant moyen de domination, trouver des encouragements suffisants pour défrayer de coûteux essais, il s'en trouvera bien d'autres d'un grand intérêt; ainsi, nul doute que l'étude des phénomènes du choc des corps ne progresse singulièrement lorsqu'on appliquera à leur analyse ces précieux instruments qui permettront facilement d'apprécier les durées des contacts pendant lesquels seulement peut avoir lieu la communication électrique, le passage du courant, qui, on va le voir, est la base du mode de fonctionnement de ces instruments.

Dans la plupart des chronographes, les indications sont fournies par des points qui viennent se tracer soit par une aiguille mue uniformément sur une plaque fixe, soit par une aiguille fixe sur un cylindre mû d'un mouvement uniforme. L'espacement des indications, mesuré d'après la vitesse de l'élément en mouvement, donne l'intervalle de temps écoulé, pour une distance connue, par exemple, celle qui sépare deux cibles que traverse le projectile, en rompant des fils qui donnent passage à un courant électrique, ce qui donne lieu à l'étincelle qui trace l'indication. C'est à l'aide de régulateurs qu'on assure la régularité du mouvement du cylindre pour évaluer avec exactitude de très-courts intervalles, moyen qui paraît insuffisant sans l'emploi du diapason que nous donnons plus loin.

Relativement au mode d'action de l'électricité, le mécanisme de ces appareils a été extrêmement varié: tantôt l'indication est fournie par un électro-aimant dont l'armature, en tombant, fournit elle-même une trace par l'intermédiaire d'une pointe, d'une plume ou d'un crayon; tantôt l'électricité est employée comme organe traceur à la manière des télégraphes électriques, tantôt comme organe perforateur à la manière des appareils perce-cartes, etc.

Je parlerai d'abord du chronoscope de MM. Martin de Brettes et Hardy, qui ont adopté comme régulateur le pendule conique.

L'électricité provient d'un appareil d'induction de Rumkorf. Lorsque, par une disposition semblable à celle que nous donnerons plus loin, le courant est rompu, une étincelle éclate entre la pointe d'une aiguille tournante et un plateau, un cylindre en bronze.

Le cylindre de bronze est, électriquement, dans un isolement complet du reste de l'appareil, et ne communique qu'avec le pôle N de la bobine d'induction.

L'autre pôle de cette bobine communique avec le haut du pendule conique. Lors de la rupture du circuit inducteur, le courant induit formé descend par le pendule jusqu'à l'aiguille tournante, et éclate entre sa pointe et le cylindre sous forme d'une étincelle, en perçant le papier dont le cylindre est recouvert.

Cette étincelle laisse dans la bande de papier un trou noir et parfaitement net. Qu'une seconde étincelle soit produite un instant après la première, il y a formation d'un deuxième trou plus ou moins éloigné du premier, selon l'arc plus ou moins grand décrit par l'aiguille, régularisé par le pendule conique. Dès lors le mouvement de l'aiguille, conduite par le pendule, étant parfaitement uniforme, et la circonférence du cylindre étant divisée en 1000, il suffit de lire, soit avec le vernier, soit avec les microscopes pointeurs, le nombre de divisions contenues entre les deux trous des étincelles, pour avoir en millièmes de seconde le temps qui s'est écoulé entre ces deux étincelles. Si l'on veut pousser l'approximation plus loin, on subdivise les divisions du cylindre à l'aide du vernier, ou, dans le grand appareil, à l'aide des micromètres des microscopes. Mais lorsque l'on opère avec la bande de papier, qui a l'avantage de conserver les résultats, il faut avoir soin de ne pas dépasser une certaine limite, car l'étincelle peut avoir une déviation appréciable.

Pour des expériences de la plus grande précision, on supprime la bande de papier et on opère directement sur le cylindre argenté et bien poli; on arme la pointe de l'aiguille tournante d'un ressort extrêmement léger, sur lequel se trouve la pointe de platine; une petite vis règle la tension du ressort. Lorsque ce ressort est bien réglé, la vis de platine touche le cylindre, mais très-légèrement; de sorte qu'il y a étincelle lors du passage du courant induit, avec une trace noire parfaitement distincte. Dans le cas où le ressort serait trop tendu et où la pointe de platine toucherait trop fortement le cylindre, l'étincelle d'induction n'existerait pas, le courant induit passant directement par le contact de la pointe et du cylindre sans laisser de trace.

Enfin si, au contraire, le ressort trop lâche n'amenait pas la pointe de platine jusqu'au contact du cylindre, il y aurait étincelle, mais avec une trace vaporeuse et indécise.

Dans cette disposition, la pointe de platine étant enveloppée de matière isolante, et l'étincelle ne pouvant jaillir que par l'endroit de la pointe qui est en contact avec le cylindre, il n'y a aucune déviation appréciable de l'étincelle.

Les traces des étincelles s'effacent très-facilement par un léger frottement avec du drap humide.

Je chercherai maintenant à donner une idée exacte de l'appareil du capitaine Schultz, qui, construit par M. Froment, est, je crois, le plus parfait qui existe aujourd'hui.

Un rouage mis en mouvement par un poids et régularisé par un volant à ailettes, fait tourner régulièrement un cylindre de cuivre argenté à la surface, de 1 mètre de circonférence. Cette surface est enduite de noir de fumée lorsqu'il s'agit de procéder à une expérience, et recouverte de lignes sinusoïdales, tracées par un diapason placé en avant du cylindre et qui porte à une de ses branches un petit appendice élastique qui vient tracer sur sa surface. Si ce diapason est le diapason normal qui exécute 896 vibrations par seconde, on voit que si le cylindre fait un tour par seconde, chaque vibration représentera plus d'un millimètre; s'il fait n tours, plus de n millimètres; ce qui permet d'obtenir une étendue assez grande pour que l'observation de la moitié, du quart, etc. de 1/896e de seconde, soit obtenue avec une certitude absolue.

CHRONOSCOPES.

L'instrument est donc d'une extrême précision, à la condition toutefois que les courbes du diapason ne s'altèrent pas, conservent une amplitude suffisante, ne s'approchent pas trop de la circonférence médiale des vibrations, car alors celle-ci seule ne serait plus d'aucune utilité pour aider à la subdivision du temps. C'est là un danger que M. Lissajous a parfaitement fait disparaître par la disposition du diapason entretenu, c'est-à-dire auquel on restitue la force vive qu'il peut perdre. A cet effet, il dispose un long pendule qui vient, par sa partie inférieure, faire naître un contact qui détermine le jeu d'un électro-aimant qui détermine une action sur le diapason, et qui, se produisant exactement toutes les deux secondes, par exemple, éternisera son action sans que le pendule, c'est-à-dire l'appareil le plus régulier que l'on connaisse, puisse être la cause d'aucune perturbation.

Le cylindre, s'avançant par l'effet d'une vis taillée sur son axe, et recouvert de lignes qui, avec des lunettes, peuvent permettre d'apprécier facilement le 1/10000e de seconde, c'est-à-dire permettant plus de précision que ne peuvent en fournir les appareils indicateurs malgré la grande rapidité de l'électricité, disons comment opèrent ceux-ci dans les expériences de balistique.

Les cibles se composent de cadres en bois traversés par des fils métalliques parallèles, assez rapprochés pour que le projectile ne puisse les traverser sans en rompre un au moins. Un courant partant d'une bobine de Ruhmkorf vient les traverser. Un fil est-il rompu, un petit ressort, que le fil rompu tenait abaissé, vient en contact d'un fil de cuivre placé au-dessus, et fait passer dans la seconde cible le courant qui passait dans la première, et ainsi de suite pour autant de cibles successives que l'on voudra. Ce système manque quelquefois, le ressort n'agissant pas toujours assez rapidement pour mesurer des vitesses aussi considérables que celles qu'il s'agit d'apprécier.

Toutes les fois que le courant est rompu, une étincelle vient éclater à la surface du cylindre par l'effet du conducteur qui aboutit très-près, et la mesure de l'intervalle compris entre des traces successives donne le temps que le projectile a mis à parcourir le nombre de mètres compris entre deux cibles, donne par conséquent la vitesse.

La précision de ces observations a engagé M. Schlutz à se proposer un problème bien curieux et qui paraissait tout à fait inabordable, à savoir la détermination de la loi du mouvement du boulet dans une bouche à feu depuis le moment où il part du repos jusqu'à celui où il quitte la pièce, avec une vitesse de 4 à 500 mètres. On comprend aisément de quelle importance serait la solution d'une question qui n'est autre que celle de la détermination du mode d'action de la poudre, l'élément capital de la théorie des explosions. Pour y parvenir, il dispose dans les rainures que parcourent les tenons dans un canon rayé, sept ou huit broches en acier qui traversent le canon, isolées dans une gaine non conductrice. Le canon étant en communication avec un des pôles d'une pile, et les broches successivement avec l'autre, le boulet établit la communication chaque fois qu'il rencontre l'une d'elles, et on a ainsi le temps employé à parcourir chaque intervalle qui sépare deux broches, c'est-à-dire les vitesses cherchées depuis la mise en marche jusqu'à la vitesse de sortie.

Les durées nécessaires à l'établissement des contacts et des courants font que l'ingénieux expérimentateur rencontre là de très-grandes difficultés, et se trouve en face d'un problème qui dépasse peut-être la sensibilité si grande pourtant de son appareil. L'extrême rapidité de la propagation de l'électricité avait fait

penser qu'elle fournissait un moyen de fixer le temps instantanément, à des distances quelconques, mais l'expérience a montré que c'était là un instrument sans doute très-délicat, mais dont il fallait apprendre à se servir; que le temps nécessaire pour l'établissement des contacts était loin d'être nul, et par suite qu'il y avait là des causes d'erreur dans l'évaluation des temps infiniment courts.

CHRYSOCALE. Voyez LAITON.

CIDRE (*angl.* cyder, *all.* apfelwein). Le cidre est une boisson qui remplace le vin dans certains pays, particulièrement en Normandie, et qui se prépare par la fermentation du jus de pommes. Le mot cidre provient du mot latin *sicera*, dont les Romains se servaient pour désigner toutes les liqueurs fermentées autres que le vin.

Toutes les variétés de pommes viennent se ranger dans les trois classes suivantes :

1° Pommes douces ;
2° Pommes amères ;
3° Pommes acides.

Les meilleures pommes à cidre sont comprises dans la seconde classe ; elles donnent un suc plus dense, plus riche en sucre, qui se clarifie mieux et se conserve plus longtemps ; viennent ensuite les pommes douces dont le jus est plus difficile à clarifier ; les pommes acides sont les plus mauvaises. Toutes choses égales d'ailleurs, les pommes écrasées, qui donneront le jus le plus dense à l'aréomètre de Baumé, seront presque toujours celles qui contiendront le plus de sucre.

La récolte des pommes se fait en secouant chacune des branches des pommiers, et en abattant ensuite à coups de gaule les fruits peu mûrs que les secousses données aux branches n'ont pu détacher. La récolte terminée, on transporte les fruits, séparés suivant leur qualité, dans des cases où on les recouvre de paille pour les préserver du froid. L'expérience a montré que c'est à l'époque de leur plus complète maturation, un mois à six semaines après la récolte, que les pommes renferment le maximum de matières sucrées, et qu'il est le plus convenable de procéder à l'extraction du jus.

On commence par écraser les pommes, soit au moyen de pilons en bois dur, dans une auge rectangulaire en bois, soit au moyen de meules ou de cylindres ; le premier procédé est de beaucoup le plus coûteux et n'est guère employé que dans les petites exploitations, mais c'est celui qui donne le cidre le plus délicat. En Normandie, on se sert généralement du *tour à piler*, qui se compose d'une roue massive verticale en bois dur, de 1m,66 de diamètre sur 0m,16 d'épaisseur, mue par un cheval, et tournant dans une auge annulaire en pierre de 6 à 7 mètres de diamètre. Il ne convient pas d'employer une meule verticale en pierre qui déterminerait l'écrasement des pepins, et, par suite, l'expression de l'huile odorante qu'ils renferment, qui communiquerait au cidre, par son âcreté, un goût particulier très désagréable. En beaucoup d'endroits, notamment en Picardie et en Angleterre, on emploie des cylindres en bois cannelés horizontaux, susceptibles de se rapprocher ou de s'éloigner à volonté, et qui sont alimentés par une trémie placée au-dessus qu'on tient constamment remplie de pommes.

Les pommes étant écrasées, on les met tantôt immédiatement en presse, tantôt, lorsque l'on veut obtenir un cidre très coloré, on met d'abord le marc dans des cuviers où on le laisse macérer pendant un ou deux jours, en le retournant 5 à 6 fois par jour pour l'empêcher d'entrer en fermentation. Les pressoirs à cidre sont tout à fait analogues à ceux employés pour les raisins. On met le marc en presse en le jetant sur le tablier d'un pressoir garni d'une couche de paille, dont on relève l'extrémité qui déborde, de manière à former ce qu'on nomme une *tuile* : c'est une couche de marc bordée sur les quatre côtés de paille relevée ; chaque tuile a environ 0m,16 d'épaisseur sur 1m,33 de côté ; on en superpose un certain nombre jusqu'à ce que l'on soit arrivé à une hauteur de 1 à 1m,30 : la réunion de ces tuiles forme une motte. En Angleterre, au lieu de paille pour former les tuiles, on se sert de toiles de crin qui durent fort longtemps, lorsqu'on a soin de les laver après chaque opération.

On laisse égoutter sous son propre poids, pendant 24 heures, la motte ainsi montée ; le liquide qui s'écoule tombe dans un cuvier placé sous le tablier, en se filtrant à travers un panier d'osier rempli de paille ; c'est le cidre de la *mère goutte*, qui est toujours le meilleur et le plus délicat. On donne ensuite à la motte une pression graduée de plus en plus forte, jusqu'à ce qu'il ne s'écoule plus rien ; on retire alors le marc, on le délaie avec 25 p. 100 d'eau, on laisse macérer pendant 24 heures et l'on presse de nouveau, quelquefois même on repasse une troisième fois le marc au pressoir avec 35 p. 100 d'eau pour obtenir un cidre très faible, vendu aux pauvres gens.

En Normandie, on calcule que 2340 kilogr. de pommes rendent 1000 litres de gros cidre pur et 600 litres de petit cidre. Ces 1600 litres mêlés ensemble donnent encore un très bon cidre que l'on vend souvent comme du cidre pur.

Le jus des pommes retiré par le pressurage ayant été recueilli dans un grand baquet, on l'en retire à pleins seaux pour le transvaser dans des tonneaux dont l'orifice de la bonde est simplement couvert d'un linge mouillé. En peu de jours il s'établit une première fermentation, appelée fermentation tumultueuse, qui soulève le linge placé sur le trou de la bonde, et, dans son mouvement, rejette au dehors plusieurs matières fermentescibles ; peu à peu il se forme un chapeau qu'il est bon de ne pas rompre, pour empêcher l'air atmosphérique de venir frapper la surface du cidre et de le faire aigrir. Pour donner plus de qualité au cidre on facilite quelquefois cette première fermentation en remplissant un tonneau défoncé de copeaux de hêtre vert, bien lavés, sans les fouler ; puis, le fond de ce tonneau étant replacé, on y verse le moût, qui entre promptement en fermentation.

Il est fort essentiel, quand on tient à la qualité, de soutirer le cidre à la fin de la fermentation tumultueuse, et un mois après le premier soutirage. C'est alors qu'on le met dans des tonneaux de 7 à 800 litres, où il reste jusqu'à la consommation.

Quand on veut conserver le cidre à l'état doux, on le prépare, en Normandie ainsi qu'en Angleterre, d'une manière toute spéciale. Le procédé repose particulièrement sur l'interruption forcée de la fermentation du liquide. Voici, en général, comment on s'y prend en Angleterre : On prépare d'abord un moût de première qualité avec des fruits de choix, puis on l'introduit, comme à l'ordinaire, dans un tonneau. Dès qu'il a déposé, on le décante dans un autre tonneau, assez petit pour être complétement rempli, en prenant bien soin que ce transvasement ait lieu avant que la première fermentation cherche à se déclarer. Lorsque le moût est resté 16 à 18 heures dans le second fût, on approche du liquide une chandelle allumée, et si elle s'éteint, et annonce par là un commencement de fermentation, on transvase dans un troisième tonneau. Au bout de cinq à huit jours, lorsque la chandelle allumée s'éteint de nouveau, on transvase encore, et l'on répète ce transvasement toutes les fois que l'on obtient avec la chandelle allumée le même résultat, ce qui souvent arrive toutes les trois semaines.

S'il s'agit de mettre le cidre en bouteilles de manière qu'il se conserve mousseux et produise à son départ de la bouteille l'effet du vin de Champagne, on décante une seule fois le moût de pommes ou de poires avant la pre-

CIDRE.

mière apparence de fermentation, dans un tonneau à l'intérieur duquel, pour paralyser la fermentation du liquide que l'on doit y verser, on fait brûler une mèche soufrée, ou mieux, pour ne pas donner de goût étranger, un peu d'alcool enflammé contenu dans une coupe et promené en tous sens; puis, au bout de six à sept jours, avant que la moindre fermentation ne se déclare, on soutire dans des bouteilles de grès, comme étant plus solides et moins chères que celles en verre; on bouche, on ficelle le bouchon et on le recouvre ensuite de cire à bouteilles; on garde ces bouteilles dans une cave bien fraîche, et dès le second mois on peut servir ce liquide au dessert en guise de vin de Champagne.

En Normandie, après le deuxième soutirage du gros cidre de choix, on le met simplement dans des bouteilles de grès bouchées avec soin.

Le cidre préparé à la manière anglaise conserve ses propriétés et son goût agréable pendant deux ou trois ans, et peut, pendant l'hiver surtout, être transporté au loin.

D'après ce que l'on vient de voir, les cidres doivent nécessairement beaucoup varier dans leur goût et leur force. En effet, met-on peu d'eau, il en résulte ce qu'on nomme du gros cidre, boisson enivrante, propre seulement aux aubergistes, aux habitants des villes qui la coupent avec de l'eau, ou aux distillateurs, qui en retirent une assez grande quantité d'eau-de-vie (environ 6 p. 100 d'eau-de-vie à 20 ou 22°); au contraire, ajoute-t-on plus ou moins d'eau, on obtient une boisson très saine connue sous le nom de petit cidre, ou de cidre mitoyen quand il tient le milieu entre ce dernier et le premier. D'un autre côté, veut-on boire le cidre immédiatement après sa seconde fermentation, il a une saveur douce et sucrée, et est chargé d'acide carbonique, ce qui le rend malsain en même temps que peu agréable pour les palais normands, tandis que ce goût et ce piquant font alors seulement rechercher cette boisson par les étrangers. Plus tard, c'est-à-dire pendant les trois ou quatre premiers mois, la fermentation diminue peu à peu, l'acide carbonique se dégage, la matière sucrée se métamorphose en alcool, alors il devient légèrement amer, quelquefois acide et piquant, et laisse à la bouche un arrière-goût variable suivant le terroir; à cette époque il a une couleur plus ou moins ambrée, et il est ce qu'on nomme *paré*, état sous lequel les habitants des pays à cidre trouvent seulement cette boisson potable.

D'après ce qui précède on voit que c'est à tort que tous les savants ont épuisé leur science à chercher un moyen qui pût conserver la saveur sucrée aux divers cidres. Leurs améliorations n'auraient jusqu'à présent en Normandie qu'un avantage; ce serait de pouvoir retarder la fermentation tumultueuse ou de rendre la seconde fermentation plus active, ce qui est important pour les habitants des villes forcés la plupart du temps de couper leurs cidres après la première fermentation. Cette raison nous détermine à dire qu'on peut améliorer le cidre en y mêlant, après son premier soutirage, 1/10e de cidre doux n'ayant pas subi la fermentation tumultueuse, pour soutirer ensuite le tout comme à l'ordinaire. C'est après le deuxième soutirage qu'on peut transporter ce cidre surchargé de matière sucrée dans les villes, et l'y couper avec de l'eau sans crainte de le rendre plat, puisque le mélange subira une deuxième fermentation. Si l'on veut le conserver doux, on réduit par une ébullition ce moût au sixième, comme l'a fait M. Payen, et on l'amalgame au cidre après sa première fermentation, ou même simplement à du petit cidre ou à de l'eau; mais ce mélange ne fait toujours qu'un cidre sucré, estimé seulement des Parisiens, et totalement repoussé des personnes habituées à boire du cidre paré.

Outre le cidre proprement dit résultant du jus de pommes ayant subi la fermentation alcoolique, il existe une autre boisson composée seulement de jus de poires, qui se fabrique absolument de la même manière que celle provenant des pommes, et qui porte le nom de *poiré*. Cependant il est bon de faire observer que, pour faire le meilleur poiré possible, il faut piler aussitôt qu'on les a cueillies les poires fondantes, qui deviennent molles dès qu'elles sont mûres, tandis qu'il est utile de bien laisser mûrir en tas les poires qui sont âpres au palais. « Le poiré, dit M. *Girardin*, dont la fabrication n'est pas aussi étendue que celle du cidre, est accusé d'avoir une action fâcheuse sur le système nerveux. Il est moins nourrissant, plus irritant que le cidre, très capiteux lorsqu'il est vieux, et il enivre promptement ceux qui n'en font pas un usage habituel. Ce liquide a néanmoins d'excellentes qualités; c'est une boisson diurétique fort agréable lorsque sa fermentation est achevée. Plus alcoolique que le cidre, le poiré de première qualité ressemble beaucoup aux petits vins blancs de l'Anjou et de la Sologne. Mis en bouteille après une bonne préparation, il devient complétement vineux et peut alors être confondu, par les palais peu exercés, avec les vins que nous venons de citer; et même, quand il est mousseux, il prend souvent le masque des vins légers de la Champagne. Il est très propre à couper les vins blancs de médiocre qualité, qu'il rend plus forts et meilleurs. Souvent même les détaillants vendent le poiré pour du vin blanc. Malheureusement tous les poirés ne possèdent pas ces bonnes qualités, et la plupart étant faits avec des poires d'une âcreté extrême conservent un goût âcre qui les rend alors désagréables à boire. Il est à regretter que l'on apporte si peu de soins à une liqueur qui pourrait être la source d'un assez grand revenu pour les fermiers. En effet, en raison de la plus grande abondance du sucre dans les poires que dans les pommes, le jus fermenté des premières produit généralement beaucoup plus d'esprit que celui des secondes, et de bien meilleure qualité. Terme moyen, le poiré donne 1/10e de son volume d'eau-de-vie à 20 ou 22°, eau-de-vie qui peut convenir à presque tous les emplois de celle du vin. Le poiré produit en outre un vinaigre bien supérieur à celui du cidre. Enfin, les poires fournissant moitié plus de jus que les pommes, il faut conséquemment moins de poires pour avoir la même quantité de liqueur, et les poiriers ordinairement rapportent plus de fruits que les pommiers; et comme ils sont plus élevés, qu'ils soutiennent mieux leurs branches, ils nuisent beaucoup moins aux moissons que les pommiers, fleurissent et se récoltent avant eux, ce qui empêche les gelées de leur nuire autant qu'aux pommiers, d'où il résulte qu'en choisissant les meilleures variétés de poires, en les traitant avec intelligence et sans ajouter d'eau, les fermiers trouveraient des bénéfices très avantageux dans la fabrication du poiré.

Dans quelques contrées de la France on voit encore des cormiers centenaires, dont les fruits ou cormes rendent, en les traitant comme les poires et les pommes, une boisson portant le nom de *cormé*, encore plus âcre que le poiré. Aussi, dans les pays où l'on trouve de ces fruits, on les fait servir à l'amélioration des cidres qui veulent tourner au gras, plutôt que de les employer seuls. La fabrication du cormé n'ayant rien de particulier, nous ne nous y arrêterons pas; seulement, nous engagerons à ne piler ces fruits que lorsqu'ils ont molli comme les nèfles sur la paille, car la boisson qu'ils rendent est tellement âcre qu'il vaut mieux sacrifier un peu de la quantité du jus et l'obtenir aussi adouci que possible.

Les maladies des cidres les plus communes sont assurément celles qu'ils prennent tous en Normandie en vieillissant; elles tiennent à la mauvaise méthode de tirer cette boisson à la pièce au fur et à mesure des besoins, et à la mettre dans des pièces quatre fois trop grandes. Cette manière de tirer les cidres et de les lais-

ser fort longtemps en vidange sur la lie fait subir à cette boisson diverses transformations nuisibles à leur qualité. D'abord elles lui font perdre peu à peu ses qualités sapides, et alors le cidre dans cet état d'altération *se tue*, c'est-à-dire noircit; maladie incurable à laquelle sont particulièrement exposés les cidres des pays froids et humides, maladie cependant que l'on corrige sensiblement par une addition de cassonnade et de gomme. Bientôt la fermentation alcoolique, continuellement tourmentée par l'influence de l'air atmosphérique, fait place à la fermentation acéteuse, qui donne à cette boisson une saveur légèrement acide que l'on ne peut corriger, mais qui cependant ne la rend point imbuvable pour les personnes qui y sont habituées. Peu à peu la même cause, surtout quand il y a beaucoup de lie dans le tonneau, fait succéder la fermentation putride à cette acidité, d'où il résulte alors que le cidre n'est plus propre qu'à être brûlé, c'est-à-dire réduit en une eau-de-vie à laquelle un mauvais travail laisse un goût d'empyreume désagréable, qui la fait cependant rechercher dans la basse Normandie, goût du reste qu'une rectification soignée des petites eaux sur du chlorure de calcium, ou dans des appareils distillatoires particuliers, pourrait facilement faire disparaître. Enfin, une des maladies les plus communes, et qui passe souvent encore à la fermentation putride, est le *graissage*, qui semble avoir la plus grande analogie avec la maladie des vins portant le même nom. On peut, pour les deux liquides, employer des moyens de guérison semblables. Ainsi, une addition de 3 litres d'alcool, ou de 7 onces de cachou ou de sucre, ou de 14 à 21 litres de poires concassées par pièce de 7 à 800 litres, rétablissent quelquefois le cidre qui tourne au gras.

Les tourteaux qui résultent du pressurage des marcs de pommes sont conservés dans des fosses d'où on les extrait à mesure du besoin pour la nourriture des porcs pendant l'hiver; ceux de poires et de cormes sont coupés en briques, séchés à l'air et employés comme combustible.

CIMENT, LUT, MASTIC (*angl.* cement, lute, *all.* kitt). On peut diviser les ciments en deux sortes : ceux qui sont préalablement dissous ou réduits à l'état pâteux par l'addition d'eau, d'alcool ou d'une huile, et ceux qui s'appliquent fondus par l'action de la chaleur.

Le *ciment diamant* qui sert à recoller la porcelaine, les verres, etc., et qui se vend encore à un prix exorbitant, se prépare, en faisant ramollir de la colle de poisson dans de l'eau, puis la dissolvant dans de l'esprit de vin et la mêlant avec un peu de gomme-résine ammoniaque ou de galbanum et de résine mastic, dissous préalablement dans la moindre quantité possible d'esprit de vin; on obtient ainsi une masse pâteuse que l'on chauffe légèrement, afin de la liquéfier, avant de l'appliquer, et que l'on conserve dans une bouteille bien bouchée avec un bouchon de liége et non avec un bouchon à l'émeri qu'on ne pourrait peut-être plus enlever. Les joailliers arméniens emploient ce ciment, en Turquie, pour fixer des pierres gemmes sur les coupes et autres vases de même nature.

La gomme laque dissoute dans l'alcool ou dans une solution de borax forme un ciment très bon. Le blanc d'œuf seul ou mieux mélangé avec de la chaux vive finement pulvérisée, forme un ciment qui se solidifie très vite, mais qui résiste mal à l'action de l'humidité; le dernier est très résistant et est surtout employé pour recoller le marbre, l'albâtre, etc.; les chaudronniers en cuivre se servent du même ciment pour mastiquer les jointures de leurs appareils, seulement au lieu de blanc d'œuf ils emploient le sang de bœuf qui agit de la même manière par l'albumine qu'il renferme. Un ciment analogue est celui que l'on obtient en écrasant du fromage fait avec du lait écrémé, le faisant bouillir avec de l'eau jusqu'à ce qu'il ait acquis la consistance d'une bouillie, puis l'incorporant sur une table en marbre, à l'aide d'une molette, avec de la chaux vive finement pulvérisée; il sert au raccommodage de la faïence cassée, et doit être appliqué à chaud.

Pour recoller les objets en grès, on se sert du ciment suivant qui résiste parfaitement à l'action des agents atmosphériques : on mêle 20 parties de sable de rivière bien blanc et sec, 2 p. de litharge finement pulvérisée et 1 p. de chaux vive en poudre, avec assez d'huile de lin ordinaire ou mieux d'huile de lin siccative, pour que le tout ne soit qu'humecté sans former une masse pâteuse; on enduit d'abord les parties à recoller d'huile de lin au moyen d'un pinceau; ce ciment finit au bout de quelques semaines par acquérir une dureté et une adhérence supérieures à celles du grès; il en vient même au point de donner des étincelles sous le briquet. Lorsqu'on remplace la chaux vive par 10 p. de calcaire en poudre, on obtient le *ciment-mastic* qui remplace actuellement dans beaucoup d'endroits le ciment romain pour couvrir les terrasses, etc., et que l'on emploie aussi fréquemment pour mouler des statues qui présentent sur celles en plâtre le grand avantage de ne pas s'altérer à l'air libre par l'action des agents atmosphériques.

Le *mastic de fer*, employé pour relier entre elles des pièces en fer ou en fonte et dont nous avons déjà parlé à l'article CHAUDIÈRE, se forme en mélangeant ensemble de 50 à 100 p. de limaille de fer avec 1 p. de sel ammoniac en poudre. Pour s'en servir on humecte le mélange et on s'en sert pour calfeutrer les joints en l'y chassant avec un ciseau émoussé sur la tête duquel on frappe à coups de marteau. On y ajoutait autrefois un peu de fleur de soufre, mais on y a presque partout renoncé, depuis que l'on a reconnu que cette addition corrodait fortement le fer.

Parmi les ciments qui s'appliquent par fusion à chaud, nous citerons les suivants :

16 p. de craie calcinée et tamisée, triturée avec un mélange fondu de 16 p. de brai sec et de 1 p. de cire jaune.

5 p. de colophane, 1 p. de cire jaune, 1 p. de colcothar et un peu de plâtre en poudre, fondus ensemble, donnent un ciment employé pour monter les appareils électriques.

Pour fixer des pièces métalliques sur le verre, comme cela a souvent lieu dans les appareils de physique, on se sert habituellement de cire à cacheter de bonne qualité, que l'on fond quelquefois préalablement, pour la rendre moins cassante, avec un peu de térébenthine de Venise.

On fixe les verres d'optique à polir ou à tailler avec de la poix ordinaire.

La résine-mastic est souvent employée par les joailliers pour coller des morceaux d'émail blanc ou coloré sur un fond noir, afin d'obtenir une imitation de l'agate onyx.

Pour cacheter les bouteilles on se sert d'un mélange fondu de poix noire, de brai sec et de brique pilée, ou de résine ordinaire colorée par un peu de litharge rouge ou de cinabre.

L'asphalte, dont nous avons parlé à l'article BITUME, sert au pavage, à recouvrir les terrasses, etc.

Les principaux ciments ou *luts*, employés pour luter les appareils de chimie, sont les suivants :

1° La farine de graines de lin malaxée avec de la colle de pâte et quelquefois un peu de suif.

2° De la limaille de fer et de l'argile, triturés avec une dissolution épaisse de gomme arabique.

3° Du papier sans colle trempé dans l'eau, puis broyé avec de la farine de blé et un peu d'argile.

4° De l'argile grasse mélangée avec de la chaux fraîchement éteinte; en y ajoutant du blanc d'œuf, on obtient le *lut d'âne*, ciment très résistant, avec lequel on peut raccommoder la porcelaine et la faïence.

CINABRE.

5° Du plâtre cuit broyé avec de l'empois d'amidon.

6° En triturant ensemble de la farine de graines de lin de l'argile et du caoutchouc visqueux ainsi obtenu par la fusion, on obtient un lut qui résiste très bien à l'action des vapeurs acides.

7° Le caoutchouc fondu seul est un lut excellent pour graisser les robinets, les bouchons à l'émeri, etc., et pour prévenir toute perte; il résiste très bien aux vapeurs acides, n'est pas attaqué par le chlore, et ne s'altère pas même à la température de l'ébullition de l'acide sulfurique.

CIMENT ROMAIN. V. MORTIERS HYDRAULIQUES.

CINABRE, VERMILLON (*angl.* cinnabar, vermillion, *all.* zinnober). Ce corps est un sulfure de mercure composé de :

Mercure.	86,3	HgS.
Soufre.	13,7	
	100,0	

On le trouve dans la nature et c'est même le minerai de mercure le plus abondant; les échantillons massifs très purs sont seuls employés dans la peinture; mais la plus grande partie du cinabre versé dans le commerce est un produit artificiel qui a la même composition et les mêmes caractères que le cinabre naturel. En masse le cinabre présente une couleur d'un violet foncé qui devient d'un rouge très vif par la porphyrisation; en cet état de ténuité il porte le nom de *vermillon*.

Le cinabre est insoluble dans l'eau, infusible et volatil sans décomposition à une température voisine du rouge, pourvu toutefois qu'on le distille à l'abri du contact de l'air; car, dans ce cas, il se décomposerait en acide sulfureux et en mercure. Les vapeurs de cinabre forment en se condensant une masse cristalline dans laquelle on distingue de belles aiguilles hexaèdres.

La plus grande partie du cinabre que l'on trouve dans le commerce se prépare par voie sèche; depuis quelques années on est parvenu à préparer par voie humide du cinabre qui possède un éclat beaucoup plus vif que le précédent, mais qui revient ordinairement à un prix plus élevé et dont la préparation est très délicate.

M. Tuckert a publié (*Annales de chimie*, IV) un très bon mémoire sur la fabrication du cinabre hollandais, le plus beau de ceux obtenus par voie sèche, dont nous extrayons ce qui suit :

La fabrique, dit-il, dans laquelle j'ai assisté plusieurs fois à la fabrication du sulfure de mercure sublimé, est celle de M. Brand, hors de la porte d'Utrecht à Amsterdam, et l'une des plus considérables de la Hollande; on y fabrique annuellement dans trois fourneaux et par le moyen de quatre ouvriers, 24,000^k de cinabre, sans compter les autres préparations mercurielles. On y suit le procédé que je vais décrire.

On prépare d'abord l'*éthiops* ou sulfure noir, en mêlant ensemble 75^k de soufre et 540^k de mercure pur; puis exposant ce mélange à un feu modéré dans une chaudière de fer plate et polie de 0^m,32 de profondeur sur 0^m,80 de diamètre. Jamais ce mélange ne s'enflamme à moins que l'ouvrier n'ait point encore acquis l'habitude nécessaire.

On broie ce sulfure noir, ainsi préparé, afin d'en remplir facilement de petits flacons de terre, de la contenance de 3/4 de litre ou environ, et l'on remplit d'avance 30 ou 40 de ces flacons, pour s'en servir au besoin.

Après cette préparation, on a trois grands pots ou vases sublimatoires faits d'argile et de sable très pur; ces vases sont enduits d'avance d'une couche de lut, afin qu'elle ait eu le temps de sécher lorsqu'on veut les employer. On pose ces pots sur autant de fourneaux cerclés en fer et adossés contre une voûte élevée et capable de résister au feu. Les fourneaux sont construits de manière à ce que la flamme circule librement autour des pots, qui peuvent être de diverses grandeurs, et qu'elle environne jusqu'aux 2/3 de leur hauteur.

Lorsque les pots sont posés sur leurs fourneaux, on allume le soir dans ceux-ci un feu modéré que l'on augmente graduellement jusqu'à faire rougir les pots. On se sert, à Amsterdam, de tourbe pour ce travail. Lorsque les pots sont rouges, on verse dans le premier un flacon de sulfure noir de mercure, ensuite on en fait autant dans le second, puis dans le troisième. On peut dans la suite en verser deux, trois, et même davantage à la fois; cela dépend de la plus ou moins forte inflammation du sulfure de mercure. Après son introduction dans les pots, la flamme s'en élève quelquefois à 1 et même 2 mètres de hauteur; lorsqu'elle est un peu diminuée, on recouvre les pots avec une plaque en fonte de 0^m,40 de diamètre et de 0^m,04 d'épaisseur, qui s'y applique parfaitement. On introduit ainsi, en 34 heures, dans les trois pots, toute la matière préparée, ce qui fait pour chaque pot 180^k de mercure et 25^k de soufre, en tout 205^k. Toute la matière une fois introduite, on continue le feu dans un juste degré, et on le laisse éteindre lorsque le tout est sublimé, ce qui exige 36 heures de travail. On reconnaît que le feu est trop fort ou trop faible, par la flamme qui s'élève lorsqu'on ôte le couvercle de fonte; dans le premier cas elle s'élève à une grande hauteur au-dessus du pot, dans l'autre elle ne paraît pas ou ne fait que toucher faiblement l'ouverture des pots. Le degré de feu est convenable lorsque, en enlevant le couvercle, on voit paraître vivement la flamme sans qu'elle s'élève à plus de 0^m,10 au-dessus de l'ouverture.

Dans les dernières 36 heures, on remue tous les quarts-d'heure ou demi-heures la masse avec une tringle en fer, pour en accélérer la sublimation. Les ouvriers s'y prennent avec tant de hardiesse que j'en fus étonné, et que je craignais chaque fois qu'ils n'enfonçassent les pots.

Après que le tout est refroidi, on retire les pots avec les cercles en fer qui empêchent qu'ils ne crèvent, et on les casse. On trouve constamment dans chaque pot 200 kil. de cinabre sublimé; ce qui fait seulement 2 1/2 p. 100 de perte sur la quantité totale de soufre et de mercure employés.

Le cinabre sublimé en masse est ensuite broyé à l'eau, soumis à la lévigation et séché; il est d'autant plus beau qu'il est réduit en parties plus ténues.

Le cinabre préparé par voie sèche est loin d'avoir le feu et l'éclat du cinabre de Chine aussi bien que de celui préparé par voie humide; d'après Wehrle, on peut obtenir un cinabre sublimé d'une beauté presque égale à celui de Chine, en y ajoutant avant la sublimation 1 p. 100 de sulfure d'antimoine, puis en faisant digérer le cinabre pulvérisé d'abord avec une dissolution de sulfure de potassium, puis avec de l'acide hydrochlorique étendu.

La préparation du cinabre par voie humide, due à *Kirchoff*, a été perfectionnée depuis au point de donner un produit dont la beauté ne le cède en rien à celle du cinabre de Chine.

Voici, d'après *Brunner*, quel est le meilleur mode d'opérer : on triture ensemble 300 p. de mercure et 114 p. de soufre, pendant plusieurs heures, jusqu'à ce que le tout se soit réduit en une poudre noire dans laquelle on n'aperçoive plus aucun globule de mercure. Cette opération s'accélère notablement lorsqu'on ajoute au mélange une petite quantité d'une dissolution de potasse du commerce. On peut s'épargner le travail de la trituration en introduisant le mercure et la fleur de soufre dans de fortes bouteilles que l'on bouche bien, et que l'on attache solidement sur un châssis auquel on imprime un mouvement de va-et-vient au moyen d'un moteur quelconque. On ajoute à la poudre noire ainsi obtenue une dissolution de 75 p. de potasse à la chaux

dans 400 p. d'eau, et on continue la trituration encore pendant quelque temps ; on porte ensuite le tout dans le travail en petit dans une capsule en porcelaine, dans le travail en grand dans une chaudière en fer poli ; on chauffe à 45° C. au bain-marie, et on cherche autant que possible à maintenir cette température constante. On doit remplacer de temps en temps l'eau qui se vaporise. Après une couple d'heures, on remarque que la masse d'abord noire devient d'un rouge-brun ; il faut alors prendre bien soin que la température ne dépasse pas le degré indiqué ci-dessus. Un défaut de chaleur n'a d'autre inconvénient que de prolonger la durée de l'opération. Peu à peu la couleur brune passe à un rouge dont la vivacité croît très rapidement. On retire alors le feu de dessous la chaudière, pour ralentir la marche de l'opération, et pouvoir reconnaître exactement le moment où la teinte a acquis le plus haut degré de beauté et de vivacité ; aussitôt que ce point est atteint, ce qui se reconnaît aisément lorsqu'on a acquis quelque habitude de cette manipulation, on refroidit la masse en y versant de l'eau froide, on la jette sur un filtre, on la lave avec soin et on la fait sécher.

Le cinabre ainsi obtenu se distingue par une couleur d'un rouge très vif, très analogue à celui du carmin, et qui ne le cède en rien pour l'éclat au cinabre qui nous vient de Chine, où il est préparé par des procédés dont le détail nous est inconnu.

On falsifie le cinabre avec du minium, du colcothar et de la brique pilée ; en chauffant dans un tube en verre, le cinabre seul se volatise en laissant les substances mélangées en résidu ; en chauffant ensuite ce résidu avec de l'acide hydrochlorique, on reconnaît que c'est du minium, s'il se dégage du chlore et s'il se transforme en une poudre blanche cristalline ; c'est du colcothar s'il se dissout complétement en donnant une dissolution d'un jaune foncé ; enfin c'est de la brique pilée s'il ne se dissout pas. Quelquefois aussi on le falsifie avec du sang-dragon, qui se reconnaît en traitant par l'alcool qui le dissout et se colore en rouge, et avec du réalgar (arsenic sulfuré rouge), qui se découvre par l'odeur alliacée qu'il répand lorsqu'on le chauffe avec un corps réducteur, tel que du charbon.

Le cinabre est employé dans les arts, dans la peinture et la fabrication des cires à cacheter.

CIRAGE. Le cirage que l'on emploie le plus ordinairement est celui qui se sèche et se polit avec une brosse, et qui porte le nom de *cirage anglais*. Il existe une foule de recettes pour préparer ce produit dans lequel il entre toujours du noir d'ivoire ou charbon d'os, de l'acide sulfurique et une matière gommeuse ou sucrée. La recette qui donne un bon cirage, au plus bas prix possible, est celle que l'on doit préférer. En voici une qui réussit bien :

Noir d'ivoire.	2k
Mélasse.	2
Acide sulfurique à 66°. .	0,40
Noix de Galle concassée. .	0,12
Sulfate de fer.	0,12
Eau.	2 lit.

La mélasse étant versée dans une terrine d'une capacité de 10 litres au moins, on y délaie peu à peu le noir d'ivoire ; d'autre part on fait infuser pendant une heure la noix de Galle dans 1 lit. d'eau bouillante, puis on passe à travers un linge ; on dissout le sulfate de fer dans le deuxième litre d'eau, on mêle la moitié de la dissolution avec la mélasse et le noir d'ivoire ; on ajoute au reste l'acide sulfurique, et on le verse ensuite peu à peu dans la terrine, en agitant continuellement. Il y a une vive effervescence, le volume de la masse augmente beaucoup, elle s'épaissit en même temps. On y ajoute enfin l'infusion de noix de Galle.

On obtient ainsi une pâte molle. Si on avait ajouté de la gomme au cirage, il aurait fini par se solidifier, parce qu'elle se combine avec l'oxyde de fer pour devenir presque insoluble. Si l'on veut avoir du cirage liquide, il faut délayer la masse obtenue dans 5 litres d'eau, bien l'agiter et la mettre rapidement en bouteille, en l'agitant toujours, afin d'éviter le dépôt qui se formerait sans cette précaution.

CIRE (*angl.* wax, *all.* wachs). La cire pure est blanche, solide à la température ordinaire ; sa densité est de 0,96. Elle fond vers 63°, et elle brûle avec une flamme blanche qui répand une vive lumière. Elle est insoluble dans l'eau, très peu soluble dans l'alcool froid, un peu plus dans l'éther ; l'essence de térébenthine et les huiles grasses la dissolvent facilement à chaud. L'alcool bouillant la dissout en partie et la sépare en deux produits différents, une matière insoluble, la *myricine*, et une matière soluble, la *cérine*.

Nous avons déjà parlé de la production de la cire au mot ABEILLE ; il nous reste à décrire la purification et le blanchiment qu'on lui fait subir avant de la livrer au commerce.

Après que l'on a retiré les gâteaux des ruches, on les coupe par tranches horizontales que l'on place sur des claies d'osier pour laisser écouler le miel que les alvéoles renferment ; le miel que l'on obtient ainsi porte le nom de *miel vierge*. On met ensuite les fragments de gâteau égouttés dans des sacs en toile et on les soumet à l'action de la presse ; on obtient encore ainsi du miel de seconde qualité. On fond ensuite les résidus restés dans les sacs dans des chaudières avec de l'eau, pour éviter de les brûler, puis on laisse refroidir lentement afin de permettre à l'eau et aux impuretés de se séparer. Quand la cire est solidifiée, on la retire des vases, et l'on enlève avec un couteau la partie inférieure du pain de cire, qui est fort impure et porte le nom de *pied de cire*. La cire brute ainsi obtenue est jaune, et possède une odeur de miel variable suivant la nature des plantes qui ont servi à l'alimentation des abeilles.

Avant de procéder au blanchiment de la cire, on la purifie en la fondant dans des chaudières en cuivre à double fond, chauffées au bain-marie ; on la laisse reposer quelque temps pour faciliter le dépôt des impuretés, et on la fait écouler par une ouverture latérale située un peu au-dessus du fond de la chaudière. De là elle se rend dans un deuxième réservoir, où on la laisse déposer de nouveau, puis on la décante une seconde fois et on la reçoit dans un vase prismatique, percé à la partie inférieure d'une ou plusieurs ouvertures, par lesquelles la cire s'échappe et vient tomber sur un fort cylindre en bois, dont l'axe est parallèle à celui du vase et qui est en partie plongé dans l'eau ; quand la cire est parvenue à sa surface, on le tourne lentement. Par ce moyen, la cire s'étale en rubans, se solidifie par l'abaissement de température causé par l'eau qui, en la mouillant, empêche les nouvelles couches de cire d'adhérer avec les premières, et l'on obtient ainsi des rubans très minces. On renouvelle constamment l'eau de la bâche où plonge le cylindre, en y faisant arriver au fond de l'eau froide par un tube plongeur, et en laissant écouler l'eau chaude par un déversoir placé à la partie supérieure.

La cire ainsi rubannée est placée sur des châssis en toile, puis exposée à l'action alternative de la rosée et des rayons solaires. La matière colorante se détruit peu à peu, mais il est presque impossible d'opérer le blanchiment en une seule fois, à cause de l'épaisseur des rubans de cire ; on refond alors celle-ci pour la rubanner de nouveau et la soumettre à un second blanchiment.

Il faut avoir soin de ne retirer la cire de dessus les châssis que lorsque le temps est très sec, parce que par un temps humide elle conserve une teinte grisâtre et éprouve un déchet considérable.

Enfin, on refond la cire une dernière fois et on la coule en petits pains, livrés au commerce sous le nom de *cire vierge*.

On a essayé, mais sans succès, de blanchir la cire au moyen du chlore et des chlorures décolorants ; elle devient alors cassante et peu propre à la combustion.

La cire jaune sert soit directement, soit combinée à la potasse, à frotter les appartements. La cire blanche est surtout employée dans la fabrication des BOUGIES ; elle forme la base du cérat et d'une foule d'autres préparations pharmaceutiques ; enfin, on s'en est quelquefois servi pour délayer les couleurs, en les appliquant à chaud dans un genre de peinture dit à l'*encaustique*.

CIRE A CACHETER (*angl.* sealing wax, *all.* siegellack). La cire à cacheter est essentiellement composée de gomme laque, à laquelle on ajoute de la térébenthine afin de la rendre plus fusible et moins cassante. Pour les cires rouges ou peu colorées, on emploie de la gomme laque aussi peu colorée que possible, tandis que pour les cires noires on peut très bien se servir de gomme laque d'un brun foncé, qui revient beaucoup meilleur marché.

Voici comment on prépare la cire à cacheter rouge superfine : on fond 4 parties de laque dans une capsule en fer placée sur un feu de charbon clair, puis on ajoute 1 p. de térébenthine de Venise et 3 p. de vermillon, en agitant continuellement. Quand la matière colorante est bien incorporée, on pèse des morceaux de 250 grammes que l'on roule sur un marbre chauffé en dessous par un réchaud, puis on les lisse sur un autre marbre avec une planche en bois dur munie de poignées, et qui porte le nom de polissoir. Quand la masse a été roulée et étirée en cylindres d'une grosseur convenable, on maintient ces cylindres entre deux réchauds ardents pour qu'ils deviennent brillants à leur surface; on les divise en bouts d'une longueur convenable, qu'on fond ensuite à chaque extrémité au moyen d'une lampe à esprit-de-vin, et on y applique un cachet variable suivant le fabricant et la nature de la cire.

Les cires ovales ou cannelées se font dans des moules en acier poli.

La cire à cacheter fine s'aromatise quelquefois avec des baumes, tels que le benjoin, le styrax, le baume du Pérou, etc.

Les cires de différentes couleurs s'obtiennent en remplaçant le vermillon par d'autres substances colorantes, telles que le vert-de-gris, le chrômate de plomb, l'indigo, le noir de fumée, etc.

Les cires marbrées se font en mélangeant des pâtes fondues de couleurs différentes : la marbrure dépend d'un tour de main que l'on n'acquiert que par la pratique.

Les cires dorées s'obtiennent en incorporant des paillettes de mica jaune d'or dans la cire pendant qu'elle est en fusion.

Pour les cires rouges communes, on remplace le vermillon par du minium, et même quelquefois par du colcothar. On remplace aussi la gomme laque, en tout ou en partie, par un mélange de colophane et de craie ou de plâtre pulvérisé; si l'on n'ajoutait pas de craie ou de gypse à la colophane, la cire que l'on obtiendrait serait tout à fait fragile et ne s'attacherait que faiblement au papier. On remplace quelquefois la craie ou le plâtre par du sous-chlorure de bismuth, ce qui donne une cire de meilleure qualité.

CIRE A SCELLER. La cire à sceller est une matière plastique, destinée à recevoir l'empreinte d'un cachet, qui est employée, comme son nom l'indique, pour poser des scellés.

Cette cire se fait en fondant ensemble 4 parties de cire blanche et 1 p. de térébenthine de Venise, puis ajoutant au mélange, quand il commence à s'épaissir par le refroidissement, une quantité suffisante de vermillon pour le colorer en rose pâle. On en pèse ensuite des morceaux que l'on roule en cylindres, dont le volume est ordinairement plus fort que celui des bâtons de cire à cacheter. Pour employer cette cire, on en ramollit une portion en la malaxant, on l'applique sur le papier ou le tissu qui doit la recevoir, et on la comprime fortement avec un sceau dont elle prend l'empreinte.

CIRE MINÉRALE, OZOKÉRITE. Substance essentiellement composée de paraffine, qui brûle avec une flamme très brillante, et qui se trouve en assez grande quantité dans le sein de la terre en Moldavie, près de Slanik et Zietrisika, pour que les habitants du pays la fondent et la moulent en bougies pour leur usage.

CIRE VÉGÉTALE. Plusieurs plantes, et en particulier celles de la famille des *myrica*, donnent, lorsqu'on fait bouillir leurs baies avec de l'eau, une sorte de cire quelquefois employée pour l'éclairage sur les lieux mêmes de production, mais qui n'ont aucune importance commerciale.

CISAILLES (*angl.* schears, *all.* scheere). C'est un outil qu'on emploie pour couper et diviser des barres et des feuilles de métal. On en distingue deux espèces: les cisailles droites et les cisailles circulaires.

Les *cisailles droites* se composent de deux lames droites fixées par un goujon, et pouvant s'éloigner et se rapprocher l'une de l'autre en tournant autour de ce goujon. On les établit sur des dimensions très variables, suivant l'épaisseur des feuilles qu'elles sont destinées à travailler. Elles sont mues, tantôt à la main, tantôt par un moteur; à la main, quand on n'a que peu d'efforts à produire; par le moteur, quand on a à couper des feuilles très épaisses, et qu'il faut aller vite.

Le mode d'action de la cisaille diffère complétement de celui des autres outils à diviser. Au moyen de la scie, du burin, on réduit toujours une portion de la matière qu'on divise en limaille ou en copeaux, et les deux morceaux obtenus ont moins de volume que le morceau total. Avec la cisaille, on ne sépare plus en deux une pièce, en en enlevant une partie, mais bien en cassant, en arrachant la matière.

Quand on ne veut que couper des tôles de cuivre ou de fer très minces, on emploie une cisaille que l'on tient dans la main gauche, tandis qu'on manie la feuille avec la droite. Les deux lames sont robustes, droites; une des branches que l'on tient dans la main est recourbée en équerre et vient s'appuyer sur l'autre, afin d'empêcher la main d'être serrée et les lames de se croiser indéfiniment. Les parties tranchantes des lames sont en acier et soudées avec le reste de la cisaille, dont les deux branches sont en fer et réunies par une goupille rivée. Il est préférable cependant d'employer un boulon fileté à une extrémité, et disposé de manière à recevoir un écrou, on peut alors séparer les deux branches et les affûter à part. Il faut avoir soin de ne pas faire toucher les deux branches entre le trou du boulon et les deux lames, et même un peu en arrière de ce boulon, parce qu'en serrant l'écrou on rapproche les lames, on les serre l'une contre l'autre d'une quantité convenable, on ne court pas le risque de les voir s'écarter, il est plus facile de tenir la cisaille bien droite, et on coupe avec plus de facilité. Si l'acier n'est pas vif, il faut le faire revenir au jaune paille, s'il est dur, au jaune-d'or.

Quand les tôles ont un millimètre d'épaisseur, on n'emploie plus ces petites cisailles avec lesquelles on ne peut pas exercer un effort considérable ; on se sert alors de cisailles plus grosses dont la lame supérieure est fixe et se retourne verticalement pour pouvoir être placée dans un trou pratiqué dans un billot en bois, ou être serrée dans un étau. La lame inférieure est mobile, on prend avec les deux mains la branche avec laquelle elle fait corps, et on place la feuille aussi près que possible

du centre de rotation, afin d'éprouver une résistance moins considérable.

Pour couper à la main des feuilles d'épaisseur plus considérable, on se sert de cisailles établies sur un bâti à demeure, et dans lesquelles la feuille à couper se trouve placée entre le point de rotation et l'extrémité d'un long levier auquel on applique la puissance. La lame inférieure est alors immobile et placée solidement sur une pièce de bois; elle se termine par une boutonolle à laquelle est fixée par un goujon, ou un boulon, l'extrémité du levier mobile; les couteaux ne sont plus soudés, mais ajustés et boulonnés sur les deux branches. On peut alors en avoir plusieurs paires, les affûter sans difficulté, et les remplacer facilement, s'ils viennent à se casser ou à s'ébrécher.

Dans le maniement de ces cisailles il faut placer la feuille le plus près possible de l'axe de rotation et faire le levier très long. Il n'est pas toujours facile de remplir la première condition parce qu'il faut pour approcher la feuille de l'axe élever beaucoup le levier, le couteau supérieur est alors très incliné et la feuille tend à glisser sur le couteau inférieur; une trop grande longueur de levier rend en outre la manœuvre gênante, aussi ces cisailles sont-elles le plus souvent très pénibles à manier, et le moteur doit agir par bonds et secousses, ce qui est très fatigant. Nous croyons qu'on les perfectionnerait beaucoup en plaçant le levier sur un autre axe que le couteau mobile, et en y fixant une petite roue dentée qu'on ferait agir sur une roue beaucoup plus grande fixée sur ce couteau mobile. Par ce moyen il faudrait, il est vrai, faire parcourir à l'extrémité du levier un chemin beaucoup plus considérable pour abaisser la lame d'une même quantité, mais on déploierait un effort beaucoup moindre. Dans la disposition ordinaire l'extrémité du levier se meut à peine, aussi l'effort excède-t-il de beaucoup celui que peut produire sans fatigue un homme de force moyenne.

On emploie généralement dans les ateliers des cisailles mécaniques; l'arbre de commande de quelque manière qu'il soit mû, porte d'ordinaire un volant et un pignon qui engrène avec une roue plus grande fixée sur un second arbre.

Un excentrique ou une manivelle à bouton, placé sur cet arbre, soulève un levier auquel le couteau est fixé quelquefois directement. D'autres fois, ce levier fait descendre un cylindre auquel est attaché le couteau supérieur. La machine peut alors servir de découpoir; à cet effet on enlève les deux couteaux, on fixe au cylindre un poinçon d'acier qui, en pénétrant dans le métal, y fait un trou en enlevant un morceau qui a exactement même forme que lui.

Le volant sert à régulariser la marche de la machine pendant que les ciseaux ne coupent pas, il accumule la puissance que lui transmet le moteur, et pendant que le métal est attaqué il contribue puissamment à sa division en empêchant en outre toute la secousse de se transmettre au manœuvre qui tourne à la manivelle. De cette manière l'homme produit un travail continu bien moins pénible qu'un travail intermittent pendant lequel il faut faire un grand déploiement de force motrice.

Quelquefois les cisailles sont mues par une petite machine à vapeur spéciale; elles sont alors très simples de construction, on les fait fonctionner comme on le veut, on peut mettre entre deux coups l'intervalle convenable et faire marcher la machine plus ou moins vite.

Les *cisailles circulaires* sont composées de deux disques en fonte auxquels s'appliquent des tranchants circulaires en acier, tournant simultanément en sens inverse, et placés de manière à se toucher et à se croiser légèrement. On les emploie surtout pour les métaux en feuilles; elles ont l'avantage de couper en ligne courbe. Les deux disques, en tournant, attirent le métal quand il est mince; s'il est trop épais et que les diamètres soient faibles ils glissent sur la feuille et ne la coupent plus; il faudrait employer alors des disques très grands. Un moyen très simple pour couper des plaques épaisses avec de petits disques, consiste à faire à la lime, avant la trempe, sur la partie arrondie, une denture peu profonde qui, sans nuire à la solidité du tranchant, donne aux cisailles la propriété de s'emparer de la planche de tôle à découper, sans qu'il soit nécessaire d'exercer sur elle la moindre pression.

Les deux disques sont portés sur deux arbres en fer liés entre eux au moyen d'un engrenage; on communique le mouvement à l'un d'eux par une poulie et une courroie, ou par un pignon placé sur un arbre à manivelles. Une vis placée à l'extrémité d'un des arbres fait appuyer les deux disques l'un contre l'autre. DUBIED.

CISEAU (*angl.* chisel, *all.* meissel). Le ciseau est un outil plat, ayant un seul biseau au bout. Les petits ciseaux se font entièrement en acier, ceux de plus grandes dimensions sont faits partie en fer, partie en acier. Les longs côtés du ciseau peuvent être droits; cependant l'usage est de les faire un peu inclinés, et de manière à ce que l'outil devienne insensiblement plus large par le bout du taillant que par la partie qui avoisine le collet : on nomme ainsi une partie évidée plus épaisse que le restant de l'outil, et, assez ordinairement renforcée par une arête; c'est cette partie qui supporte l'embase, qui elle-même supporte la soie, partie qui entre dans le manche. Le biseau du tranchant doit être de 30 à 35°, et par conséquent la trempe, qui du reste varie avec la nature de l'acier employé, ne doit pas être trop dure : si l'on a employé de l'acier fondu, on le fera revenir gorge de pigeon ou même tout à fait bleu. La face du ciseau opposée au biseau ou *planche*, doit être parfaitement plane et même doit recevoir un commencement de poli; le tranchant de l'outil en est d'autant plus vif.

CISELEUR. On donne ce nom à l'artiste qui sculpte les métaux et produit ces bronzes élégants qui servent de supports aux mouvements des pendules, ces riches candélabres, ces coupes ornées, ces encriers façonnés, et autres objets analogues d'utilité et de luxe, qui parent les appartements du riche. C'est aussi le ciseleur qui fait ces guirlandes de feuillage, ces fils d'or ou de perles, ces arabesques, ces rinceaux, qui servent à garnir les meubles précieux; en un mot, le ciseleur produit sur les métaux, mais le plus ordinairement sur le cuivre, tout ce que le sculpteur fait en marbre, en pierre ou en bois. L'art du ciseleur est pour ainsi dire confiné dans un quartier de Paris : ailleurs, en France, il n'y a pas de ciseleurs; hors France il y a des ciseleurs, mais qui n'approchent pas des artistes français. On doit s'étonner qu'aussi peu de célébrité se répande sur des hommes d'un mérite aussi transcendant, et que nous n'ayons pas de noms illustres à citer; mais l'étonnement cessera lorsqu'on saura que l'industrie a tellement divisé le travail dans cette partie des beaux arts, qu'un bel objet n'est plus l'œuvre d'un homme, mais l'œuvre d'une agrégation d'hommes; de là, perfection, bas prix; mais aussi plus de renommées colossales. Celui qui vous vend un beau bronze, dont il est propriétaire, sur lequel il les droits d'artiste, qui poursuivrait avec acharnement un contrefacteur, celui-là assez souvent n'a pas même mis la main à l'œuvre. Voici comment l'entrepreneur, l'homme qui a quelque renom, établit un bronze : Supposons qu'il s'agisse d'un candélabre, il demandera au dessinateur un sujet nouveau; le dessinateur s'il s'agit d'une composition dans laquelle un personnage porte des tyrses, des feuillages, et soit monté sur un socle. divisera son travail en trois parties : Le dessinateur de figures fera le personnage, ou les personnages; le dessinateur d'ornement fera les feuillages, le dessinateur d'architecture fera le socle. Le dessin remis à l'entre

preneur, il fera venir le mouleur ou le sculpteur; si c'est le mouleur qui doit travailler, il composera, d'après le dessin, ses parties en cire rouge, il fera des coupes, et pourra encore diviser son travail entre des hommes habitués à faire, les uns de la figure, les autres l'ornement, les autres l'architecture. Le mouleur produira un candélabre en cire semblable au dessin; avec la cire, on obtiendra un creux et avec ce creux un modèle en plâtre. Si l'on appelle de suite le sculpteur, et c'est maintenant la marche la plus généralement suivie, il exécutera immédiatement son modèle en plâtre dur. C'est peut-être cet artiste inconnu, et qui habite quelquefois un grenier, qui est le père du chef-d'œuvre qui va éclore; c'est sur son travail que s'établit la propriété de l'entrepreneur. Le candélabre sort de ses mains en une infinité de pièces séparées, qui pourront toutes se réunir pour former un ensemble gracieux. Ici c'est un bras, là une guirlande, ici une tête penchée, etc., etc. C'est dans cet état que cette pièce complexe est remise au fondeur; et une série d'opérations très délicates, très minutieuses, commence : il faut trouver les pièces de dépouille, garnir les noirs (c'est-à-dire les creux plus larges au fond qu'à l'extérieur), mettre en sable, etc., etc. Lorsque les pièces sont coulées et réparées, elles sont assemblées par le monteur, alors commence l'ouvrage du ciseleur, qui consiste à raviver les angles à sabler où à fouiller les fonds; il a pour guide le plâtre sculpté qui a servi à fondre. Le ciseleur travaille les pièces séparément; lorsque cette facilité ne peut avoir lieu, il travaille sur l'ensemble; il pose ses pièces à l'aide d'un ciment composé de résine, de cire et de brique broyée, et réduite en poudre fine, sur un appareil nommé *boulet*, qui lui donne la facilité d'incliner son ouvrage de tous les côtés, et c'est à l'aide de petits fermoirs en acier nommés *ciselets*, de petits ciseaux, de ritloirs, de mattoirs et autres instruments sur lesquels il frappe avec le marteau, qu'il répare les fautes du fondeur. Plus le fondeur est adroit, moins il reste à faire au ciseleur; mais qu'on ne croie pas qu'il pourrait se faire qu'on trouvât un fondeur tellement adroit qu'il fût possible de se passer du ciseleur. Si ce cas se rencontrait, il y aurait encore profit, dans la majeure partie des cas, à employer le ciseau; car alors les dépenses qui seraient occasionnées par les préparations pour parvenir à ce degré de perfection couvriraient et au-delà les frais de la ciselure. Il vaut bien mieux avoir une fonte, *bon courant*, à prix modéré, qu'on fait ensuite retoucher et fouiller au ciselet, et puis la dorure ou le vernis prennent mieux sur l'ouvrage ciselé. Assez souvent c'est sur le premier cuivre qu'on surmoule les objets destinés à la vente; quand on doit peu mouler on se contente du plâtre. Comme on le voit, un grand nombre de mains différentes concourent à l'établissement d'un modèle : dessinateurs, modeleurs, sculpteurs, fondeurs, réparateurs, monteur, tourneur, ciseleur, doreur-vernisseur. Le grand art du ciseleur c'est de connaître les premiers talents parmi tous ces artistes et de les employer. Dans cette partie, comme dans bien d'autres, la réputation dépend de circonstances indépendantes de l'art; les mêmes ouvriers travaillent pour tous les établissements de la capitale; on fait mieux ou moins bien, selon le prix. Voilà pourquoi on ne citera jamais de grands noms parmi les ciseleurs, comme parmi les peintres et les sculpteurs.

On nomme aussi *ciseleurs* des artistes qui travaillent sur le cuivre creux et qui lui donnent toutes les formes en relief en le repoussant par derrière avec des buttoirs, des mattoirs, des repoussoirs, et autres petits outils sur lesquels ils frappent avec le marteau en appuyant l'ouvrage sur des tas, des enclumes, des bigornes, et autres supports différemment contournés. Dans le cours de cette opération délicate, on fait recuire le cuivre toutes les fois que cela est nécessaire. Ce travail est analogue à celui des orfèvres. Il y avait en ce genre des bustes à l'exposition des produits de l'industrie de 1834, présentés par un chaudronnier, passé maître en son art; mais ces travaux, ainsi que ceux qui s'obtiennent maintenant par l'estampe, et par les procédés nouvellement introduits d'Angleterre, s'éloignent tout à fait de l'art du ciseleur proprement dit, et ne doivent point trouver place dans cet article, encore bien que le mot *ciseleur* y ait été attaché faute d'une autre expression plus convenable.

ACIDE CITRIQUE (*angl.* citric acid, *all.* citronen saure). Pour préparer l'acide citrique, on exprime le jus de citron et on le laisse fermenter; les matières qui rendaient la liqueur visqueuse se séparent et viennent former à la surface des pellicules vertes que l'on enlève; on sature ensuite la liqueur claire avec de la chaux éteinte en poudre, il se précipite du citrate de chaux insoluble que l'on recueille sur un filtre et que l'on lave avec de l'eau; on décompose à chaud ce citrate par un léger excès d'acide sulfurique étendu de six fois son poids d'eau, à raison de 49 p. d'acide sulfurique à 66° pour 20 p. de chaux employée pour la saturation de l'acide citrique. Au bout de 6 à 12 heures au plus tout le citrate est décomposé, on décante pour séparer le sulfate de chaux que l'on jette ensuite sur un filtre en toile où on le lave avec un peu d'eau. On évapore la liqueur claire à feu nu, dans des chaudières en plomb, jusqu'à ce qu'elle ait atteint une densité de 1,13, on la transvase dans une autre chaudière, chauffée au bain-marie ou à la vapeur, où l'on continue l'évaporation jusqu'à ce qu'elle prenne un aspect sirupeux et qu'elle vienne à se recouvrir d'une légère pellicule; on doit aussitôt faire évacuer la vapeur ou l'eau du bain-marie, et décanter la liqueur dans un cristallisoir. Les cristaux d'acide citrique ainsi obtenus ne sont pas assez purs; il faut les redissoudre dans une petite quantité d'eau, laisser déposer, décanter, évaporer de nouveau et faire cristalliser.

L'acide citrique est très soluble dans l'eau surtout à chaud : 100 p. d'eau bouillante en dissolvent 133 p.; sa composition est représentée par la formule C^{12} H^{10} O^{11} + $3H^2$ O, et les sels qu'il donne sont des sels tribasiques, exemple : le citrate de chaux, C^{12} H^{10} O^{11} + 3CaO.

On a essayé, mais sans succès, dans les pays à citrons, tels que la Sicile, de fabriquer en grand du citrate de chaux pour alimenter les besoins du commerce; cela tient à ce que l'on n'a pas pu dessécher convenablement ce citrate de manière à ce qu'il pût se conserver sans altération pendant le temps du transport.

L'acide citrique sert à former de la limonade artificielle en le dissolvant dans de l'eau, puis y ajoutant du sucre et une très petite quantité d'huile essentielle de citron, mais son principal emploi est dans la teinture, où il sert à fixer le rose de carthame.

L'acide citrique est quelquefois fraudé avec de l'acide tartrique; pour reconnaître cette falsification, on le dissout dans une faible quantité d'eau et on ajoute quelques gouttes d'une dissolution de potasse qui donne lieu à un précipité de crème de tartre (bi-tartre de potasse).

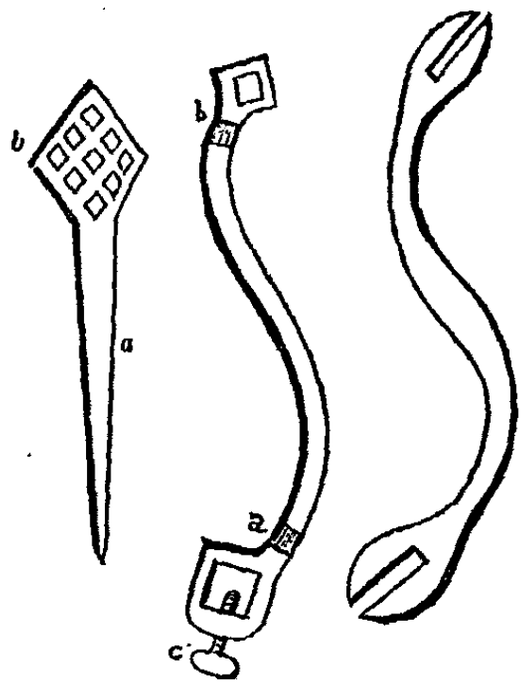
CIVETTE (*angl.* civet, *all.* zibeth). Substance dont l'odeur se rapproche du musc et qui est contenue dans un sac placé entre les jambes de derrière de deux petits quadrupèdes, le *viverra-civetta* et le *viverra-zibetha*, dont l'un est originaire de l'Afrique et l'autre de l'Asie; on les élève avec soin surtout en Abyssinie. Cette matière sort en partie du sac où elle est sécrétée, par les mouvements mêmes de l'animal, surtout quand on l'irrite, et est alors recueillie avec soin par les nègres. On l'emploie dans la parfumerie.

CLEF (*mécanique*) (*angl.* key, *all.* schlüssel). Ce mot s'applique, dans les arts, à une infinité d'objets différents, et souvent absolument dissemblables entre eux.

Il s'applique à beaucoup d'organes mécaniques nouveaux qui, n'ayant pas encore de nom, reçoivent celui de *clefs* : ce qui est une nouvelle preuve de la sécheresse, de la pauvreté de notre langage technique. Nous ne suivrons donc pas ce mot dans tous ses emplois, dont les principaux sont : *clef*. Cet instrument en fer que nous connaissons tous, et qui sert à faire mouvoir les pênes d'une serrure, que nous aurons l'occasion d'examiner au mot *serrure* ou *serrurier*, et qui embrasse une telle variété de sujets, qu'à lui seul il nécessiterait un travail très long et très intéressant; puis viendront *les clefs de poutre* et autres, connues dans la charpenterie; les *clefs de voute* qui terminent les voussures; les *clefs des instruments de musique*, etc., etc. La plupart de ces acceptions de ce mot unique *clef*, seront successivement passées en revue dans le cours de cet ouvrage, lorsque l'ordre alphabétique amènera les mots qui concernent les diverses parties de l'industrie ou de la science où le mot clefest représentatif d'objets se rattachant à ces parties : pour cet instant, nous ne nous occuperons que de l'emploi de ce mot dans la mécanique, et notre tâche sera longue et difficile; car ici, encore, le mot clef s'applique à une multitude d'objets de formes n'offrant aucune analogie entre elles, et destinées à l'obtention d'effets n'ayant aucun rapport entre eux.

La première clef que la mécanique nous offre est un instrument qui agit en effet par un mouvement giratoire, comme le font les clefs qui ouvrent et ferment les serrures, et qui à l'extérieur affecte à peu près la même forme, moins le panneton, et sert à faire virer une tige carrée ou triangulaire. Telles sont les clefs de montre, de pendule, de certaines cannelles, et autres qui servent à faire tourner sur leur axe des arbres, ou des noix, supportant soit des roues à rochets, soit des cylindres, soit tous autres agents mécaniques. Ces clefs se divisent en deux classes, forées ou non forées. Les forées sont ou carrées ou triangulaires, ou méplates, ou rondes avec une échancrure recevant un étoquiau posé sur l'arbre. Les non forées sont carrées, triangulaires ou méplates, on les introduit dans des trous de forme appropriée pratiqués sur le bout des arbres. Le levier qui sert à faire tourner ces clefs est un anneau, si elles sont de petite dimension, si elles sont fortes et que l'emploi des deux mains soit nécessaire pour les faire mouvoir, le levier est une barre en travers, en T; nous n'avons rien de particulier à mentionner ici sur toutes ces clefs, leur description se trouve dans tous les ouvrages de technologie.

Viennent ensuite d'autres instruments qui portent également ce nom de *clef*, et qui servent à serrer et à desserrer les écrous, et même les vis lorsqu'elles sont trop grosses pour être mues par les tournevis ordinaires; nous devons entrer à cet égard dans quelques explications, parce que quelques formes nouvelles et avantageuses ne sont pas encore généralement répandues dans les ateliers. Les fig. 532 à 547 donneront une idée de la majeure partie de ces clefs qui reçoivent divers noms selon leur destination. La fig. 532 se nomme *clef à carrés;* c'est tout simplement une plaque d'acier, carrée, terminée par une soie *a*, arrondie et rendue presque pointue, afin que l'extrémité de cette soie puisse être employée à faire tourner les vis à têtes rondes, percées transversalement d'un ou de deux trous, comme on le fait maintenant pour les vis de lit. La partie aplatie *b*, qui doit toujours conserver une certaine épaisseur, est percée de plusieurs trous carrés de grandeurs diverses, afin d'étendre la portée de la clef; c'est dans ces trous que l'on introduit la tête carrée des vis, en choisissant le trou dans lequel cette tête carrée entre à pression la plus exacte possible; dans ce cas, c'est la soie *a* qui sert de levier pour faire tourner la vis. Cette clef est connue de tout le monde, il est inutile de nous étendre davantage sur ce qui la concerne. A la trempe on doit la faire revenir bleue, et même si l'acier est vif, bleu-clair : cette dernière observation est applicable à toutes les clefs qui doivent jouir d'une certaine élasticité, et que la lime doit pouvoir entamer, lorsque l'ajustement aux têtes des vis l'exige.



532. 533. 534.

La fig. 533 représente une autre clef à carrés destinée au même usage; mais pour de plus fortes vis, elle sert aussi à faire tourner les écrous des essieux des voitures. Comme elle est d'ordinaire de forte dimension on la fait tout simplement en fer. On lui fait un double coude en *a* et en *b*, afin que les carrés puissent être introduits dans l'intérieur des frettes, ou boîtes, qui garnissent la partie antérieure des moyeux et dans lesquelles l'écrou est noyé. Ces clefs peuvent être forgées droites, mais la courbure en S est souvent utile, dans les cas où des pièces avoisinantes s'opposeraient à ce que la clef fît un tour entier. On fait cette clef double, en pratiquant à chaque bout un carré d'une grandeur différente, et même quelquefois, lorsque la clef n'est pas destinée aux voitures, on ajoute une vis de pression *c* sur l'une des faces du grand ou du petit carré afin de pouvoir serrer des vis dont la tête serait méplate, ou dont le carré serait trop petit et tournerait dans le carré de la clef.

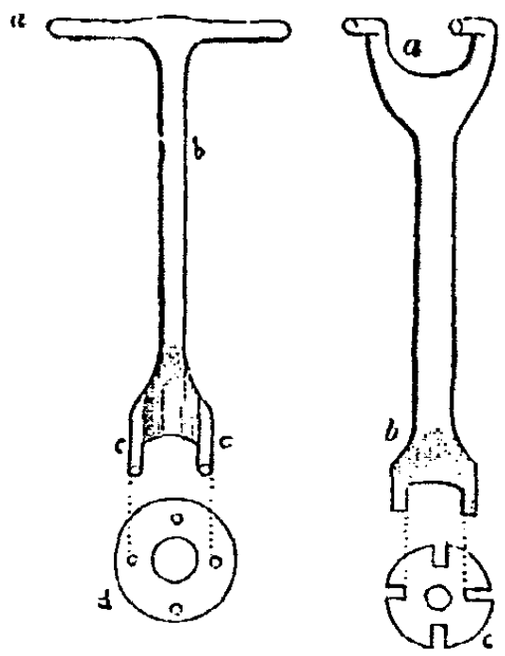
La fig. 534 est la clef pour les vis à tête plate, ou *vis à main* : elle doit être faite en acier, et en S; une des fentes des extrémités doit être plus ouverte que l'autre par les raisons que nous avons données plus haut en parlant de la différence de grandeur des carrés de la première clef

La fig. 535-536 est la grosse clef à goujons, toute en fer. *a* est le levier, *b* la tige qu'on fait longue suivant le besoin, lorsque l'écrou à atteindre se trouve situé au fond d'un creux quelconque, d'un puisard par exemple. *c*, *c*, sont les goujons correspondant aux deux trous de l'écrou rond *d*. On fait souvent des écrous ronds, encore bien qu'ils ne soient pas destinés à entrer dans une encastrure, afin qu'il ne soit pas possible de les tourner autrement qu'avec la clef à ce destinée. L'entre-deux des goujons doit être arrondi en gouge afin que la vis, si elle dépasse l'écrou, ne soit pas rencontrée par la clef.

La fig. 537-538 est encore une clef à goujons, mais qui ne se place pas perpendiculairement à l'écrou comme la précédente; mais bien se pose à plat, la partie excédante de la vis passant dans l'échancrure circulaire *a* sans y toucher. Cette clef sert à tourner les écrous faits comme celui *d*, elle est généralement beaucoup moins forte que la précédente, et doit nécessairement être faite en acier, sans cela les goujons n'auraient point assez de force. On peut utiliser l'extrémité de cette clef en lui donnant

la forme de la clef à goujons droits, à cette différence près, que les goujons seront remplacés par deux tenons qui seront ajustés dans deux encoches rectangles faites

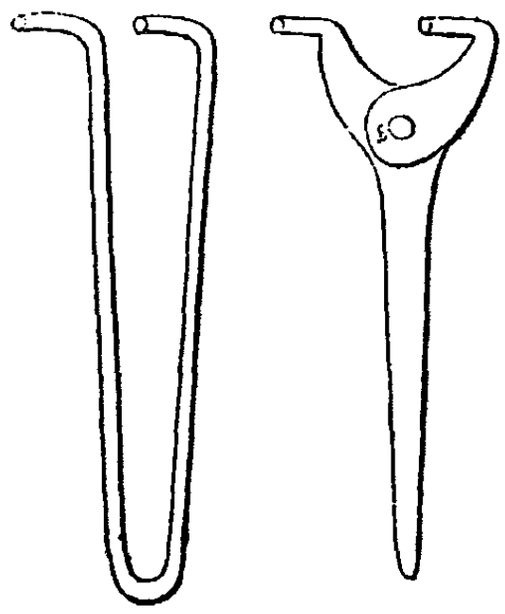
535. 537.



536. 538.

avec la lime à refendre sur le champ de l'écrou, cette manière épargne la peine de forer deux trous et est adoptée dans beaucoup de circonstances, les trous de l'écrou *d* pouvant se remplir d'ordures, ou de limaille, et formant obstacle à l'introduction des goujons, tandis que les coupures de l'écrou c, qu'on peut multiplier tout autour, sont facilement nettoyées et offrent toujours un accès facile à la clef.

La fig. 539 est la clef à goujons en pincette, on la fait avec un fil d'acier de calibre avec les deux trous de l'écrou *d*. La flexibilité des branches permet d'ouvrir ou de fermer la clef pour la rendre propre à faire virer des écrous dont les trous sont à écartements différents.

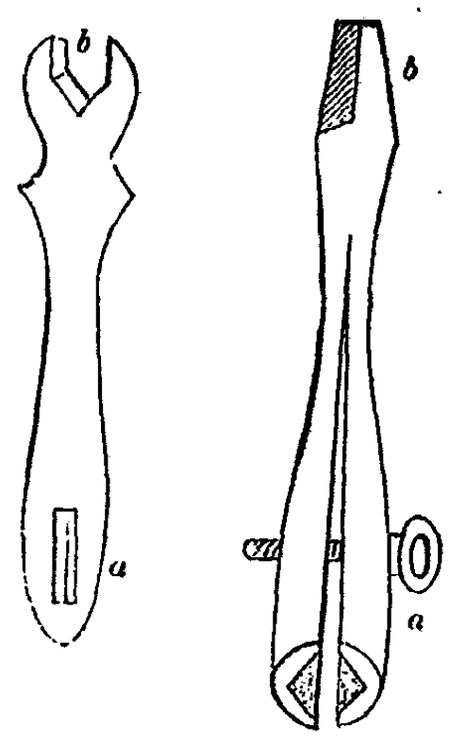


539. 540.

La fig. 540 est une autre clef à goujons, formée de deux branches réunies par une goupille *a*, formant brisure et pouvant, comme la précédente, servir pour des écrous, dont les trous seraient plus ou moins rapprochés.

La fig. 541 sert, en *a*, à tourner les vis à tête plate, et, en *b*, à serrer ou desserrer les écrous hexagones ou octogones selon la forme que l'on donne à l'ouverture *b*.

La fig. 542 est une clef fendue, flexible, qui embrasse les têtes carrées des vis et les écrous, par les angles diagonalement opposés. Une vis de pression a, maintient l'écartement et opère le rapprochement des deux parties. Cette clef peut être munie d'un levier en travers adhérent, ou bien le haut peut être terminé en un carré *b*, qu'on introduira dans un vilebrequin, si la clef est de moyenne force, ou bien dans l'œil d'un tourne-à-gauche à deux bras, si elle est de grande dimension.



541. 542.

Toutes ces clefs plus ou moins connues et plusieurs autres encore dont nous nous abstenons de parler pour arriver plus tôt à l'objet qui doit particulièrement nous intéresser, n'ont pu encore satisfaire à tous les besoins, et l'on a dû chercher un autre moyen plus usuel, et surtout plus généralement applicable, et c'est la *clef anglaise* qui est venue satisfaire à toutes ces exigences.

Mais cette clef, avant d'arriver au degré de perfection où elle est maintenant parvenue, a passé par beaucoup d'épreuves; comme elle est un objet de première nécessité dans beaucoup de professions, qu'il s'en vend une quantité considérable, et que l'acheteur sait qu'il doit y mettre un bon prix, l'instrument étant assez compliqué, les fabricants ne se sont pas arrêtés à la forme première qu'elle a d'abord reçue, et d'améliorations en améliorations ils sont arrivés à un degré très satisfaisant de perfection. Il serait assurément très intéressant pour nos lecteurs de suivre pas à pas l'historique de cette découverte, et de leur faire voir quelle énorme différence existe entre nos clefs actuelles et les premières qui ont été offertes à l'industrie, et qui furent accueillies alors avec tant d'empressement. Mais nous ne saurions faire cette revue sans l'emploi d'une suite de figures très compliquées, et sans donner à cet article des proportions autres que celles que son importance comporte; nous passerons donc sous silence les divers brevets obtenus, et nous donnerons de suite la description de la clef nouvelle telle que le temps et l'expérience l'ont faite. Le brevet actuel appartient à l'établissement des *Forges de Vulcain* à Paris; mais il doit bientôt expirer.

Les principaux reproches qu'on faisait aux clefs dites anglaises étaient d'abord la longueur du temps à dépenser lorsqu'il s'agissait de changer la capacité de la clef: en d'autres termes, lorsqu'il s'agissait de saisir un petit écrou lorsque la clef était très ouverte, ou lorsqu'il s'agissait d'en saisir un grand, quand la clef était fermée. Pour l'ouvrir ou pour la fermer il fallait faire faire autant de tours au manche que la vis de rappel avait de pas; car c'était cette vis qui réglait la marche de la mâchoire mobile. On lui reprochait aussi, avec raison,

que la vis de rappel était très dure à tourner, la main n'ayant que la grosseur du manche pour levier, et cette vis de rappel assez souvent renfermée dans l'intérieur du manche ne pouvant être facilement lubrifiée par les corps gras, et ne pouvant être nettoyée lorsqu'elle était encrassée sans qu'on fût obligé de démonter l'instrument; ce qui était une besogne longue qu'il était impossible d'entreprendre quand le besoin pressant forçait d'avoir recours à la clef. Indépendamment de ces deux difficultés qu'on pouvait surmonter en y sacrifiant du temps, ou en donnant des formes diverses à la clef, il restait un vice radical de construction que rien ne pouvait faire disparaître, et qui rendait la *clef anglaise* un instrument imparfait. Ce vice, c'était la mobilité de la mâchoire supérieure; il résultait de cette conformation que plus l'écrou à saisir était grand et plus, par conséquent, il devait être dur à tourner; plus l'instrument s'affaiblissait, sans que la longueur du levier en fût augmentée. Aussi ces outils, toujours assez chers, étaient-ils promptement faussés et mis hors de service. C'était donc vers les moyens de parer à ces graves inconvénients d'un outil utile, tellement indispensable que, malgré tous ses défauts, il s'en faisait une très grande consommation, que devaient tendre les efforts des constructeurs. Le modèle que nous allons faire connaître est exempt de tous ces reproches, par la suite il se perfectionnera encore, en devenant plus robuste, au moyen de quelques changements, ou additions faites qui existent déjà dans l'intention de l'auteur.

La fig. 543 représente la clef vue de profil, la fig. 544 la fait voir par devant, la fig. 545 par derrière.

A dans les trois figures est le corps de la clef, fait d'un seul morceau d'acier si la clef est petite, d'un seul morceau de fer si elle est grande; dans ce dernier cas, on acière les mordaches comme cela a lieu dans les clefs ordinaires.

B est la mâchoire mobile.

C est un talon dépendant du corps *a* dans lequel est vissée, à demeure, la vis dont il va être parlé.

d est une vis à gros pas, ou à pas double et même triple, engagée près de la tête dans le talon C, et reçue par son extrémité opposée dans un trou non débouché, pratiqué dans le talon de la mâchoire supérieure A, faisant partie du corps de l'instrument.

E, F, écrous cursifs, coulant librement sur la vis *d*, faits à huit pans sur leur champ, entaillés à cannelures pour donner prise facile aux doigts.

Fig. 546, la mâchoire *b*, mobile, vue à part, en plan; on y remarquera l'étranglement ou élégissement *b'* et le trou *b''* dont l'usage sera indiqué plus bas.

Fig. 547, la même mâchoire *b*, vue dans sa position lorsqu'elle est en place. les mêmes lettres indiquent les mêmes objets.

Cette mâchoire est faite aussi en acier, taillée en lime dans la partie antérieure. L'étranglement *b' b'* entre à frottement doux, mais cependant senti, dans la coulisse *a'*, visible seulement dans la fig. 544. Les quatre épaulements de l'étranglement doivent frotter sur le champ antérieur et le champ postérieur du corps *a*, dressés à l'effet de recevoir ces épaulements qui doivent affleurer sur le nu de la pièce.

Le trou *b''* n'est point taraudé : il est uni en dedans, et d'un diamètre tel que la vis *d* y passe librement; mais sans ballottements. Pour compenser la perte de force que l'étranglement *b'* causerait à cette mâchoire, on donne à cette partie, ainsi qu'on peut le voir dans la fig. 544, une plus grande hauteur, au moyen de quoi cette pièce, qui se présente d'ailleurs de champ à l'action de la pression, ne peut aucunement fléchir sous les efforts qu'elle est appelée à supporter.

Lorsqu'on envisage l'instrument dans son ensemble, on croit apercevoir de grandes difficultés dans la mise en place de la mâchoire mobile dans la fente verticale Mais un forgeron habile lève cette difficulté par le moyen employé pour faire le nœud si bien ajusté des pinces plates. L'étranglement de la mâchoire mobile étant bien dressé au fond et sur ses épaulements, on ouvre les deux joues de la coulisse *a'*, convenablement chauffées, on met la mâchoire en place, et, immédiatement, on redresse la coulisse, à petits coups. Quant à la mise en place de la vis immobile *d*, elle offre encore moins de difficultés. Lorsque le talon C est foré, on passe par le trou un foret long qui va faire un avant-trou profond de 5 à 6 millimètres, plus ou moins, selon la force de l'instrument dans le revers du talon de la mâchoire A. Puis on taraude le premier trou, et on engage dans ce trou formant écrou le bout de la vis *d*. Aussitôt que ce bout de la vis a dépassé l'écrou dans lequel elle doit entrer avec beaucoup de peine, on enfile sur la vis l'écrou cursif E; on continue à visser et l'on fait passer la vis dans le trou *b''*, puis lorsqu'il est dépassé, on fait couler sur la vis le second écrou cursif F; enfin, en continuant toujours à visser, on fait parvenir le bout de la vis *d*, où l'on a réservé un petit trou sans filets, dans l'avant-trou pratiqué dans le revers du talon de la mâchoire A. La vis alors est en place. Si elle n'était pas entrée avec beaucoup de peine, et que l'on pût appréhender que l'effort des écrous cursifs pût la désassembler, on l'arrêterait avec une goupille placée à travers le bout engagé dans l'avant-trou, ou avec une petite vis à tête fraisée appuyant sur le talon inférieur; car il faut que cette vis reste immobile une fois placée.

Fig. 543.

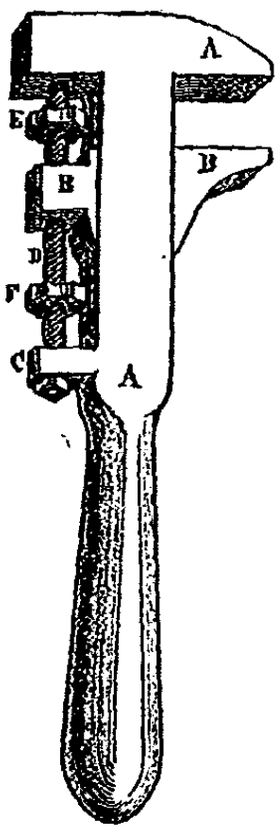
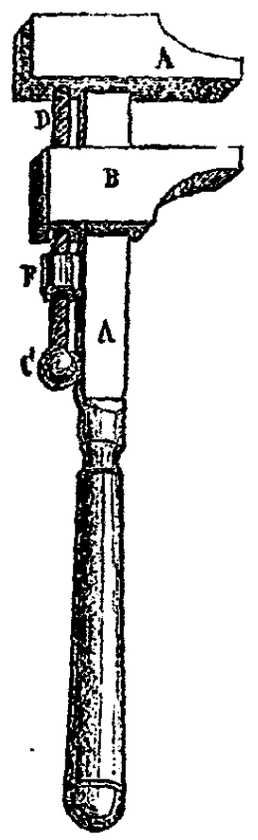


Fig. 545.



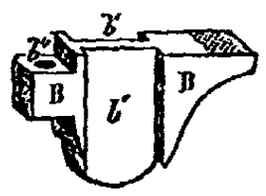


Fig. 544.

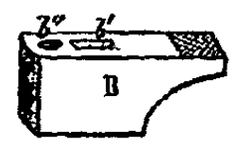


Fig. 546.

Comme on le voit, les difficultés d'exécution et de mise en place des pièces ne sont pas aussi grandes qu'on pourrait se l'imaginer à la première inspection; nous n'avons plus qu'à indiquer comment l'instrument fonctionne.

Les mâchoires étant placées comme elles sont représentées figure 543, ne pourraient pincer qu'un petit

écrou. Supposons qu'il s'agisse d'en prendre un dont le côté serait bien plus grand. On donnera un coup de main sec et rapide sur le cursif E, qui descendra rapidement jusqu'à ce qu'il soit arrêté par le talon inférieur. La mâchoire mobile B, n'étant plus alors soutenue, descendra d'elle-même, ou du moins faiblement sollicitée, et tout d'un coup jusqu'à sa nouvelle position, et l'on pourra de suite se mettre à dévisser le gros écrou. Si l'on veut de suite en saisir un petit, la clef retirée et renversée, la mâchoire B, d'elle-même, ou du moins faiblement sollicitée, et tout d'un coup, viendra rejoindre la mâchoire A, et pour la fixer à ce point on n'aura qu'à faire remonter le cursif E, qui sera un point d'appui suffisant pour les pressions ordinaires.

S'il s'agissait d'un gros écrou, ou d'un écrou quelconque rouillé sur sa vis, et tellement résistant que l'on pût appréhender de fausser la clef, on ferait descendre le second cursif, qui venant appuyer sur le talon de la mâchoire B, concourrait à le fortifier et à prévenir tout ébranlement.

Ainsi donc, tous les inconvénients qui se rencontraient dans les anciennes clefs n'existent plus dans celle-ci; l'ouverture et la fermeture sont rapides, et, pour ainsi dire, instantanées; elles se font sans effort. La vis ne peut s'encrasser, puisqu'elle est située à l'extérieur, et peut toujours être promptement et facilement nettoyée, enfin, la mâchoire supérieure ne s'allongeant plus, le levier est toujours de la même largeur et ne s'affaiblit nullement. La clef méplate, attaquant la résistance de champ, est plus robuste sous beaucoup moins de volume, et pèse proportionnellement beaucoup moins que les autres clefs, dont la lourdeur est encore un défaut. Nous avons donné dans notre dessin à cette clef des proportions un peu massives, afin qu'il fût plus facile à comprendre. Dans l'exécution, on fera le manche plus long, afin d'augmenter la force du levier.

On a fait subir à ce système plusieurs changements plus ou moins avantageux; nous pensons que l'exposition de l'idée mère sera suffisante. Nous représenterons toutefois (fig. 545 et 546) la disposition qui a été, dans la pratique, préférée à la précédente. C'est toujours bien le même système, jouissant des mêmes avantages, mais qui a été trouvé plus commode à exécuter, la mâchoire mobile étant ajustée à carré sur la tige, ce qui peut se faire facilement avec précision, et en laissant autant de résistance à l'extérieur qu'on le désire.

Quant aux clefs d'arrêt et autres, nous en donnerons la description lorsque cela sera nécessaire, en décrivant les machines-outils, dans lesquelles elles sont parties intégrantes. PAULIN DESORMEAUX.

Nous donnerons encore ici une clef inventée en Amérique, par M. S. Mersick de Springfield (Massasuchets), pour serrer et détourner les boulons, écrous, et autres corps cylindriques. La fig. 547 en montre une

Fig. 547.

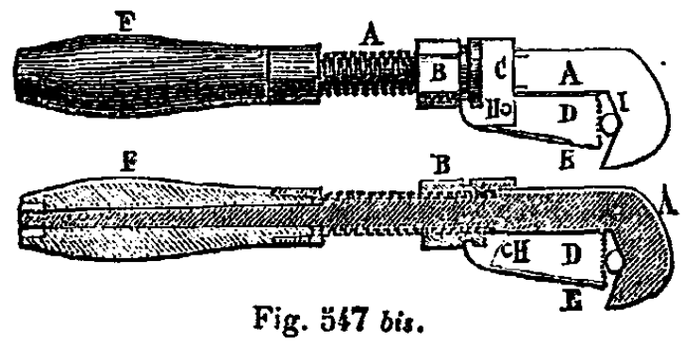


Fig. 547 *bis*.

élévation prise de côté, et la fig. 547 *bis* en est la coupe verticale. A est le corps de la clef, B l'écrou ajusté sur la vis filetée sur A, C la glissière glissant à frottement doux sur A et assemblée avec l'écrou par un collier porté par l'extrémité de celui-ci, et une rainure correspondante pratiquée à l'extrémité de la glissière; D est la *mâchoire de serrage* assemblée avec C, comme on le voit en H; E est un ressort qui presse D sur A; F est le manche. L'extrémité de la pièce D est dentelée pour ne pas glisser quand on serre une partie cylindrique.

CLINOMÈTRE. Le clinomètre est une espèce de niveau d'eau destiné à mesurer en mer l'inclinaison de la quille des vaisseaux. Cette inclinaison, dont dépendent les tirants d'eau relatifs à l'avant et à l'arrière du navire, a la plus grande influence sur la vitesse de la marche de celui-ci, et ayant une fois déterminé l'inclinaison la plus favorable à la marche, il importe de la conserver autant que possible dans toutes les circonstances.

Le clinomètre se compose d'un tube horizontal à chaque extrémité duquel s'élève un tube vertical. On met assez de mercure dans les tubes pour occuper une partie des tubes verticaux qui sont en communication entre eux par le tube horizontal. Au milieu du tube horizontal est placé un robinet qui étrangle le passage du mercure, ou bien l'intercepte tout à fait quand on n'a pas besoin du clinomètre.

La différence de niveau du mercure dans les tubes verticaux, le tube horizontal ayant été placé parallèle à la quille, donnera le moyen d'avoir la différence de tirant d'eau. Dans chaque tube vertical, un flotteur suit les oscillations du mercure, et au moyen d'une crémaillère communique son mouvement à une aiguille qui indique l'angle que fait la quille avec la ligne de flottaison.

La longueur à la flottaison d'un navire étant donnée, et l'angle de la quille avec la flottaison étant connu, la différence de tirant d'eau sera donnée par la formule L tang φ; L étant la longueur à la flottaison, et φ l'angle lu sur le clinomètre.

On dressera alors une table où les valeurs de L tang φ seront à côté des valeurs de φ, variant de deux en deux minutes ou de cinq en cinq minutes. (Voyez *Guide du Marin* pour cette table.)

CLINQUANT (*angl.* orichalch, *all.* flittergold). Le *clinquant* est une plaque mince ou feuille de métal qu'on met sous les pierres; son effet est d'augmenter le brillant ou le jeu des pierres; ou bien, pour parler plus généralement, il sert à fortifier la couleur des pierres naturelles ou artificielles en leur donnant une teinte plus foncée.

On peut faire du clinquant en cuivre ou en étain; on a quelquefois employé de l'argent mêlé avec de l'or, suivant les besoins; mais on peut se dispenser de l'un et de l'autre, parce que le cuivre produit le même effet.

Quand on veut avoir du clinquant coloré, c'est du cuivre qui convient le mieux; voici comment on peut le préparer pour cela :

Prenez des plaques de cuivre battues à une juste épaisseur; faites-les passer entre deux cylindres d'acier fin, très-serrés, et réduisez-les en lames aussi minces que possible, polissez-les avec du blanc très-fin jusqu'à ce qu'elles brillent le plus qu'il est possible; dans cet état elles seront prêtes à recevoir la couleur.

Il faut blanchir le clinquant dans le cas où la couleur jaune ou orange nuirait à l'effet, comme cela arrive pour le violet ou le rouge cramoisi; voici comment se fait cette opération :

Prenez une petite quantité d'argent, et la faites dissoudre dans l'eau forte; ensuite mettez des morceaux de cuivre dans la solution, et précipitez l'argent; cela fait, il faut enlever le liquide, ajouter de l'eau fraîche pour enlever tout ce qui pourrait en rester; après quoi faites sécher l'argent et le broyez avec un poids égal de crème de tartre et de sel marin, jusqu'à ce que le tout soit réduit en poudre très-fine; après avoir légèrement humecté le clinquant avec ce mélange, frottez-le avec

le doigt ou un morceau de chiffon jusqu'à ce qu'il ait la blancheur désirée ; si ce moyen ne suffit pas, il faut rafraîchir le poli.

On ne se sert de feuilles d'étain que dans le cas des pierres sans couleurs, et on les lamine au moyen des mêmes cylindres ; mais elles n'ont pas besoin d'être polies davantage.

La manière de préparer le clinquant pour donner aux pierres sans couleurs le plus d'éclat et d'effet, est de donner à la surface un poli tel qu'il fasse l'effet d'un miroir, effet que le vif-argent seul peut rendre parfait, étant appliqué comme on l'applique aux miroirs. Voici le meilleur moyen d'exécution :

Prenez des feuilles d'étain, préparées comme pour argenter les glaces, et coupez-les en petits morceaux de grandeur convenable, pour couvrir la surface des pierres que l'on veut enchâsser ; mettez-en trois l'une sur l'autre, et, après avoir humecté le dedans de l'orbite avec de l'eau de gomme et l'avoir laissé sécher pour qu'elle reste encore un peu gluante, introduisez-y les trois morceaux des feuilles placées l'une sur l'autre, et adaptez-les sur la surface aussi également que possible ; cela fait, chauffez l'orbite, et le remplissez de vif-argent que vous y laisserez pendant trois ou quatre minutes, et que vous verserez ensuite très doucement ; puis il faudra placer la pierre dans l'orbite et l'y fixer, ayant soin qu'elle entre assez librement pour ne pas enlever l'étain et le vif-argent. Il faut que la monture joigne etroitement la pierre, afin que l'étain et le vif-argent dont l'orbite est revêtu ne puissent pas se détacher.

L'éclat des pierres montées de cette manière dure plus longtemps que lorsqu'elles sont montées suivant la manière ordinaire, parce que, la cavité de l'orbite qui les enveloppe étant bien remplie, l'humidité si nuisible à la durée des pierres n'y pénètre pas.

Cette espèce de clinquant donne de l'éclat au verre ou aux autres matières diaphanes qui n'en ont pas par elles-mêmes ; mais aux pierres ou aux pâtes qui en ont un peu, elle leur donne un feu des plus brillants.

Il y a deux moyens de colorer le clinquant : l'un en donnant à la surface du cuivre la couleur voulue en faisant usage de fumée, l'autre en la peignant avec quelque substance colorante.

On peut délayer les couleurs destinées à peindre le clinquant dans l'huile, dans de l'eau rendue visqueuse par la gomme arabique, ou dans du vernis. L'huile convient mieux quand on veut des couleurs foncées, parce que certains *fards* y deviennent transparents, comme la laque et le bleu de Prusse ; le jaune et le vert s'étendent mieux dans le vernis ; le vert de gris distillé donne le plus beau vert qu'il soit possible ; mais il est sujet à perdre sa couleur et à noircir avec l'huile : ordinairement cependant toutes les couleurs peuvent être fixées avec de la colle de poisson, sans beaucoup de peine, de la même manière que les couleurs au vernis qu'on emploie pour la miniature.

Pour le rouge imitant le rubis, on emploie un peu de laque mêlée dans de la colle de poisson, ou du vernis, avec du carmin si le verre ou la pâte est d'un cramoisi foncé tirant sur le violet ; mais si le verre tire sur l'écarlate ou l'orange, on peut se contenter de ne mettre dans l'huile que de la laque bien brillante qui ne soit pas violette.

Pour le rouge grenat, on peut employer le sang-dragon dissous dans du vernis ; et pour le grenat couleur vinaigre, la laque orange délayée avec du vernis est excellente.

Pour l'améthyste, de la laque avec un peu de bleu de Prusse employés à l'huile, et étendus légèrement sur le clinquant, font un effet parfait.

Pour le bleu, quand on veut qu'il soit foncé ou bien qu'il joue l'effet du saphir, on mêle du bleu de Prusse, qui ne soit pas trop foncé, dans de l'huile, et l'on en étend sur le clinquant une couche plus ou moins légère suivant que l'on veut avoir une couleur plus claire ou plus foncée.

Pour l'aigue-marine, du vert-de-gris ordinaire, avec un peu de bleu de Prusse délayé dans du vernis.

Quand c'est un gros jaune que l'on veut, on peut colorer le clinquant avec un *vernis jaune*, préparé comme pour autre chose ; pour les topazes plus légères en couleur, le brunissage et le clinquant lui-même seront assez forts sans y rien ajouter.

Pour le gros vert, il faut employer les cristaux de vert de-gris délayés dans du vernis ; mais pour imiter l'émeraude, il faut y ajouter un peu de vernis jaune, pour en faire un vert plus clair et ayant moins d'analogie avec le bleu.

Avec du verre blanc, ou une pâte transparente, même sans clinquant, on peut imiter très bien, et presque sans frais, les pierreries de couleur claire, telle que l'améthyse, la topaze, le grenat couleur vinaigre et l'aigue-marine ; le moyen consiste à délayer les couleurs dont il est question avec de la térébenthine et du mastic, et à peindre avec ce mélange la châsse dans laquelle on veut mettre la fausse pierre, toutefois après avoir chauffé préalablement l'orbite et la pierre elle-même ; dans ce cas, il faudrait placer la pierre de suite, et refermer sur elle l'orbite qui la contient, avant que la peinture se refroidisse et se durcisse. La laque orange dont il a été parlé plus haut fut inventée exprès pour cela ; elle fait un très bel effet ; la couleur qu'elle donne est celle du grenat-vinaigre, qu'elle rend avec une vérité étonnante. Les couleurs que nous avons signalées comme devant être employées à l'huile doivent être extrêmement bien broyées dans de l'huile de térébenthine, et délayées avec de la vieille huile de noix ou de pavots, ou bien avec de l'huile grasse, si on peut lui donner le temps de sécher ; cette huile, mêlée avec de l'esprit de térébenthine, acquiert d'elle-même un beau poli.

CLOCHE. Voyez FONDERIE DE CUIVRE.

CLOCHE DE PLONGEUR (*angl.* diving bell, *all.* taucherglocke). Cette cloche, employée soit pour retirer du fond de la mer des corps qui y sont plongés, soit pour faire des constructions submergées, consiste en un vase ouvert par le bas et fermé par toutes les autres parts, dans lequel on peut descendre sans danger des hommes au fond de l'eau.

La cloche de plongeur, telle qu'elle a été perfectionnée par Rennie, et telle qu'elle est actuellement employée en Angleterre, a la forme d'un parallélipipède, ou à peu près. Sa hauteur extérieurement est de 1m,855, intérieurement de 1m,72, et sa largeur de 1m,38. Les dimensions du bas de la cloche sont un peu plus grandes que celles de la partie supérieure. Pour éviter de la lester, on la coule d'un seul jet, en fonte de fer, de sorte que son poids est suffisant pour la submerger, même pleine d'air, et qu'elle est assez épaisse pour qu'on ne craigne pas qu'il s'y forme de fissures, même par suite d'un accident.

Au sommet de la cloche est pratiquée une ouverture communiquant avec l'intérieur par plusieurs trous également circulaires, fermés par autant de soupapes en cuir s'ouvrant de haut en bas. Un fort tuyau de cuir vissé sur l'ouverture extérieure s'élève jusqu'à la pompe foulante placée sur l'échafaud ou le bâtiment qui manœuvre la cloche ; celle-ci est suspendue à de fortes chaînes engagées dans des anneaux fondus avec le corps de la cloche, et attachées à la maîtresse, qui supporte le tout.

12 ouvertures circulaires, disposées autour de la face supérieure, sont garnies de lentilles d'un verre très-épais, solidement fixées par des écrous et mastiquées, et servent à distribuer la lumière dans l'intérieur de la cloche. Celle-ci peut aisément renfermer deux person-

nos assises sur des siéges convenablement placés. Le poids de tout l'appareil est d'environ 4,000 kil.

La pompe foulante qui fournit l'air est ordinairement manœuvrée par 4 hommes. L'expérience a prouvé qu'un homme consomme en 24 heures 800 lit. d'oxygène, ou 3,800 lit. d'air sous la pression atmosphérique; mais dans un air plus condensé, comme l'est celui de la cloche de plongeur, la dilatation des poumons est à peu près la même que sous la pression ordinaire, et par conséquent la quantité d'air vicié dans le même temps est plus considérable; d'un autre côté, pour que l'air de la cloche n'ait aucune influence fâcheuse sur la santé des ouvriers, il faut qu'il renferme au plus 4 à 5 p. 100 d'air vicié; de sorte qu'en résumé, la machine soufflante devra renouveler de 4 à 5 mètres cubes d'air par heure et par homme. L'air vicié par la respiration étant plus chaud et par conséquent plus léger que l'air frais, se maintient au haut de la cloche, d'où on l'expulse par un robinet.

Le cabestan qui porte la cloche est mobile sur 2 chemins de fer superposés, et placés à angle droit, qui permettent de faire mouvoir la cloche horizontalement dans tous les sens.

Les signaux sont communiqués le plus souvent par les plongeurs, aux personnes qui manœuvrent la cloche, au moyen de coups de marteau frappés contre les parois de celle-ci, et n'en exigent généralement qu'un petit nombre.

Lorsque l'eau est limpide, la lumière est très grande sous la cloche; l'expérience a fait voir que l'action calorifique des rayons solaires n'est nullement détruite par leur passage à travers l'eau, comme le montre l'exemple suivant : Un plongeur descendu à 17 mètres sous l'eau, vit tout à coup la cloche se remplir de fumée; il reconnut bientôt que son bonnet, placé au foyer d'une des lentilles, avait pris feu par la concentration des rayons solaires.

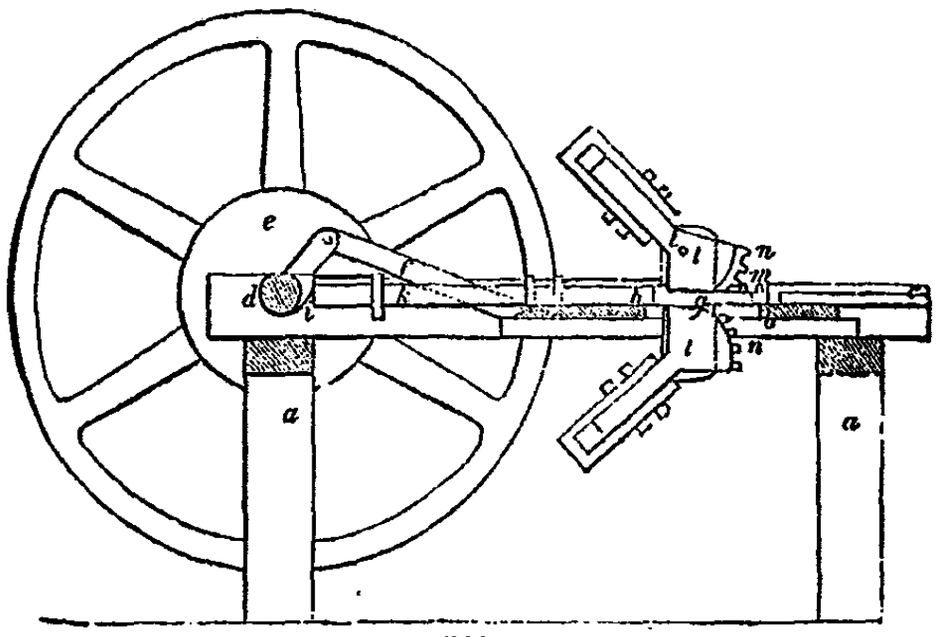
A mesure que la cloche s'enfonce sous l'eau et que la pression de l'air y devient plus considérable, les plongeurs ressentent dans les oreilles une douleur assez vive, qu'ils font disparaître en opérant dans la bouche, celle-ci et les narines étant bouchées, un mouvement de déglutition, ou en avalant leur salive. Par ce moyen, on détermine l'ouverture des trompes d'Eustache, l'air se met en équilibre dans les oreilles, en produisant une petite explosion, et la douleur cesse sur-le-champ. Elle cesse de même, mais moins rapidement, si l'on arrête la descente de la cloche. (Voy. PLONGEUR. *Compl.*)

CLOUS (*angl.* nails, *all.* nægel). Les clous se font ordinairement en fer et se distinguent, 1° en clous forgés; 2° en clous fabriqués à la mécanique; 3° en clous d'épingle ou pointes; 4° en clous découpés et façonnés à froid; et 5° en clous fondus.

1° *Clous forgés.* Les clous se forgent avec du fer en verge de bonne qualité. Chaque ouvrier a toujours plusieurs baguettes à chauffer, dans un petit feu de forge à la houille, pendant qu'il en travaille une. Laissant chauffer à blanc, il forge et soude d'abord la pointe, étire la tige, puis coupe au tranchet une longueur suffisante pour faire un clou, sans le séparer entièrement de la baguette dont il se sert pour le placer dans le trou de la *clouière* ou *cloutière*, et rabat et façonne la tête du clou, qu'il fait ensuite sauter pour en recommencer un autre. La clouière est garnie en dessus d'une table d'acier, afin qu'elle ne soit point sujette à se déformer et afin de dresser le dessous de la tête des clous; en outre son épaisseur totale doit être moindre que la longueur du clou, pour que la pointe de celui-ci dépasse toujours un peu en dessous.

Un bon cloutier fait ordinairement 1 et même 2 clous par chaude, c'est-à-dire 12, 15 et même 20 clous par minute, suivant le numéro.

On a imaginé de remplacer dans nombre de fabriques



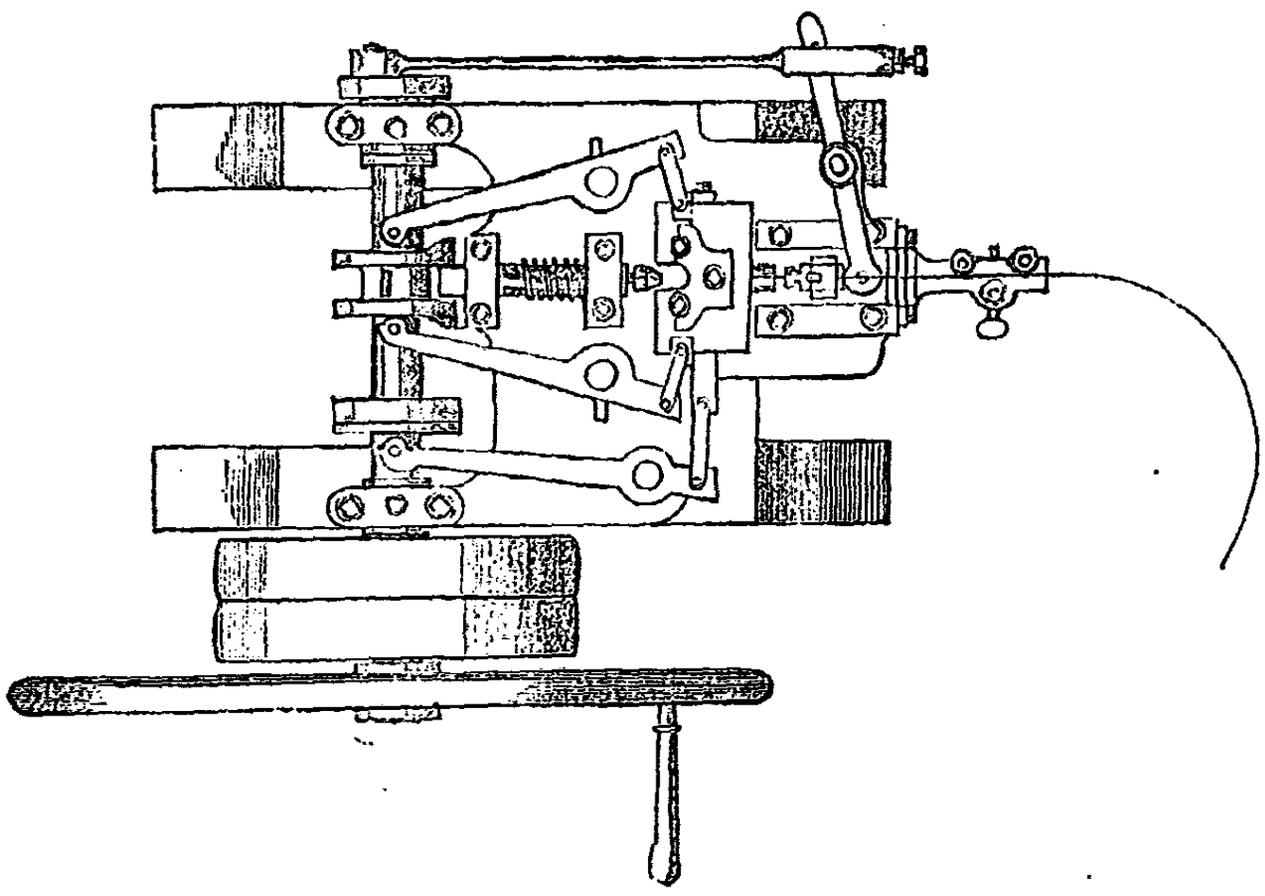
548.

le travail du forgeage à la main par des opérations mécaniques; la fig. 548 qui représente bien qu'incomplétement la machine à faire les clous de Hancorne, nous permettra de donner une idée des mécanismes qu'on emploie à cet effet. *a a*, est un bâti qui porte des glissoires destinées à maintenir une pièce *b b*, qui reçoit de la roue *e*, un mouvement horizontal de va-et-vient, par l'intermédiaire de l'arbre coudé *d*, et de la bielle *f*. Un peu avant que la pièce *b b* soit à l'extrémité de sa course en avant, on lui présente une vergette de fer de grosseur convenable préalablement chauffée au rouge-blanc; deux mâchoires mues par des excentriques et placées sur *b b*, qui ne sont pas indiquées sur la figure, saisissent le bout de la vergette au bout de leur course et l'entraînent ensuite dans leur mouvement en arrière; deux ciseaux également mus par des excentriques coupent alors obliquement un bout de fer *g*, d'une longueur suffisante pour faire un clou; deux secteurs *l, l*, terminés par des spirales portant sur leurs rebords extérieurs des dents *n n*, engrenant avec des crémaillères *m*, fixées sur la pièce *b b*, tournent à mesure que celle-ci recule, et viennent étirer la pointe *g* en lui donnant la forme d'un coin, par suite de leur forme spirale qui fait varier leur écartement. D'un autre côté l'arbre *d*, porte un excentrique *i*, qui venant presser sur la pièce *k* qui porte le coin *h*, forme la tête du clou par refoulement; de sorte que lorsque *b b* est arrivé à l'extrémité de sa course en arrière, le clou est terminé, les mâchoires qui l'avaient saisi sont ouvertes par les excentriques qui les mettent en mouvement, et le clou est rejeté hors de la machine.

3° *Pointes.* On fait les pointes avec du fil de fer; le travail se compose de trois opérations : 1° couper à la cisaille les fils métalliques par bouts égaux de 0m,30 environ; 2° *appointir* les fils sur une meule en bois de 2m de diamètre sur 0m,08 à 0m,10 d'épaisseur, recouverte d'une virole en acier dont la surface convexe est tournée et taillée en lime, puis les couper à la cisaille en bouts d'une longueur convenable; 3° former la tête; à cet effet, l'ouvrier a une espèce d'étau fermant à vis, ou avec un levier, qu'il fait manœuvrer avec un de ses pieds; dans lequel étau saisissant successivement chaque clou du côté de la tête, et laissant dépasser au-dessus de la mâchoire une quantité de fil de fer suffisante, il forme la tête d'un seul coup de marteau, qu'il fait tomber dessus à l'aide de l'autre pied.

Les pointes se fabriquent maintenant beaucoup à la mécanique.

La fig. 549 représente la machine à fabriquer les



549.

pointes de Paris, mise à l'exposition de 1844 par M. Frey, qui a exécuté grand nombre de fois ce modèle dont l'usage a démontré l'excellence. La figure fait aisément comprendre comment le fil de fer avançant à chaque tour de la manivelle d'une longueur constante, la tête est façonnée par refoulement, et la pointe formée par deux couteaux mus par deux excentriques qui coupent le fil de fer sous un angle aigu.

La fabrication par machines, et par suite à très bas prix, des pointes de Paris en a rendu la consommation énorme. Elles ont généralement remplacé les clous faits à chaud de petites dimensions. Leur régularité et leur forme ronde permet en outre de les enfoncer plus facilement et avec bien moins de danger de faire éclater le bois.

4° *Clous découpés dans de la tôle de fer*. Pour fabriquer ces clous on emploie de la tôle douce d'épaisseur convenable, que l'on découpe d'abord par bandes parallèles d'une largeur égale à la longueur que doivent avoir les clous, dans une direction normale à la nervure du fer. Ces dernières étant ensuite découpées en petits coins qui ont alternativement leur tête de côté et d'autre, forment les clous dont on exécute la tête, comme celle des pointes, en saisissant successivement chaque clou dans un étau, et laissant tomber dessus un marteau dont le poids est tel, qu'il puisse la former d'un seul coup.

Enfin on met ces clous avec du gravier et du grès pilé, dans des tonneaux à polir auxquels on imprime pendant quelques heures un mouvement de rotation, afin d'émousser un peu les aspérités les plus saillantes, qu'a occasionnées le découpage; mais on se garde bien de les faire entièrement disparaître; elles sont une des causes qui les font tenir beaucoup plus fortement dans le bois que les clous forgés, et les rend, par conséquent, préférables dans beaucoup de cas. Il faut, lorsqu'on les enfonce, avoir soin d'en placer le tranchant suivant le fil du bois.

5° *Clous fondus*. Les clous en fonte de fer ne se sont pas répandus en France; la fonte y est trop chère pour qu'on ait pu l'employer avec économie à cette fabrication. Il n'en est pas de même en Angleterre, où l'on a trouvé le moyen de faire des clous en fonte étamée tellement douce, que ces clous se replient en tous sens sans se rompre. Voy. FONTE MALLÉABLE.)

COBALT (*angl.* cobalt, *all.* kobalt). Le cobalt a été obtenu, pour la première fois, à l'état métallique par Brandt en 1733. On l'obtient en chauffant l'oxyde au blanc dans un creuset brasqué, ou en le réduisant au rouge par le gaz hydrogène, ou bien en le chauffant jusqu'au rouge vif avec du sel ammoniac en excès; dans ce dernier cas il se forme d'abord un chlorure double, qui bout au rouge en laissant dégager du sel ammoniac, puis il s'épaissit peu à peu, et finit par se transformer en une éponge de cobalt métallique pur. Il est d'un gris blanc comme le platine, ductile, malléable et susceptible de recevoir un beau poli. Sa densité est de 8,6. Il est attirable à l'aimant mais moins que le fer. Dans un creuset brasqué il fond un peu plus difficilement que le fer; il est fixe. Le cobalt fondu ne s'altère pas dans l'air sec à la température ordinaire, mais au contact de l'air humide il se recouvre peu à peu d'une rouille noire qui est de l'hydrate de peroxyde.

Le cobalt décompose l'eau pure au rouge, mais beaucoup moins rapidement que le fer. Il la décompose aussi à la température ordinaire, en présence des acides sulfurique et hydro-chlorique. L'acide nitrique et l'eau régale le dissolvent très promptement; les acides végétaux ne le dissolvent qu'à la longue, et seulement lorsqu'il y a contact de l'air. Le cobalt chauffé au contact du carbone en absorbe une petite quantité; il se combine avec facilité directement avec le chlore, le soufre, le phosphore et l'arsenic; enfin, il est susceptible de s'allier à un grand nombre de métaux, et de produire beaucoup d'alliages ductibles

L'oxygène se combine en 4 proportions avec le cobalt pour former : 1° du protoxyde; 2° du peroxyde; 3° du deutoxyde, et 4° de l'acide cobaltique.

Les *oxydes de cobalt* sont facilement réduits par l'hydrogène, le carbone, le soufre, le phosphore, l'arsenic, etc.; avec le borax et le sel de phosphore, ils donnent au chalumeau des verres transparents d'un beau bleu; il ne faut qu'une petite quantité d'oxyde pour produire une coloration très-sensible.

Le *protoxyde de cobalt* est d'un gris assez foncé, ayant quelquefois un léger éclat métallique. Son hydrate est d'un bleu de lavande, et devient spontanément ou par l'ébullition d'un rose pâle; il se dissout dans l'ammoniaque et son carbonate en les colorant en rouge. L'oxyde de cobalt se combine par *voie sèche* avec les alcalis, en formant des composés bleus que l'eau détruit complétement. Il se combine également avec plusieurs bases, telles que la magnésie, l'alumine et l'oxyde de zinc. On prépare ces composés en chauffant les bases après les avoir arrosées avec une dissolution de nitrate de cobalt. Le composé magnésien est rose, le composé alumineux est d'un beau bleu-d'outre-mer, et le composé zincifère est d'un assez beau vert : on l'appelle *vert de Rinmann*. Le protoxyde de cobalt est composé de :

Cobalt . .	78,7	} Co O
Oxygène. .	21,3	
	100,0	

On le prépare en calcinant le nitrate de cobalt et laissant refroidir dans le creuset couvert. Son hydrate s'obtient en précipitant par la potasse caustique le nitrate ou tout autre sel de cobalt soluble.

Le *peroxyde de cobalt* est noir, son hydrate est brun; il ne forme pas de sels; sa composition est représentée par la formule Co^2O^3.

On ne connaît le *deutoxyde de cobalt* qu'à l'état d'hydrate d'un vert-olive sale, qui ne forme pas de sels; par l'action des acides étendus il se décompose en protoxyde qui se dissout, et en peroxyde qui se précipite; il paraît être analogue à l'oxyde de fer magnétique, et avoir pour formule $Co\,O + Co^2\,O^3$.

L'*acide cobaltique* ne forme que des sels très peu stables, qui se décomposent spontanément au contact de l'air, et n'a pas encore été isolé. M. Gmelin a trouvé que sa formule était $Co\,O^3$.

Tous les *sels de cobalt* sont à base de protoxyde; desséchés ou calcinés, ils sont roses, lilas ou bleus; dissous dans l'eau, ils la colorent en rose fleur de pêcher passant au rouge grenat. Les alcalis caustiques précipitent complétement le cobalt de ses dissolutions; le précipité d'abord bleu de lavande, devient violet-rougeâtre par l'ébullition. Les carbonates alcalins les précipitent en rose; l'ammoniaque et son carbonate, en excès, redissolvent le précipité et se colorent en rouge. Les phosphates alcalins y donnent un précipité bleu, et les arséniates un précipité rose fleur de pêcher; l'hydrogène sulfuré ne les trouble pas, mais les hydro-sulfates les précipitent en noir.

Parmi les sels de cobalt nous citerons seulement : le *chlorure* qui, desséché par l'évaporation à sec de ses dissolutions, est bleu et très-soluble dans l'eau, qu'il colore en rose; il est même déliquescent lorsqu'il renferme un peu de chlorure de fer ou de nickel; c'est par suite de ces propriétés que, lorsqu'il est impur et en dissolution très-étendue, il constitue ce qu'on appelle *encre de sympathie*. L'*arséniate* qui, récemment précipité, est d'un très-beau rose fleur de pêcher; sa couleur ne change pas par la dessiccation, et il la conserve même quelquefois après calcination; mais, le plus souvent, il devient violet ou lilas; il est insoluble dans l'eau et soluble dans les acides; le charbon le réduit aisément en arséniure. Le *phosphate* qui, récemment précipité, est gélatineux et d'un bleu violacé; desséché à l'air, il est d'un beau bleu; calciné, il perd beaucoup d'eau et devient d'un noir violacé; le charbon le réduit complétement même par cémentation. En mélangeant bien intimement 1 p. de phosphate de cobalt humide, obtenu en précipitant par le phosphate de soude une dissolution de nitrate de cobalt, avec 8 p. d'alumine en gelée, faisant dessécher à l'étuve et calcinant ensuite au rouge cerise pendant une demi-heure dans un creuset couvert, puis pulvérisant aussi fin que possible la masse calcinée, on obtient la belle couleur connue sous le nom de *bleu Thénard* ou *bleu de cobalt*.

Les minerais de cobalt se réduisent à deux, savoir :

Le *cobalt arsenical* d'un gris d'acier pur, composé de cobalt, d'arsenic, avec un peu de soufre, de fer et de nickel, renferme environ 20 p. 100 de cobalt; il cristallise en cubes simples ou modifiés. C'est le plus abondant des minerais de cobalt et par suite le plus employé pour la fabrication du smalt. On le trouve à Schneeberg et Annaberg en Saxe, à Riechelsdorf et Bieber en Hesse.

Le *cobalt gris* ou arsénio-sulfure de cobalt, d'un gris clair teinté de rouge, a un éclat fortement métallique et cristallise en cubes ou en octaèdres; on le trouve surtout à Tunaberg et Skuterud en Suède; il est essentiellement composé de cobalt, de soufre et d'arsenic, et renferme en outre une faible quantité de fer et de nickel; il contient 33 à 34 p. 100 de cobalt.

On trouve quelquefois à la surface des minerais de cobalt, du cobalt oxydé noir ou brun, provenant à ce qu'il paraît de leur altération. Le cobalt arsenical donne aussi naissance, par son altération, à du cobalt arséniaté facile à reconnaître par sa couleur passant d'un beau rose fleur de pêcher au rouge cramoisi.

On peut employer plusieurs procédés pour retirer de l'oxyde de cobalt pur de ses minerais; nous recommanderons le suivant, indiqué par Wœhler, comme étant le plus économique et permettant de séparer facilement l'arsenic. On mélange le minerai cru avec le triple de son poids de carbonate de potasse et autant de soufre en poudre, et on projette le tout, successivement et par petites parties, dans un creuset préalablement chauffé au rouge. On concasse ensuite grossièrement la masse fondue et on l'épuise par l'eau bouillante. Il se dissout du sulfure double d'arsenic et de potassium, et il reste une poudre noire cristalline composée de sulfure de cobalt avec un peu de sulfure de fer et de nickel; on dissout cette poudre dans de l'acide sulfurique, auquel on ajoute un peu d'acide nitrique, puis on fait bouillir la dissolution avec un excès de nitrate de potasse qui précipite le fer à l'état de sous-sulfate insoluble, que l'on sépare ensuite par filtration. On précipite alors le cobalt et le nickel à l'état de carbonate, en versant une dissolution de carbonate de potasse dans la liqueur filtrée; on filtre, on fait digérer le précipité avec de l'acide oxalique, qui transforme les carbonates en oxalates de cobalt et de nickel insolubles, et qui, s'il reste du fer, forme de l'oxalate de peroxyde de fer soluble que l'on sépare par un nouveau lavage. On dissout ensuite les oxalates de cobalt et de nickel dans l'ammoniaque, on étend d'eau la dissolution, et on l'expose à l'air libre dans un vase ouvert. Lorsque tout l'excès d'ammoniaque s'est dégagé, l'oxalate double de nickel et d'ammoniaque se précipite sous la forme d'un précipité vert, tandis que le cobalt reste dans la dissolution, qu'il colore en rose; on l'en précipite aisément en faisant bouillir celle-ci avec du carbonate de potasse.

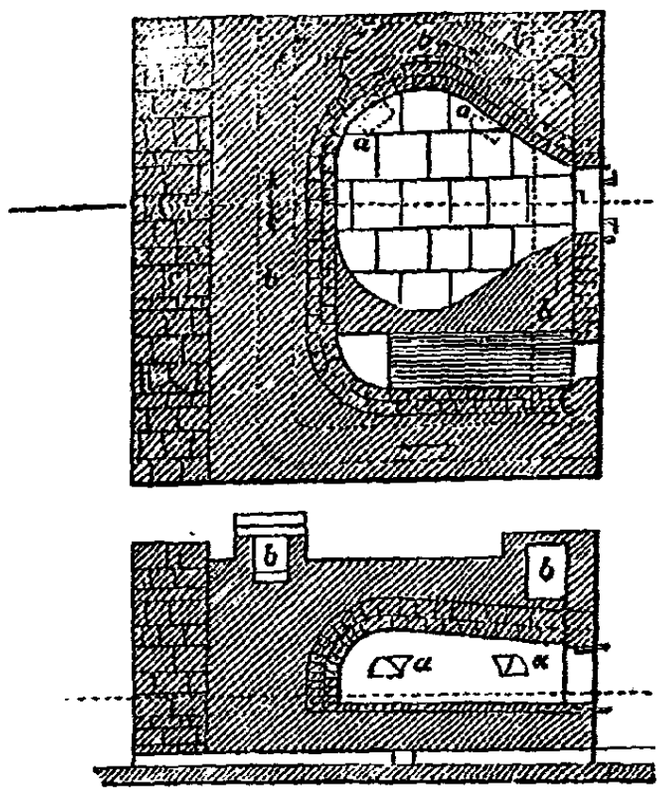
Le principal emploi du cobalt est la préparation du *smalt*, verre bleu que l'on prépare en fondant ensemble du minerai de cobalt grillé ou sable quarzeux et de la potasse; l'*azur* est du smalt réduit à l'état de poudre impalpable.

Les fig. 550 et 551 représentent le plan et la coupe du fourneau à réverbère employé pour le grillage des minerais de cobalt; la grille est latérale, et la flamme

COBALT.

sort du côté opposé et se rend dans le canal *b*, *b*, et de là dans les chambres de condensation, où l'acide arsé-

550.

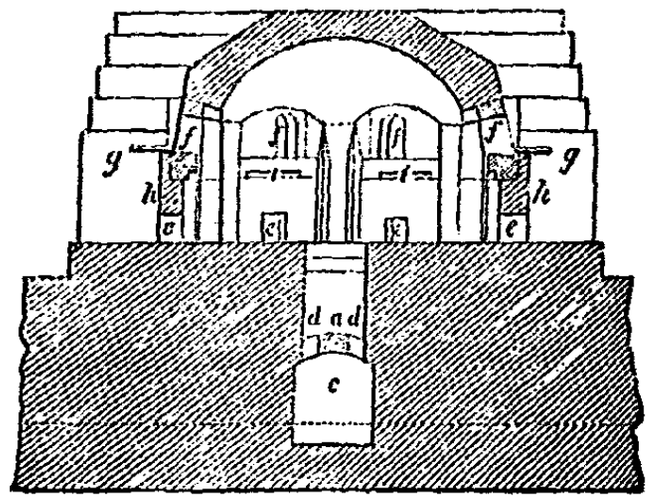


551.

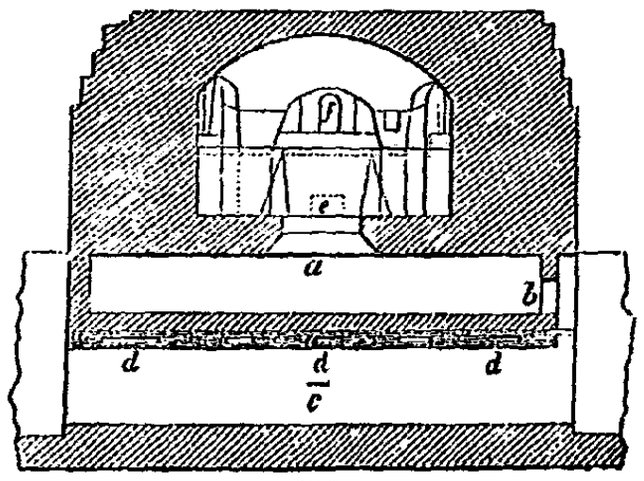
nieux se dépose, et d'où on le retire de temps à autre au moyen de portes ménagées à cet effet. Il importe que le grillage ne soit pas complet, parce qu'alors le fer et le nickel passeraient dans le smalt et lui donneraient une teinte verdâtre, tandis que lorsqu'il reste dans le minerai grillé une certaine quantité de soufre et d'arsenic, il se forme, lors de la fusion de ce minerai, un arséniosulfure de nickel et de fer, qui sépare complétement ces métaux, et se réunit en culot au fond des creusets où s'opère la fusion ; ce produit porte le nom de *speiss*. D'un autre côté, il faut que le grillage soit poussé suffisamment loin, sans quoi une partie du cobalt passerait dans le speiss.

On étend le minerai pulvérisé, en couche de 0m,10 à 0m,12 d'épaisseur, sur la sole du four de grillage, et on renouvelle de temps à autre les surfaces avec un ringard, jusqu'à ce que le grillage soit arrivé à un point convenable.

On mélange alors intimement le minerai grillé et tamisé, avec du sable quarzeux très pur, en les passant ensemble entre les meules. Le mélange mécanique ainsi obtenu porte le nom de *safre ;* celui-ci est mélangé avec une proportion convenable de carbonate de potasse frittée, et fondu dans des pots d'argile placés dans un four, analogue aux fours de verrerie, représenté en coupe transversale fig. 552 et en coupe longitudinale fig. 553. Ce four est à sole circulaire et couvert d'une voûte surbaissée ; on charge le combustible (qui est du bois) sur la grille en briques *d d*, par la porte *b ; c*, est le cendrier ; la flamme pénètre dans le four par l'ouverture *a*, ménagée au milieu de la sole, puis se rend par les rampants *i*, *i* (fig. 552), dans des fours à flammes perdues qui servent à étonner le sable quarzeux et à fritter la potasse ; les ouvertures *h*, *h*, qui sont murées pendant le travail servent à introduire dans le four les pots où se fait la fusion ; ceux-ci, au nombre de 6 à 8, sont disposés circulairement sur la banquette du four, et s'élèvent presque jusqu'à la hauteur des ouvreaux *f*, *f*, en avant desquels sont des plaques de fonte *g*, *g*, à la partie inférieure de ces pots sont pratiquées des ouvertures, que l'on ferme pendant le travail, par des plaques de même nature, lutées avec de l'argile, et par lesquelles on fait écouler, après un certain nombre d'opérations, le speiss qui s'est rassemblé au fond des pots, quand la fusion est terminée, et que l'on a puisé tout le smalt. Ces ouvertures sont placées en regard des portes murées *e*, *e*, qui servent à les déboucher.



552.



553.

La fusion est facile et ordinairement terminée au bout de huit heures ; on puise alors le smalt avec des poches en tôle intérieurement enduites d'argile, et on le verse dans de l'eau froide pour l'étonner et faciliter sa pulvérisation ultérieure.

Le verre bleu ainsi obtenu est d'abord pulvérisé sous des bocards à sec, puis broyé à l'eau entre des meules de granite horizontales, analogues à celles des moulins à blé. On classe ensuite successivement par lévigation l'azur obtenu, d'après son degré de ténuité, en : *gros bleu* (*all.* streublau), qui est, soit livré ainsi au commerce, soit repassé entre les meules ; *couleur* (*all.* farbe), obtenu après une heure de repos ; *eschel*, dépôt suivant très fin, mélange de parties quarzeuses venant des meules ; et en *boues* (*all.* sumpfeschel), dernier dépôt très impur qui se forme dans de grands réservoirs où on laisse l'eau jusqu'à ce qu'elle soit tout à fait clarifiée : ces boues sont repassées dans la fonte pour smalt. Les fabriques de cobalt distinguent ces divers produits par les lettres suivantes : K, minerai de cobalt cru, FK, FFK, minerai riche, très riche ; S, minerai grillé, OS, MS, FS, FFS, minerai grillé ordinaire, moyen, riche, très riche ; C, couleur, OC, MC, FC, FFC, FFFC, FFFFC, les diverses qualités de couleur ; E, eschel, et OE, ME, FE, FFE, FFFE, FFFFE les différentes variétés ou nuances de couleur.

Les speiss qui se réunissent au fond des pots, renferment moyennement environ 50 p. 100 de nickel, 40 d'arsenic et 10 de soufre, de fer, de cobalt et de cuivre, et quelquefois des traces d'antimoine ; autrefois sans valeur, ils sont actuellement très recherchés pour la préparation du nickel.

On conçoit aisément que la proportion de quarz et de potasse à ajouter aux minerais de cobalt dans la préparation du smalt, dépend de leur teneur en cobalt et de l'intensité de la couleur que l'on veut obtenir ; d'un

autre côté le degré de grillage dépend également de la proportion des métaux étrangers et de l'état sous lequel ils se trouvent dans le minerai : ainsi, certains minerais pauvres en cobalt et riches en autres oxydes métalliques doivent être fondus crus, avec d'autres minerais riches également crus, qui leur fournissent une quantité de soufre et d'arsenic suffisante pour faire passer tous les métaux étrangers dans le speiss. On obtient ces diverses données par un essai en petit qui consiste à mélanger 1 partie du minerai de cobalt cru, partiellement grillé, et totalement grillé, avec 3, 6, 9 et 12 p. d'un mélange de 2 p. de sable quarzeux blanc et de 1 p. de carbonate de potasse fondu ; puis fondant les douze mélanges ainsi obtenus, dans de petits creusets couverts, presqu'à la température des essais de fer. On juge ensuite à la couleur du verre quel est le mélange le plus convenable à employer. Ce mode d'essai est surtout usité pour les minerais de cobalt argentifères de l'Erzgebirge. L'argent passe dans le speiss qui est soumis à l'amalgamation, dont les boues sont ensuite traitées pour nickel.

Nous terminerons cet article en indiquant une manière très simple employée en Allemagne pour préparer l'oxyde de cobalt pour la peinture sur porcelaine : On grille le minerai de cobalt aussi complétement que possible, on réduit le minerai grillé en bouillie épaisse avec de l'acide sulfurique, on introduit le tout dans un creuset en terre où on laisse digérer, pendant un certain temps, à 200 ou 300° ; enfin on évapore à siccité, on chauffe jusqu'au rouge, et on maintient cette température pendant une heure. Après le refroidissement, on pulvérise la masse et on la traite par l'eau bouillante ; on filtre on étend d'eau froide, on acidule la liqueur avec un peu d'acide sulfurique ; puis on précipite, en agitant constamment, par une dissolution de carbonate de soude, en s'arrêtant aussitôt que la liqueur a perdu toute réaction acide, et que le précipité au lieu d'être jaunâtre devient rose ; tout le fer s'est alors précipité à l'état de sous-arséniate en entraînant l'arsenic avec lui, et il ne reste dans la liqueur filtrée que du sulfate de cobalt qui la colore en rose ; d'un autre côté, on fond ensemble 10 parties de potasse du commerce, 15 parties de sable quarzeux et 1 partie de poussier de charbon ; on pulvérise la masse fondue, on dissout dans l'eau bouillante, on décante et on obtient une dissolution de silicate de potasse dont on se sert pour précipiter la dissolution de sulfate de cobalt obtenue comme il a été dit ci-dessus ; il se forme du sulfate de potasse soluble et il se précipite un mélange intime de silice gélatineuse et d'oxyde de cobalt, qui entraîne un peu de silicate de potasse. Ce précipité a une couleur brun-sale, mais appliqué sur la porcelaine, il prend, lors de la cuisson, une très belle couleur bleue.

La production du smalt est annuellement d'environ :

Suède et Norwège.	2000 à	2500 kil.
Saxe.	5000 à	6000
Prusse	3000 à	3500
Hesse électorale (Schwarzenfels).	3500 à	4000
	13500 à	16000 kil.

P. DEBETTE.

COCHENILLE (*angl.* cochineal, *all.* kochenille). La cochenille, *coccus cacti*, est un insecte dont la femelle renferme une forte proportion d'une matière colorante rouge, extrêmement belle. On l'a longtemps prise pour une semence végétale ; c'est Lœwenhœk qui fit voir que c'était un animal. On l'a découverte au Mexique, en 1518, où elle vit sur le cactier nopal (*cactus opuntia*). On en distingue deux sortes, la cochenille sauvage ou *cochenille sylvestre*, que l'on recueille dans les forêts, et la *cochenille mestèque*, élevée dans des *nopaleries* ou plantations artificielles de cactiers. La première est la plus petite et recouverte d'un duvet cotonneux, qui augmente son poids et, par suite, diminue naturellement en proportion sa teneur en matière colorante, en même temps que sa valeur commerciale. Ce duvet sert à protéger l'insecte contre l'intempérie des saisons, de sorte qu'il n'exige aucun soin. Élevée dans des plantations artificielles, la cochenille acquiert une grosseur presque double de la précédente, et perd le duvet cotonneux qui la recouvrait et qui se trouve remplacé par une poussière grisâtre qui en augmente à peine sensiblement le poids.

La cochenille femelle est ovoïde, légèrement aplatie en dessous ; son corps est couvert d'anneaux toujours visibles, peu nombreux ; entre les deux premières paires de pattes elle porte un suçoir avec lequel elle se fixe sur les cactiers, où elle est ensuite fécondée par le mâle ; alors son corps se développe, s'arrondit, et elle finit par produire un grand nombre d'œufs d'où naissent autant de nouveaux insectes, si l'on n'a pas soin de la recueillir avant cette époque ; enfin elle meurt, et se dessèche sur la place où elle a vécu. Le mâle est plus petit que la femelle ; il n'a point de suçoir et porte deux ailes bien développées au moyen desquelles il vole pour chercher les femelles, qui n'en ont point, et les féconder.

Quand les cochenilles fécondées sont prêtes à pondre, on les recueille en râclant légèrement la surface des cactiers avec un couteau mousse, pour les faire tomber dans un vase où on les reçoit, en ayant soin d'en laisser quelques-unes sur chaque arbre pour la reproduction.

On fait périr les cochenilles soit en les trempant dans l'eau bouillante, soit dans une étuve, soit enfin sur des plaques métalliques chauffées en dessous ; l'immersion dans l'eau bouillante enlève une partie de la couleur qui reste en partie extérieurement fixée à la cochenille, et lui donne une teinte rougeâtre ; la dessiccation à l'étuve n'apporte aucun changement apparent dans la cochenille qui est alors dite *jaspée* ou *argentée*, et qui est d'autant plus estimée qu'elle est plus grosse, plus régulière, et recouverte d'un enduit gris-argentin plus pur ; la dessiccation sur des plaques métalliques chauffées en dessous détermine la fusion de la poudre grisâtre qui recouvrait la cochenille et qui paraît être une substance céreuse, de sorte que l'insecte présente une couleur brun-noirâtre, ce qui lui a fait donner le nom de *cochenille noire ;* elle est moins estimée que la cochenille argentée, mais elle a une valeur supérieure à la cochenille rouge.

La cochenille bien desséchée peut se conserver extrêmement longtemps sans s'altérer ; ainsi *Hellot* a reconnu, par expérience, que les cochenilles conservées depuis 130 ans, avaient exactement le même pouvoir colorant que des cochenilles nouvellement cueillies.

La cochenille a été particulièrement étudiée par MM. Pelletier et Caventou, qui ont donné au principe colorant qu'elle renferme le nom de *carmine*, et qu'ils ont obtenu : en épuisant la cochenille par l'éther ; traitant à plusieurs reprises le résidu par l'alcool bouillant ; laissant refroidir ; traitant le dépôt qui se forme par de l'alcool pur, puis y ajoutant un volume égal au sien d'éther sulfurique également pur ; il se produit un dépôt de carmine.

La carmine ainsi obtenue est rouge-pourpre, fond vers 50°, et brûle sans dégager de l'ammoniaque, ce qui prouve que la matière colorante de la cochenille appartient aux composés non azotés. Elle est très-soluble dans l'eau, et une très-faible quantité en suffit pour colorer en rose une grande masse d'eau. Elle est également soluble dans l'alcool, quoique moins que dans l'eau, et, au contraire, insoluble dans l'éther. Les acides ne la précipitent pas de sa dissolution aqueuse, lorsqu'elle est pure ; mais, dans le cas où cette dissolution renferme encore une partie des autres matières animales renfermées dans la cochenille, le tout est précipité.

L'alumine a beaucoup d'affinité pour la matière co-

lorante de la cochenille ; ainsi si l'on met dans une dissolution aqueuse de carmine, de l'alumine en gelée récemment précipitée et encore humide, la liqueur devient incolore ; lorsque l'on a opéré à froid, l'alumine prend une belle couleur rouge de carmin ; mais si l'on échauffe la dissolution, le précipité passe au rouge-cramoisi, et même au violet si l'on chauffe jusqu'à l'ébullition. Une solution d'alun ne donne lieu à aucun précipité ; elle fait seulement passer la couleur du rouge de carmin au rouge-pourpre. Voyez CARMIN.

Le proto-chlorure d'étain ou *sel d'étain* donne naissance à un précipité d'un violet très riche, qui passe au rouge cramoisi quand la dissolution d'étain renferme beaucoup d'acide libre. Le per-chlorure d'étain ne forme aucun précipité, mais il fait passer la couleur de la dissolution au rouge-écarlate. Quand après l'addition du per-chlorure d'étain, on mélange la liqueur avec de l'hydrate d'alumine récemment précipité, celui-ci se combine avec la matière colorante pour former une laque carminée d'un rouge-écarlate, qui ne change même pas par l'ébullition.

La cochenille est sans contredit la plus belle des matières colorantes rouges employées dans la teinture, et s'applique surtout sur la laine. Pour cela, on mordance celle-ci avec un mélange de per-chlorure d'étain et de crème de tartre, puis on la teint avec une décoction de cochenille. On ne doit pas ajouter d'alun, qui ferait passer la couleur au rouge-cramoisi. Afin de séparer plus complétement de la cochenille la matière colorante, ainsi que la matière animale qu'elle renferme, et qui paraît jouer un rôle essentiel dans la fixation de la carmine sur la laine, on peut ajouter une petite quantité de cendres gravelées dans la préparation de la décoction de cochenille, mais il faut alors augmenter la proportion de la crème de tartre employée dans le mordançage, de manière à conserver au bain l'acidité nécessaire pour obtenir une vive couleur écarlate.

Pour teindre avec la cochenille en rouge-cramoisi, on ajoute au bain un peu d'alun, ou on fait bouillir dans une dissolution d'alun la laine, préalablement teinte en rouge écarlate.

D'après M. de Humboldt, on a importé de l'Amérique du Sud en Europe, depuis 1736, pour une valeur de 15 à 16,000,000 de francs de cochenille. Le prix actuel de la cochenille, sur la place de Londres, est d'environ 13 francs le kilogr.

La découverte de la fuchsine et des couleurs si belles et si durables extraites des hydro-carbures de la houille tend à diminuer la valeur de la cochenille.

COCOTIER (cocos nucifera). — La grande variété d'usages auxquels est appliqué cet arbre du genre palmier par les habitants des nombreuses contrées où il croît, et la valeur commerciale de quelques-uns des produits qu'il donne, rendent l'étude du cocotier très-intéressante. Cet arbre se rencontre dans les parties tropicales du globe, principalement dans le voisinage de la mer ; sans souffrir de l'eau salée, il prend racine sur les recifs et les bancs de sable aussitôt qu'ils émergent de l'Océan. Son principal domaine paraît être entre l'équateur et le 25° parallèle de latitude ; il pousse à diverses hauteurs inférieures à 1,000 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. On trouve quelquefois cet arbre occupant des régions étendues à l'exclusion de tout autre. Toute la côte du Brésil, depuis la rivière de San-Francisco jusqu'à la barre de Mamanguape, sur une distance de 280 milles, en est presque entièrement couverte.

Le cocotier s'élève comme une mince colonne à la hauteur de 20 à 30 mètres. Le diamètre de sa tige est de 0,30 à 0,50. Son tronc est mou et fibreux, et porte sur sa hauteur des anneaux créés par la chute des feuilles qui a lieu deux fois par an. Environ 11 ou 12 feuilles, chacune de 4 à 5 mètres de long, forment le bouquet du sommet. Les fleurs sortent d'une grande gaîne pointue. Dans les saisons humides, le cocotier fleurit toutes les cinq ou six semaines, de sorte qu'il porte à la fois des fleurs nouvelles et des fruits mûrs en même temps. Les cocos sont au nombre de 5 ou 15 dans chaque grappe, et dans de bons sols, un arbre peut produire de 8 à 12 grappes par an.

Passons en revue les divers produits qui proviennent des cocotiers et les emplois qu'ils reçoivent.

Les racines de cocotier sont mâchées par quelques peuplades au lieu de noix *d'aréca*. Les Brésiliens font des paniers avec les petites racines. L'écorce ligneuse ou enveloppe du tronc sert pour la construction des huttes. Vers la base du tronc, le bois est remarquable par sa dureté et peut prendre un poli qui lui donne l'apparence de l'agate. La base de la feuille séchée forme un réseau employé à Ceylan pour filtrer le jus savoureux qui est extrait de la gaîne des fleurs de l'arbre. Il sert aussi à fabriquer un vêtement durable appelé *gunny*. Les jeunes pousses et les bourgeons sont à l'occasion mangés par les Européens aussi bien que par les naturels. Quand ils sont bouillis, ils sont tendres et remplacent fort bien les choux. Les Ceylannais les conservent dans le vinaigre et les mangent comme des cornichons. L'arbre meurt quand cette partie est lui enlevée.

Quelques peuplades couvrent leurs maisons avec les feuilles ; dans ce but, ils divisent la portion ligneuse centrale de la feuille suivant sa longueur ; les moitiés sont repliées et entrelacées, c'est dans cet état qu'elles sont employées pour couvertures, pour abriter les jeunes plantes des rayons brûlants du soleil, pour clôtures, pour former le plafond des chambres et pour faire des vases servant à porter les fruits, le poisson, etc. A l'exception de la charpente, les maisons, murs et toits, sont faites avec les feuilles du cocotier.

Les seaux faits de feuilles entières sont assez solides pour tirer l'eau des puits. Les feuilles qui ne sont pas tout à fait mûres sont d'une belle couleur jaune et ont un grain fin qui les fait ressembler à du beau cuir ou à du satin ; elle servent à décorer les appartements.

Pour voyager de nuit, on se sert de torches formées avec les feuilles du cocotier ; la feuille doit être bien serrée autour de la nervure pour que la combustion ne soit pas trop rapide. De semblables torches sont d'un usage constant pour écarter les bêtes féroces, particulièrement les éléphants, des champs cultivés.

Le cocotier et spécialement ses feuilles fournissent une grande quantité de potasse par leur incinération, alcali qui est employé pour le blanchissage. L'extrémité de la feuille, après avoir été préparé, sert à faire des espèces de brosses convenables pour divers emplois. Les gaînes ou les enveloppes fibreuses des fleurs sont souvent employées comme torches. Après avoir macéré dans l'eau, cette partie de l'arbre fournit aussi un cordage assez solide.

La fleur et le fruit du cocotier fournissent nombre de produits utiles. Par une manipulation particulière, la fleur fournit abondamment un riche jus sucré, d'où l'on extrait soit du sucre, soit une liqueur alcoolique. A cet effet, un ouvrier que l'on nomme « le tireur de toddy » monte sur l'arbre, coupe la pointe de la spadix et fait une solide ligature autour du tronc. Il frappe alors l'arbre avec un bâton, ce qui paraît déterminer l'écoulement de la sève par la partie blessée. Cette opération est répétée plusieurs fois, une petite portion de la spadix étant coupée chaque fois. Le jus commence bientôt à couler par la partie coupée de la fleur, et est recueilli avec soin dans un petit vase de terre suspendu à la gaîne.

Une fleur bien portante peut donner chaque jour de 2 à 4 pintes anglaises de jus doux ou *suri*, et certaines fleurs continuent à donner du jus pendant quatre à cinq semaines. Il y a souvent deux gaînes sur un même arbre fournissant en même temps un jus qui exposé à l'air fermente de suite, et forme la liqueur enivrante appelée *toddy*. Par distillation, ce jus fournit environ 1/8 d'arrak, de même force que la bonne eau-de-vie. Les marins qui appartiennent à la flotte royale anglaise dans les mers de l'Inde, consomment cette liqueur au lieu de rhum. En faisant passer le jus à la fermentation acétique, on obtient un excellent vinaigre, qui est employé pour confire une grande variété de végétaux. Le suri constitue la levûre habituellement employée par les boulangers de Ceylan.

Pour extraire du sucre (*jajeri* ou *saggari* dont nous avons fait *saggre*, sucre) du suri, au lieu d'alcool, il faut prendre grand soin d'éviter la fermentation. Le pot dans lequel le jus est reçu est vidé deux ou trois fois en 24 heures, bien nettoyé et séché chaque fois; une petite quantité de chaux est placée au fond. Le jus est filtré à travers le réseau qui forme la base de la feuille, puis il est bouilli doucement dans un vase de poterie jusqu'à ce qu'il commence à être légèrement coloré et visqueux. Pendant qu'il est encore chaud et demi-fluide, il est versé dans des moitiés d'écailles de noix de coco, et bientôt il devient solide. Il faut neuf litres de jus environ pour un kilog. de sucre. Le jagery contient à la fois du sucre cristallisable et de la mélasse, que l'on sépare par des opérations subséquentes. Le sucre brut est habituellement en petits pains de la forme des vaisseaux dans lesquels il a été refroidi. Il a la couleur chocolat foncé, et on voit, en le brisant, de nombreux cristaux brillants de sucre. Dans la langue malaise, le jagery est appelé *goola* ou *goora itan*, sucre noir ou douceur noire. Le jagery vaut environ 40 cent. le kilog.

Le jagery mêlé intimement avec de la chaux forme un excellent ciment qui résiste à l'humidité et aux grandes chaleurs. Il prend un très-beau poli. Les murs sont préparés pour recevoir cet enduit en les mouillant avec une infusion concentrée de gousses de cocos avant la maturité, et le même liquide est employé pour mêler et délayer les matériaux. A Madras et dans d'autres parties de l'Inde, les façades des maisons sont recouvertes avec ce ciment. Il est aussi employé pour couvrir le sol des chambres, recouvrir des colonnes, etc. Ce genre de dallage est quelquefois coloré, de manière à ressembler au plus beau marbre.

Quand la fleur n'a pas été détruite, les noix de coco lui succèdent, noix qui reçoivent un grand nombre d'emplois utiles. Les noix de coco fraîches forment un article de nourriture important pour les naturels. Tant que le fruit n'est pas mûr, l'écaille est garnie d'une matière pulpeuse pendant que le centre est rempli d'un liquide aqueux. Ce liquide est d'abord astringent et un peu acide; le fruit mûrissant, il devient plus doux et rappelle le petit-lait par la couleur et le goût. Quand on le boit avant que le soleil soit très-haut, il est plus froid que l'atmosphère et constitue une boisson agréable. Les indigènes, surtout quand ils voyagent, ont soin d'avoir quelques fruits non mûrs; ils en boivent l'eau et mangent la partie pulpeuse ou l'amande. Avec quelques repas de cette espèce, ils travaillent du matin au soir, sans prendre aucune autre espèce de nourriture. Chez les Malais, des singes sont dressés à aller cueillir sur les arbres les cocos dont on a besoin. Les naturels des côtes de quelques îles de la côte équinoxiale, se procurant ainsi bien aisément leur nourriture, sont peu sensibles aux motifs qui poussent ordinairement les hommes au travail. Ils sont plutôt palmivores que granivores, et l'homme qui possède douze cocotiers n'éprouve nul besoin de travailler.

L'enveloppe ou le péricarpe fibreux de la noix est employé pour polir les meubles et nettoyer les parquets, etc. Les oiseaux qui construisent des nids suspendus emploient communément cette substance. Mais son usage principal est de fabriquer la filasse dite *coir*, et dans ce but la noix ne doit pas être complétement mûre. Pour ôter l'enveloppe, on fixe en terre une barre de fer ou un morceau de bois dur, taillé en pointe; la noix est pressée sur celle-ci qui s'engage entre les fibres et sépare l'écorce de l'écaille. En opérant ainsi, un homme peut dépouiller mille noix par jour. Le *coir* est préparé en trempant l'écorce plusieurs mois dans l'eau, puis la battant sur une pierre avec une massue de bois. Sur la côte d'Amérique, quand il n'y a pas d'eau courante, le fabricant de *coir* fait des trous dans le sable et l'enterre avant de le battre. Il est ensuite froissé dans les mains, jusqu'à ce que les matières interstitielles soient complétement séparées de la portion fibreuse de l'écorce; on imite les opérations auxquelles donne lieu la préparation des filaments de chanvre dans nos contrées. L'écorce de quarante noix fournit environ 3 kil. de *coir*. La dernière opération est le filage des fibres en fils de caret, qui servent à fabriquer des cordages de toute grosseur. Le *coir* est remarquablement léger et très-convenable pour les cordages de gros diamètre. On dit que l'eau de mer leur est bonne plutôt que nuisible, et quand le cordage est bien préparé, il se plie facilement, est doux, solide et élastique, très-convenable pour les manœuvres courantes, mais, à cause de sa contractilité, moins propre aux manœuvres dormantes. Le docteur Roxburg a trouvé que la résistance comparative d'un cordage de chanvre et d'un cordage de *coir* est, quand ils sont gros, dans le rapport de 108 à 87, et quand ils sont petits, de 65 à 60. Le coir est très-employé dans l'Inde au lieu de crin, pour garnir les matelas, les coussins, les selles, etc. On s'en sert encore pour faire des balais et des brosses servant au lavage des maisons.

Le noyau du fruit mûr ressemble à une amande et est le *pain* de nombreuses populations. Par une légère pression, il donne un fluide blanc semblable au lait, et employé comme celui-ci avec le thé, etc. Un autre succédané du lait est obtenu en râpant l'amande et mêlant les râpures avec un peu du liquide contenu dans la noix et filtrant. Dans les Barbades, on fait des poudings avec des noix de coco, et pressée avec du miel et du sucre, l'amande est employée pour faire des conserves. La noix mûre est d'ailleurs employée à Ceylan pour fournir un liquide oléagineux usité pour préparer la sauce *curry*.

Mais le produit capital de l'amande est l'*huile* qui est extraite soit par décoction, soit par pression. Dans le premier procédé, l'amande fraîche est râpée finement, les râpures sont lavées à l'eau, qui devient laiteuse, et l'infusion fournit une huile limpide. Si l'émulsion est exposée une nuit, elle se sépare spontanément en une couche huileuse et une portion aqueuse; la partie huileuse est purifiée par une courte ébullition. Pour séparer l'huile, l'opérateur, qui est généralement une femme, place la paume de sa main gauche sur la surface du liquide; une portion de l'huile adhère à la main et passe dans un vase à l'aide d'une brosse maniée de la main droite. L'huile obtenue ainsi, n'a guère plus de couleur que l'eau, et quand elle a été nouvellement préparée, n'a aucune odeur désagréable, ce qui a lieu aussitôt qu'elle est restée quelques jours exposée à l'air. 32 noix fournissent 1k,50 d'huile pure. Pour préparer de grandes quantités d'huile, on a recours à la compression. On brise d'abord l'écaille avec un couteau courbe, opération effectuée généralement en un seul coup. La partie aqueuse de l'amande est enlevée, en l'exposant

quelques jours au soleil, période pendant laquelle il se développe une odeur de rancidité. L'huile est extraite en écrasant l'amande dans un moulin grossier, mis en mouvement par de jeunes bœufs; à Colombo on emploie à cet effet la puissance de la vapeur. Le résidu, après l'extraction de l'huile, sert à la nourriture des cochons, des poules, etc.

De grandes quantités de cocos sont apportés en Angleterre des Indes occidentales. Les capitaines de navires les emploient au lieu de coins de bois pour remplir les intervalles entre les tonneaux et autres colis dont se compose leur cargaison. De la sorte, le fret des cocos ajoute peu de chose à leur coût original.

A Ceylan, cette huile sert pour l'éclairage. Les naturels la brûlent dans un fragment de l'écaille, à l'aide d'une mèche de coton. On en fait des torches à Siam en séchant la fiente d'éléphant, en la pénétrant d'huile de coco et entourant la masse avec de longues feuilles sèches, réunies par des liens de bambou. Les naturels se servent de l'huile pour oindre leurs corps. Elle est employée au lieu d'huile d'olive pour la préparation d'emplâtres et pour faire l'onguent mercuriel, le mercure se divisant, s'*éteignant*, dit-on, mieux dans cette huile que dans aucune autre huile végétale. Fondue avec de la résine, elle forme une substance employée pour goudronner les joints des bateaux et des navires, et pour protéger les bouchons des bouteilles de vin et de bière contre les déprédations des fourmis.

L'huile de coco est un article d'importation qui tend à se développer chaque jour, étant recherchée en Europe par l'industrie de la savonnerie et de la fabrication des produits stéariques. Elle donne un excellent savon, dont malheureusement l'emploi est restreint par suite de l'odeur persistante qu'il laisse aux mains.

En plaçant cette huile butyreuse blanc-jaunâtre dans des sacs en canevas très-serré, et la soumettant à la température la plus basse possible, 10 à 12° C., à l'action d'une presse hydraulique, on la sépare en stéarine solide, que l'on traite comme la stéarine ordinaire pour en faire des bougies, et en oléine que l'on purifie en la mélangeant avec 1 à 2 p. 100 d'acide sulfurique concentré, que l'on étend de six fois son poids d'eau, agitant bien le tout dans une sorte de baratte, transvasant et laissant déposer; l'acide se rassemble peu à peu au fond, tandis qu'il se forme à la surface une écume que l'on enlève soigneusement avec une écumoire; au bout de deux ou trois jours l'huile est tout à fait clarifiée, on décante, et on passe à travers une chausse en laine très-serrée; elle est alors propre à être employée comme huile de lampe.

Les bougies faites avec la stéarine obtenue par simple pression donnent une lumière très-brillante.

Les écailles des cocos sont travaillées pour chapelets, pour vases à boire et pour divers autres usages domestiques. Quelquefois les naturels les polissent et y sculptent des figures en relief. On les rencontre employées en Angleterre comme sucriers, et dans l'Amérique du Sud les dames boivent le thé placé dans des coupes de coco très-ornées, en l'aspirant avec un tube d'argent.

COKE. — Le coke, le résidu de la distillation de la houille, dont les produits volatils donnent le gaz d'éclairage, les goudrons, etc., est un combustible précieux. Nous verrons à l'article FER comment il est employé bien préférablement à la houille, à cause de l'absence de vapeurs sulfureuses; cette propriété ainsi que l'absence de fumée le rend également précieux dans les appareils de l'économie domestique, et assure un débouché au coke léger des usines à gaz, combustible excellent à cause de sa lenteur et par suite économique combustion, dans de simples réchauds d'une profondeur un peu grande. Aussi est-il employé davantage chaque jour dans les cuisines et dans les petits calorifères.

Le coke dur avait son principal débouché dans le service des chemins de fer, et on peut s'en faire une idée par ce fait, que la dépense en coke brûlé dans les locomotives formait du huitième au quart de la dépense d'exploitation totale de nos chemins de fer français.

L'emploi de la houille crue, à cause de l'économie qu'elle procure et malgré les inconvénients de la fumée, qu'atténue seulement, dans la pratique, l'emploi d'appareils fumivores plus ou moins parfaits, maniés avec plus ou moins d'attention, a diminué l'importance de la fabrication du coke dur, qui a toutefois encore un emploi plus que suffisant pour que sa fabrication constitue une importante industrie.

La qualité du coke employé dans les locomotives exerce sur la marche des trains une influence telle que, pour assurer la régularité du service, il est souvent préférable d'y mettre un prix très élevé; c'est ce que font quelques chemins de fer français en achetant des cokes anglais, bien qu'ils puissent se procurer des cokes de France et de Belgique à des prix bien inférieurs.

Il est également de la plus haute importance dans toutes les industries métallurgiques, et notamment dans la fabrication de la fonte et du fer, pour assurer la régularité de l'allure des appareils, l'uniformité et la pureté des produits, de se servir de combustibles très purs. L'importance de la question nous engage à compléter ce que nous avons dit à l'article CARBONISATION, par l'exposé des derniers perfectionnements récemment adoptés.

Depuis 1848, la fabrication du coke a fait de grands progrès dans le nord de la France et en Belgique, grâce aux études faites par la compagnie du chemin de fer du Nord et au mode qu'elle a adopté pour les réceptions des fournitures de coke qu'elle consomme, en fixant le prix du coke pour une teneur déterminée de cendres de 5 à 7 p. 100, suivant la veine de charbon d'où il provient, faisant une retenue d'un franc par chaque centième de cendres en sus, et accordant une gratification de cinquante centimes à un franc par chaque centième de cendres en dessous de la teneur indiquée dans le marché, et indiqué par un essai contradictoire fait sur un échantillon pris sur la livraison, de manière à en représenter autant que possible la teneur moyenne.

En Angleterre, la plupart des veines de houille servant à la fabrication présentent un toit et un mur très solides; elles ne renferment pas de lits de schistes friables intercalés; de sorte qu'on peut en abattre le charbon sans y mêler une quantité notable de matières étrangères, et obtenir, soit avec le fin, soit avec le tout-venant, un coke d'excellente qualité.

En France et en Belgique, au contraire, très fréquemment le toit ou le mur sont mauvais, ou bien le charbon renferme des veines de schistes tantôt plus dures, tantôt plus friables que la houille. Au sortir de la mine, le charbon est employé comme tel sous le nom de *tout-venant*, ou classé en trois parties au moyen de deux grilles ou claies placées en cascade, savoir : en *gailleterie*, *gailletle* ou gros morceaux, ayant plus de 0m,03 de côté; en *gailletin*, morceaux ayant 0m,008 à 0m,03 de côté; et en *fin* ou menu, ayant moins de 0m,008 de côté; il reste quelquefois dans la gailleterie des pierres ou morceaux de schistes que l'on enlève facilement; le gailletin renferme ordinairement beaucoup de petites pierres, dont une partie seulement peut être enlevée dans un triage en grand; enfin presque toutes les parties schisteuses, terreuses et friables se rassemblent dans le fin.

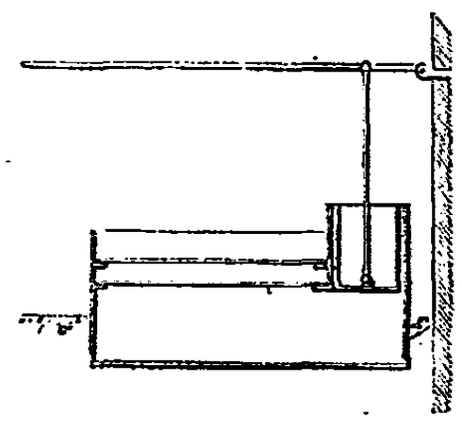
Le résultat d'un grand nombre d'essais faits par M. de Marsilly, ingénieur des mines, sur les veines de

charbons à coke des bassins de Mons et de Valenciennes, a montré que les cokes fabriqués avec la gailleterie avaient constamment à très peu près la même qualité et ne tenaient que 6 à 7 p. 100 de cendres ; que les cokes fabriqués avec du gailletin avaient une teneur en cendres de 7 à 11 p. 100, et n'étaient pas d'un bon emploi sur les locomotives; enfin que *tout-venant* donnait des cokes de qualité intermédiaire et constamment variables. Ces faits résultent de ce que les schistes qui altèrent la pureté de la houille sont plus friables qu'elle ne l'est elle-même, et se réduisent en poussière plus fine. Il est donc naturel qu'ils se concentrent dans le fin.

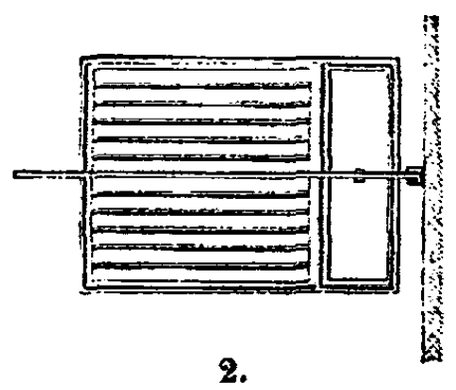
Il résulte de ce qui précède que, pour obtenir du coke de bonne qualité, il faut n'employer pour sa fabrication que de la houille triée et en morceaux assez gros dits *gailleterie*, ou bien purifier préalablement le *gailletin* et le *fin*, en en séparant, par une préparation mécanique spéciale, les impuretés qui s'y sont concentrées, de manière à les amener au degré de *propreté* que présente la *gaillette*. A cet effet, on les soumet à un lavage analogue à ceux employés dans la préparation mécanique des minerais métalliques.

Ce procédé de purification a été appliqué il y a déjà longtemps aux charbons pyriteux des Vosges, mais il n'a pris un certain développement que depuis quelques années. En 1840, M. Baetmadoux l'employait dans l'Allier, aux mines de Bert ; postérieurement, il était introduit dans les bassins de Commentry, de Saint-Etienne et de Rive-de-Gier, et enfin il est appliqué dans les bassins de Mons et de Valenciennes depuis la fin de 1848.

Le lavage se fait ordinairement sur un crible à piston de grande dimension, représenté en coupe et en plan (fig. 1 et 2), et consistant en une caisse rectan-



1.



2.

gulaire en bois, divisée en deux compartiments inégaux par une cloison *a a* qui ne descend pas jusqu'au fond de la caisse, en sorte qu'ils communiquent ensemble par le bas ; dans le plus grand est une grille *b*, sur laquelle on jette le charbon ; dans le plus petit se meut un piston en bois *c;* l'appareil est rempli d'eau jusqu'au dessus du charbon ; le piston *b*, en descendant, lorsqu'on fait une pesée sur la bringuebale *d*, refoule l'eau sous la grille *b;* elle soulève les charbons et les schistes, et se retire quand le piston remonte. Les schistes étant plus denses que le charbon sont soulevés moins haut, à volume égal, que ne l'est celui-ci, et tombent plus vite au fond quand l'eau se retire. Il en résulte qu'après quelques coups de piston les schistes sont rassemblés sur la grille et le charbon purifié est à la partie supérieure; pour en faciliter l'enlèvement, on place, à 0m,12 environ au-dessus de la première grille *b*, une seconde grille *f f*, dont les barreaux ont 0m,10 d'espacement ; par cette disposition, la pelle de l'ouvrier glisse sur les barreaux, ne prend que le charbon lavé et ne touche point aux schistes, qui s'accumulent entre les deux grilles. Quand ils viennent à s'élever jusqu'à la grille supérieure *f f*, on la retire pour les enlever ; on la replace ensuite, et l'opération continue. De temps en temps on remet de l'eau dans la caisse au moyen de robinets convenablement disposés.

On donne généralement au compartiment des grilles 1m,20 à 1m,30 de largeur sur autant de hauteur et 1m,50 à 1m60 de longueur ; le compartiment du piston a même largeur et même hauteur ; mais sa longueur, mesurée suivant l'axe longitudinal de l'appareil, n'a que 0m,40 à 0m,50, de sorte que l'aire du piston n'est pas tout à fait le tiers de celle des grilles.

On charge ordinairement à la fois, dans cet appareil, un hectolitre de charbon *tout-venant*, dont on a retiré les gros morceaux. Lorsque l'appareil de lavage est placé à portée de la fosse et des fours à coke, et que le charbon n'a qu'un faible transport à subir, trois ouvriers peuvent laver, en une journée de douze heures, 150 à 200 hectolitres de houille. La consommation en eau est d'environ six mètres cubes par douze heures, soit 30 à 40 p. 100 (environ un tiers) du charbon à laver, en volume.

La grille étant chargée, deux des ouvriers font mouvoir le piston, tandis que le troisième étale et remue le charbon sur la grille ; quand l'opération est terminée, ce dernier charge le charbon lavé dans une brouette, que le premier ouvrier va décharger près des fours à coke, pendant que le second amène le tout-venant à laver.

Le nombre de coups de piston varie avec la propreté naturelle de la houille à laver ; en moyenne, on ne donne pas moins de quinze à vingt coups de piston, et encore le lavage n'est jamais bien complet.

Les ouvriers sont payés à la tâche, à raison de trois à quatre centimes par hectolitre de houille à laver.

D'après M. de Marsilly, dans le bassin de Mons 100 hectolitres de tout-venant donnent en moyenne au lavage :

Houille lavée.	89 hectol.
Schistes stériles.	2 —
Déchet qui traverse la grille et renferme 75 à 80 p. 100 de charbon pur.	9 hectol.

Ce déchet est presque de nulle valeur et s'écoule difficilement sur place au prix de 20 cent. l'hectolitre.

Les frais de lavage varient de 10 à 20 cent., et sont en moyenne de 13 cent. par hectolitre de houille lavée (le prix de l'hectolitre de tout-venant sur la fosse est de 80 cent. environ). Or, la différence entre le prix de la gaillette et celui du tout-venant étant toujours supérieure à 50 cent., il est évident que le lavage du charbon, quand bien même il ne serait pas destiné à la fabrication du coke, présente sous le rapport économique et industriel de très grands avantages.

En résumé, le lavage tel qu'il vient d'être décrit enlève 4 à 5 p. 100 des matières pierreuses ou schisteuses qui se concentraient dans le coke, y laisse encore 1 à 2 p. 100 de matières étrangères susceptibles d'en être

séparées par une préparation mécanique plus soignée, et augmente le prix de la tonne de coke d'environ 2 fr. 20 c.

L'utilité du lavage des charbons résulte encore, le plus souvent, de ce fait que leur prix sur les lieux de consommation se trouve sensiblement grevé par le transport des matières inertes qui l'obstruent, lesquelles, en moyenne, entrent dans une proportion de 5 ou 6 p. 100. Le charbon de Mons, qui au rivage de Jemmapes se vend 90 cent. le quintal, revient, rendu à Paris, chez le marchand en détail, à 2 fr. 85 c.; il y a donc 1 fr. 95 c. pour frais de transport et droits d'entrée, qui se rapportent aussi bien aux pierres dont le charbon est mélangé qu'au charbon lui-même. Si le lavage diminue de 6 p. 100 le rendement en cendres du charbon, 94 quintaux de charbon lavé équivaudront à 100 quintaux de charbon non lavé, ce qui donnera sur le transport une économie de 11 fr. 70 c., soit 2½ c. par quintal; or, le lavage coûte à peine ce prix actuellement. Avec les perfectionnements dont il est susceptible, on pourra descendre au-dessous; ainsi, en lavant le charbon, non-seulement on aurait des produits de qualité supérieure, mais encore on les obtiendrait à meilleur marché.

Les grilles que l'on emploie généralement sont en osier ou en fil de fer, espacées de 0m,001 ou plus, ou enfin en tôles de fer, cuivre ou zinc, percées de trous de 0m,001 à 0m,004. Quand les trous ont plus de 4 à 5 millimètres de diamètre, le fer et le zinc sont préférables parce qu'ils coûtent moins cher; mais si l'on veut avoir des trous très fins, de 1 millimètre de diamètre par exemple, le cuivre vaut mieux, parce qu'il présente plus de solidité; on ne peut percer de trous aussi fins dans des tôles de fer qu'autant qu'elles sont très minces, tandis qu'on peut en percer dans des feuilles de cuivre assez épaisses pour résister aux pressions qu'elles doivent supporter dans les circonstances ordinaires du lavage.

Si l'on avait préalablement le soin avant de charger le tout-venant sur la grille du lavoir d'en séparer la poussière en le classant en même temps en plusieurs catégories de grosseurs, en opérant soit à sec, soit dans l'eau, au moyen de grilles appropriées ou d'appareils classificateurs analogues à ceux décrits à l'article MÉTALLURGIE, on pourrait employer pour le lavage du charbon au crible des grilles beaucoup plus fines sans craindre l'obstruction des mailles ou des trous par les poussières, la main-d'œuvre totale serait réduite d'environ un quart et le déchet d'un tiers, de sorte qu'en résumé le prix de la tonne de mille kilog. de coke ne serait augmenté par le lavage que de 1 fr. 50 c. au lieu de 2 fr. 20 c.

On lave aussi la houille, sur certains charbonnages, dans des appareils analogues aux caisses allemandes (voir MÉTALLURGIE) servant pour le débourbage des minerais de fer et de plomb, divisées en trois ou quatre compartiments par des cloisons. Ordinairement ces caisses ont de 0m,70 à 0m,80 de large, 0m,40 à 0m,60 de profondeur, et 1m,50 à 3 mètres de long. En tête du premier compartiment se trouve un conduit qui communique avec un réservoir rempli d'eau et qui se ferme à volonté au moyen d'une petite vanne. A l'autre extrémité de la caisse se trouve un autre conduit fermé par une cloison en osier tressé très serré, qui laisse passer l'eau et retient le charbon. La vanne étant suffisamment levée, un ouvrier jette la houille à la pelle, par petites quantités à la fois, à la tête de la caisse; le courant l'entraîne, les schistes et les morceaux de charbon les plus gros se déposent dans le premier compartiment; les pierres les plus légères arrivent jusque dans le second compartiment. Le troisième et le quatrième compartiment renferment le charbon purifié; c'est dans ce dernier que se dépose le charbon le plus fin; la poussière est entraînée par le courant à travers la claie en osier et se dépose dans de grands bassins placés à la suite.

Il y a deux ouvriers par lavoir : le premier règle l'introduction de l'eau, jette le charbon par pelletées et le remue de temps à autre pour faciliter l'entraînement des parties les moins lourdes; lorsque le second compartiment est trop plein, il ramène en avant dans le premier ce qui se trouve à la surface. Le second ouvrier enlève le charbon lavé des deux derniers compartiments et le dépose en tas près du lavoir. Des brouettes amènent la houille au lavoir et l'emmènent quand elle est lavée.

Quand les schistes sont accumulés en assez grande quantité dans les deux premiers compartiments, on les retire et on les soumet à un second lavage, soit dans les mêmes lavoirs, soit dans des cribles à piston analogues à ceux précédemment décrits.

Les caisses allemandes dépensent dix à douze parties d'eau pour une partie de charbon lavé, et les frais de main-d'œuvre paraissent être un peu plus élevés que pour les cribles à piston. Ces derniers sont donc en général préférables, surtout s'ils sont établis avec soin et si l'on sépare préalablement les poussières.

Dans certains cas, et lorsque la houille est très friable, la question du lavage des poussières peut acquérir beaucoup d'importance. On ne s'en est pas préoccupé jusqu'à ce jour; mais, vu le bas prix de ces poussières (20 centimes au plus par hectolitre), il est évident que l'on en viendra bientôt à leur faire subir une préparation mécanique plus soignée, soit sur des tables à secousses, soit au moyen des autres appareils employés sur les exploitations métalliques pour le lavage des schlamms, afin de retirer une partie des 60 ou 80 centièmes du charbon pur qu'elles renferment.

La matière première de la fabrication du coke, la gaillette ou la houille lavée étant obtenue comme il vient d'être dit, il ne nous reste plus qu'à parler de la carbonisation même, sur laquelle il nous semble nécessaire d'entrer dans des détails de procédés et de chiffres qui puissent servir de guides positifs pour l'établissement de fours à coke. L'expérience de chaque jour et les nombreuses constructions auxquelles ont donné lieu les exploitations si nombreuses de chemins de fer, permettent de fournir des renseignements certains à cet égard.

Nous rappellerons que les conditions essentielles des cokes que l'on fabrique aujourd'hui en quantités si considérables pour le service des chemins de fer, pour les fonderies et en général pour toutes les combustions à vent forcé, lorsqu'il s'agit d'obtenir des températures élevées, sont, avec la pureté dont nous venons de parler, la dureté et la densité. Ainsi le coke qui sort des cornues qui servent à la distillation de la houille dans l'ÉCLAIRAGE AU GAZ, tout à fait impropre pour le cas qui nous occupe, tandis que son boursouflement le rend très précieux pour les usages domestiques, en ce que sa combustion dans des appareils imparfaits, à faible tirage, devient possible. Si, au lieu de répandre la houille en couche mince, on empêche le boursouflement par une grande épaisseur, on aura des systèmes qui se rapprocheront des fours à coke, mais qui donneront des produits inférieurs, de telle sorte que l'on perd le bénéfice apparent qui résulterait de ce que le gaz serait recueilli.

Cela est si vrai que dans un système disposé au seul point de vue de la qualité du coke, mais qui se rapproche du précédent, dans les fours à coke à voûte cylindrique et à sole chauffée en dessous par la combustion des gaz produits par la distillation de la houille, l'expérience a démontré que, en général, le coke produit est moins propre au service des chemins de fer que

celui obtenu dans les fours ordinaires dits *fours plats* à sole non chauffée en dessous, et que le rendement en coke était un peu plus faible ; aussi ne parlerons-nous que des fours plats.

Les *petits fours plats*, ou fours à une porte, coûtent, dans le Nord, de 500 à 800 francs à construire ; les grands fours plats de 1,500 à 2,000 francs.

Les petits fours à une porte employés dans le Nord ont une sole elliptique ayant ordinairement 3 mètres de longueur sur 2m,50 de largeur, et la voûte à la clef est à 1m,25 au-dessus de la sole.

Les charges varient avec la durée de la carbonisation ; elles sont de 27,30 ou 32 hectolitres de charbon, présentant une épaisseur sur la sole de 0m,46, 0m,51 ou 0m,54, suivant que l'opération doit durer vingt-quatre, trente-six ou quarante-huit heures

Les cokes de quarante-huit heures sont les meilleurs pour le service des chemins de fer ; ceux fabriqués en moins de temps sont moins durs, moins denses et donnent plus de déchet, c'est-à-dire une plus forte proportion de menu coke.

Les *grands fours plats* ont une sole ovale, présentant aux extrémités du grand axe deux portes par lesquelles s'effectuent le chargement et le déchargement. La sole a de 5m,50 à 6 mètres de long sur 2m,50 à 2m,75 de large, et la hauteur maximum de la voûte au-dessus de la sole est de 1m,25 à 1m,50 ; les charges sont de 40, 70, 80 ou 100 hectolitres, représentant une épaisseur variable de 0m,37 à 0m,80, suivant que la cuisson doit durer vingt-quatre, quarante-huit, soixante douze ou quatre-vingt-seize heures. Le coke le plus dense, le mieux cuit et celui qui fournit le moins de déchet est celui de quatre-vingt-seize heures.

En résumé, pour les houilles du bassin de Mons, la durée de la cuisson la plus convenable pour le coke destiné au service des chemins de fer est de quarante-huit heures, pour la fabrication dans les petits fours plats, et de quatre-vingt-seize heures dans les grands fours.

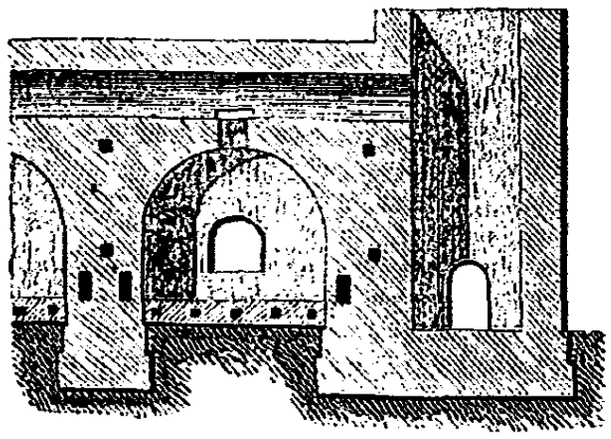
Dans les grands fours que nous venons de décrire, pour une cuisson en quatre-vingt-seize heures, les parois du four sont obscures lors du chargement. Quelquefois même on laisse le four se refroidir une heure ou deux quand il est vide ; la quantité considérable de houille qu'on y introduit le refroidit encore. La chaleur s'est emmagasinée dans la voûte ; la sole n'est point chauffée par dessous et est devenue presque froide. Peu à peu la masse s'échauffe de haut en bas par le rayonnement de la voûte et les gaz commencent à se dégager ; ce n'est qu'au bout d'une heure et demie environ qu'ils s'enflamment ; le dégagement des gaz a lieu lentement, par couches horizontales, en descendant de haut en bas ; quand il arrive aux couches inférieures, les couches supérieures sont en partie déjà transformées en coke ; elles ont pris de la cohésion, et les fissures qu'elles présentent livrent passage aux gaz sans qu'ils causent de boursouflement ; au bout de quarante-huit à soixante heures, le dégagement de gaz a cessé et on ferme hermétiquement toutes les issues. La température qui, vers le milieu de l'opération, s'était élevée grâce à une introduction d'air considérable, descend considérablement ; le coke est presque noir lorsqu'on le retire et il suffit de très peu d'eau pour l'éteindre.

Les frais de carbonisation s'élèvent en moyenne en Belgique, dans les grands fours ci-dessus, à 2 fr. 50 c. par tonne de coke.

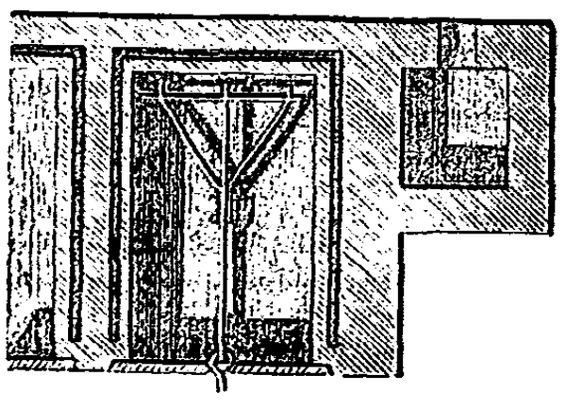
Les fours à coke qui alimentent le chemin de fer de Rouen sont de grands fours plats, dont la sole a 3m,50 de diamètre et la voûte 1m,10 de hauteur maximum au-dessus de la sole. On y charge de 4,000 à 4,500 kilogr. de houille, formant une épaisseur de 0m,55 à 0m,60, et la cuisson y dure soixante-neuf heures. Les frais de fabrication sont évalués à 2 fr. 60 c. par 1,000 kilogr. de coke. Le déchargement s'opère avec de grandes pelles en fer que l'on passe sous la sole au-dessous du coke, de manière à le soulever sans le briser.

Le seul reproche qu'on puisse faire à ces fours est d'exiger pour 2,000 fr. environ d'armatures par four, ce qui en porte le prix à environ 4,000 fr.

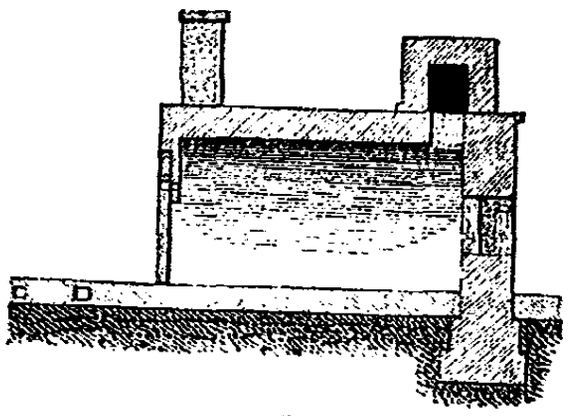
A Boulogne-sur-Mer enfin, on se sert de fours (fig. 3, 4 et 5) dont la construction est très simple : la sole est à peu près rectangulaire et a environ 2m de large sur 4m de long ; du fond à l'entrée elle présente un évasement de 12 à 15 centimètres destiné à faciliter le déchargement du coke. La voûte, en plein cintre, est parallèle au grand axe de la sole et à 1m,75 environ de hauteur à la clef. Le chargement de la houille se



3.



4.



5.

fait à la pelle par une petite porte de derrière, le déchargement par une grande ouverture placée sur le devant, qu'on bouche au moyen d'un petit mur en briques réfractaires, et qu'on démolit au moment de décharger.

Ces fours sont construits d'une manière très remarquable. Au-dessus des fondations s'élèvent deux voûtes en plein cintre sur lesquelles repose la sole. Des conduits pratiqués dans l'épaisseur des pieds-droits établissent une communication entre l'air extérieur de ces voûtes et de petites cheminées qui surmontent chaque

four. Celles-ci restent bouchées pendant toute la durée de la cuisson; on les ouvre seulement à la fin, pour établir un courant d'air chaud et rapide qui enlève toutes les vapeurs qui se sont dégagées. Grâce à ces dispositions, le massif reste parfaitement sec, et, quoiqu'il n'y ait aucune armature et que tout soit en briques, ces fours ne présentent aucune fissure, aucune marque de détérioration soit à l'intérieur, soit à l'extérieur, et n'ont eu besoin d'aucune réparation depuis qu'ils sont construits. Il est vrai qu'ils ont été construits avec des matériaux réfractaires de premier choix. Ces fours sont réunis par groupes de douze. Il y a une cheminée commune pour chaque groupe; un conduit général amène les flammes et les gaz à la cheminée; mais, au moyen d'un registre, on peut intercepter en totalité ou en partie toute communication entre chaque four et le conduit général.

Avant de procéder au chargement, on place au fond du four une forte traverse en fer à laquelle est fixée par le milieu une barre d'attache en fer qui vient se coucher sur le grand axe de la sole; on charge ensuite 4,000 à 4,500 kilogr. de houille et on ferme la porte de derrière; déjà la porte de devant est en partie reconstruite, sauf une grande ouverture laissée pour l'introduction de l'air, le carreau qui fermait l'issue de la voûte par où s'échappent les gaz est retiré tout à fait. Ce chargement, fait par deux ouvriers, dure une heure et demie; ce n'est qu'une ou deux heures après que les gaz commencent à s'allumer. Peu à peu on diminue la quantité d'air introduit en lutant successivement toutes les fentes et ouvertures; au bout de vingt-quatre heures, elles sont presque entièrement bouchées; elles sont entièrement lutées avant quarante-huit heures, ainsi que l'issue même qui servait à l'échappement des gaz; le coke se refroidit en continuant à durcir, et on défourne ordinairement après soixante-douze heures et quelquefois seulement après quatre-vingt-seize heures.

A cet effet, on démolit la partie supérieure de la porte de devant, ainsi que la porte de derrière, par laquelle on introduit un tuyau qui sert à verser une petite quantité d'eau sur les parties de coke les plus chaudes. On achève alors de démolir l'embrasure antérieure, et, à l'aide d'un treuil et d'une chaîne en fer que l'on accroche au T en fer dont nous avons parlé plus haut, on retire tout le coke d'une seule pièce en dehors du four en le faisant glisser sur une plate-forme inclinée.

La principale modification dont ces fours paraissent susceptibles serait de charger la houille par une ouverture ménagée à la voûte, comme cela a généralement lieu dans les fours cylindriques ordinaires, ce qui faciliterait cette opération et produirait une certaine économie de main-d'œuvre.

En résumé, une cuisson lente, jointe à une charge très forte, est le moyen d'obtenir du coke très dur et très dense, quelle que soit la nature de la houille; aussi tend-on tous les jours à augmenter les dimensions des fours et le poids de la charge : en Angleterre, on se sert actuellement, sur certains chemins de fer, de fours dont la sole a une surface de 9 mètres carrés et où la charge de 100 hectolitres, soit 8,000 kilogrammes de houille, forme une épaisseur de $1^m,25$; la cuisson s'y fait en quatre-vingt-seize heures.

Réciproquement, avec les mêmes houilles et avec les mêmes fours, en faisant des charges moins fortes, donnant beaucoup d'air et élevant par suite la température de manière à effectuer la cuisson en quarante-huit, vingt-quatre et même douze heures, on obtient des cokes de plus en plus légers et friables, suivant l'usage auquel on les destine. P. DEBETTE.

COLCOTHAR, ROUGE D'ANGLETERRE (*angl.* colcothar, *all.* kolcothar). Oxyde rouge de fer, obtenu comme résidu de la distillation du sulfate de peroxyde de fer, dans les fabriques d'acide sulfurique fumant, ou préparé simplement par la calcination du sulfate de fer. Il est en poussière rouge-brunâtre sans éclat; on le réduit par porphyrisation et lévigation en poudre extrêmement ténue employée pour polir. En chauffant dans un creuset 100 parties de sulfate de fer et 42 de sel marin, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'acide hydrochlorique, et reprenant par l'eau bouillante pour dissoudre le sulfate de soude, on obtient un résidu d'oxyde de fer en paillettes très éclatantes d'un gris d'acier rougeâtre qui, réduit en poussière très ténue, donne une excellente poudre à polir.

Le rouge le plus fin s'obtient en précipitant une dissolution de sulfate de fer, ramené à l'état de sel de peroxyde par l'ébullition avec de l'acide nitrique, par une solution de carbonate de soude; le précipité est du sous-sulfate de peroxyde de fer, que l'on lave avec soin, que l'on dessèche, que l'on porphyrise, et que l'on chauffe ensuite au rouge dans une capsule plate jusqu'à ce qu'il prenne une teinte d'un rouge brun foncé.

Le rouge d'Angleterre sert à polir l'acier, l'or et les glaces; celui destiné à polir l'or doit être très faiblement calciné, afin de conserver un certain degré de mollesse, tandis que celui employé pour donner le poli à l'acier doit avoir été très fortement calciné, afin de posséder la plus grande dureté possible. Plus la calcination a été poussée loin, plus la dureté est grande, et plus aussi la couleur se fonce et tire sur le violet.

COLLE A BOUCHE. La colle à bouche est une matière gélatineuse, sèche, que l'on emploie à froid pour coller le papier sur les planches à dessiner, ou pour réunir plusieurs feuilles de papier les unes à la suite des autres. On la prépare en faisant macérer dans une petite quantité d'eau de la colle de Flandre de belle qualité, puis chauffant pour opérer la dissolution de la colle, ajoutant alors 10 p. 100 de son poids de sucre blanc en poudre, continuant à chauffer jusqu'à ce que la masse soit devenue transparente et homogène, retirant du feu et aromatisant avec de l'essence de citron lorsqu'elle est prête à se figer par le refroidissement, puis la coulant dans des moules de forme rectangulaire.

Lorsque la colle est entièrement figée et qu'elle a acquis la forme d'une gelée très-consistante, on la détache du moule, en renversant ce dernier sur un plan horizontal bien dressé, et on la découpe en feuilles de 6 millimètres au moins d'épaisseur, en allant de haut en bas, au moyen d'un fil de cuivre très mince, tendu horizontalement à la partie inférieure d'un assemblage de trois pièces de bois formant un cadre rectangulaire, dont le fil métallique occupe le quatrième côté; ce cadre se meut à coulisse dans une autre cadre n'ayant aussi que trois côtés assemblés d'une manière très solide. Le fil de cuivre glisse en dehors du deuxième cadre, et peut être amené à toutes les hauteurs désirables en levant ou abaissant le cadre qui le porte dans la coulisse du second cadre, qui doit être appuyé sur le plan horizontal; il suffit alors de l'y promener de manière à ce que le fil rencontre la colle, pour que celle-ci soit coupée régulièrement, si l'on a soin de tenir le premier cadre toujours vertical ou de l'incliner d'une quantité toujours égale.

Lorsque la colle est coupée en feuilles horizontales, on divise celles-ci en long et en travers pour obtenir des morceaux de grandeur convenable, que l'on fait ensuite sécher d'abord à l'air libre, puis dans une étuve, sur des plaques de fer-blanc légèrement amalgamées à la surface avec du mercure, pour que la colle ne puisse s'y attacher.

Pour employer la colle à bouche, on la ramollit dans la bouche en l'imprégnant d'une petite quantité de salive, puis on la pose entre les parties que l'on veut co-

ler, et que l'on en enduit en lui donnant un mouvement de va-et-vient; il suffit ensuite de frotter rapidement ces parties avec un corps dur et lisse, pour qu'elles adhèrent fortement ; entre le frottoir et le papier que l'on veut coller, il faut placer une bande de papier commun pour empêcher que le premier ne soit lissé ou déchiré.

COLLE DE PATE (*angl.* paste, *all.* kleister). La colle de pâte se fait avec de l'eau et de la farine ; celle de blé n'est employée que lorsqu'elle est avariée ou à très bas prix ; on préfère celle de seigle qui coûte moins cher et ne se dessèche pas autant. Pour la préparer, on délaie d'abord la farine avec très peu d'eau, afin qu'il ne se forme pas de grumeaux, puis on en ajoute assez pour former une espèce de bouillie très claire; on chauffe alors en ayant soin d'agiter continuellement pour que la farine ne se dépose pas, et pour qu'elle ne puisse brûler ; la masse s'épaissit quand elle a acquis une température de 70 à 75°, et l'opération est terminée après quelques bouillons. On réussit mieux à préparer cette colle quand on achève de délayer la farine avec de l'eau bouillante : elle s'épaissit rapidement, il faut la laisser moins longtemps sur le feu, on risque moins de la brûler, et elle coûte moins de main d'œuvre. Dans tous les cas, il y a avantage à la préparer au bain-marie.

La colle de pâte est employée pour le collage du papier de tenture, celui des affiches, pour le cartonnage, etc.; en général, elle ne peut servir que pour le papier.

COLLE DE POISSON, ICHTHYOCOLLE (*angl.* isinglass, *all.* hausenblase). La colle de poisson, telle qu'on la trouve dans le commerce, se compose de membranes jaunâtres demi-transparentes, très peu colorées, et roulées sur elles-mêmes en forme de fuseaux allongés, n'ayant tout au plus qu'un centimètre de diamètre vers le milieu de leur longueur qui est de 5 à 8 centim.; cette espèce de cordon est pliée circulairement, et chacune de ses extrémités est repliée en sens contraire de la grande courbure et dans le même plan, disposition qui rappelle la forme d'une lyre.

La colle de poisson de bonne qualité est tout à fait inaltérable à l'air sec ; elle a une saveur fade, à peine sensible ; elle se gonfle et se ramollit dans l'eau froide; si on porte ensuite l'eau à l'ébullition, elle se dissout, et par le refroidissement on obtient une gelée incolore demi-transparente, soluble dans les acides faibles, mais qui est précipitée de cette dissolution par les alcalis. C'est de la gélatine presque pure, et si elle n'est pas cassante comme la colle-forte, cela tient à sa texture fibreuse et élastique qui n'a pas été détruite par l'action de la chaleur; elle est d'autant plus estimée que sa couleur est plus pâle.

La colle de poisson se prépare avec les vessies natatoires de quelques espèces d'esturgeons, et particulièrement de l'*acipenser huso* que l'on pêche sur les côtes de la mer Caspienne et dans tous les fleuves qui s'y jettent. Dans ces pays, et particulièrement à Astracan, on trempe d'abord ces vessies dans de l'eau, on enlève soigneusement la membrane extérieure et le sang qui y est attaché, on les met dans des sacs en chanvre que l'on comprime, on les ramollit entre les mains et on les roule en cordons auxquels on donne ensuite la forme d'une lyre. Enfin on les étend au soleil, sur des ficelles, pour les faire sécher, et on les blanchit quelquefois en les soufrant.

Dans quelques districts de la Moldavie, on emploie à la fabrication de la colle de poisson non seulement les vessies natatoires, mais encore la peau, l'estomac et les intestins des esturgeons, que l'on coupe en petits morceaux que l'on lave à l'eau froide, et que l'on fait ensuite bouillir avec de l'eau jusqu'à dissolution presque complète; par le refroidissement, on obtient une gelée consistante que l'on divise en feuilles minces que l'on fait ensuite sécher, et que l'on trouve dans le commerce soit à cet état, soit roulées en lyre; dans tous les cas, le produit ainsi obtenu a une valeur commerciale très inférieure à celle de la véritable colle de poisson préparée comme nous l'avons dit.

Les vessies natatoires de la morue et de plusieurs autres poissons servent aussi à préparer une colle de poisson factice que l'on trouve dans le commerce, mais qui est généralement très peu soluble dans l'eau bouillante, et par conséquent de très mauvaise qualité.

Les propriétés de la colle de poisson sont les mêmes que celles de la gélatine pure et son emploi est très répandu ; on s'en sert pour le collage des vins, des liqueurs; sa texture organique permet de l'employer pour le collage de la bière, où il ne se trouve pas de tannin pour précipiter la gélatine et où les colles de gélatine ordinaires ne peuvent la remplacer. 4 parties de colle de poisson dissoutes dans 100 p. d'eau donnent une gelée claire très employée dans l'art culinaire; mêlée avec une dissolution de gomme, elle sert à l'apprêt des rubans et d'autres soieries. Les fabricants de perles artificielles l'emploient pour fixer la dissolution d'écailles d'ablettes dans l'ammoniaque, dans les globules de verre creux qui constituent ces perles. Les Turcs fixent leurs pierres précieuses au moyen d'une dissolution alcoolique d'un mélange de colle de poisson et de gomme ammoniaque, combinaison qu'ils emploient aussi pour raccommoder la porcelaine et les verres cassés.

La colle de poisson sert à la fabrication du TAFFETAS D'ANGLETERRE ; on l'emploie pour fabriquer des vitres de navires que l'on recouvre d'un vernis transparent et inaltérable à l'air humide, et qui sont d'un très bon usage.

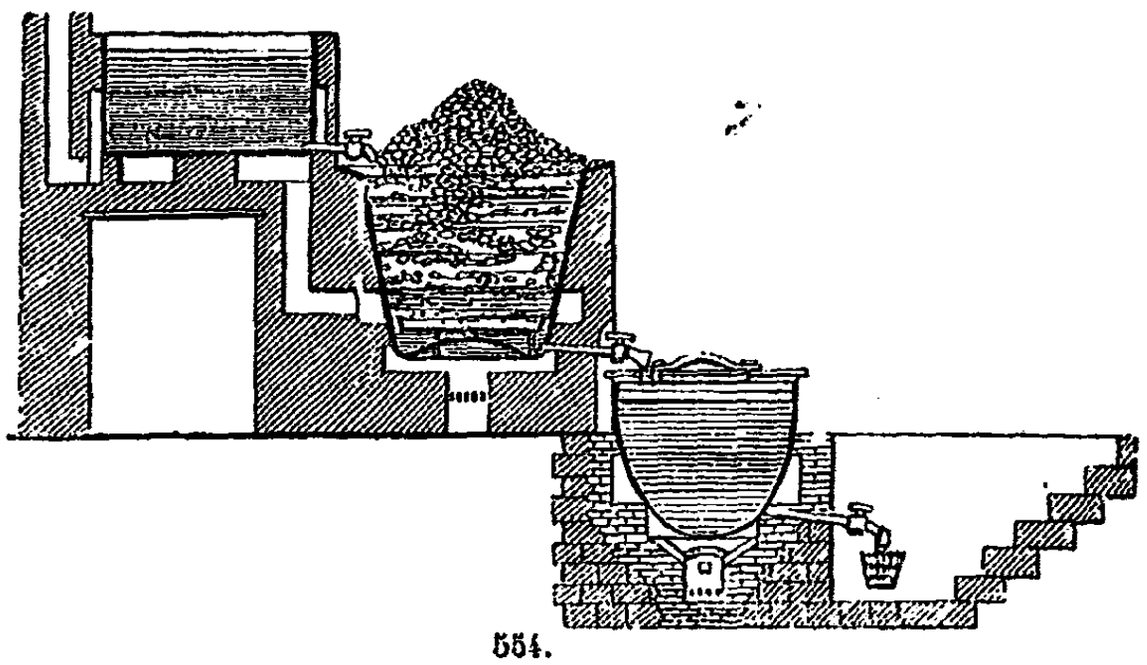
COLLE-FORTE, COLLE DE GÉLATINE (*angl.* glue, *all.* leim). Depuis un temps immémorial, on prépare la colle-forte avec des rognures de peaux et des matières animales molles. M. Darcet a fait voir que les os convenablement traités peuvent donner de la colle-forte qui ne le cède en rien à la colle obtenue par les anciens procédés qui sont le plus généralement employés. Mais le procédé qui consiste à traiter les os par l'acide hydrochlorique peut seul donner de pareils résultats; quant à l'autre, où les os sont soumis en vases clos à l'action de l'eau ou de la vapeur à haute pression, la haute température dont on fait usage pour l'extraction de la gélatine, altère nécessairement celle-ci ; le produit obtenu n'a pas la même qualité collante et est toujours plus ou moins soluble dans l'eau.

Les matières animales molles qui peuvent donner de la colle-forte sont très nombreuses ; les plus employés sont : les débris et rognures de peaux non tannées, les tendons, les intestins, et même les muscles de tous les animaux ; en un mot toutes les subsistances animales qui donnent de la gélatine par une simple ébullition avec de l'eau.

Voici, d'après le savant M. *Dumas*, le rendement en colle fabriquée de quelques-unes de ces *colles-matières* :

Débris de peaux provenant de la mégisserie, et dépouillées de graisses et de parties charnues. . . .	0,44 à 0,46
Épiderme des peaux provenant de la préparation de la buffleterie. .	0,30 environ
Rognures des cuirs de l'Amérique du Sud.	0,56 à 0,60
Gros tendons de bœufs, avec portions de muscles, etc. . . .	0,35
Rognures de parcheminerie. . .	0,62
Rognures de tannerie.	0,38 à 0,42
Têtes de veaux provenant des tanneries.	0,44 à 0,48
Peaux de lièvre et de lapin épilées.	0,51

Toutes les fois que les colles-matières fraîches ne sont pas employées de suite à la préparation de la colle-forte; il faut, pour en prévenir l'altération, les faire macérer pendant deux à trois semaines dans un lait de chaux que l'on renouvelle plusieurs fois; puis les égoutter et les faire sécher en plein air, en les retournant plusieurs fois par jour à l'aide d'une fourche; et les emballant enfin pour les expédier aux fabricants de colle. L'eau de chaux sert à dissoudre le sang et quelques parties molles; elle attaque l'épiderme et prédispose le tissu à se transformer plus rapidement en gélatine.



554.

Avant d'employer ces colles-matières, on les immerge de nouveau dans un lait de chaux faible, qui les débarrasse encore de quelques matières animales solubles. Lorsqu'elles sont bien gonflées et pénétrées, on les rince à l'eau, à plusieurs reprises, pour leur enlever l'excès de chaux; puis on les étend sur des dalles en pierre, ou mieux sur des claies, et on les retourne de temps en temps, afin de carbonater la chaux libre qui pourrait altérer la gélatine au moment de l'extraction.

Les colles-matières ainsi préparées sont portées immédiatement dans la chaudière d'extraction; celle-ci est en cuivre ou en fer; elle est placée directement au-dessus du foyer, et son fond, bombé intérieurement pour résister à l'action du feu, et muni à sa partie la plus déclive, d'un robinet qui sert à soutirer la solution gélatineuse. Elle est munie d'un double fond percé de trous et facile à enlever, qui sert à empêcher le contact immédiat des matières avec le fond de la chaudière.

Les colles-matières étant portées dans la chaudière, qu'on remplit comble, on y introduit de l'eau jusqu'aux 2/3 de sa hauteur; si l'eau est déjà chaude, l'opération n'en marche que plus vite et il en résulte une économie sur le combustible; aussi, utilise-t-on, dans quelques usines, les produits de la combustion, qui s'échappent des carneaux de la chaudière, pour chauffer à flammes perdues une seconde chaudière remplie d'eau et assez élevée, pour qu'on puisse la vider entièrement dans la première. Tout étant disposé, on allume le feu sous la chaudière d'extraction. Dès que l'ébullition commence à se faire sentir, les matières s'affaissent peu à peu, le liquide augmente de volume et finit par les submerger entièrement. Il convient alors de renouveler les surfaces de temps en temps en agitant les matières avec une spatule en bois. On soutire même par le robinet du fond de la chaudière une partie de la dissolution qu'on reverse sur la surface. On termine ensuite l'opération soit en fractionnant les produits de la dissolution de manière à ce qu'ils restent le moins longtemps possible sur le feu, soit en ajoutant, en une seule fois, toute la quantité d'eau nécessaire pour dissoudre la gélatine, et prolongeant la cuite des matières jusqu'à ce qu'elles soient presque entièrement fondues. Le premier procédé donne les produits les plus tenaces, et de la meilleure qualité, comme la colle de Flandre; l'autre donne des produits d'assez belle apparence, telle que celle de Givet, et les colles façon anglaise, mais de moindre qualité, parce que la gélatine qui a été extraite dans les premières heures de l'opération reste exposée jusqu'à la fin, à la température de l'ébullition et s'altère inévitablement.

Lorsqu'on opère par la méthode des produits fractionnés, on emploie l'appareil représenté (fig. 554), qui se compose de trois chaudières en cascade. La chaudière inférieure est un bain-marie servant à la clarification de la colle, la chaudière intermédiaire, également chauffée par un foyer particulier, sert à l'extraction de la colle; enfin, la chaudière supérieure chauffée, à flammes perdues, sert à échauffer l'eau d'alimentation. Dès que la dissolution gélatineuse est assez concentrée pour se prendre en gelée consistante par le refroidissement, ce dont on s'assure par un essai, on arrête le feu, on laisse reposer pendant 1/4 d'heure, puis on soutire doucement par le robinet du fond dans la chaudière inférieure chauffée d'avance au bain-marie à 100°, où on laisse la colle déposer pendant 4 à 5 heures, avant de la soutirer pour la mouler. Pendant que le dépôt se fait on remplit de nouveau la chaudière d'extraction d'eau chaude contenue dans la chaudière supérieure, et on continue l'ébullition jusqu'à ce que l'on ait obtenu une seconde solution gélatineuse assez concentrée pour se figer par refroidissement. Enfin, on répète une troisième fois l'opération; mais comme le liquide que l'on obtient n'est plus assez dense pour se prendre en masse, on le concentre par l'addition des rognures de colle d'une opération précédente. Lorsque cela ne suffit pas, on évapore vivement la solution. Quant aux résidus, on les retire immédiatement de la chaudière, on les exprime encore chauds et l'on réunit le liquide qui s'en écoule à celui de la troisième cuite. Enfin, lorsque cette dernière solution est assez concentrée, on la clarifie en y ajoutant peu à peu 1/500 d'alun en poudre en agitant vivement, et laissant déposer pendant 4 à 5 heures avant de soutirer.

Les trois cuites successives donnent évidemment des colles de qualités différentes; cependant, les colles des deux dernières cuites sont encore supérieures à celles de Givet. Pour préparer les colles de Givet, on ajoute de suite dans la chaudière d'extraction une quantité d'eau suffisante, pour que la solution de la presque totalité de la gélatine contenue dans la colle-matière atteigne, après la cuisson, un degré de concentration suffisant pour se prendre en masse par le refroidissement. On écume la matière graisseuse mêlée de chaux, qui se sépare pendant l'ébullition; on soutire avec précaution le liquide dans la chaudière inférieure, aussitôt que la cuisson est terminée. On clarifie la solution, en y ajoutant 1/650 de son poids d'alun en poudre, on maintient pendant une heure à l'ébullition, puis on retire le feu, on couvre la chaudière et on laisse reposer le liquide chaud pendant quelques heures, avant de le soutirer dans les moules.

Les moules dans lesquels on reçoit la solution gélatineuse sont ordinairement en bois de sapin, rectangulaires, et ont une forme légèrement pyramidale pour

que l'on puisse facilement en détacher le contenu. Ces moules doivent être maintenus très propres, afin de ne pas altérer la qualité de la colle. On les remplit à ras, à l'aide d'un large entonnoir à fond plat dans l'intérieur duquel on met un petit tamis pour réunir les impuretés de la colle que l'ouvrier verse avec un seau. Les moules sont placés sur un dallage en pierre légèrement incliné vers une cuvette, de manière à pouvoir recueillir la gélatine tombée à côté. L'atelier dans lequel ils sont placés doit être maintenu à une température aussi basse que possible, afin que la colle se prenne plus rapidement en gelée, ce qui a ordinairement lieu au bout de 12 à 18 heures ; on monte ensuite les moules dans les étages supérieurs, disposés en séchoirs à air libre ; on détache les pains de gélatine des moules au moyen d'une grande lame de couteau trempée dans l'eau, et on les renverse sur une table mouillée d'avance avec une éponge. On divise alors les pains en feuilles horizontales au moyen d'un fil de cuivre tendu sur un châssis, et guidé par des règles entaillées à des distances égales à l'épaisseur d'une feuille de colle ; on divise ensuite de la même manière ces premières feuilles en long et en travers, selon les dimensions en surfaces que l'on veut donner aux feuilles de colle. On dispose ensuite ces feuilles sur des filets tendus sur des châssis que l'on place les uns au-dessus des autres à 8 ou 10 centimètres de distance, en les faisant glisser sur des tasseaux en bois, fixés sur des montants verticaux. Pour rendre l'action de l'air plus égale, on a soin de retourner la colle 2 ou 3 fois par jour.

La dessiccation de la colle-forte est une des parties les plus délicates de la fabrication. La température extérieure, l'état de l'atmosphère influent singulièrement sur le produit, surtout pendant les premiers jours. Une température trop élevée ramollit la colle qui passe à travers les mailles, et adhère si fortement aux cordes qu'on est obligé de tremper les filets dans l'eau bouillante pour la retirer. La gelée en condensant l'eau interposée fait fendiller les feuilles, et, dans ce cas, on est presque toujours obligé de refondre la colle. Un orage, l'état électrique de l'atmosphère, suffisent pour faire tourner toute une portée de colle, même celle qui se trouve depuis 2 à 3 jours sur les filets, auquel cas, il y a une perte énorme. Un brouillard, même très léger, si on le laisse s'introduire dans le séchoir, pique la colle, lui ôte de sa valeur, et oblige même souvent à la refondre en totalité ou en partie. Un vent sec et chaud dessèche trop rapidement la colle, et la fait fendiller partout, par suite du retrait qu'elle éprouve. Il faut donc, autant que possible, éviter de travailler par les grandes chaleurs et pendant les grands froids : les saisons les plus favorables sont le printemps et l'automne.

En sortant du séchoir à air libre, la colle conserve encore trop de souplesse pour être livrée au commerce ; on achève sa dessiccation dans une étuve. Enfin, on la lustre en plongeant une à une les feuilles sèches dans un baquet plein d'eau chaude, les frottant vivement avec une brosse humide, et les plaçant au fur et à mesure sur une claie qui est portée à l'étuve ; quelques heures suffisent pour chasser l'eau dont les tablettes ont été mouillées, et on peut alors les mettre en tonneaux et les expédier au loin.

Lorsqu'on veut préparer la colle au moyen des os, on peut employer l'action des acides ou celle de la vapeur, comme nous le décrirons plus en détail à l'article GÉLATINE.

Le premier procédé employé pour la première fois en grand, en 1812, par M. d'Arcet, consiste à traiter les os par de l'acide hydro-chlorique très étendu, qui dissout complétement les sels calcaires (carbonate et phosphate de chaux) qu'ils renferment, et laisse pour résidu le tissu cellulaire qui, tout en conservant la forme primitive de l'os, est devenu transparent et flexible, et

que l'on lave avec soin à l'eau froide pour enlever les dernières traces d'acide ; pour plus de sûreté, on les fait même ordinairement macérer pendant plusieurs jours dans un lait de chaux ou dans une faible solution de carbonate de soude. Les os doivent être préalablement dégraissés en les coupant par morceaux et les faisant bouillir avec de l'eau, enlevant la graisse qui se rassemble à la surface, puis les faisant égoutter. Avant de préparer de la colle-forte avec les os ramollis, il est nécessaire de les faire sécher complétement et de les emmagasiner jusqu'à l'époque la plus convenable à cette fabrication ; sans cela les produits obtenus seraient de moindre qualité, ce qui paraît tenir à la nécessité de laisser à la chaux, que retiennent toujours les os ramollis, le temps de se carbonater. A Bouxvilliers, pour convertir en colle-forte les matières desséchées, on les fait bouillir dans des chaudières en cuivre ou mieux en tôle et même en fonte, à l'air libre, à trois reprises différentes, pour que l'épuisement soit plus complet et la dissolution plus concentrée, par la méthode des produits fractionnés que nous avons déjà décrite. La colle-forte ainsi obtenue est d'excellente qualité, et est même supérieure aux colles extraites des peaux d'animaux. On compte en grand qu'on dépense un poids d'acide hydro-chlorique égal à celui des os, et que l'on obtient 22 à 23 p. 100 de colle lorsqu'on a traité des cornillons ou des os de la tête et du crâne, et 14 à 15 p. 100 pour les autres os. Dans les mêmes circonstances le procédé à la vapeur à haute pression qui nous reste à décrire, ne donne que 10 à 15 p. 100 de colle-forte d'assez mauvaise qualité ; malgré cette grande différence, il est le plus généralement employé, ce qui tient d'une part à ce que les fabricants de soude peuvent seuls avoir l'acide hydro-chlorique à bas prix, et de l'autre à ce que les os que l'on obtient en résidu par le dernier procédé peuvent encore servir à la préparation du noir animal.

Ce procédé, inventé par M. d'Arcet en 1817, consiste à exposer à l'action de la vapeur d'eau à la température maximum de 106°, produite dans un générateur isolé, les os concassés et renfermés dans un cylindre en toile métallique placé dans l'intérieur d'un cylindre en fonte hermétiquement fermé, dans lequel on règle l'arrivée de la vapeur du générateur au moyen d'un robinet qui permet de modérer la température et de faire varier à volonté la durée de l'opération. La vapeur que l'on fait arriver dans les cylindres pénètre les os, expulse la graisse, puis détermine la transformation du tissu cellulaire en gélatine. Celle-ci se dissout immédiatement dans la vapeur condensée et s'écoule au fur et à mesure dans la partie inférieure du cylindre, d'où on la soutire par un robinet. On évapore ensuite rapidement à une température aussi basse que possible, dans des chaudières plates, la solution gélatineuse, jusqu'à ce qu'elle ait atteint un degré de concentration suffisant pour le prendre en masse consistante, on la laisse déposer et on la moule comme à l'ordinaire. Voy. GÉLATINE.

Les colles bien fabriquées sont peu ou point colorées, assez claires, à cassure conchoïde, les bords des feuilles sont un peu ondulés ; plongées dans l'eau froide elles se gonflent beaucoup sans se dissoudre ; on ne peut guère les obtenir que par la méthode des produits fractionnés. Celles obtenues par l'autre méthode sont toujours moins tenaces et plus ou moins solubles dans l'eau. Elles sont quelquefois si mal fabriquées, qu'elles attirent fortement l'humidité de l'air. La colle dite de Paris ou des chapeliers en est un exemple frappant.

D'après M. Dumas, on peut résumer le classement des colles du commerce de la manière suivante, qui rattache étroitement leurs qualités à leurs provenances :

1° *Colles-fortes obtenues au moyen des os traités par les acides.* Ce sont les meilleures colles ; la grenetine et les colles de Rouen et de Bouxvillers en donnent une idée.

COLORATION DES BOIS.

2° *Colles-fortes provenant de peaux d'animaux sauvages.* Elles sont très bonnes et renferment les bonnes colles de Hollande, de Flandre, la colle anglaise, la colle de Givet, etc.

3° *Colles-fortes provenant de peaux d'animaux domestiques.* Elles sont très faibles; les colles d'Alsace, d'Allemagne et de Paris appartiennent à cette catégorie.

4° *Colles-fortes obtenues des os traités par la vapeur.* Ce sont les plus mauvaises, et elles se dissolvent toutes plus ou moins dans l'eau froide.

Les emplois de la colle-forte sont trop connus pour qu'il nous soit nécessaire de nous y arrêter ici; les qualités supérieures remplacent avec économie la colle de poisson dans la plupart de ses applications.

COLORATION ET CONSERVATION DES BOIS. Les bois se conservent très longtemps lorsqu'ils ont été abattus dans la saison favorable, lorsque après l'abattage ils ont été mis dans des lieux ni trop secs ni trop humides, et dans des conditions telles, que l'évaporation de la sève et de l'eau qu'ils contiennent a pu se faire lentement et entièrement; enfin, lorsque, après avoir été séchés, ils sont gardés avant comme après leur mise en œuvre dans des endroits où ils ne se trouvent exposés ni à une trop grande sécheresse ni à l'humidité. Nous allons examiner l'une après l'autre chacune de ces propositions.

L'abattage. Plus un bois sera près de l'époque où il aura acquis toute la plénitude de sa force, et passé laquelle il commence à dépérir, plus il sera fort et de garde s'il est abattu dans ce moment. Nous ne saurions déterminer pour chaque essence de bois quelle est cette époque, il y a tant d'espèces diverses! et, dans chaque espèce, le climat, le sol, la position, ont des influences si marquées! Nous devons donc renoncer à entrer dans une exploration des individus et des détails, qui ne pourrait être convenablement placée que dans une monographie. Nous dirons seulement que, en général, l'âge des arbres peut être estimé *extérieurement* par leur simple inspection. Si l'écorce est saine et égale dans toutes ses parties, si les feuilles venues de bonne heure au printemps, ne tombent que très tard en automne, si ces feuilles sont abondantes jusque dans les rameaux les plus élevés, si les branches qui sortent du tronc sont rondes, lisses et droites, on peut conjecturer que l'arbre est dans toute sa force, en ayant égard toutefois à la grosseur du tronc, à l'âge de l'arbre, et aux enseignements de l'expérience en cette matière; car, l'âge d'un orme, n'est pas l'âge d'un chêne; celui d'un chêne, n'est pas l'âge d'un peuplier, et ainsi de suite. L'inspection de l'*intérieur* peut aussi, et plus sûrement peut-être, servir de guide pour l'appréciation du moment opportun de l'abattage; mais il ne faut pas qu'il s'agisse seulement d'un individu, car une fois mis à bas, il serait trop tard pour s'instruire, il faut qu'on ait à s'assurer si une coupe entière peut être faite. Dans ce cas on expérimente sur un sujet, pour s'assurer de l'état des autres. Quand un arbre est abattu et scié transversalement près de la souche, on examine le grain du bois: s'il a peu d'aubier, si le cœur est sain, si les couches annuelles concentriques sont bien visibles et si le tissu ligneux est bien égal, on peut conclure que l'arbre est arrivé à toute sa croissance, et on le peut d'autant mieux, que, dans nos climats, les couches concentriques sont un indice à peu près assuré de l'âge de l'arbre; or en comptant ces couches on aura le nombre des années de l'individu, et en s'en rapportant à l'âge que l'expérience accorde à chaque espèce, on aura une connaissance suffisamment approximative.

En comptant les couches concentriques inscrites dans le cœur de l'arbre, il ne faut faire cas que de celles qui sont bien distancées entre elles. Souvent, lorsque la sève d'automne a été abondante, il s'est formé une couche médullaire étroite, quelquefois partielle et presque adhérente à la ligne principale, dans le calcul les deux couches ne doivent compter que pour une année, et comme quelques couches sont toujours perdues près de l'écorce dans l'extrême aubier, on peut toujours ajouter quatre ou cinq ans au nombre donné par les couches. Comme une, deux ou trois années de plus ou de moins importent peu dans ce cas, on aura donc toujours une connaissance assez complète de l'âge de l'arbre.

L'abattage doit-il être fait en hiver, en été, en automne ou au printemps? Chaque pays a son opinion; chaque siècle a eu la sienne. La science ne nous dit rien à cet égard; tant de livres ont été faits pour ou contre telle ou telle opinion, que nous estimons qu'il est impossible de rien déterminer d'absolu, de général, en cette importante partie, et que le plus sûr est peut-être de consulter les anciens de la localité, les ouvriers, les bûcherons. Les avis varieront sans doute avec les localités; mais cette variation dans les idées ne devra pas toujours être considérée comme une preuve de l'erreur, mais comme une preuve que les localités, les climats différents, peuvent apporter des modifications dans une même essence de bois. Sans faire part à nos lecteurs de toutes les observations physiologiques qui ont été faites à ce sujet, nous leur dirons seulement que l'opinion de l'abattage en hiver est celle qui a réuni le plus grand nombre d'approbateurs.

Le bois écorcé un an avant l'abattage devient très dur; son aubier acquiert les mêmes propriétés que le bois fait, ce qui augmente d'un sixième environ, pour certaines essences, le produit réel de l'arbre. On remarque aussi que ce bois écorcé, qu'on nomme *pelard* dans les ventes, est plus lourd, plus dur, que le bois sous écorce, et qu'il est moins sujet à être attaqué par les vers; mais nous devons dire qu'il est bien plus sujet à se fendiller, et qu'il se gerce quelquefois à ce point qu'il n'est plus bon qu'au chauffage.

Nous avons personnellement essayé une autre méthode; nous avons étêté plusieurs arbres à l'endroit de la bifurcation des premières branches, et laissé encore un an ce bois sur pied, et non privé de son écorce; nous avons réussi à avoir d'excellent bois très compacte, très dur, peu ou point sujet à la fente: mais ceci n'est qu'une expérience individuelle, faite seulement sur des arbres fruitiers, et non encore sanctionnée par une longue expérience. Cependant, le succès obtenu nous engage à la consigner ici, afin qu'entrée dans le domaine de l'exploitation publique, elle puisse être répétée, suivie, étendue.

On fera bien, toujours après avoir abattu des arbres, de les ébrancher, de couper de très près le chevelu des racines, et dans cet état de les immerger dans un courant d'eau douce; mais de telle sorte que l'arbre ne soit plongé que jusqu'à la moitié ou même au tiers de la hauteur du tronc, et placé dans une position verticale, ou inclinée sur le bord du talus du fossé. Si les arbres ont été abattus aux approches du printemps, on verra quelques pousses de feuilles lorsque la chaleur de l'atmosphère se fera sentir. Ces feuilles, et même les brindelles qui pourraient croître, seraient un indice qu'on aurait bien opéré. Cette végétation limitée prouve que l'arbre pompe l'eau par les racines coupées, et qu'il se fait à l'intérieur un travail de végétation. Si on laisse les arbres dans cet état pendant l'été, ils ne se fendront pas. Et à l'automne, lorsqu'on les retirera de l'eau et qu'on les abritera contre les rayons du soleil et les atteintes de la pluie, ils sécheront lentement; une grande partie de la sève, qui est essentiellement fermentescible, ce qui est toujours cause de l'échauffement des bois et de la dégénérescence hâtive qui s'y fait remarquer, aura été chassée par l'eau aspirée par les racines, une autre partie se sera dispersée, car la sève est soluble dans l'eau froide. Par ce moyen, d'une exécution très facile, les bois seront d'un bon usage, seront bien moins sujets

COLORATION DES BOIS.

à la fente et à la vermoulure ; les gros vers l'attaqueront moins, et ils pourront être conservés jusqu'au printemps suivant, époque où il sera convenable de les écorcer, par les motifs qui seront exprimés plus bas.

Il faut faire bien attention que ce procédé que nous indiquons, et dont l'idée nous a été donnée par les belles expériences de M. *Boucherie*, dont nous dirons quelques mots plus bas, diffère entièrement de l'immersion totale qu'on avait l'habitude de faire dans certaines contrées dans les courants d'eau douce. Les bois ainsi plongés étaient envahis de tous côtés par l'eau qui tendait à les pénétrer par les deux bouts, et comme l'effort était le même de chaque côté, l'eau ne pouvait s'introduire dans les pores, la sève s'y trouvait emprisonnée, elle s'y coagulait, s'y corrompait, et occasionnait la corruption du bois, au lieu que dans la position que nous indiquons, la majeure partie de l'arbre étant hors de l'eau, la capillarité du bois et l'absorption de l'air font monter l'eau, qui, quelquefois, lorsqu'il s'agit de bois poreux et lorsque les arbres sont inclinés entre 30 et 40 degrés, exsude par la section des branches.

Séchage. Dès que l'arbre est couché par terre, il convient de l'exhausser au-dessus du sol, quelle que soit la nature de ce sol, en le faisant porter soit sur des chantiers, soit, à leur défaut, sur des pierres. Quelques personnes suivent une marche diamétralement opposée : ils laissent les bois sur terre, les couvrent en partie de sable, s'il s'en trouve à leur portée, ou, à défaut de l'ensablement, amassent la terre et laissent croître les herbes autour du bois ; ils prétendent en agissant de la sorte conserver au bois une fraîcheur qui l'empêche de sécher trop promptement et de se fendiller ; mais en évitant de faire gercer le bois, ils le font s'échauffer, ce qui est un inconvénient bien plus grave, car l'échauffement altère profondément le bois, le dénature, le prive de son ressort, de son liant, de sa fermeté. Il est donc préférable de risquer l'invasion de quelques fissures, et encore en agissant avec prudence on parviendra, dans la majorité des cas, à les éviter.

Les bois couchés horizontalement sur des chantiers, espacés les uns des autres, si on leur a conservé l'écorce, juxta posés, si ce sont des pelards, ne devront pas être laissés découverts, car les alternatives de la pluie et de la sécheresse, de la rosée et du hâle, de la fraîcheur de la nuit et de la chaleur du jour, leur seraient contraires, et seraient des causes déterminantes de gerce et de fente. Si donc on ne doit faire qu'une assise, il sera prudent de couvrir ces bois de planches ou de joncs, et d'englaiser les pelards ; mais ordinairement on empile les bois, et cette méthode est préférable. Ainsi donc, après avoir fait une assise, dont les brins seront espacés d'un décimètre pour le moins, on mettra une seconde assise croisant la première, et ainsi de suite jusqu'à l'entière élévation de la pile, qu'on terminera par une espèce de toit incliné, en planches, comme le font les menuisiers dans leurs chantiers. Les bois ainsi placés resteront une année à sécher. L'année suivante la dessiccation principale sera faite. Le bois n'a jamais de retrait que sur son diamètre, sa longueur reste en partie invariable ; et comme l'écorce n'est pas aussi sujette que le bois au retrait, il arrivera que son adhérence au bois sera détruite et qu'elle s'enlèvera aisément. On fera donc bien de défaire la pile, d'enlever toutes les écorces qui ne sont plus adhérentes, d'écorcer grossièrement et jusqu'au liber seulement, les bois qui n'auront pas quitté leur écorce, et de refaire la pile en mettant en bas les bois du haut, *et vice versâ*, en ayant soin, cette fois, de ne laisser aucun espace entre les morceaux qui devront se toucher ; car ces bois, privés de l'écorce, seront bien plus sujets à se fendre lorsqu'ils seront saisis par le hâle ou chauffés par les rayons du soleil. On les recouvrira de la même manière. En agissant ainsi, on conservera mieux le bois que par tout autre moyen.

Le conseil que nous donnons d'écorcer les arbres la seconde année, n'a d'autre but que de prévenir l'envahissement des vers, qui sont à craindre surtout pour les bois fruitiers, les bois résineux ; les conifères y sont bien moins assujettis, et on pourra, à leur égard, se dispenser de l'écorcement. Voici ce qui a lieu pour les arbres sujets à l'attaque des vers : les œufs sont déposés à l'automne dans l'écorce des bois empilés, ils éclosent au printemps ; le ver, jeune encore, se nourrit de l'écorce et du liber qu'elle recouvre ; il parcourt de la sorte le bois en tous sens, jusqu'à ce que, parvenu à un certain degré de force, il puisse attaquer le bois lui-même et s'y introduire. Il y cause de grands ravages, car la poussière qu'il laisse après lui s'empare avidement de l'humidité de l'atmosphère et la porte dans le cœur du bois ; des myriades d'autres vers éclosent dans cette poussière qui fermente facilement, et les vers deviennent de la sorte l'un des agents les plus destructeurs. Lorsque les arbres sont écorcés, les œufs qui peuvent être déposés sur le bois nu ne sont jamais à craindre ; car, s'ils éclosent, le ver meurt infailliblement d'inanition sur cette substance dure et lisse, qu'il ne peut attaquer encore, privé qu'il est d'ailleurs du point d'appui que lui prête l'écorce.

Mais comme la dessiccation est bien plus prompte sur les bouts tranchés des arbres empilés, et que l'effet de cette dessiccation est de rétrécir le diamètre de ces bouts en fermant les canaux capillaires, par lesquels l'humidité encore contenue dans le corps de l'arbre se peut évaporer, que cette humidité est cause de fermentation et de pourriture en tenant la sève qui est enfermée dans les canaux nutritifs dans un état liquide qui s'oppose à la coagulation, il convient de scier un peu les bouts de la longueur de deux ou trois centimètres, un peu plus, un peu moins, selon que la dessiccation est plus avancée, afin que les pores étant de nouveau ouverts par cette ablation, l'humidité puisse continuer à se frayer un passage au dehors et que la sève puisse se concréter entièrement.

Lorsqu'il ne s'agit pas de grandes exploitations commerciales, mais seulement de la provision d'un atelier ou d'un ouvrier, on fera bien de rentrer les bois nouvellement abattus et sans écorce sous un hangard, en laissant quelques mois durant la racine, ou la culasse, plongée dans une auge de pierre, ou simplement un baquet rempli d'eau, qu'on aura soin d'alimenter au fur et à mesure qu'elle sera absorbée, les bois étant tenus presque debout appuyés contre les murs. Au bout de quelques mois on cessera d'y mettre de l'eau, et les bois, ainsi maintenus dans une position verticale et à l'ombre, sécheront assez lentement pour ne point se fendre.

Quant à la dessiccation au feu ou à la vapeur, l'expérience n'a pas parlé en sa faveur. Indépendamment de ce qu'elle altère souvent les qualités des bois, en les rendant cassants, en détruisant la coloration naturelle et en nuisant au poli, elle les rend très hygrométriques, qualité qui les fait s'emparer avidement de l'humidité de l'air, et qui les gonfle ou favorise la gerce dans les temps de grande sécheresse. D'ailleurs, les moyens d'exécution que nécessite cette opération ne sont pas à la portée de tout le monde, et l'industrie ne retire jamais qu'un médiocre avantage des moyens compliqués.

Dès que les bois sont suffisamment secs, il est sage de les faire de suite débiter dans des proportions un peu plus étendues que celles réclamées par les usages auxquels ils sont destinés, parce qu'alors s'opère l'entière et définitive dessiccation : si ce sont des planches, on a soin de les entasser l'une sur l'autre en piles, afin que leur propre poids les empêche de se *gondoler*, de se *tourmenter* ; le plus de bois qu'on a laissé aux morceaux sert à dégauchir et à ramener les pièces à leurs proportions

exactes. Des bois ainsi préparés sont d'un très bon usage ; ils ne *travaillent* plus.

Nous nous sommes à dessein renfermés dans les généralités. Assurément tous les bois ne se comportent point de même pendant le temps de la dessiccation ; l'orme, le hêtre et certains arbres fruitiers peuvent être traités avec moins de ménagements ; mais il en est d'autres aussi pour lesquels il faudra redoubler d'attention ; on conçoit qu'il faudrait passer en revue chaque espèce de bois, et cette revue nous entraînerait beaucoup trop loin ; les préceptes généraux que nous avons énoncés, appliqués avec sagacité et prudence, suffiront dans la presque totalité des cas. Nous allons maintenant nous occuper de la coloration de ces mêmes bois.

Coloration. Les bois chers, les bois exotiques ont rarement besoin d'être colorés artificiellement ; leurs riches nuances sont un présent de la nature, et ce n'est guère que pour imiter ces nuances sur nos bois indigènes que nos ouvriers ont recours aux couleurs factices. Nous n'entendons nullement parler dans cet article des peintures opaques, quelle que soit la couleur employée pour enduire les bois, surtout ceux qui sont exposés dehors aux intempéries des saisons, et dont on les recouvre plus dans un intérêt de conservation, que dans l'intention de les embellir. Cet art est compris dans celui du peintre en bâtiments, dont les brosses recouvrent indifféremment le bois, le fer, le plâtre. Ce que nous entendons par coloration des bois c'est l'art d'ajouter des tons plus vifs à la teinte naturelle de ces bois, tout en conservant les caprices de leur veinage, de telle sorte que le connaisseur puisse toujours dire, malgré notre coloration : voilà du frêne, voici de l'orme, de l'érable, etc.

On connaît deux modes de teintures qui n'ont point chacun un nom distinct, mais qui n'en sont pas moins des choses absolument différentes. Le premier et le plus anciennement connu, le moins intéressant de nos jours, est celui qui consiste à donner à certains bois une teinte uniforme, verte, bleue, rose, rouge, jaune, et autres. Les bois ainsi teints servaient dans la marqueterie, dans l'ébénisterie du temps ; on produisait par la découpure des pièces, leur placage, leur agencement symétrique, l'opposition des teintes, des effets fort piquants, des rayures agréables, des dessins variés qui n'étaient certes pas dépourvus d'agrément, et qui exigeaient de l'ouvrier chargé de leur exécution beaucoup de goût et d'habileté. La mode, cette souveraine absolue et capricieuse, n'a plus voulu les découpures coloriées : il a fallu subir sa loi ; mais comme elle est sujette à varier, à retourner en arrière, à reprendre ce qu'elle a proscrit, nous devons dire par quels moyens on donne aux bois ces teintes plates qui faisaient l'ornement des meubles de nos pères. Déjà maintenant on en est revenu à la mosaïque riche, aux découpures ; on n'emploie encore que les bois blancs ou foncés, dans leur couleur naturelle, l'ivoire, la nacre, l'écaille, la baleine, le cuivre, l'argent. On fait mieux et plus beau qu'on ne faisait jadis ; mais aussi le prix est plus élevé, et si ce goût persiste, il faudra bien en revenir aux bois teints pour satisfaire aux demandes des consommateurs peu fortunés.

Les bois, si l'on en excepte les bois tendres et poreux, et le poirier cultivé, ne sont jamais entièrement pénétrés par la couleur, lorsqu'ils sont débités en morceaux d'une certaine épaisseur. Avant de les teindre, on doit donc les réduire en planches de l'épaisseur d'un fort placage, c'est-à-dire de deux millimètres environ. Amenés à cette épaisseur restreinte, les bois prenant la couleur en dessus et en dessous en seront facilement traversés, et la teinte n'en sera pas variable, si le rabot ou le grattoir en enlève plus dans un endroit que dans l'autre, comme cela a lieu lorsque le bois n'est que superficiellement coloré.

On doit concevoir que les bois blancs sont seuls susceptibles de recevoir les couleurs tendres, telles que le rose clair, le bleu-ciel, le jaune, le vert-pomme ; ainsi donc, les bois à choisir, dans ce cas, seront l'érable et ses variétés, sycomore, platane et le mûrier. Le houx est rare, on le réserve pour le blanc uni ; le peuplier, le marronnier d'Inde sont trop mous ; ils prennent cependant bien la teinture ainsi que le bouleau ; mais ils sont rarement employés, si ce n'est le marronnier qui s'emploie blanc et dans son état naturel. L'aulne, le frêne, le noyer blanc, le cerisier, le hêtre, certains pommiers, l'alisier jeune et autres bois blanchâtres prendront bien des teintes plus foncées, telles que le rouge, l'orangé, le vert, le bleu ; enfin l'orme, le cormier, le noyer d'Auvergne, le prunier, le buis, et autres bois prendront bien des teintes encore plus foncées ; quant au noir, il peut être employé sur toute espèce de bois.

On trouve dans tous les ouvrages qu'on a faits sur l'ébénisterie une foule de recettes pour la teinture des bois ; ces recettes mises en exécution avec attention et discernement donnent généralement toutes d'assez bons résultats ; chaque ouvrier en adopte une qu'il vante à l'exclusion des autres ; mais très souvent l'excellence de sa recette n'est due qu'à l'usage journalier qu'il en fait, or on finit par bien faire ce qu'on fait souvent et longtemps. Ne pouvant rapporter ici toutes ces recettes, qui ne sont d'ailleurs plus guère employées, nous nous contenterons d'en donner une seule pour chacune des principales teintes.

Avant de teindre les bois, il faut les soumettre à une opération préparatoire, qui consiste à les tremper dans une dissolution d'alun, ou bien dans un bain d'eau de chaux. Certaines couleurs cependant sont assez pénétrantes pour qu'il soit permis de se dispenser de cette préparation. Lorsqu'ensuite il s'agit de teindre, il y a deux manières d'opérer : la cuve, et le pinceau ou l'éponge. Si les bois ont peu de volume, on les met baigner dans la cuve, ils prennent alors plus facilement la teinture ; mais s'ils sont trop grands pour pouvoir entrer dans une cuve, on a recours au pinceau ou à l'éponge : quand les bois sont dans la cuve, il ne faut pas trop pousser le feu, il faut que le bain soit chaud, mais non pas absolument bouillant. Si on teint avec l'éponge ou le pinceau, la couleur doit être tenue plus chaude, parce qu'appliquée sur le bois elle se refroidit toujours assez promptement. Certaines teintures se font à froid, alors on laisse le bois tremper jusqu'à ce qu'il soit entièrement pénétré.

Couleur rouge. C'est la plus usitée ; on la fait avec le *rocou ;* on le coupe par morceaux qu'on met dissoudre dans l'eau bouillante, et l'on donne plus ou moins de couches de cette teinture, selon que l'on veut que la couleur soit plus ou moins foncée ; le rocou donne une couleur rouge-orangée qui imite fort bien les couleurs naturelles. *La garance* contient deux matières colorantes : l'une blonde, très soluble à l'eau, l'autre beaucoup moins soluble, qui est d'un beau rouge. La garance ne doit point être portée jusqu'à l'ébullition, car à ce degré de chaleur sa couleur s'altère. Avant de teindre avec la garance, il faut faire tremper le bois pendant quelque temps, une heure ou deux, dans un bain d'acétate d'alumine, et on prépare la solution de garance en mettant un hectogramme de cette racine pulvérisée par litre d'eau, plus ou moins, selon que l'on veut foncer la couleur. On peut, pour rendre la teinture encore plus éclatante, y ajouter un peu d'étain dissous dans l'acide nitrique, avec les précautions qu'on doit prendre en faisant cette dissolution ; mais cette addition n'est pas d'une nécessité absolue et la couleur est suffisamment belle sans étain. *L'orcanette* fournit une teinture très agréable et d'un facile emploi ; on en met dans de l'huile de lin chauffée modérément, et lorsque l'huile est bien rouge on l'étend sur ce bois. On en met plusieurs couches si l'on veut une couleur plus foncée, on frotte en-

COLORATION DES BOIS.

suite avec de la ponce broyée, et l'on sèche au tripoli rouge avant de vernir. *La terre de Sienne*, broyée avec l'huile de lin à froid, et ensuite délayée dans une plus grande quantité d'huile, s'emploie comme l'orcanette et donne les mêmes résultats. *L'orseille* est soluble dans l'eau qu'elle teint en rouge violet; mais en acidulant l'infusion, on la ramène au rouge vif, il ne faut que chauffer modérément. Un peu de dissolution d'étain rend la couleur belle et brillante; pour employer cette couleur, il faut que le bois ait été préalablement alumé. *Le bois de campêche*, dans la proportion d'un hectogr. environ, réduit en poudre, par chaque litre d'eau, donne par l'ébullition une couleur rouge d'un *œil* particulier; les bois doivent infuser dans cette teinture plus ou moins longtemps, selon que l'on veut donner plus ou moins d'intensité à la couleur. *Le bois de Brésil* est préférable au campêche. On le fait bouillir à l'état de râpure, ou réduit en copeaux, pendant 2 heures environ, dans de l'eau mise dans la proportion de : bois, 1, eau, 10; plus ou moins, suivant l'intensité de couleur qu'on veut obtenir. On doit préférer les eaux de puits à l'eau de rivière, et si l'on ne peut avoir que de cette dernière, il est bon d'y ajouter un peu de nitre. La teinte devient pourpre si on y mêle du bois de campêche, et lorsque le bois est teint et qu'il est sec en le mouillant légèrement avec de l'eau dans laquelle on a fait dissoudre de la potasse perlasse, dans la proportion de 4 gram. par litre d'eau; on attendra que cette solution ait produit son effet avant d'en mettre une seconde, car ce ne sera qu'après l'inspection de l'effet produit par la première couche qu'on pourra juger s'il est nécessaire d'en mettre une seconde. Pour que la teinte devienne plus claire, tirant sur le *rose*, on fera entrer dans la décoction du bois de Brésil, de l'ammoniaque ou de la potasse perlasse, et on laissera le tout infuser 48 heures et même plus, puis on tirera au clair et on fera chauffer jusqu'à ébullition; on l'étendra alors toute chaude sur bois, ou, lorsque cela sera praticable, on plongera le bois dans cette préparation. Lorsque le bois est teint, et avant qu'il soit sec, on le mouille avec une eau alunée. On adoucira, ou l'on foncera la teinte, selon qu'on augmentera ou qu'on diminuera les doses de potasse perlasse, d'ammoniaque ou d'alun. Le bois de Brésil peut servir plusieurs fois avant que toute sa matière colorante soit épuisée. Un bain préparé d'avance, et conservé quinze jours ou un mois, couvert et dans un lieu frais, n'en produira que de plus belles teintures. La décoction du bois de Brésil sans alun produit un rouge-jaune qui n'est pas sans un certain attrait. *Le bois de Fernambouc* produit à peu près le même effet, et se comporte pour ses préparations comme le bois de Brésil. On emploie encore le bois de Brésil en mettant les pièces à teindre dans un bain de vinaigre pendant 24 heures, ou en humectant plusieurs fois ces pièces avec une éponge pleine de vinaigre. On jette ensuite dans le vinaigre de la râpure de bois de Brésil, jusqu'à ce que la teinte soit arrivée au point voulu; on ajoute de l'alun et on fait bouillir. La potasse et la soude agissent sur le bois de Brésil; elles foncent sa couleur : les acides jaunissent la décoction, et on se sert souvent de cette faculté pour rendre au bois de Brésil, qui aurait passé au clair, toute l'intensité de sa couleur. La chaux employée avec prudence produit le même effet; elle fonce la couleur, et cette couleur ainsi ramenée est bien plus durable. Les autres matières qui servent à teindre les bois en rouge, sont *la chaux*, pour le merisier, le cerisier, le guignier; on en fait un lait très épais dans lequel on met tremper les pièces, ou on étend ce lait avec l'éponge ou la brosse; la *gomme adragante*; on la fait dissoudre dans l'essence de térébenthine; on plonge le bois dans la solution et l'on fait chauffer doucement. Après une heure ou une heure et demie l'essence est évaporée; on laisse le bois jusqu'au lendemain sans y toucher, et avant de le polir, on le frotte avec un peu d'alcool pour enlever la gomme qui aurait pu rester en excès.

Nous passons sous silence tous les procédés pour imiter la couleur de l'acajou; ce bois est maintenant tellement baissé de prix que la connaissance de ces procédés est à peu près inutile. Ce n'est pas tant la couleur qui plaît dans l'acajou, c'est le roncé, le fleuri, et surtout son admirable chatoyement qu'aucune couleur ne peut rendre, que l'art ne peut produire, et d'ailleurs la mode de l'acajou tend à disparaître petit à petit. Nous passerons donc aux autres couleurs.

La teinture *bleue* se fait soit avec le *tournesol*, soit avec *l'indigo*, soit avec le *bois de campêche*, soit avec une dissolution de *cuivre rouge* dans l'acide nitrique. Pour préparer le *tournesol*, on éteint une poignée de chaux dans un litre d'eau, puis on ajoute dans cette eau 2 hectogr. de tournesol; on fait bouillir une heure environ, on immerge les bois dans cette préparation, ou on les frotte à l'éponge ou à la brosse, si l'immersion n'est pas praticable. Quant à *l'indigo*, on le broie le plus fin possible, on expose à une chaleur douce, au soleil. On met l'indigo peu à peu, jusqu'à consistance de bouillie, on malaxe et on soumet le vaisseau qui contient la couleur à une chaleur d'eau bouillante pendant 2 ou 3 heures; on retire du feu, et lorsque le mélange est refroidi, on ajoute autant de potasse bien sèche qu'il y a d'indigo (1/8 de la quantité d'acide sulfurique), on mêle bien cette potasse et on laisse reposer 24 heures. Dans cet état, elle serait beaucoup trop foncée, aussi pour l'employer est-on obligé de l'étendre d'eau, afin de l'amener à la nuance voulue. Cette teinture ne pénètre le bois que fort lentement, aussi devra-t-on laisser le bois soumis longtemps à son action. La teinture par le *bois de campêche* est également très lente dans son action, il faut laisser les bois plusieurs jours dans le bain pour qu'ils en soient pénétrés. On met 2 hectogr., ou 2 hectogram. 1/2 de râpure de bois par litre d'eau, avec un peu d'oxyde de cuivre, et on laisse bouillir le tout pendant une heure environ. La *dissolution de cuivre* se fait de deux manières, et, selon qu'on a opéré, on a une teinture verte ou une teinture bleue. On met de l'acide nitrique pur dans un vase, et on jette dedans par très-petites pincées de la limaille de cuivre rouge; lorsque l'ébullition est commencée, on éteint avec de l'eau. Le cuivre finit par se dissoudre dans cet acide étendu. On peut aussi étendre d'abord l'acide, puis y mettre le cuivre. Dans tous les cas, il est bon d'agir en plein air, car il se dégage des vapeurs abondantes. Quand la dissolution s'est faite avec une forte effervescence, on ajoute l'eau nécessaire pour ramener à la teinte qu'on veut produire. En général une eau très peu teintée suffit pour colorer très foncé; on ne doit pas craindre d'étendre la dissolution.

La teinture en *jaune* se fait soit avec la *gaude*, soit avec la *graine d'Avignon*, soit avec le *curcuma*, et aussi avec chacune des substances dont les noms suivent : le *bois jaune*, le *fustel*, le *quercitron*, la *gomme gutte*, le *rocou*. On fait simplement une décoction d'une ou plusieurs de ces substances, et l'on met infuser dans cette décoction les bois qu'on veut teindre. On donne du ton à la couleur produite par la gaude en mettant dans le bain un peu de soude ou d'oxyde de cuivre; dans la décoction de bois jaune, il faut mettre un peu de colle forte, ou même simplement des rognures de peau de gants. Quant au rocou, on le fait bouillir pendant un quart d'heure avec une quantité égale de bonne potasse. On obtient aussi la couleur jaune avec la gomme-gutte dissoute dans l'essence de térébenthine, surtout si on opère sur le platane; le curcuma se prépare avec l'alcool, on en met 60 gr. dans un litre d'esprit; on rendra ce jaune orangé en ajoutant à la dissolution un peu de sang-dragon. Nous ne donnons pas l'historique de ces substances qu'on trouve toutes préparées dans le com-

COLORATION DES BOIS.

merce ; on variera l'intensité des teintes en les combinant entre elles.

La couleur verte se fait avec l'oxyde de cuivre, dont nous avons parlé, ou avec le vert-de-gris concret. Dans ce dernier cas, on le broie très fin, on le met dissoudre dans du vinaigre de bois très fort; on y ajoute 60 gr. de sulfate de fer, et l'on fait bouillir le tout un quart d'heure, dans 2 litres d'eau. Les ébénistes font ordinairement leur teinture verte en teignant d'abord en bleu, et en ajoutant ensuite un lavage d'épine-vinette, ou bien en remplaçant l'épine-vinette par la gaude, dont on met plus ou moins, selon que l'on veut que le vert soit plus ou moins foncé.

Le violet s'obtient par une décoction de bois de campêche dans laquelle on mêle de l'alun, ou en teignant d'abord le bois rouge clair, et le plongeant ensuite dans un bain de tournesol ou d'autre bleu clair.

Toutes les fois que cela sera possible, il faudra préférer le bain froid au bain chaud, les couleurs sont plus belles; mais beaucoup de préparations exigent un bain chaud ; on fera donc bien, toutes les fois que deux moyens se présenteront, l'un à chaud, l'autre à froid, de choisir ce dernier.

Teinture noire. Noix de galle concassée, en poids, 15 parties; bois d'Inde, 4 p.; vert-de-gris, 2 p.; sulfate de fer, 1 p., qu'on fait bouillir ensemble dans une quantité suffisante d'eau. On connaît plus de quarante recettes pour la teinture en noir, celle-ci peut suffire. Si le bois n'était pas assez noir après une première couche, on en mettrait une seconde, et même une troisième, si cela était nécessaire.

Nous nous contenterons de ce qui précède. Cette méthode de teindre ainsi les bois ne produit pas des effets aussi agréables que la seconde méthode, dont nous allons nous occuper.

Il ne s'agit plus maintenant de colorer le bois avec des matières colorantes ; mais seulement de faire ressortir ou de varier les couleurs naturelles, à l'aide d'acides incolores, ou très faiblement colorés, par le fer ou par le cuivre. Dans cette autre méthode, le bois n'est plus uniformément teinté : ce sont les accidents de son veinage qui font naître les accidents de couleur, qui laissent ici des clairs où la teinte de bois apparaît nue, pour faire contraste avec des teintes foncées produites seulement par un changement de direction dans la fibre ligneuse. Aussi tous les bois ne seront pas indifféremment appelés à être embellis par cette méthode, il faudra faire un choix intelligent, non seulement des espèces de bois, mais encore des individus dans chaque espèce, et dans chaque individu, de telle ou telle partie. Le hêtre, le noyer, le peuplier, et en général tous les bois unis seront impropres à être embellis par ce moyen, qui n'est applicable qu'aux loupes, qu'aux racines, qu'aux endroits où les fourches des mères branches amènent des épanchements de la sève, des déviations de la fibre ligneuse, des contournements, des entrelacements. Les bois les mieux appropriés sont : le frêne, l'orme, l'aulne, l'érable, le sycomore, le châtaignier, le buis, l'if, certaines parties des chênes centenaires, quelques fruitiers. Ici nous n'avons plus besoin de grands vases, de feu, de chaudières, de grands appareils, mais seulement de petites bouteilles; car les principes que nous emploierons désormais sont très actifs, et il n'en faudra que des quantités très minimes pour produire beaucoup d'effet. Ces principes seront du vinaigre et de l'eau forte : le vinaigre pour faire l'acétate de fer; l'acide nitrique pour faire des solutions de cuivre. Les effets que nous obtiendrons seront produits par cette faculté que tous les bois possèdent d'être fort peu perméables lorsqu'ils présentent le fil, d'être au contraire très spongieux, lorsqu'ils présentent leur bout. Toutes les fois que dans un bois quelconque, dressé au rabot ou autrement, il se rencontrera des surfaces où le fil soit alternativement uni ou tranché, on sera sûr d'obtenir des effets de couleur et de lumière très variés; l'acide ne pouvant s'introduire et produire son effet que dans les places où il trouve le bois tranché, et pénétrant d'autant plus que les fibres seront tranchées, c'est-à-dire dans une position se rapprochant plus ou moins de la perpendiculaire au fil uni. Il n'est donc point nécessaire d'essayer le bois à l'avance ; à la première inspection, un œil exercé reconnaîtra si un bois est propre ou non à être soumis à l'action des acides.

On prépare l'acétate de fer à plusieurs degrés de saturation, et voici comment il faut faire : on prend de la boue de meule de taillandier, la plus fraîche possible; celle qui se trouve au fond de l'eau est préférable; celle desséchée, et par conséquent jaunie par la rouille, n'aurait plus la même vertu, ou ne serait propre qu'à produire des teintes qui ne sont pas celles dont nous devons d'abord nous occuper. La bonne boue de meule doit être verte, cendrée ; on la fera bien égoutter, puis on la mettra dans une jatte ou petite terrine, au tiers de sa capacité, et l'on versera dessus du fort vinaigre, de manière à ce qu'il recouvre la boue de meule d'un ou 2 centimètres ; on laissera ce mélange sans l'agiter. L'ébullition plus ou moins hâtive, selon la force du vinaigre, aura lieu et se manifestera par une écume verdâtre qui recouvrira le vinaigre; on décantera avec soin ce vinaigre qu'on mettra dans une fiole qu'on bouchera soigneusement. Cette préparation, notée n° 1, servira sur certains bois à colorer en vert. On versera de nouveau du vinaigre dans la terrine, en même qualité, on pourra malaxer un peu la boue de meule et on laissera le mélange plus longtemps, toute une nuit, et le lendemain on décantera le vinaigre qu'on versera dans une autre fiole, cotée n° 2. Cette seconde préparation donnera dans l'emploi une teinte plus foncée que la première et colorera en brun. Enfin on pourra remettre encore du vinaigre sur la même boue de meule, en y joignant un peu de sel de cuisine et aussi un peu d'acide nitrique. Cette fois on abandonnera la terrine sur une fenêtre, ou dans un grenier, en ayant soin seulement de la couvrir d'une planche pour que la poussière ne se mêle pas au vinaigre; on laissera le tout sécher. Quand on découvrira la terrine, on trouvera les parois et la boue de meule couvertes de croûtes jaune-rouge, qu'on détachera des parois, et on versera de nouveau du vinaigre qu'on laissera réduire un peu, puis on décantera dans une 3e fiole, cotée n° 3 : cette troisième liqueur servira à donner des tons très bruns, roux foncés, qu'on avivera encore en répandant sur les jours une légère décoction de bois d'Inde, lorsqu'il s'agira de loupes de buis.

Quant à l'oxyde de cuivre, il se prépare comme nous l'avons dit plus haut; mais dans le cas qui nous occupe, il doit être encore plus étendu d'eau, de manière à ce que la dissolution soit à peine colorée, en vert ou en bleu.

Avec les trois fioles dont nous venons de parler, on variera les teintes jusqu'à l'infini, soit en les mêlant entre elles dans des proportions diverses, soit en amortissant leur action avec de l'eau où du vinaigre; il ne faut que trois fioles d'acétate, contenant chacune 3 ou 4 décilitres, pour suffire à un grand atelier pendant plus d'une année, tant il en faut mettre peu pour produire beaucoup d'effet : moins les teintes seront foncées plus elles seront belles. Cette teinture entre assez profondément dans le bois pour qu'on puisse le poncer et le polir après qu'elle a été déposée; elle s'applique toujours à froid, et ces effets seront différents entre eux, non seulement suivant les essences de bois, mais encore sur une même espèce, selon qu'il y a plus ou moins longtemps que le bois est abattu. Il ne nous reste plus maintenant qu'à jeter un coup d'œil rapide sur les belles expériences de M. *Boucherie*.

On a toujours pensé que l'on parviendrait à rendre les bois inaltérables, si l'on pouvait faire pénétrer dans leurs pores certaines substances dont l'effet serait de combattre les causes de détérioration qui hâtent plus ou moins leur décomposition. Pour obvier à l'inconvénient des vers, on voulait les saturer de sels ou de composés métalliques ; pour s'opposer à la geree on s'efforçait de leur faire absorber de l'huile ou des résines, etc., etc., pour les dégager de la sève et des autres parties extractives sujettes à la fermentation on les plongeait dans l'eau; mais on n'arrivait jamais qu'à des résultats très peu satisfaisants, parce qu'une idée très simple n'était encore venue à personne. Cette idée, M. Boucherie l'a conçue; rien de plus vulgaire cependant : *Faire entrer par un bout et sortir par l'autre.* Quand on voulait faire entrer dans le bois du sel marin on plongeait le bois dans l'eau de mer. Qu'arrivait-il? l'eau faisait effort par les deux bouts, mais il ne s'établissait pas de courant, l'eau n'entrait pas, et la sève loin d'être chassée, restait emprisonnée dans le bois, et ne se dissolvait que petit à petit, et après un temps si long que le bois lui-même était altéré par son séjour dans l'eau prolongé bien au-delà de ce qu'il aurait fallu. Cette idée de faire passer un liquide quelconque à travers le bois, comme à travers un tuyau, n'est même pas venue de suite au docteur à qui nous le devons. C'est en anatomiste qu'il a d'abord opéré, c'est sur la nature vivante qu'il a fait ses premiers et heureux essais. Il a fait opérer à des arbres sur pied, des liquides divers introduits dans le tronc, et ses liquides se sont répandus dans tous les canaux, et sont montés jusqu'aux derniers rameaux, jusque dans les feuilles, et ont pu déposer dans les fibres du bois les parties colorantes auxquelles elles servaient de véhicule. Mais notre mission n'est pas de suivre pas à pas l'historique de cette belle découverte, nos lecteurs connaissent les rapports faits aux académies et aux sociétés savantes; ils ont vu des échantillons admirablement bien colorés exposés à tous les regards dans les solennités de l'industrie nationale; nous devons seulement nous livrer à l'appréciation de ces faits, pour ce qui concerne l'objet qui nous occupe, la *conservation* et la *coloration* des bois.

Relativement à la *conservation*, si on avait un peu exagéré les résultats à l'origine, ils n'en sont pas moins certains et démontrés par la pratique des chemins de fer, de l'administration des télégraphes, et pour travaux particulier. Voy. article INJECTION du *Complément.*

Quant à la prompte dessiccation qui permet d'employer le bois très-peu de temps après l'abatage sans qu'il se gondole ou se tourmente, c'est un fait qui semble acquis, et qui est de la plus haute importance.

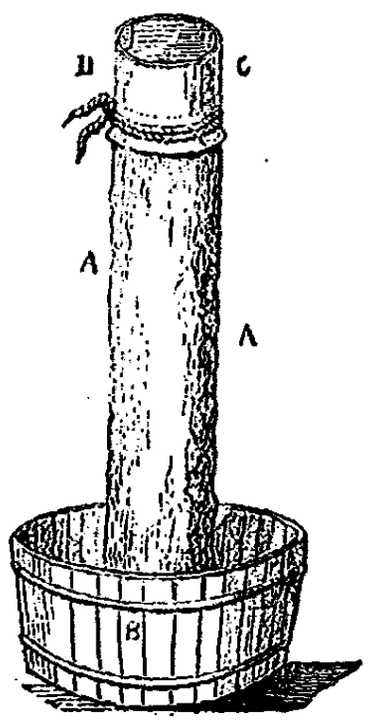
Relativement à la *coloration,* la question est résolue, le temps ici n'a que faire; la lumière pourra bien affaiblir certaines teintes; mais d'autres résisteront, et aucun doute n'est permis sur la réussite. Cette méthode permet de faire ce qu'on n'avait jamais fait, et de faire mieux ce qu'on faisait. Il ne reste plus qu'à multiplier les essais : c'est ce que nous avons cru devoir faire, et nous invitons les personnes qui seront à même d'en faire autant de travailler aussi de leur côté; à force de tenter sur des substances diverses, en suivant la route ouverte par M. Boucherie, on arrivera infailliblement à trouver de belles et bonnes choses. Le principe sera certainement fécondé, la base étant solide. l'édifice ne peut manquer de s'élever.

Mais comme un simple particulier possède rarement ces grands moyens d'actions dont les établissements publics peuvent disposer, comme il serait possible qu'un ami du progrès désirât répéter les expériences, plutôt dans l'intention de se rendre utile aux industriels en agrandissant le cercle de leurs connaissances et de leurs ressources, que dans celle de faire par lui-même et à son profit l'application des procédés que le hasard aura pu lui faire rencontrer; nous devons simplifier sa besogne en lui faisant part des moyens que nous avons employés pour faire passer les liquides à travers les bois, et aussi lui dire à quelles préparations nous avons eu recours, afin qu'il ne perde pas un temps précieux à essayer de nouveau, ce que nous avons inutilement essayé. Nous n'avons encore fait que peu de choses; mais la connaissance de ce peu que nous avons fait pourra être utile.

Nous devons prévenir d'abord le lecteur que nous n'avons eu la possibilité d'agir que sur des bois d'un diamètre restreint (2 décimètres à 2 décimètres 1/2), et abattus six ou huit mois avant nos essais. L'inspection des loupes fera reconnaître que ces sortes de bois sont impropres à être soumis aux expériences. Dans les loupes, le fil est tellement contrarié, mêlé, qu'il n'est guère possible d'imaginer que le liquide puisse en suivre les sinuosités; et, cela fût-il possible, on ne pourrait encore se flatter de réussir, puisque le fil revient presque toujours sur ses pas, et ramènerait très souvent le liquide à la surface de départ. D'ailleurs, ces extravasements de sève, ces superfétations ligneuses qu'on nomme loupes, forment un bois très serré, et d'une nature toute différente que le bois de l'arbre sur lequel elles végètent. On ne devra opérer que sur des bois à fil direct, ou à peu près direct. Le chêne se présente d'abord; mais, si l'on en excepte le chêne des Vosges, dit *chêne de Hollande,* dont le grain est serré, le chêne n'est pas un bois d'un emploi commode en ébénisterie et au tour. Fût-il agréablement coloré, son grain grossier, ses pores ouverts et apparents, son fil chanvreux, ne le feraient jamais beaucoup rechercher; le hêtre, le noyer, et surtout le noyer blanc, semblent attendre la couleur pour devenir des bois précieux; il en est de même de l'alisier, le meilleur de tous les bois de tour, de l'érable, du platane, qui se travaillent si bien au rabot; et qui deviendront des bois recherchés si on peut leur donner artificiellement ce que la nature leur a refusé : la couleur. C'est donc sur ces bois, et quelques autres semblables, que doivent être dirigés les efforts des expérimentateurs.

On prendra un rondin bien sain, d'un bois nouvellement abattu, scié carrément, par les deux bouts, et autant que possible encore recouvert de son écorce; on le posera dans une position verticale et on enroulera autour de l'un de ses bouts une large bande de cuir qui devra faire au moins deux fois le tour du rondin; pour que cette bande s'applique bien parfaitement sur l'écorce du bois, qui n'offre pas toujours un cercle régulier, on aura soin de la mouiller à l'avance, afin de la rendre très souple; puis, avec une bonne corde, on la serrera fortement sur le bois de manière à produire un étranglement. Si on a bien serré la corde, sur la peau, elle adhérera tellement à l'écorce que l'eau ne pourra passer entre cette bande et le bois. Si quelque irrégularité dans l'écorce laissait un passage à l'eau, on boucherait cette issue, soit avec de l'argile grasse, soit avec de la cire, soit avec une cheville de bois ajustée. Toute la partie de la bande de cuir qui dépassera le bois formera une espèce de gobelet, dont le bois debout formera le fond. On posera alors ce rondin, soit dans une auge en pierre, soit dans un baquet, ou tout autre vase pouvant contenir l'eau et supporter le poids de l'arbre, dans une situation verticale ou à peu près, puis on remplira d'eau le gobelet formé par l'excédant de la bande de cuir. Une figure fera de suite comprendre ce que notre description pourrait avoir d'obscur. Soit A (fig. 555), le morceau de bois dont on veut extraire la sève; on pourra le mettre debout contre un mur dans une cour, à l'ombre, et, si l'on ne tient pas à examiner les liquides qui en seront extraits, le faire reposer sur le sol

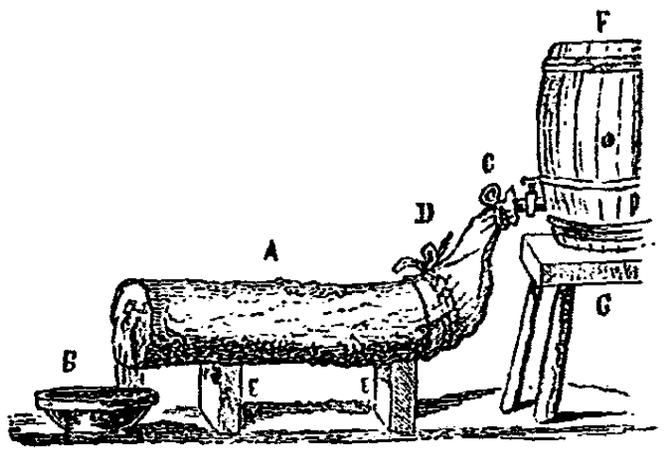
même; mais si l'on tient à conserver ces mêmes liquides, soit pour en faire l'analyse, soit pour les faire passer une seconde fois, on placera sous ce bois A, une terrine, ou une augette en pierre, ou même simplement, comme nous l'avons représenté dans la figure 555, en B, un baquet dans lequel les liquides seront conservés; en C, on voit la bande de cuir, amincie par un bout, afin qu'elle ferme bien, serrée fortement par la corde D. Les choses ainsi disposées on remplira d'eau l'excipient C,



555.

et au fur et à mesure que cette eau descendra dans le bois, on remplira l'espace vide. Cette eau pesant sur la sève la chassera devant elle, et on la trouvera répandue dans le baquet; assez ordinairement, c'est un liquide épais, verdâtre, glutineux. Quand toute la sève est expulsée, l'eau apparaît pure et limpide; on la laisse couler entièrement, puis on verse dans l'excipient la liqueur dont on veut que le bois soit pénétré. Si on opère seulement dans la vue de *conserver* le bois, on le saturera d'huile, ou de gommes et de résines dissoutes, soit dans l'alcool, soit dans les huiles essentielles; de solution de pyrolignite de fer, etc., selon le degré de foi qu'on pourra avoir dans ces moyens de conservation. Comme nous ne sommes pas, par nous-mêmes, très persuadés encore que ces moyens soient aptes à conserver le bois, nous nous garderons bien d'influencer en rien l'opinion des expérimentateurs. Notre but est tout simplement de leur indiquer la marche à suivre, ou, pour être plus conséquents, la marche que nous avons suivie. Si *la coloration* est le but qu'on se propose d'atteindre, on versera les mixtions aussitôt après le passage de l'eau pure et même avant qu'elle soit entièrement sortie du bois. Nous avons essayé l'indigo, le carmin, le bleu de Prusse, les terres d'Italie, etc., etc., délayées dans l'eau, nous n'avons nullement réussi, la matière colorante restait sur le bois, l'eau passait claire, le bois agissait comme un filtre. Le vin très coloré a produit de meilleurs effets, mais pas aussi sensibles que nous l'avions espéré; il nous aurait fallu du *gros-noir*, nous n'avons pu nous en procurer. Sur l'alisier, les jus de mûres noires et de guignes, ont produit une couleur vineuse assez agréable, et nous devons dire que le bois que nous avions soumis à cette épreuve, encore bien qu'il fût encore très nouvellement abattu, ayant été moulé sur le tour, et façonné en boîtes, fermant par des couvercles à pression, ne s'est nullement déformé, et que les fermetures sont restées exactes; faits qui viendraient à l'appui de l'opinion de ceux qui pensent que l'opération contribue à la conservation des bois.

Sur d'autres rondins, nous avons remplacé la bande de cuir par une grande douille en fer, limée par le bas en couteau circulaire; quelques coups de masse, donnés sur le dessus de cette douille, suffisaient pour la faire entrer assez avant dans le bout des bois, pour qu'elle retînt l'eau et les autres liquides. Enfin, nous avons rendus coupants des bouts de canon de fusil, longs de quatre diamètres environ; et nous avons planté dans le bout supérieur d'un bois debout huit ou dix de ces tubes, que nous avons remplis jusqu'au haut, de liquides divers, ayant chacun une teinte particulière; l'effet produit a été le même, quelques-uns des liquides ont passé sans se confondre avec les autres; quelques liquides se sont confondus et ont formé les nuances appartenant à leur mélange. On peut encore, ainsi que nous l'avons expérimenté, lorsqu'on peut perdre un peu de bois, se contenter de forer le bois avec des tarières ou des mêches, plus ou moins grosses, et vider les liquides dans ces trous; ils traverseront de même toute la longueur du rondin en ligne à peu près directe.



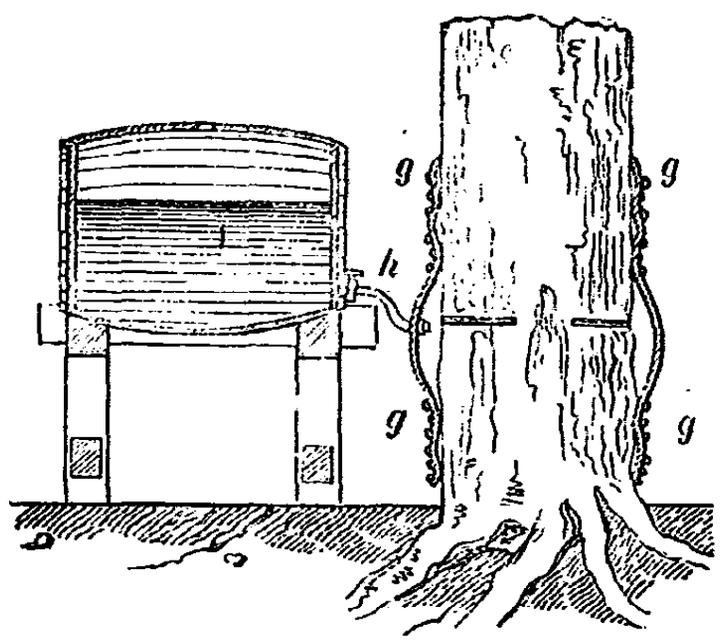
556.

La fig. 556 représente un autre mode, qu'on pourra employer lorsque les bois seront très longs, et qu'il serait difficile de les tenir dans une position verticale. les mêmes lettres de renvoi sont appliquées aux mêmes objets. Comme on le voit, l'arbre A est courbé sur les chantiers E qu'on pourra tenir plus gros qu'ils ne sont indiqués; afin que l'arbre soit élevé plus haut et que le vase B puisse être plus profond et ait une plus grande capacité. La chausse en cuir C doit être cousue au fil poissé, comme les tuyaux des pompes à incendie, ou bien être faite en toile imperméable: elle sera solidement attachée après la cannelle du tonneau F qu'on remplira d'eau, ou des préparations qu'on voudra faire entrer dans l'arbre. Ce tonneau sera supporté par un trépied G; plus il sera élevé, plus l'eau aura de force pour pénétrer dans le bois. Il est bien entendu que le tonneau F sera découvert, afin que la pression de l'air agisse sur l'eau; ce procédé est toujours le même, mais il permet d'opérer sur une plus grande échelle.

On trouve dans la nature des bois accidentellement colorés des nuances qui, bien certainement, n'appartiennent pas à l'arbre lui-même, puisque ces nuances ne se retrouvent pas dans les autres individus de la même espèce. Il n'a fallu souvent que des clous plantés dans des ifs, soit pour attacher les cordes à tendre le linge, soit pour tout autre motif, pour teindre en violet, de grands espaces dans le bois; car il arrive presque toujours que dans ces bois, richement, mais accidentellement colorés, on retrouve des clous qui ont été plantés, l'arbre étant jeune, et que les courbes ligneuses ont ensuite recouverts et enfermés dans le cœur du bois. Il en est de même du plomb que les chasseurs lancent dans les arbres des forêts. Lorsqu'on rencontre des morceaux dans lesquels le plomb a pénétré durant la vie du sujet, on remarque une teinte toute différente dans le bois, et qui se répand bien loin de l'endroit où le plomb a été enfermé; et cet effet a lieu probablement, parce que les métaux, garantis du contact de l'air par le bois dont ils sont recouverts; mais sans cesse baignés par les courants ascendants ou descendants de la sève, subissent une espèce de digestion qui les décompose suivant un mode particulier, et que leurs molécules entraînées au loin dans les canaux médullaires y déposent leurs parties colorantes, ou du moins y occasionnent ces change-

ments de couleur qu'on ne peut guère expliquer autrement. C'est donc en employant ces métaux, en faisant pénétrer des dissolutions métalliques dans les bois, qu'on obtiendra très probablement les plus belles teintes, les couleurs les plus durables. Les couleurs que nous avons obtenues à l'aide des végétaux n'étaient pas aussi belles, étaient fugaces, devenaient ternes et grises, et étaient sensiblement altérées par le poli à l'huile. Il fallait pour qu'elles se conservassent belles un emploi immédiat, et que le vernis s'opposât à l'effet que l'air exerce sur elles. La très importante découverte de M. Boucherie amènera une heureuse révolution dans cette branche d'industrie; mais il ne faut attendre que le même homme se charge à lui seul de tout le poids des expériences et des essais; il faut que les travailleurs de toutes les classes, et de tous les degrés d'instruction lui viennent en aide, et s'efforcent par un concours actif de payer la dette de reconnaissance que le pays a contracté envers lui.

Nous avons cru devoir terminer cet article par la description du moyen employé par M. Boucherie, pour faire passer dans un arbre vivant les liquides que la vie végétative permet de faire parvenir dans toutes les par



557.

ties de l'arbre. La fig. 557 est destinée à faire comprendre ce moyen très simple.

On pratique à l'arbre deux incisions semi-circulaires de l'écorce, puis on recouvre ces incisions d'une bande en cuir ou en plomb, faisant tout le tour de l'arbre, et croisée sur elle-même par les extrémités, afin que le liquide ne puisse s'épancher. On cloue cette bande sur l'arbre par le bas: puis en appuyant sur la partie supérieure, et la refoulant, on la contraint à se replier sur elle-même et à prendre une courbure qui imite celle qu'on nomme le *ventre* d'un tonneau; par ce moyen il se trouve entre l'arbre et la bande, à l'endroit de l'incision, un vide que plus tard on remplira de liquide. Cette bande est vue en coupe dans la fig. 557, et de côté *g*, *g*, *g*, *g*, aux points où se trouvent les rangées de clous enfoncés dans l'arbre qui la font adhérer parfaitement, et de manière à ce qu'il ne puisse y avoir déperdition de liquide.

Les choses ainsi préparées on approche de l'arbre un tonneau rempli de liquide I, débondé par dessus, afin que la prise d'air se fasse librement. Ce tonneau, vu en coupe dans la figure, est supporté par un châssis qui tient son niveau inférieur plus ou moins élevé au-dessus du renflement de la bande *g*, avec lequel il est mis en communication au moyen de la cannelle *h*, entrant dans un trou ménagé à l'avance dans la bande *g*, et luté de manière à ce que le liquide ne puisse s'échapper; on

ouvre alors cette cannelle, et le liquide contenu dans le tonneau se répand dans l'intérieur du renflement, et environne ainsi l'arbre dans tout son pourtour. Au fur et à mesure qu'il est absorbé par l'incision circulaire, le tonneau en fournit de nouveau, et lorsque le niveau baisse dans ce tonneau, on peut y ajouter une nouvelle quantité de liquide par la bonde restée ouverte. On pourra de la sorte alimenter l'arbre jusqu'à ce qu'il ne veuille plus rien prendre. PAULIN DÉSORMEAUX.

On trouvera à l'article INJECTION du *Complément* des détails sur les diverses modifications qu'on a fait subir au procédé Boucherie.

Carbonisation des surfaces à l'aide du gaz. — Un nouveau moyen d'augmenter la durée des bois a été proposé par M. Lapparent, ingénieur de la marine. Il consiste à en carboniser les surfaces par l'action d'un jet de gaz enflammé; ce procédé est simple, applicable à toutes les essences de bois, et il est facile, en dirigeant convenablement le jet de gaz, de pénétrer dans toutes les fentes, dans toutes les fissures, de manière que l'intérieur des bois soit protégé par une couche noire, carbonisée, qui s'opposera à la fermentation, à la végétation cryptogamique et aux attaques des insectes xylophages. Il se produit, en effet, sous la première couche entièrement carbonisée une seconde couche brunâtre, torréfiée, dans laquelle la chaleur a développé des produits empyreumatiques et créosotés qui sont d'excellents agents antiseptiques.

Ce mode de conservation des bois, qui repose sur une pratique dont l'efficacité a été reconnue depuis des siècles, permet de conserver les bois qui ne peuvent s'injecter, le chêne notamment, et augmente la durée des bois injectables; car le sulfate de cuivre est partiellement entraîné par les eaux pluviales, surtout à la surface, par un phénomène semblable à celui de l'endosmose. Un grand avantage du procédé de carbonisation au gaz consiste dans la facilité avec laquelle on promène sur toute la surface à carboniser un bec de gaz, une espèce de chalumeau à tuyaux élastiques, ce qui permet d'opérer rapidement et à bon marché. Il résulte des expériences faites par M. de Lapparent, à Cherbourg: qu'on peut admettre que, dans un travail courant, la dépense ne dépasserait pas 0f,45 par mètre carré; de sorte qu'une traverse de chemin de fer, ayant les dimensions suivantes, 2,70 × 0,13 × 0,26, présentant une surface enveloppe de 2m.q.,20, serait carbonisée pour 0f,33, soit environ 0f40, en ajoutant 20 pour 100 pour frais divers. Les expériences faites par l'amirauté anglaise, avec le gaz de l'éclairage coûtant seulement 0f,14 le mètre cube, il est vrai, ont donné un prix de revient de 0,10 par mètre carré, soit 0,22 pour carboniser une traverse des mêmes dimensions que la précédente.

En ce qui concerne l'efficacité du procédé, indépendamment des avantages tout spéciaux qu'il offre pour la marine, non-seulement pour les surfaces extérieures des constructions neuves, mais encore pour le séchage et la désinfection de l'intérieur des câles de navire, il n'est pas possible encore de donner des résultats remontant à une époque bien éloignée.

M. de Lapparent ayant placé pendant trois mois, dans une fosse à fumier, deux morceaux de bois identiques, sauf que l'un était resté dans son état naturel, tandis que l'autre avait été préparé, le premier a été trouvé presque complétement désorganisé, tandis que l'autre était à peine atteint. Il est juste d'observer que le fumier contient de l'ammoniaque, et que ce corps combiné avec le sulfate de cuivre forme le meilleur dissolvant connu de la cellulose, que par suite l'exemple choisi était éminemment défavorable au sulfate de cuivre.

En tous cas, comme les procédés par infiltration ne réussissent pas sur le bois de chêne, et que, pour cette

essence, la plus importante de toutes, il y a amélioration incontestable par l'emploi du procédé par carbonisation, son emploi ne peut qu'être fort avantageux. Pour les bois où il peut être comparé au procédé Boucherie, sa supériorité serait fort douteuse, par exemple, pour les bois tendres, tels que le sapin, le hêtre, qui poussent très-rapidement et qui se laissent parfaitement pénétrer.

Hartig, célèbre forestier allemand, a reconnu que les pieux simplement carbonisés ne se conservaient pas, alors même que la carbonisation de la partie enterrée atteignait une profondeur de 4 à 5 millimètres. Hartig ajoute que ces mêmes bois se conservent parfaitement lorsque, après la carbonisation, on les enduit de trois ou quatre couches d'une substance imperméable telle que le goudron.

Il y a deux sortes de pourriture, l'une qui procède de l'extérieur à l'intérieur et qui peut être attribuée aux germes des champignons disséminés dans l'air ou dans le sol; l'autre qui suit une marche inverse et qui tient à ce que trop souvent les bois trop âgés, ou sur le retour, comme disent les forestiers, commencent à se décomposer par le cœur qui, on le sait, est formé des couches les plus anciennes.

Pour s'opposer à la première, il faut éviter le contact de l'air, l'humidité et une température modérée. La seconde cause de pourriture ne peut être évitée qu'en portant au cœur un agent capable d'arrêter la décomposition.

On voit donc que la carbonisation superficielle ne peut s'opposer à la seconde cause de pourriture, mais qu'elle doit détruire les germes des champignons qui pourraient exister à la surface du bois, et s'opposer dans une certaine mesure à leur fixation, toutefois en ne suffisant pas pour éviter toute action de l'humidité. C'est ce qui peut expliquer la nécessité de l'enduit imperméable recommandé par Hartig.

En résumé, la carbonisation est un moyen de préparation dont les effets sont analogues à ceux qu'on peut attendre des enduits et des procédés d'immersion.

Il se caractérise par ce fait que la couche protectrice qu'il fournit est moins altérable que la peinture, et d'une continuité plus certaine pour les bois durs tels que le chêne, l'acacia, et que la couche obtenue par l'immersion dans un liquide antiseptique autre que la créosote; mais il n'est peut-être pas supérieur pour les bois tendres, bien dépouillés de leur aubier, à la créosote appliquée même par immersion.

On peut conclure que, pour les bois autres que le chêne, la carbonisation est inférieure aux procédés de pénétration intra-vasculaire tels que les procédés Boucherie, Bethell, Legé et Fleury Pironuet : 1° parce qu'elle ne saurait éviter la putréfaction des bois dont le cœur commence à se vicier; 2° qu'elle ne peut pénétrer dans les fentes profondes, enfin qu'elle exigerait une nouvelle opération pour les fentes qui viendraient à se produire après la première carbonisation; par suite qu'elle ne peut empêcher complétement les ravages des insectes, tels que tarets et termites, qui causent dans certains ports des dommages considérables aux bois de construction et aux vaisseaux. Nous rappellerons à cet égard que, dans les mers des Indes, les vaisseaux attaqués par ces tarets ne peuvent guère tenir plus d'une campagne et que sur la Charente, de Rochefort à Saintes, les termites ont envahi un grand nombre de constructions.

Ces conclusions se rapportent aux bois employés pour les chemins de fer et aux bois ordinaires de construction. Quant aux constructions navales, et au chêne qui y est surtout employé, la situation est différente, la créosote ou le sulfate de cuivre ne peut guère s'appliquer par immersion, surtout à la surface extérieure du bordé qui est dressée sur place, dont les parties les mieux préparées sont enlevées, et il est certain que la carbonisation, alors même qu'elle n'augmenterait la durée d'un vaisseau que de quatre ou cinq ans, doit rendre d'immenses services à l'État, puisqu'il n'est guère de bâtiments coûtant moins d'un million, et que pour leur donner cette augmentation de durée il ne faudra qu'une dépense relativement très-minime.

L'emploi du gaz portatif, comprimé sous une pression de 10 atmosphères, a rendu le travail de carbonisation très-pratique dans les arsenaux de la marine, et a permis son adoption générale.

COLZA. Plante oléagineuse de la famille des crucifères, cultivée en Belgique et dans le nord de la France, dont la graine donne par expression une huile principalement employée pour l'éclairage. (V. HUILES.)

COMBUSTIBLES. COMBUSTION. La *combustion*, dans le langage des chimistes de l'école de Lavoisier, consistait dans la combinaison des corps avec l'oxygène. On croyait à cette époque que ces combinaisons étaient les seules qui pussent développer de la lumière et de la chaleur, et l'on appelait *corps combustibles* les corps susceptibles de se combiner avec l'oxygène.

On a reconnu depuis que beaucoup d'actions chimiques, autres que la combinaison des corps avec l'oxygène, pouvaient produire de la chaleur et de la lumière, et que les phénomènes de combustion, tels que les envisageait Lavoisier, n'étaient qu'un cas particulier des phénomènes calorifiques qui accompagnent la combinaison.

Dans le langage ordinaire, le mot *combustibles* s'applique exclusivement à une classe de corps qu'on utilise pour produire de la chaleur ou de la lumière, en les *brûlant* par l'oxygène atmosphérique. Tous renferment beaucoup de carbone et des quantités d'hydrogène, d'oxygène et d'azote variables avec la nature du combustible.

On utilise les combustibles à l'état solide, liquide ou gazeux. Les combustibles liquides sont spécialement consacrés à *l'éclairage*. Les combustibles gazeux servent, suivant leur nature, à produire de la lumière ou de la chaleur. Ils résultent toujours d'une transformation préalable, partielle ou totale, des combustibles solides ou liquides en gaz. Nous ne nous occuperons ici que des combustibles employés pour produire de la chaleur. On trouvera à l'article ÉCLAIRAGE tout ce qui a rapport aux corps spécialement employés à la production de la lumière.

Les matières premières combustibles sont le bois, la tourbe et les divers combustibles fossiles. En soumettant ces matières à une chaleur convenable, on obtient un autre produit qui renferme beaucoup moins d'hydrogène, d'oxygène et d'azote que le combustible primitif, et qui porte, suivant la nature de ce dernier, le nom de *charbon de bois*, de *charbon de tourbe* ou *de coke*. Les procédés à l'aide desquels on obtient ces produits ont été décrits à l'article CARBONISATION.

Nous nous occuperons successivement dans cet article : 1° de l'évaluation de la chaleur produite par la combustion; 2° de la composition et des propriétés des divers combustibles; 3° de l'emploi des combustibles dans les fourneaux et de leur transformation en gaz.

I. — DE LA CHALEUR PRODUITE PAR LA COMBUSTION. On nomme *unité de chaleur* ou *calorie*, la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de 1 kilogr. d'eau à 0°.

On admet, bien que cela ne soit pas rigoureusement exact, que la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un poids P d'eau, du degré T au degré T' est représentée par P (T' — T). Ainsi, pour élever 7 kilogr. d'eau de 15 à 20°, il faudrait $7 \times (20 - 15)$ ou 35 unités de chaleur. Cela posé, la puissance calorifique d'un combustible sera représentée par le nombre

d'unités de chaleur produites par la combustion complète de 1 kilogr. de cette matière.

Les premiers essais pour déterminer la puissance calorifique des combustibles sont dus à Rumford. Lavoisier et Laplace, et en dernier lieu MM. Despretz et Dulong, ont fait de nombreuses expériences sur cette question. Les instruments dont on se sert pour déterminer la puissance calorifique portent le nom de calorimètres. Il y en a de différentes sortes, qu'on trouve décrites dans tous les traités de physique. Le calorimètre de Lavoisier et Laplace était disposé de manière à pouvoir mesurer la quantité de glace fondue par un poids connu du combustible. Comme on sait que 1 kilogr. de glace à 0° exige 78 unités de chaleur pour produire 1 kilogr. d'eau à 0°, il est facile de connaître la chaleur dégagée par la combustion. Dans le procédé de Rumford, employé et perfectionné par MM. Despretz et Dulong, les produits de la combustion se dépouillent de toute leur chaleur en circulant dans un serpentin entouré d'une masse d'eau dont le poids est connu et dont l'échauffement thermométrique permet de mesurer la quantité de chaleur dégagée.

Lorsqu'on n'a besoin que d'une approximation, et que l'on connaît la valeur calorifique d'un premier combustible, on peut déterminer celle d'un second, en brûlant des poids égaux de ces deux combustibles dans le même foyer et en comparant les accroissements de température acquis dans les deux cas par le même poids d'eau. Mais ce mode de comparaison manque de précision, parce que deux combustibles différents, brûlés dans le même foyer, ne cèdent pas à la matière à échauffer la même fraction de la chaleur développée par leur combustion.

Plus un combustible renferme de carbone et d'hydrogène, plus sa valeur calorifique est considérable. Celle de ces deux éléments a été déterminée par plusieurs observateurs, et en dernier lieu par Dulong. Voici les nombres trouvés par cet illustre physicien pour le carbone, l'hydrogène et quelques autres gaz combustibles :

	p. 1 litre de vapeur.	p. 1 kilogr
Carbone. . . .	7calories,858 . .	7224
Hydrogène. . .	3, 430 . .	34995
Hydrogène protocarboné (gaz des marais).	9, 560 . .	11900
Hydrogène bicarboné (gaz oléfiant).	15, 300 . .	12170
Oxyde de carbone.	3, 130 . .	2500

M. Welter avait posé en principe que tous les combustibles dégageaient la même quantité absolue de chaleur lorsqu'ils se combinaient avec la même quantité d'oxygène, ou, en d'autres termes, que la chaleur dégagée était proportionnelle à la quantité d'oxygène entrée en combinaison, quelle que fût la nature du combustible; les nombres trouvés par Dulong ne s'accordent pas avec cette loi. En effet, des poids égaux de carbone et d'hydrogène prennent pour se transformer en acide carbonique et en eau des quantités d'oxygène qui sont entre elles dans le rapport exact de 1 à 3. Les chaleurs de combustion sont au contraire dans le rapport approximatif de 1 à 5. On constaterait un résultat semblable en comparant les chaleurs de combustion du carbone et de l'oxyde de carbone.

Mais si la loi de Welter est tout à fait inexacte quand on compare des combustibles très différents par leur état physique, comme le carbone et l'hydrogène, on peut la considérer comme suffisamment approchée dans le cas où les combustibles dont on veut déterminer la valeur calorifique se trouvent dans le même état physique, comme le bois, la tourbe, la houille. M. Berthier est parti de cette loi pour indiquer un moyen fort simple

d'apprécier la valeur calorifique d'un combustible, sans avoir besoin d'en connaître la composition élémentaire. Voici, en quelques mots, en quoi consiste ce procédé : on mêle intimement 1 gr. de combustible à essayer avec 30 à 40 gr. de litharge; on introduit le mélange dans un creuset en terre, et on le recouvre de 20 à 30 gr. de litharge. On chauffe progressivement le creuset recouvert de son couvercle, et à la fin de l'opération, on donne un coup de feu pour fondre complétement les matières. On trouve dans le creuset refroidi, un culot de plomb recouvert d'une scorie formée par l'oxyde de plomb non réduit, les cendres du combustible et une certaine quantité de silice du creuset. On pèse le culot de plomb qui se sépare très nettement de la scorie. Dans cette opération, le combustible essayé se transforme complétement en acide carbonique et en eau, au moyen de l'oxygène de l'oxyde de plomb. Le poids du plomb est donc exactement proportionnel à la quantité d'oxygène que le combustible a prise pour sa combustion complète, et par suite, en admettant la loi de Welter, à son pouvoir calorifique. Or, on sait que le charbon pur produirait 34 fois son poids de plomb. Si donc P est le poids du culot obtenu, le pouvoir calorifique du combustible essayé sera $\frac{P}{34} \times 7224 = 212,5.\ P.$

Toutes les fois qu'un combustible renfermera de l'hydrogène et de l'oxygène dans les mêmes rapports que l'eau, son pouvoir calorifique sera déterminé par la proportion de carbone qu'il contiendra. Si l'hydrogène est en excès, on transformera une partie de l'hydrogène en eau au moyen de tout l'oxygène, et on ajoutera l'équivalent du surplus de l'hydrogène au carbone pour avoir le pouvoir calorifique. On voit que la composition élémentaire d'un combustible permet d'obtenir immédiatement son pouvoir calorifique.

Pour compléter ce qui précède sur les chaleurs de combustion, il faut ajouter que M. Despretz a trouvé exactement le même nombre pour la chaleur dégagée par la combustion du charbon dans l'air ou dans l'oxygène pur; la chaleur dégagée est donc indépendante de la pression du gaz et de la quantité d'oxygène qu'il renferme.

De la température de combustion. Nous appelons ainsi l'échauffement thermométrique maximum qu'il est possible de produire avec un combustible donné. Pour le déterminer, on procédera de la manière suivante : il est facile de trouver la quantité d'air nécessaire pour que cet air et le combustible employé se transforment réciproquement et complétement en eau, acide carbonique et azote, en partant de cette base, que 1 kilogr. de carbone exige 11k,59 d'air contenant 2k,666 d'oxygène pour se changer en acide carbonique, et que 1 kilogr. d'hydrogène en prend trois fois plus ou 34k,77 (contenant 8 kilogr. d'oxygène) pour former de l'eau. (on aura commencé par tenir compte de l'oxygène contenu dans le combustible en retenant 1 d'hydrogène pour 8 d'oxygène). On aura ainsi, pour 1 kilogr. de combustible, le poids de chacun des produits gazeux de la combustion. Or la chaleur produite par celle-ci doit se répartir entre tous les gaz de manière à les porter tous à une même température qu'on peut calculer, puisqu'on connaît la *chaleur spécifique* de chacun des gaz, ou la quantité de chaleur que prend 1 kilogr. de chacun d'eux pour s'échauffer de 1°. Le nombre ainsi obtenu, qui représente la température de combustion, varie comme on peut s'y attendre, d'un combustible à l'autre. On ne doit le considérer que comme un maximum; car nous ne savons pas ce qui peut survenir à une température aussi élevée (voy. DISSOCIATION).

Comme exemple de calcul, cherchons la valeur de combustion d'un charbon de bois de chêne de Clerval qui contient :

Hydrogène.	2,83
Carbone.	87,68
Oxygène.	6,43
Cendres.	3,06
	100,00

Pour avoir le pouvoir calorifique, il faut retrancher de 2,83 d'hydrogène, celui qui correspond à l'oxygène et qui est $\frac{6,43}{8} = 0,80$. Il reste 2,03 d'hydrogène qui équivalent à 6,10 de carbone. Le combustible équivaut donc à 93,78 de carbone pur, et son pouvoir calorifique calculé sera de 6775.

Pour avoir la température de combustion, on fera le calcul suivant :

1^k de charbon prendra pour 0^k,8768 de carbone.	10^k,10 d'air
et formera 3^k,211 d'acide carbonique.	
Les 0^k,0203 d'hydrogène prendront. .	0^k,74 d'air
et formeront 0^k,1827 d'eau, auxquels il faut ajouter les 0^k,0723 d'eau formée par l'oxygène du charbon, en tout 0^k,255 d'eau.	10^k,84 ou 8^{mc},31 d'air

Les produits de cette combustion seront donc :

3^k,211 d'acide carbonique ;

0^k,255 d'eau;

8^k,324 d'azote:

0^k,0306 de cendres.

La chaleur spécifique de l'acide carbonique étant 0,221, la quantité de chaleur nécessaire pour élever 3^k,221 de 1°, sera $3,221 \times 0,221 = 0,712$.

La chaleur spécifique de la vapeur d'eau est 0,475, le produit par $0,255 = 0,119$.

Le coefficient de l'azote est 0,273, le produit par $8^k,324 = 2,272$.

La chaleur spécifique des cendres peut être évaluée, approximativement, à 0,20, le produit par 0^k,03 sera 0,006, qui peut être négligé dans ce cas.

En ajoutant les trois nombres qui précèdent on a 3^{cal},10, qui représentent la quantité de chaleur nécessaire pour que tous les produits de la combustion d'un kilogramme de charbon s'échauffent de 1°. Or, comme la chaleur totale produite est de 6775, la température de combustion sera $\frac{6775}{3,1} = 2185$ degrés.

II. — Des divers combustibles. Les combustibles employés sont le bois et le charbon de bois, la tourbe et les différentes espèces de combustibles fossiles, le lignite, la houille et l'anthracite.

Bois. Dans l'état de vie, le bois est constitué, comme on sait, par un tissu fibreux au travers duquel circule un liquide qu'on appelle la sève. Examiné chimiquement, le bois est loin d'être une substance simple. En traitant le bois réduit en poudre fine, successivement par l'eau, les alcalis étendus, l'acide hydro-chlorique, l'alcool et l'éther, on en sépare des produits dont la nature et la proportion relative varient suivant l'espèce ; ainsi, par exemple, les bois dits résineux céderont à l'alcool une partie de leur poids plus considérable que les autres.

Le tissu fibreux du bois, dépouillé par l'action des dissolvants faibles des matières étrangères qu'il renfermait, et qui constitue au moins les 95 centièmes du poids du bois, est ce qu'on appelait il y a peu d'années encore le *ligneux*, et que l'on considérait comme une substance identique pour tous les bois. Mais des observations postérieures, dues à M. Payen, ont montré que le ligneux n'était pas une matière homogène, mais qu'il se composait d'une juxtà-position de cellules allongées, tapissées à l'intérieur par une matière dure et amorphe en couches plus ou moins irrégulières.

La matière qui forme les cellules a été désignée sous le nom de *cellulose* ; elle constitue le tissu de toutes les plantes, des feuilles de tous les végétaux, et quand elle

a été convenablement purifiée, elle présente toujours la même composition.

Elle contient :

Carbone. . . .	43,8	
Hydrogène. . .	6,2	Ces deux éléments se trouvent dans les mêmes proportions que dans l'eau.
Oxygène. . . .	50,0	
	100,0	

C'est la même composition que l'amidon.

Quant à la matière, qui forme les incrustations dans les cellules des tissus ligneux, elle paraît être formée de plusieurs principes immédiats différents; plus abondante dans le cœur que dans l'aubier des bois, elle en accroît la dureté et la densité. On la trouve aussi en plus forte proportion dans les bois désignés sous les différentes épithètes de *bruns, lourds* ou *durs*, que dans les bois appelés *blancs, légers* et *tendres*. La composition de la matière incrustante varie dans les différents bois entre 0,52 et 0,54 de carbone, 0,062 et 0,065 d'hydrogène, 0,395 et 0,408 d'oxygène. On voit qu'elle est plus riche en carbone que la cellulose, et qu'elle doit donner plus de chaleur par sa combustion, en raison du carbone et de l'hydrogène qui s'y trouve en excès sur l'oxygène ; aussi les bois durs ont-ils un pouvoir calorifique notablement plus élevé que les bois tendres. La composition de tous les bois se trouve comprise entre celle de la cellulose et celle de la matière incrustante, en se rapprochant davantage de cette dernière.

Les analyses que nous venons de rappeler se rapportent à des matières ligneuses desséchées avec soin à la température de 100° ; mais les bois, dans leur état ordinaire, sont loin d'avoir la même composition et un pouvoir calorifique aussi élevé. En effet, le bois vert, au moment où il vient d'être coupé, contient une proportion d'eau qui varie entre 38 et 45 p. 100, suivant les essences, et qu'on peut lui faire perdre par une exposition prolongée à 100° sans altérer le bois. Après avoir été exposé à l'air pendant un an, le bois retient encore, en moyenne, 25 p. 100 d'eau hygrométrique. Un bois desséché à 100°, et exposé de nouveau à l'air à la température ordinaire, lui reprend 8 à 12 p. 100 d'eau, fait analogue à celui que présentent en général les corps poreux.

Le bois simplement desséché à l'air et contenant encore 25 p. 100 d'eau, n'équivaut guère en moyenne qu'à 38 ou 40 p. 100 de carbone, et son pouvoir calorifique se trouve compris entre 2800 et 2900.

Cendres. Outre le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, qui constituent la partie combustible des bois, ceux-ci renferment encore des matières minérales fixes qui restent après la combustion et constituent les cendres. La proportion des cendres est en général une faible fraction du poids du bois ; elle varie du reste dans les diverses parties d'un même végétal. Ainsi les feuilles et l'écorce des bois donnent plus de cendres que les branches, et celles-ci plus que le tronc. M. Berthier a trouvé les proportions suivantes de cendres calcinées pour 1 partie de bois :

Peuplier, érable, Bourdaine, liége,	0,0020.	Tremble,	0,0060.
		Toile de fil,	0,0090.
Buis,	0,0036.	Coton blanc,	0,0100.
Chêne écorcé, fusain,	0,0040.	Éc. de chêne,	0,0120.
Frêne, aulne, sapin, Pin, noisetier, bouleau,		Acajou, Ébène,	0,0160.
Épine,	0,0050.	Fagots,	0,0220.
		Fougères,	0,0450.

Les cendres de bois se composent de sels alcalins solubles dans l'eau, et de matières insolubles. Les sels alcalins contiennent de la potasse et de la soude combinées avec les acides carbonique, sulfurique et hydrochlorique. Les matières insolubles renferment de l'acide carbonique et de l'acide phosphorique, de la chaux.

de la magnésie, des oxydes de fer et de manganèse, et de la silice. La proportion d'acide carbonique qui reste dépend de la température à laquelle l'incinération a eu lieu, car on sait que le carbonate de chaux est décomposé à une haute température. La proportion des sels alcalins est très-variable. Pour certaines espèces, elle atteint la moitié du poids total des cendres (sapin de Norwége), tandis que, pour d'autres, elle descend jusqu'aux 8 centièmes du poids total des cendres. Il paraît également démontré que la composition des cendres n'est pas tout à fait constante pour la même essence. Les circonstances de climat, la nature du sol ont de l'influence sur la proportion et la nature des produits minéraux que la sève entraîne avec elle.

M. Berthier a fait sur la composition des cendres des diverses espèces de bois un travail très-étendu dont il a consigné les résultats dans son *Traité des essais par la voie sèche*, t. I, p. 259.

Propriétés du bois. Soumis à l'action de la chaleur, le bois commence à s'altérer vers 120°; il brunit, et à mesure que la température s'élève, il perd une fraction de plus en plus considérable de son poids. Les produits de sa distillation en vases clos sont en partie liquides, en partie gazeux. Les produits liquides se composent d'eau, d'acide acétique combiné à des huiles empyreumatiques, et de goudron, qui apparaît surtout à la fin de la distillation. Les gaz renferment de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, et peut-être de l'hydrogène carboné. Voici leur composition au commencement et à la fin de la distillation :

	Au commencement.	A la fin.
Acide carbonique.	44,9	29,2
Oxyde de carbone.	36,8	24,9
Hydrogène.	16,8	44,2
Azote et perte	1,5	1,7

Le résidu de la distillation est du charbon qui conserve la forme du bois employé. Le poids de ce charbon est très variable, suivant la manière dont la distillation a été conduite. Avec du bois ordinaire d'un an de coupe, on peut obtenir, en distillant le bois très lentement, jusqu'à 28 p. 100 de charbon. Par une distillation rapide, le même combustible n'en donnera que 12 à 13 p. 100. Cette différence tient à ce que, dans la distillation rapide, les produits de la distillation provenant du bois incomplétement carbonisé réagissent sur le charbon déjà formé, qui se trouve porté par le rayonnement des parois du vase à une température très élevée, et en entraînent une certaine quantité à l'état d'acide carbonique ou d'oxyde de carbone.

Les bois durs, comme le chêne, le hêtre, le charme, ayant un tissu compacte et serré, se carbonisent toujours plus lentement que les bois tendres, et la proportion de charbon qu'ils laissent est plus considérable que celle de ces derniers ; de là vient que ceux-ci brûlent beaucoup plus vite, en donnant une plus grande quantité de flamme. Cette circonstance fait qu'on les préfère pour certains usages.

Bois torréfié, charbon roux. On emploie au lieu de charbon, dans quelques hauts fourneaux du département des Ardennes, un combustible intermédiaire entre le bois et le charbon, que l'on désigne sous le nom de *bois torréfié* ou de *charbon roux*. On prépare ce combustible en plaçant le bois dans des cylindres en fonte chauffés par la flamme perdue des hauts fourneaux, et lui faisant perdre par distillation une fraction de son poids comprise entre 30 et 50 p. 100. Le bois qui n'a perdu que 30 p. 100 est simplement desséché. On a trouvé dans l'emploi de ce combustible dans les hauts fourneaux, qu'il fallait notablement moins de bois pour obtenir 1 quintal de fonte, en le transformant en charbon roux plutôt qu'en charbon ordinaire par le procédé des forêts ; mais l'économie de combustible qui en résulte est balancée par l'augmentation du prix des transports, puisque tout le bois doit être amené à l'usine à l'état cru.

Charbon de bois. Le charbon de bois de bonne qualité est d'un noir brillant, cassant et sonore ; sa densité à l'état de poussière est à peu près double de celle de l'eau ; mais la densité apparente est beaucoup moindre en raison des pores du charbon. Marcus-Bull l'a trouvée comprise entre 0,625 et 0,845. On admet généralement que le mètre cube de charbon de bois dur pèse 210 à 230 kilogr., et celui de charbon de bois tendre de 180 à 200 kilogr.

Le charbon de bois, tel qu'on le prépare pour les besoins des arts (voyez CARBONISATION), n'est pas du carbone pur ; on peut encore lui faire perdre par une forte calcination en vases clos une partie de son poids qui varie ordinairement entre 8 et 15 p. 100. De là vient qu'il brûle, en produisant une légère flamme dans les premiers moments de sa combustion.

Voici la composition de deux variétés de charbon préparé par le procédé des forêts et desséché préalablement à 100°.

	Charbon de jeune chêne.	Charbon de tremble.
Carbone.	87,68	87,22
Hydrogène.	2,83	3,20
Oxygène.	6,43	8,72
Cendres.	3,06	0,86
	100,00	100,00
Perte par calcination en vases clos.	13,02	17,07.

Le pouvoir calorifique du charbon de bois est généralement compris entre 6500 et 7000.

Le charbon de bois possède la propriété très singulière d'absorber un grand nombre de gaz, et quelques uns en quantité considérable, comme l'ammoniaque et l'acide hydrochlorique. Le charbon récemment fait et exposé à l'air, en absorbe huit ou dix fois son volume. Il condense également de la vapeur d'eau, ordinairement les 8 ou 10 p. 100 de son poids. La proportion de vapeur d'eau absorbée est d'autant plus considérable que le charbon a été plus fortement calciné.

Le charbon provenant des bois durs est préféré pour les usages où l'on veut obtenir une haute température. Le charbon de bois tendre est plus léger, et à volume égal, il développe moins de chaleur que l'autre, bien qu'à poids égaux il n'y ait pas de différence dans leur pouvoir calorifique. Le charbon obtenu par distillation en vase clos, est léger, friable ; il brûle facilement, mais il n'a pas la même valeur que le charbon cuit en meules, et l'expérience a prouvé qu'en l'employant, on pouvait difficilement arriver à une température très élevée nécessaire pour la plupart des opérations métallurgiques.

TOURBE. Ce combustible est le produit de l'altération qu'éprouvent, dans des lieux bas et marécageux, certaines plantes aquatiques herbacées. On la trouve surtout le long des rivières dont le cours est très lent, mais on en rencontre cependant des gisements considérables sur des plateaux élevés, dans les Vosges, le Jura, les Alpes. Elle est partout en bancs horizontaux, quelquefois fort épais, que l'on trouve très près de la surface du sol ; on y a observé beaucoup de débris, comme des poteries, des médailles, des ustensiles qui prouvent son origine toute moderne, et la continuation de sa formation à l'époque actuelle.

On peut distinguer deux variétés principales de tourbe, qui correspondent à des états de décomposition différents : 1° la tourbe compacte qui est noire ou d'un brun foncé ; on n'y distingue plus que çà et là de débris reconnaissables de végétaux : 2° la tourbe herbacée qui est spongieuse et d'un brun clair ; elle est entièrement formée de débris reconnaissables de végétaux.

On exploite la tourbe au printemps, sous forme de

briquettes, et on l'expose à l'air pendant l'été suivant pour la dessécher. Cette dessiccation lui fait éprouver un retrait considérable qui varie des 3/5 aux 4/5.

La pesanteur spécifique de la tourbe est très variable, en raison de son état plus ou moins avancé de décomposition, de son état de siccité, et de la proportion de cendres qu'elle renferme. Le poids du mètre cube est ordinairement compris entre 250 et 400 kilogr.

La tourbe se rapproche beaucoup, par sa composition et ses propriétés chimiques, du terreau. Elle renferme ordinairement une proportion considérable d'*ulmine*, corps qui se dissout dans les alcalis caustiques, en les colorant en brun foncé; les acides précipitent l'ulmine en flocons noirs de cette dissolution.

M. Regnault a trouvé la composition suivante à la tourbe de Vulcaire, près Abbeville, qui est dans un état d'altération très avancé. Ce combustible avait été préalablement desséché à 100°.

Hydrogène.	5,63
Carbone.	57,03
Oxygène.	29,67
Azote.	2,09
Cendres.	5,58
	100,00

En comparant cette composition à celle des matières ligneuses non altérées, on voit que le carbone a beaucoup augmenté, et que l'hydrogène se trouve en excès très sensible par rapport à l'oxygène. Le pouvoir calorifique de cette tourbe, calculé d'après l'analyse précédente, serait égal à 4540. Mais il faut observer que la tourbe perd le plus ordinairement de 15 à 30 p. 100 de son poids par dessiccation à 100°, et que la proportion des cendres est rarement aussi faible que dans la tourbe analysée. On peut admettre que le pouvoir calorifique de la tourbe de bonne qualité est compris entre 3000 et 3500.

Cendres. Les cendres que laisse la tourbe contiennent presque toujours des sels alcalins, mais en proportion beaucoup plus faible que celles du bois. Leur composition, du reste, est variable en raison de la nature du terrain qui avoisine les gites tourbeux. Dans les pays calcaires, les cendres de la tourbe se composent presque exclusivement de carbonate de chaux et d'argile, tandis qu'elles sont sableuses dans les contrées formées par des grès ou des roches primitives. Quant à la proportion totale des cendres, elle est très variable, et elle atteint quelquefois 18 à 20 p. 100.

Les cendres de tourbe traitées par les acides donnent quelquefois une odeur d'hydrogène sulfuré. On y trouve souvent du sulfate de chaux. C'est à la présence de la pyrite de fer dans les tourbes qu'il convient d'attribuer l'existence du soufre dans ces combustibles.

Les produits de la distillation de la tourbe sont assez analogues à ceux du bois, mais on y trouve en outre de l'ammoniaque. Leur odeur est beaucoup plus fétide que celle produite par le bois, et cette circonstance diminue l'emploi de la tourbe pour les usages domestiques. La proportion de charbon que laisse la tourbe à la distillation est assez variable, mais elle est presque toujours supérieure à celle que fournit le bois.

Charbon de tourbe. Le charbon que l'on fait avec la tourbe est en général tendre et friable, quand il renferme peu de matières terreuses et compactes, et dur quand il en contient beaucoup. Son poids est ordinairement supérieur à celui du charbon de bois. Il brûle facilement en produisant une légère flamme, mais sans odeur, ce qui permet de l'employer pour les usages domestiques. La proportion des cendres qu'il laisse est souvent très considérable, comme on pouvait s'y attendre d'après la composition des tourbes.

La fabrication du charbon de tourbe par des procédés économiques, a présenté jusqu'à présent d'assez grandes difficultés. Aussi, l'emploi de ce combustible est-il encore fort restreint.

COMBUSTIBLES FOSSILES. On divise ordinairement les combustibles fossiles en trois grandes classes : le *lignite*, la *houille* et l'*anthracite*. L'anthracite et la houille appartiennent, par leur gisement, aux terrains de transition et aux terrains secondaires; les lignites sont les combustibles que l'on trouve dans les terrains tertiaires.

La majeure partie des houilles se trouve exploitée dans une formation qui forme la partie supérieure des terrains de transition, et qu'on appelle pour cette raison la *grande formation carbonifère*. Dans la partie inférieure de cette formation on n'a jamais rencontré qu'un combustible très-sec, ne perdant que très-peu de son poids par la calcination, et qui porte le nom d'*anthracite*. La houille proprement dite, se trouve dans l'étage supérieur qu'on désigne généralement sous le nom de *terrain houiller*. Il y a aussi de l'anthracite dans le terrain houiller, et même dans les terrains secondaires, comme cela se voit dans les Alpes.

Tous les combustibles fossiles, depuis les lignites jusqu'à l'anthracite, sont évidemment le produit du dépôt et de l'altération de matières végétales. Dans les lignites, dont la formation se rapproche le plus de l'époque actuelle, on trouve encore des parties qui présentent des traces d'organisation végétale, et qui lient ces combustibles au bois fossile et aux tourbes, tandis que d'autres lignites ont une grande analogie, par leur aspect, avec les houilles proprement dites. Dans cette série de combustibles fossiles, il y a un passage graduel des matières ligneuses à peine altérées jusqu'aux anthracites formées presque entièrement de carbone.

J'ai réuni dans le tableau suivant (ci-après) le principaux résultats obtenus par M. Regnault, dans un beau travail sur la composition des combustibles minéraux.

Tous les combustibles dont l'analyse se trouve dans ce tableau avaient été desséchés préalablement à la température de 120°. L'anthracite et les houilles n'ont perdu ainsi qu'une quantité très peu notable d'eau hygrométrique. Il faut aussi faire remarquer que l'oxygène et l'azote ont été dosés ensemble dans les analyses précédentes. Or, il résulte d'assez nombreuses expériences que la proportion d'azote des divers combustibles minéraux est toujours à très peu près la même, et qu'elle se trouve comprise entre 1,50 et 2 p. 100; il est donc facile de faire la correction.

L'examen de ce tableau conduit aux conséquences suivantes :

On voit, comme on pouvait s'y attendre, que la proportion de charbon laissée par distillation est d'autant plus grande que le combustible renferme moins d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.

La propriété collante des houilles, c'est-à-dire la faculté qu'elles ont de se ramollir et de se coller sous l'action de la chaleur, dépend surtout du rapport entre l'hydrogène et l'oxygène. Plus il y a d'hydrogène en excès sur l'oxygène, plus la houille est collante; quand la proportion d'hydrogène devient très considérable, comme dans les bitumes, il ne reste presque pas de coke à la distillation; presque tout le carbone se volatilise à l'état de carbure d'hydrogène.

Le pouvoir calorifique des combustibles désignés sous les noms d'anthracite, de houilles grasses et dures, et de houilles grasses maréchales est égal, sinon supérieur, à celui du carbone pur. A mesure qu'on se rapproche des combustibles de l'époque actuelle, le pouvoir calorifique diminue rapidement; les lignites bitumineux qui font exception à cette règle, ne se trouvent qu'en petite quantité par rapport aux autres combustibles.

Les usages auxquels on emploie les divers combustibles minéraux sont aussi en rapport avec leur composition chimique.

Les *anthracites* brûlent difficilement, avec une flamme

DÉSIGNATION des COMBUSTIBLES.	LIEUX d'où ils proviennent.	NATURE du COKE.	DENSITÉS.	COMPOSITION. carbone	hydrogène	oxygène et azote	cendres	COKE laissé par calcination.	POUVOIR calorifique d'après la loi de Welter
I. Anthracite.	Pays de Galles.	pulvérulent.	1,348	92,56	3,33	2,53	1,58	89,5	7300
	Lamure.	*id.*	1,362	89,77	1,67	3,99	4,57	90,0	6800
II. Houilles grasses et dures.	Alais.	boursouflé.	1,322	89,27	4,85	4,47	1,41	77,7	7370
III. Houilles grasses maréchales.	Rive-de-Gier (Grand-Croix).	très boursouflé.	1,298	87,45	5,14	5,63	1,78	68,5	7270
IV. Houilles grasses à longue flamme.	Lancashire (Cannelcoal).	boursouflé.	1,317	83,75	5,66	8,04	2,55	57,9	7050
	Commentry.	*id*	1,319	82,72	5,29	11,75	0,24	63,4	6730
V. Houilles sèches à longue flamme.	Blanzy.	fritté.	1,362	76,48	5,23	16,01	2,28	57,»	6230
VI. Lignite parfait (terrain tertiaire).	Dax.	pulvérulent.	1,272	70,49	5,59	18,93	4,99	49,1	5790
VII. Lignite imparfait.	Grèce.	*id.*	1,185	61,20	5,00	24,78	9,02	38,9	4830
	Usnach (bois fossile).	*id.*	1,167	56,04	5,70	36,07	2,19	»	4320
VIII. Lignite passant au bitume.	Ellbogen.	boursouflé.	1,157	73,79	7,46	13,79	4,96	27,4	6580
Asphalte.	Cuba.	*id.*	1,063	79,18	9,30	8,72	2,80	9,0	7500

faible, sans se coller ni se ramollir sous l'action de la chaleur. Plusieurs variétés de ce combustible ont la propriété de décrépiter et de se réduire en petits fragments à la première impression du feu.

L'anthracite est employée pour le chauffage des chaudières et la cuisson de la chaux. Les variétés qui ne décrépitent pas pourront être employées en outre avec avantage pour fondre les minerais de fer dans les hauts fourneaux et pour les usages domestiques.

Les *houilles grasses et dures* sont surtout estimées pour la fabrication du coke. Le produit de leur carbonisation est peu boursouflé, dense et doué d'une forte cohésion. Il est d'un bon emploi dans les opérations métallurgiques, pour la fusion des minerais de fer.

Les *houilles grasses maréchales* et les *houilles grasses à longue flamme*, sont celles qui conviennent le mieux pour la forge, et pour le chauffage des fours à réverbère à haute température. Les houilles grasses à longue flamme conviennent parfaitement pour la fabrication du gaz d'éclairage parce qu'elles fournissent beaucoup de produits gazeux chargés de carbure d'hydrogène en quantité suffisante pour assurer leur pouvoir éclairant. Le coke qu'elles produisent est très boursouflé et convient moins bien pour les applications métallurgiques que le coke compacte et dur.

Les *houilles maigres* ou les *houilles sèches à longue flamme*, donnent un coke à peine fritté, qui n'a pas du tout de consistance. Elles sont encore bonnes pour les chaudières à vapeur et pour tous les usages qui n'exigent pas une température très élevée ; mais elles conviennent peu aux opérations métallurgiques. Leur pouvoir calorifique et leur température de combustion sont déjà bien inférieurs à ceux des groupes précédents.

Les lignites servent pour les évaporations, le chauffage des chaudières, la cuisson de la chaux et des briques, le chauffage domestique; leur température de combustion est peu élevée.

Il y a encore d'autres éléments dont il est essentiel de tenir compte dans la détermination de la valeur des combustibles minéraux, ce sont :

1° *La nature et la proportion des cendres*. La nature des cendres de houille est assez peu variable. Elles sont presque toujours argileuses; on y rencontre aussi de l'oxyde de fer, du carbonate et du sulfate de chaux. La proportion des cendres que laissent les combustibles minéraux est extrêmement variable d'une couche à l'autre et même dans les différentes parties d'une même couche, mais il est rare qu'en moyenne elle soit aussi faible que celle portée sur le tableau précédent ;

2° *Les pyrites de fer*. Cette matière se rencontre malheureusement, très fréquemment, dans les houilles, et nuit beaucoup à leur qualité. Elle se trouve disséminée en petits cristaux, souvent à peine visibles, entre les feuillets de la houille. Par le contact de l'air humide, la pyrite se change en sulfate en absorbant de l'oxygène, et il en résulte une expansion qui fait tomber la houille en poussière. Quand cette décomposition s'opère dans l'intérieur des mines, le dégagement de chaleur qui l'accompagne peut être tel que la houille prenne feu ; on voit souvent des incendies produits par cette cause. Enfin, les houilles pyriteuses ne peuvent servir qu'à un petit nombre d'usages, parce que le soufre qu'elles renferment corrode peu à peu le fond des chaudières, les tuyaux, et qu'il altère la qualité des métaux avec lesquels le combustible est en contact.

Quand on brûle les houilles, le soufre des pyrites se dégage à l'état d'acide sulfureux, et le fer reste dans les cendres à l'état de peroxyde. Quand la houille renferme en même temps du carbonate de chaux, une partie du soufre est retenue dans les cendres à l'état de sulfate.

Disons un mot, pour terminer ce qui est relatif aux combustibles minéraux, des produits de leur distillation et de leur combustion.

Les houilles donnent à la distillation des gaz combustibles, de l'eau souvent ammoniacale, des huiles empyreumatiques, et laissent un résidu charbonneux ou *coke*. L'ammoniaque provient de l'azote du combustible, et se trouve, dans les produits de la distillation, à l'état de carbonate ou d'hydrosulfate. Quant aux huiles empyreumatiques, elles sont formées d'un grand nombre de principes immédiats différents, parmi lesquels on peut citer la *naphtaline*, qui encombre si souvent les tuyaux de conduite dans la fabrication du gaz d'éclairage.

Le gaz d'éclairage préparé avec la houille est un mélange de plusieurs gaz hydrogénés et d'oxyde de carbone tenant en dissolution des carbures d'hydrogène à l'état de vapeur. La composition des divers gaz d'éclairage et les circonstances les plus favorables à leur production, seront décrites à l'article ÉCLAIRAGE.

COMBUSTIBLES.

Du coke. On appelle ainsi le produit de la carbonisation de la houille, et l'on en fait un grand usage dans les travaux métallurgiques; il est en masses poreuses comme la pierre ponce et d'autant plus dur que les cavités des pores sont moins larges; il a un éclat demi-métallique, et sa couleur est le gris de fer. L'hectolitre de coke pèse en moyenne 40 à 45 kilogr.

Il attire l'humidité de l'air, mais moins que le charbon de bois.

Le coke préparé en grand ne retient pas une quantité notable de matières volatiles combustibles; aussi son pouvoir calorifique ne diffère de celui du carbone que par la proportion des cendres qu'il renferme, et qui s'élève ordinairement jusqu'à 10 et même 15 p. 100.

La pyrite de fer contenue dans les houilles, se trouve dans le coke à l'état de proto-sulfure qu'on aperçoit difficilement, parce que sa couleur est à peu près la même que celle du coke; mais il est facile d'en reconnaître la présence par l'acide hydrochlorique, qui produit dans ce cas un dégagement d'hydrogène sulfuré.

Le coke est d'une combustibilité difficile, mais il permet d'obtenir dans les fourneaux une température très notablement supérieure à celle que produirait le charbon de bois. Nous verrons plus bas à quoi tient cette circonstance.

III. — DE L'EMPLOI DES DIVERS COMBUSTIBLES. La chaleur développée par la combustion se disperse de deux manières différentes : une partie est rayonnée par le combustible embrasé, l'autre est entraînée par les produits gazeux de la combustion. Dans certains cas, comme celui des cheminées qui servent au chauffage domestique, on n'utilise que la chaleur rayonnante.

Quand, au contraire, la combustion s'opère dans une enceinte fermée, comme dans les foyers des fours à réverbère, la chaleur dispersée par le rayonnement du combustible sert à échauffer les parois du foyer. A partir du moment où celles-ci ont atteint une température fixe, toute la chaleur développée est entraînée par les gaz qui peuvent alors s'échauffer jusqu'au degré que nous avons appelé la température de combustion, puisque la chaleur rayonnée par les parois est égale à celle rayonnée par le combustible incandescent.

M. Peclet a déterminé, au moyen d'un appareil particulier, pour chaque combustible, la fraction de la chaleur totale qui est dispersée par le rayonnement. Il est arrivé à cette conclusion, que le charbon embrasé rayonne plus que les flammes : ainsi M. Peclet admet que, pour le charbon de bois, la chaleur rayonnée est la moitié de la chaleur totale, tandis qu'elle n'est que les 2/5 pour le bois.

Les appareils dans lesquels on utilise les combustibles, ont des formes et des destinations très variées.

Dans le cas le plus simple, celui du chauffage domestique, on n'utilise souvent que la chaleur rayonnée; c'est le cas des foyers à cheminée. Quand on se sert de poêles, presque toute la chaleur développée par la combustion pourrait, à la rigueur, se transmettre à l'air de la pièce par l'intermédiaire du poêle et de la cheminée. (Voir l'article CHAUFFAGE.)

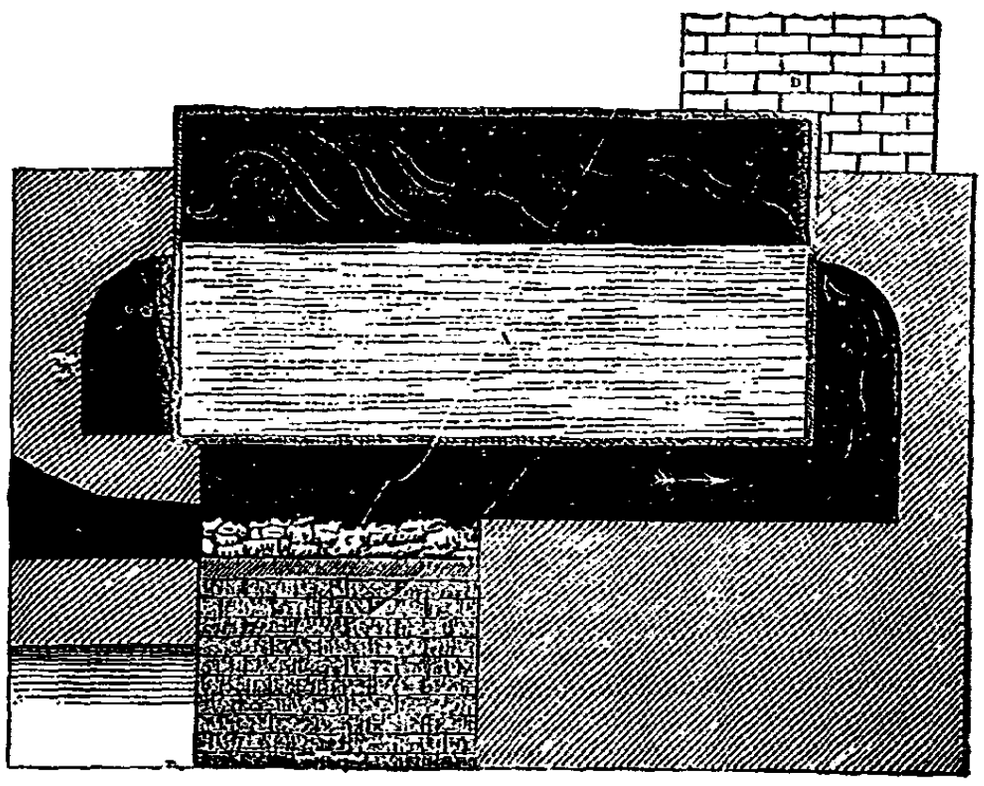
Les appareils employés dans les arts pour utiliser les combustibles peuvent se diviser en deux grandes classes : la première comprend tous ceux où la matière à échauffer n'est pas en contact direct avec le combustible. On peut y ranger les foyers qui servent à évaporer des liquides ou à chauffer des chaudières à vapeur, les fours à réverbère de forme si variée qu'on emploie dans le traitement des métaux, les fours à faïence et à porcelaine.

La seconde classe comprendra tous les appareils où la matière à échauffer est en contact direct avec le combustible. Les foyers de maréchalerie, les foyers d'affinage pour les métaux, tous les fourneaux à cuve qui servent au traitement des minerais métalliques et à la fusion des métaux, appartiennent à cette dernière classe.

On emploie généralement des combustibles à flamme dans tous les appareils de la première classe; dans ceux de la seconde, au contraire, on n'emploie guère que des combustibles carbonisés.

Je vais indiquer rapidement les circonstances principales de l'emploi des combustibles dans ces deux classes d'appareils.

Première classe. Le combustible est généralement placé sur une grille, et son épaisseur n'y dépasse pas 20 à 25 centim. L'air arrive par-dessous la grille, s'introduit à travers les barreaux, et traverse le combustible incandescent. Les produits de la combustion, après s'être dépouillés au contact avec la matière à échauffer d'une partie plus ou moins considérable de la chaleur qu'ils entraînent, sont enlevés par une cheminée placée à l'autre extrémité du foyer et qui détermine *le tirage*. (Voir CHEMINÉE.)



558.

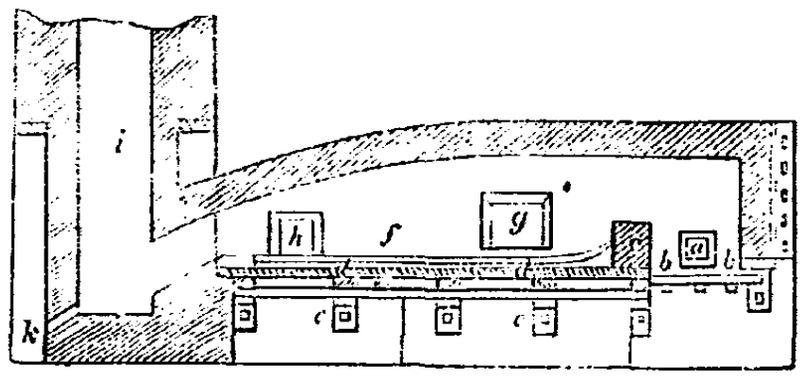
Dans les foyers de chaudière (*fig.* 558), on s'arrange pour que la surface de la chaudière A, en contact avec les produits de la combustion qui s'opère sur la grille C, ait un développement suffisant, afin que ceux-ci n'arrivent à la cheminée D, qu'après avoir abandonné la majeure partie de leur calorique.

L'expérience prouve que la quantité d'air qui traverse la grille, dans le cas qui nous occupe, est ordinairement le double de celle qui est nécessaire pour brûler complétement le combustible, et cependant ces foyers, dans leur construction actuelle, donnent presque constamment de la fumée; cette circonstance s'explique de la manière suivante : le carbone très divisé qui constitue la fumée résulte d'une combustion incomplète des carbures d'hydrogène dégagés par le combustible. Pour le brûler par l'oxygène atmosphérique, il est nécessaire que le mélange soit porté à une température élevée; or, à une certaine distance de la grille, la majeure partie de la chaleur produite est déjà absorbée par les chau-

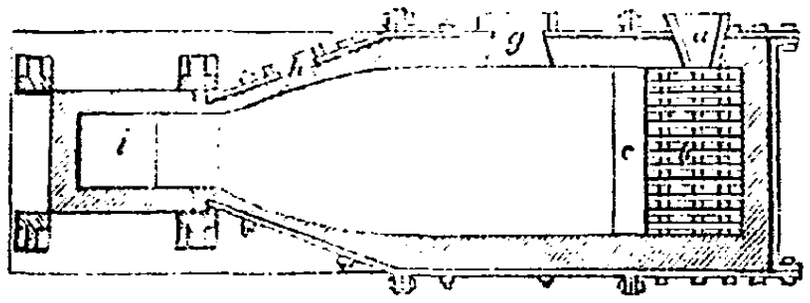
COMBUSTIBLES.

dières et sa température n'est plus assez élevée pour produire la combustion de la fumée.

Dans un four à réverbère (fig. 559 et 560), la grille



559.



560.

b, est séparée de la *sole f*, où se trouve la matière à échauffer par un mur en briques *c*, qu'on appelle *pont* ou *autel*. Ce pont est très élevé au-dessus de la sole, dans tous les cas où l'on craint l'oxydation de la matière qu'on échauffe, afin que le courant de gaz suive surtout la voûte du four, et que le métal ne s'échauffe que par le rayonnement de celle-ci.

L'analyse de l'air des cheminées des fours à réverbère où l'on produit une température très élevée, comme les fours à puddler et à réchauffer le fer, montre qu'il n'y a guère, en moyenne, que 7 à 8 p. 100 d'air non désoxygéné dans les produits de la combustion. Ce léger excès d'air paraît suffisant pour empêcher la formation des gaz combustibles. Un plus grand excès d'air serait nuisible, car il absorberait en pure perte pour s'échauffer une partie de la chaleur développée par la combustion, et par conséquent il abaisserait proportionnellement la température produite par celle-ci. Cette température serait un *maximum*, si le combustible et l'air se changeaient réciproquement et complétement en eau, acide carbonique et azote.

En quittant la sole du four, le courant de gaz doit posséder encore une température supérieure à celle que doivent atteindre les matières qui s'y trouvent placées. Il y a donc une grande quantité de chaleur entraînée dans la cheminée, et celle qui est réellement utilisée sur la sole des fours à réchauffer le fer ne dépasse pas *10 p. 100 de la chaleur de combustion totale*. Aussi a-t-on commencé, dans quelques usines, à intercaler entre la cheminée et la sole des fours des chaudières à vapeur qui ont permis d'obtenir ainsi les 40/100es de la chaleur de combustion, sans que le tirage ait été diminué et sans que la consommation du fer se soit accrue.

Tous les combustibles peuvent être utilisés pour le chauffage des chaudières, parce qu'il n'est pas nécessaire que la température de combustion soit très élevée. Dans les fours à réverbère, les combustibles les plus avantageux sont ceux dont le pouvoir calorifique est le plus élevé, pourvu qu'ils aient la propriété de brûler avec flamme. Les bonnes houilles grasses réunissent ces deux conditions. Il faut en effet, pour que l'on puisse utiliser le combustible, que la température de combustion soit supérieure à celle qu'il est nécessaire de produire sur la sole du four. Ainsi, dans les fours à souder le fer il faut arriver au moins à 1500°. Or, il est évident qu'on arrivera d'autant plus vite à souder le fer que la différence entre cette température limite et la température que possède le courant de gaz sera plus grande. Plus la température de combustion sera élevée, plus la fraction de la chaleur utilisée sera considérable, et par conséquent, moins on consommera de *calories* pour produire l'effet cherché. On explique ainsi pourquoi il y a économie à se servir de certains combustibles de préférence à d'autres, bien que la *calorie* de celui qu'on préfère soit plus chère que la calorie de l'autre, et pourquoi un combustible donné pourra ne pas produire le résultat que l'on attend, quelle que soit la proportion qu'on en emploie, si sa température de combustion est inférieure ou seulement égale à la température cherchée.

La préférence que l'on donne aux combustibles à flamme sur les combustibles carbonisés, dans le chauffage des fours à réverbère, s'explique par cette circonstance que le mélange des gaz combustibles produits par la distillation de la houille avec l'air, ne se fait complétement que sur la sole du four. C'est donc dans cette partie de l'appareil qu'aura lieu le maximum de température. Avec un combustible qui ne renfermerait que peu de matières volatiles, le maximum se produirait à une petite distance de la grille, et la température des gaz serait déjà sensiblement abaissée à leur arrivée sur la sole.

On peut faire brûler avec flamme des combustibles fixes, comme le coke ou l'anthracite, en lançant sous la grille de la vapeur d'eau en petite proportion. Celle-ci donne, au contact du combustible incandescent de l'acide carbonique et de l'hydrogène, gaz qui ne se mêlent complétement à l'air qu'à une certaine distance, en sorte que le lieu de la combustion se trouve rapproché de la sole. L'emploi de la vapeur d'eau paraît avoir produit des résultats avantageux pour la combustion de l'anthracite sur les grilles des fours à réverbère et des foyers de chaudières.

On n'observe guère de fumée, dans les fours à réverbère à haute température, qu'au moment du chargement du combustible sur la grille, et cependant l'excès d'air est ici moins considérable que dans les cheminées des foyers de chaudières; la haute température du mélange gazeux explique cette circonstance. La matière charbonneuse qui constitue la fumée doit nécessairement disparaître, soit par l'oxygène de l'air en excès, soit par l'action de l'acide carbonique déjà existant dans le courant de gaz. Au moment où l'on charge la houille sur la grille, la distillation presque instantanée qu'éprouve tout le menu en arrivant dans un foyer très échauffé explique la présence de la fumée.

Dans le cas où il faut éviter avec grand soin que la matière à échauffer ait le contact de la fumée, on emploie un mode de combustion, dit *à flamme renversée*, qui est surtout usité dans la cuisson de la porcelaine et de la faïence.

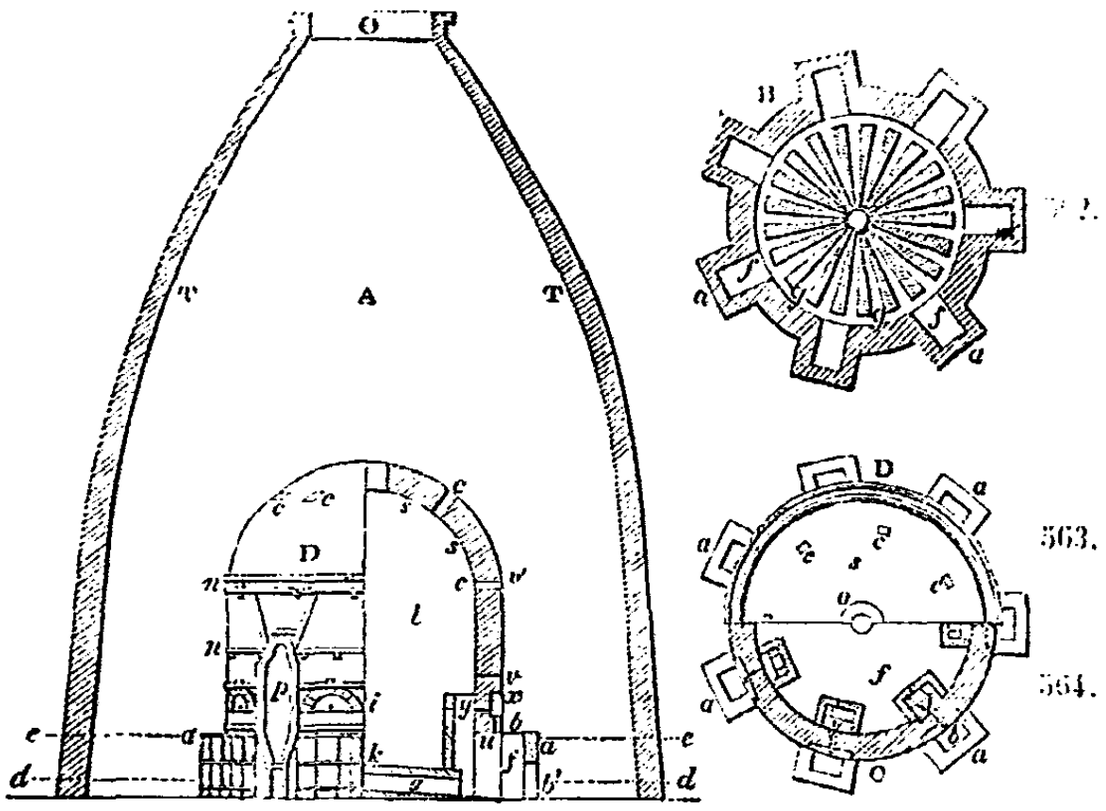
Les fig. 561, 562, 563 et 564 représentent la coupe verticale et trois coupes horizontales d'un four destiné à la cuisson de la faïence fine, il a la forme d'une tour ronde surmontée d'une partie voûtée, et placée dans l'intérieur d'une grande hotte ou cheminée TT. Les pièces à cuire sont placées dans la tour D, qui communique avec l'extérieur par 7 foyers *a*, *a*, qu'on appelle des *alandiers*. Le combustible qui est du bois sec coupé en petites bûches est placé sur une grille disposée en *f*. L'air s'introduit ici dans le four de haut en bas, et avant d'arriver à la grille, il traverse d'abord le bois qu'on vient de charger, puis le charbon qui se trouve au-dessous. Les produits de la distillation du bois sont donc obligés de traverser, mélangés avec de l'air non brûlé, du charbon incandescent. Ils se trou-

COMBUSTIBLES.

vent ainsi portés à une température très-élevée, et cette circonstance produit la combustion complète de la fumée.

Les ouvertures b', b', qu'on remarque au-dessous de la grille, ne servent qu'à enlever les cendres.

peut admettre, comme limite supérieure, qu'à 40 centimètres de distance de la tuyère, l'oxygène de l'air est complétement changé en oxyde de carbone. Ce fait devient d'une grande importance, quand on le rapproche de l'effet calorifique produit par la transformation de



561.

563.

564.

2e *classe*. Dans tous les appareils qui précèdent, on cherche toujours à produire une combustion aussi complète que possible. Les produits de cette combustion sont de l'eau, de l'acide carbonique et de l'azote. L'air, n'ayant à traverser qu'une couche peu épaisse de combustible, est généralement appelé dans le foyer par le simple tirage de la cheminée. Dans tous les foyers de la seconde classe, le combustible se trouve en couche épaisse, et l'air y est presque toujours injecté, sous une certaine pression, par une machine soufflante au moyen d'un orifice particulier peu étendu, qu'on appelle la *tuyère*. La combustion s'opère ici suivant des lois particulières qui exigent quelques développements.

Quand l'air traverse une épaisseur un peu considérable de charbon, celui-ci se brûle de deux manières différentes. L'oxygène de l'air en s'introduisant dans le fourneau forme d'abord de l'acide carbonique, et ce gaz, en traversant une nouvelle couche de combustible incandescent, se transforme en oxyde de carbone en doublant de volume. On peut donc diviser en trois zones distinctes l'espace compris entre l'entrée de l'air et la sortie du gaz: 1° la zone où commence la combustion : on y trouve de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote ; l'oxygène diminue constamment à mesure qu'on s'éloigne de la tuyère, et produit un volume égal au sien d'acide carbonique; 2° la zone où s'effectue la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone, 3° enfin celle où tout l'oxygène atmosphérique est complétement changé en oxyde de carbone. Comme ce gaz ne renferme qu'un demi-volume d'oxygène, la composition de la colonne gazeuse dans cette région serait représentée par 79 volumes d'azote et 42 d'oxyde de carbone ou 65,6 du premier et 34,4 du second.

L'expérience prouve que les deux premières zones n'occupent, dans la plupart des fourneaux à courant d'air forcé, qu'un espace peu considérable, dont l'étendue varie avec la vitesse et la température de l'air, d'une part, et la nature du combustible de l'autre. Dans des hauts fourneaux à fondre les minerais de fer, on

l'acide carbonique en oxyde de carbone. On déduit aisément des expériences précitées de Dulong qu'il doit y avoir dans ce cas absorption d'une grande quantité de chaleur et par conséquent un abaissement considérable dans la température de la colonne gazeuse ascendante.

En effet, d'après Dulong, 1 litre de vapeur de carbone (1gr,077) donne, en se transformant en 2 litres d'acide carbonique, 7858 calories; ces 2 litres d'acide carbonique prendront 1 litre de vapeur de carbone ou 1gr,077 pour former 4 litres d'oxyde de carbone, qui développeront, par leur combustion complète, 12520 unités de chaleur.

Voilà donc $7858 + 12520 = 20378$ calories produites par la combustion complète de 2 litres (2gr,154) de vapeur de carbone. Or, ces 2 litres de vapeur de carbone en se transformant directement en acide carbonique, n'auraient produit que 2×7858 ou 15716 calories. On en conclut nécessairement que la différence 4662 représente la quantité de chaleur rendue latente par la transformation de 2 litres d'acide carbonique en 4 litres d'oxyde de carbone.

Ainsi donc, en brûlant un combustible fixe en couche épaisse par un courant d'air forcé, on a deux effets calorifiques inverses produits par deux quantités égales de carbone. La première combustion qui donne lieu à l'acide carbonique, produit une température très élevée. La transformation de cet acide carbonique en oxyde de carbone détermine, au contraire, un abaissement considérable de température.

Ce résultat explique pourquoi, dans tous les foyers à courant d'air forcé, le lieu du maximum de température est peu étendu. On voit aussi combien il importe que l'épaisseur du combustible sur les grilles des fours à réverbère ne soit pas trop grande, puisqu'il en résulterait une formation d'oxyde de carbone et un abaissement correspondant dans la température du courant du gaz.

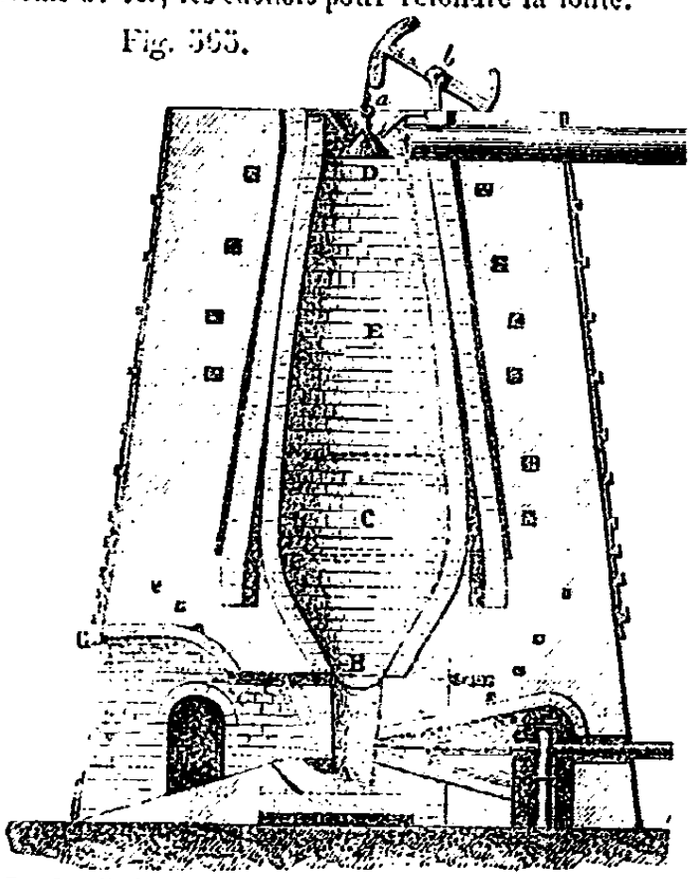
Parmi les appareils alimentés par un courant d'air forcé, les uns qui portent spécialement le nom de *foyers*

COMBUSTIBLES.

(*foyers de maréchalerie, foyers d'affinerie*), se composent d'une simple cavité qu'on appelle le *creuset*. Il y a souvent, dans la plupart de ces foyers, une épaisseur de 30 à 40 centim. de charbon au-dessus des tuyères, en sorte que les produits de la combustion renferment ordinairement une assez forte proportion d'oxyde de carbone. Quand ces foyers servent à chauffer des barres métalliques, les ouvriers savent parfaitement qu'il y a une position de la barre dans le foyer qui produit l'échauffement de celle-ci beaucoup plus rapidement que toute autre. Dans les foyers d'affinage de la fonte qui reçoivent le vent sous une pression de 0m,03 de mercure, le lieu du maximum de température est à 10 ou 12 centim. de distance du museau de la tuyère. Les gaz aspirés dans cette région du feu renferment plus d'acide carbonique que partout ailleurs.

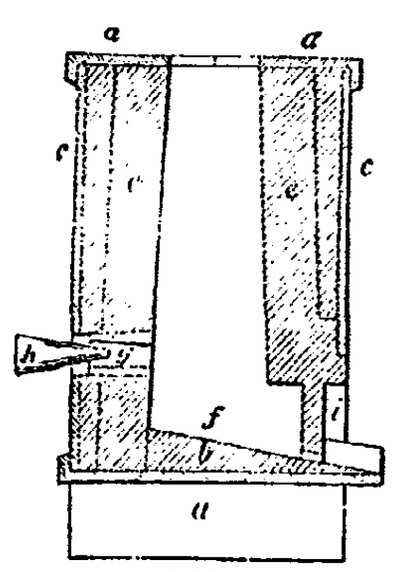
Les autres appareils à courant d'air forcé portent généralement le nom de *fourneaux à cuve*, parce qu'il y a au-dessus de la tuyère un espace vide appelé *cuve*, qui est rempli pendant le roulement du fourneau par le combustible et la matière à traiter. Ces fourneaux sont employés pour le traitement des minerais métalliques et la fusion des métaux. Il y en a un très-grand nombre d'espèces dont les dimensions et la forme varient suivant leur emploi. Tels sont les *fourneaux à manche*, les *hauts-fourneaux* à fondre les minerais de fer, les *cubilots* pour refondre la fonte.

Fig. 565.

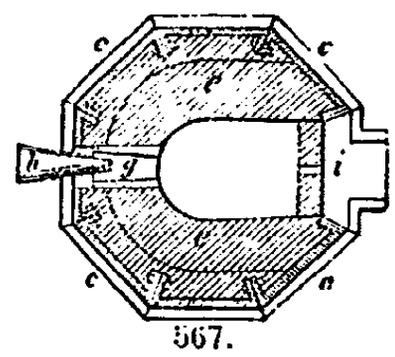


La fig. 565, qui représente la coupe d'un haut-fourneau à fer, donnera une idée générale de ces fourneaux. Le charbon et le minerai de fer sont chargés par l'ouverture supérieure, qui porte le nom de gueulard; l'air est projeté dans le fourneau par les tuyères T, au moyen de tuyaux, qui communiquent avec la machine soufflante. Il y a dans un pareil fourneau en roulement une colonne gazeuse ascendante qui s'échappe par le gueulard D, et une colonne solide descendante formée par le charbon et les minerais. En arrivant devant la tuyère, le charbon se brûle complétement; le minerai s'y fond et se sépare en deux parties, la fonte et les *laitiers*, sorte de verre formé par les éléments terreux du minerai et du fondant. La fonte et les laitiers se réunissent dans le creuset A, où ils se séparent en vertu de leur pesanteur spécifique relative, et les laitiers s'écoulent au dehors.

Les réactions qui s'opèrent dans les hauts-fourneaux se déduisent naturellement des principes qui ont été exposés plus haut. Ainsi la *zone de fusion* des minerais se trouve occuper dans le fourneau une hauteur de 30 centim. à partir de la tuyère, et l'expérience prouve que la combustion du charbon s'opère en entier dans cet intervalle, et que la limite supérieure de la zone de fusion correspond précisément au point où l'acide carbonique est complétement changé en oxyde de carbone. La chaleur sensible que conserve la colonne gazeuse, après cette réaction, se communique aux matériaux solides de la colonne descendante. Elle entraîne tous les éléments volatils du minerai et du charbon, l'acide carbonique du calcaire employé comme fondant, et les produits de la distillation du charbon, en même temps que l'oxyde de carbone, ramène l'oxyde de fer à l'état métallique.



566.



567.

La transformation complète de l'oxygène atmosphérique en oxyde de carbone n'a pas lieu dans tous les fourneaux à cuve. Ainsi, par exemple, dans les cubilots (fig. 566 et 567), on trouve que les gaz renferment encore des proportions très-considérables d'acide carbonique, bien qu'ils aient traversé une hauteur de 2 à 3 mètres de fonte et de coke. Il y a évidemment avantage à ce qu'il en soit ainsi, puisque la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone produit à la fois une consommation de charbon et une absorption de chaleur. Le maximum d'effet utile du combustible, dans le cubilot, correspondrait évidemment à la transformation de l'oxygène atmosphérique en acide carbonique seulement.

Au contraire, dans le haut-fourneau, il est nécessaire que l'acide carbonique se change complétement en oxyde de carbone, afin que le fer réduit dans la cuve puisse se carburer avant d'arriver dans la zone de fusion. Cette carburation n'aurait pas lieu dans une atmosphère chargée d'acide carbonique, et même le fer s'y oxyderait en formant de l'oxyde de carbone.

La quantité relative des combustibles fixes qu'on emploie dans les fourneaux est loin d'être proportionnelle à leur pouvoir calorifique. Ainsi, si l'on compare le coke et le charbon de bois, on trouve qu'il faut en moyenne, dans le haut-fourneau, deux fois plus de coke que de charbon de bois pour obtenir le même poids de la même nature de fonte. Dans le cubilot, on trouve, au contraire, qu'il faut trois fois plus de charbon de bois que de coke pour refondre 100 kilog. de fonte. L'expérience prouve également que dans les fourneaux à vent, tel que celui employé pour la fabrication de *l'acier fondu*, le coke est bien plus avantageux que le charbon de bois, et qu'on peut, en l'employant, obtenir 10° pyrométriques de plus qu'avec le charbon.

L'explication de ces résultats fort singuliers se déduit naturellement des notions que nous donne l'expérience sur la combustibilité relative des différentes es-

pèces de charbon. Ainsi, il paraît bien constant que le charbon de bois transforme l'acide carbonique en oxyde de carbone plus rapidement que le coke. Partout où l'acide carbonique devra être complétement changé en oxyde de carbone, il y aura avantage à employer le charbon de bois, puisque l'étendue de la zone oxydante avec celui-ci sera, toutes choses égales d'ailleurs, bien moins considérable qu'avec le coke. Quand, au contraire, on devra transformer le moins possible d'acide carbonique en oxyde de carbone, comme dans les cubilots, les fourneaux à vent, le coke sera bien préférable au charbon de bois. Nous supposons, dans tout ce qui vient d'être dit, que la calorie du charbon de bois n'est pas plus chère que la calorie du coke, ou, ce qui revient au même, nous cherchons quel est celui des deux combustibles qui permettra d'obtenir un effet donné avec la moindre dépense de *calories*, indépendamment de leur prix relatif.

On peut maintenant se demander pourquoi le charbon de bois transforme l'acide carbonique en oxyde de carbone plus rapidement que le coke. La porosité du charbon de bois me paraît pouvoir expliquer ce fait d'une manière satisfaisante. D'après M. Mitscherlich, le diamètre moyen des pores du charbon de bois est d'environ $\frac{1}{100}$ millim. En comparant le poids du charbon sec au poids du même charbon imbibé d'eau et au diamètre des pores, M. Mitscherlich a calculé que la surface totale des cellules, dans un morceau de charbon de bois qui pesait $0^{gr},9565$ était d'environ 8 mètres carrés. Comme les gaz peuvent pénétrer dans les pores du charbon, on voit que sous un faible volume il leur offre une surface très considérable, et que par conséquent l'action chimique peut s'effectuer tout entière dans un espace peu étendu. Le coke est loin de présenter une porosité comparable à celle du charbon de bois. Les mêmes considérations permettent d'expliquer pourquoi le charbon de bois, une fois allumé, continue à brûler à l'air libre, tandis que le coke s'y éteint très rapidement. Il ne paraît pas nécessaire, pour rendre compte des différences de combustibilité des divers charbons, d'admettre des différences dans leur nature chimique.

J'ai dit plus haut qu'on n'employait ordinairement dans les fourneaux à cuve que des combustibles carbonisés. On a proposé, il y a quelques années, de remplacer ceux-ci par des combustibles à l'état cru, et de nombreuses expériences ont été faites dans les usines à fer sur la substitution du bois au charbon dans les hauts-fourneaux. On pensait qu'on utiliserait dans le haut-fourneau toute la partie combustible que perd le bois pour se transformer en charbon. Mais l'expérience a prouvé que dans un fourneau alimenté en tout ou en partie avec du bois, celui-ci se carbonisait dans une certaine zone de l'appareil élevée bien au-dessus de la zone de combustion, en sorte que tous les produits de la distillation se dégageaient avec les gaz de la colonne ascendante. On a constaté également que cette distillation du bois produisait une absorption considérable de chaleur latente et un grand abaissement de température dans la partie du fourneau où elle s'effectuait. On en est revenu presque partout à l'emploi exclusif des combustibles carbonisés. Il convient de dire toutefois que le bois torréfié ou charbon roux est encore employé avec avantage dans quelques hauts-fourneaux des Ardennes, et la raison en est, sans doute, que le bois torréfié laisse par sa distillation dans le fourneau une plus forte proportion de charbon qu'il n'en aurait donné si on l'eût carbonisé, à l'état naturel, par la méthode ordinaire des forêts.

De la combustion des gaz. On a vu par ce qui précède que les gaz qui s'échappent à la partie supérieure des fourneaux à cuve contiennent encore beaucoup d'oxyde de carbone et d'autres gaz combustibles, tels que l'hydrogène, qui proviennent de la distillation du charbon. Il en résulte des flammes bleuâtres qui se continuent au gueulard tant que le fourneau est en roulement. On n'avait jamais songé à tirer parti de la chaleur qu'elles produisaient jusqu'en 1809, époque à laquelle M. *Aubertot*, maître de forges de la Nièvre, fit exécuter dans ses usines de nombreuses constructions pour tirer parti de la chaleur perdue de ses hauts-fourneaux et de ses feux d'affinerie. Il utilisa cette chaleur avec beaucoup de succès pour la cuisson de la chaux et des briques, pour le grillage des minerais de fer. Ses procédés furent décrits en 1814 par M. *Berthier* qui indiqua en même temps dans son mémoire plusieurs autres usages auxquels on pouvait appliquer cette source de chaleur, entre autres, *le chauffage d'une chaudière à vapeur destinée à fournir la force motrice pour la soufflerie du haut-fourneau*. Mais l'emploi des gaz combustibles des hauts-fourneaux n'a acquis dans la métallurgie une grande importance que depuis quelques années. L'on a reconnu que la chaleur développée par leur combustion était comprise entre les 2/3 et les 3/4 de la valeur calorifique du charbon introduit dans le fourneau.

Jusqu'à ces derniers temps, la combustion de ces produits gazeux s'opérait librement par l'air atmosphérique qui s'introduisait avec eux sous les chaudières ou dans les fours où leur chaleur devait être utilisée. Mais ce mode de combustion était fort imparfait, et il est facile d'en montrer la cause. Quand on brûle un combustible solide sur une grille ou dans un fourneau à cuve, l'air appelé par la cheminée ou projeté par la tuyère, s'introduit à la fois à travers tous les intersticos que laisse le combustible, et l'absorption de l'oxygène de l'air est pour ainsi dire instantanée. Quand, au contraire, un volume de gaz un peu considérable se brûle à l'air libre, il n'y a combustion qu'à la surface de contact du gaz avec l'air, et il en résulte nécessairement que les flammes doivent se prolonger à une grande distance de l'orifice de sortie des gaz. Dans de pareilles conditions, il n'était pas possible d'obtenir de la combustion des gaz une température très élevée, à cause du déplacement continuel du lieu de la combustion.

M. *Faber du Faur*, directeur de l'usine royale de *Wasseralfingen* (Wurtemberg), a complétement résolu le problème de la combustion la plus avantageuse des gaz, en injectant au milieu de ceux-ci, par un grand nombre d'orifices, un courant d'air chaud et comprimé. L'air et les gaz se mélangeant presque instantanément, le lieu de la combustion se trouve invariable et à une petite distance de l'entrée de l'air et des gaz dans le four. M. Faber du Faur est parvenu à utiliser ainsi les gaz des hauts-fourneaux pour l'affinage de la fonte et même pour le soudage du fer.

Depuis la réussite des essais de M. Faber du Faur, on a monté des appareils pour le puddlage de la fonte au moyen des gaz des hauts-fourneaux dans plusieurs usines de France et de l'étranger. Les appareils de combustion ont des formes très variées, mais le principe de leur construction est identique à celui des fours de Wasseralfingen (voyez FER).

De la transformation des combustibles en gaz. La possibilité de développer de hautes températures au moyen de la combustion des gaz étant démontrée, on a dû naturellement se demander s'il ne serait pas avantageux de transformer les combustibles solides en gaz pour les employer à cet état. Des expériences faites à *Audincourt* (Doubs), en Prusse et en Autriche, ont résolu affirmativement cette question et ont prouvé qu'on pouvait utiliser ainsi, pour les usages métallurgiques, des combustibles d'un emploi nul ou peu avantageux à l'état solide.

Examinons successivement les différents moyens qu'on peut employer pour préparer des gaz combustibles.

1° *La distillation.* La distillation en vases clos ne

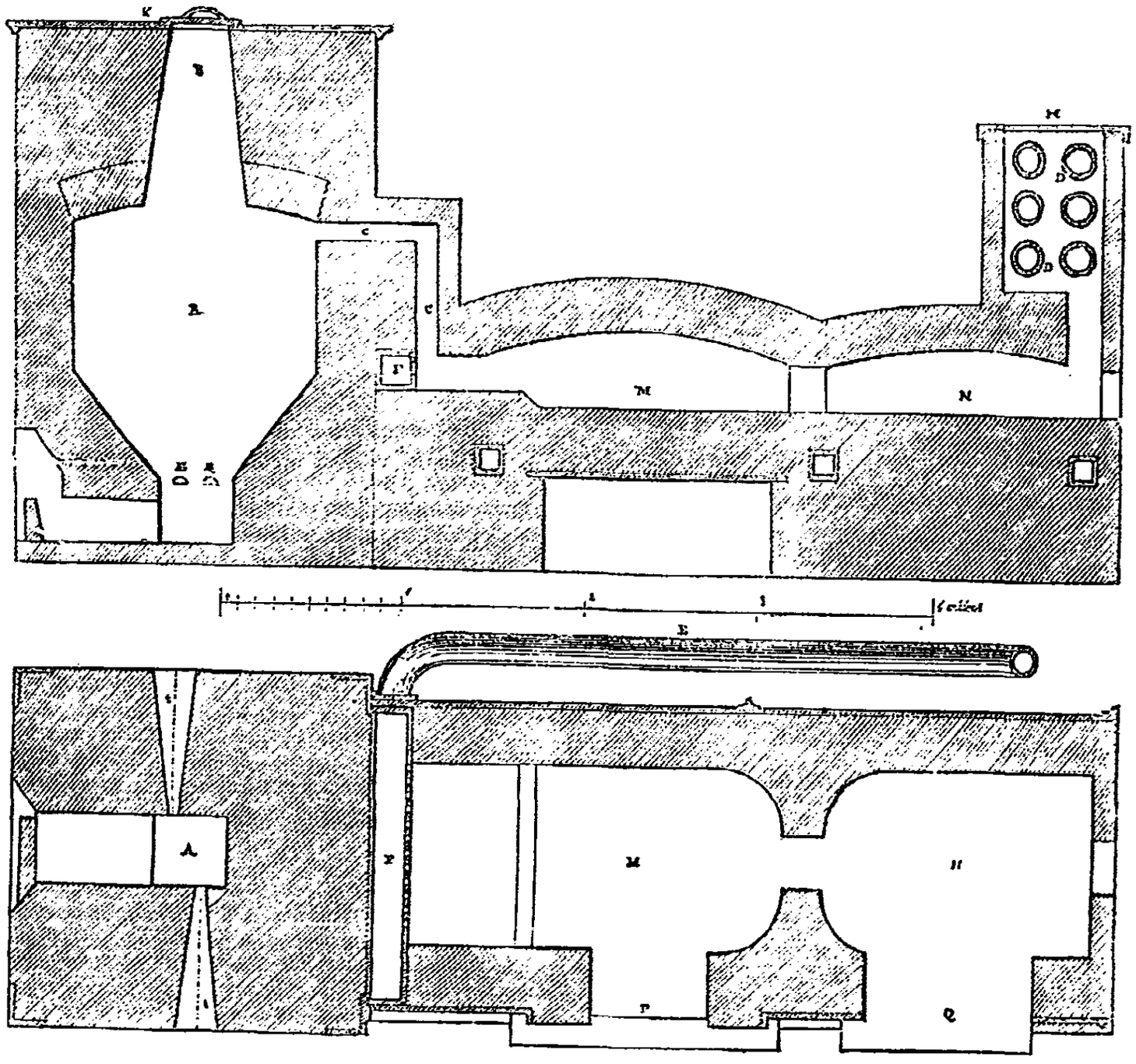
COMBUSTIBLES.

peut pas être employée avec avantage pour produire des gaz combustibles autres que ceux destinés à l'éclairage. Tous les combustibles laissent en effet par la distillation un résidu considérable de charbon qui ne serait pas gazéifié. D'un autre côté, pour avoir un volume de gaz suffisant pour le chauffage d'un fourneau, il faudrait un grand nombre de cornues chauffées extérieurement. Le service de ces appareils exigerait l'emploi d'un combustible pour la distillation, et une main-d'œuvre considérable pour le chargement et le déchargement des cornues. Ce mode de génération des gaz est donc industriellement impraticable.

2° *L'action de la vapeur d'eau.* Supposons que l'on remplisse un cylindre en fonte avec du charbon, que ce cylindre soit porté au rouge par une source de chaleur extérieure, et qu'on le fasse traverser par un courant de vapeur d'eau fortement échauffée après sa sortie de la chaudière; la vapeur produira au contact de charbon de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, dans la proportion d'un volume d'oxyde de carbone et d'un volume d'hydrogène pour un volume de vapeur. D'après les expériences de Dulong, la combustion de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, développerait plus de chaleur que la transformation en acide carbonique du charbon solide qui leur a donné naissance. On en conclut nécessairement qu'il y a eu absorption de chaleur latente par le fait de la décomposition de la vapeur, et cette quantité de chaleur sera déterminée par un calcul semblable à celui fait plus haut. Il faudrait donc pouvoir restituer à chaque instant, dans l'intérieur du cylindre, la chaleur rendue latente par la décomposition de la vapeur. La quantité de gaz que peut produire chaque cylindre est donc limitée par la conductibilité pour la chaleur de l'enveloppe métallique et du charbon qui en remplit l'intérieur. Elle serait d'autant plus considérable que la température de la vapeur introduite serait plus élevée.

Les expériences faites ont confirmé très nettement les déductions théoriques qui précèdent, mais elles n'ont pas résolu la question industrielle.

3° *L'action de l'air seul.* Lorsqu'on fait passer un courant d'air forcé à travers un combustible, en couche épaisse, contenu dans un fourneau à cuve, nous avons vu que l'oxygène de cet air se changeait complétement en oxyde de carbone. Si l'on suppose que le combustible ne renferme pas de parties volatiles et que l'air soit



569.

tout à fait sec, le gaz obtenu sera uniquement formé d'oxyde de carbone et d'azote dans la proportion de 34,4 du premier et de 65,5 du second. Avec l'air humide, on aura dans les gaz une certaine quantité d'hydrogène produite par la décomposition de la vapeur d'eau au contact du combustible incandescent. Enfin si le combustible contient encore des principes volatils, ceux-ci se dégageront par distillation avant que le charbon n'arrive dans la zône de combustion.

Les gaz produits d'après les principes que je viens d'indiquer, renferment très notablement plus de prin-

COMBUSTIBLES.

cipes combustibles que les gaz des hauts-fourneaux employés pour la fabrication de la fonte, et leur combustion permet de développer, dans un four à réverbère, les températures les plus élevées dont on ait besoin dans les arts métallurgiques.

Les données théoriques qui précèdent ont servi de base à la construction et à la mise en roulement, dans les usines de la compagnie d'*Audincourt*, de fours à réverbère alimentés par des *générateurs de gaz* représentés en coupe et en plan par les fig. 568 et 569.

Le générateur de gaz A est un fourneau à cuve très large, qui reçoit l'air atmosphérique par une ou deux tuyères, *t*, *t*. On charge le combustible par l'ouverture B, qui forme la partie supérieure d'un vide conique et qui est fermée dans l'intervalle de deux charges. Les gaz arrivent dans le four à réverbère par le conduit C ; l'air qui doit les brûler est projeté par la caisse à vent F, percée de deux rangées de trous, au moyen desquels la combustion des gaz s'achève dans l'espace peu étendu placé immédiatement avant la sole M du four. L'air qui produit la combustion des gaz est chauffé, avant d'arriver dans la caisse F, par son passage à travers les tuyaux D, chauffés par la chaleur perdue du four, et l'on peut facilement porter sa température à 300°. Je ne dirai rien sur la construction du four qui sert pour fabriquer des tôles soudées, puisque sa disposition doit varier avec l'usage auquel on le destine.

Le combustible qu'on emploie dans le générateur A est de la petite braise, qui se trouve principalement au cœur des meules de carbonisation, et comme résidu dans les halles à charbon. L'analyse des gaz obtenus avec ce combustible m'a donné pour leur composition :

Acide carbonique.	0,5
Oxyde de carbone.	33,3
Hydrogène.	2,8
Azote.	63,4
	100,0

Résultat qui est bien d'accord avec les indications théoriques qui précèdent.

Le chargement du combustible par l'ouverture B, ne s'opère qu'à d'assez longs intervalles. On attend pour recharger le générateur que le soudage des pièces soit achevé. Si en effet on introduisait du charbon froid dans le générateur, la température des gaz qui s'en dégagerait par le rampant C s'abaisserait considérablement, et il en serait de même pour la température du four.

Il est facile d'expliquer pourquoi dans les dispositions précédentes, on a accolé le générateur au four à réverbère. Les gaz qui proviennent du passage de l'air à travers le charbon possèdent une température élevée, et qu'on peut bien évaluer en moyenne à 500 ou 600°. Si le générateur était éloigné du four, une grande partie de cette chaleur serait perdue par les conduits, et la température de combustion s'abaisserait dans le four. Avec la méthode adoptée pour le chargement du charbon, on voit que la température des gaz augmente à mesure que l'opération avance, et par conséquent la température de combustion doit s'accroître jusqu'à la fin, circonstance très favorable au succès de l'opération.

On explique de même l'avantage que l'on a à employer, pour la combustion des gaz, de l'air chaud au lieu d'air froid. Il en résulte une élévation correspondante de la température de combustion, et nous avons vu plus haut que plus la température de combustion est élevée, moins on consomme de combustible pour produire un effet déterminé. Au reste, la température produite dans le four à réverbère, représenté ci-dessus, est tellement élevée, qu'on a dû réduire la température de l'air comburant à 150°. Quand il est chauffé à 300°, il est presque impossible d'empêcher la fusion de la voûte du four après quelques jours de roulement, bien qu'elle soit formée des matériaux les plus réfractaires.

La quantité de gaz qui arrive dans le four est proportionnelle au volume d'air qui pénètre dans le générateur par les tuyères *t*. On règle la quantité d'air nécessaire pour la combustion des gaz au moyen d'un registre. Comme la combustion s'opère ici sous pression, il sort toujours une flamme par la porte F du four. On juge facilement, d'après la couleur qu'elle présente, s'il y a excès d'air ou de gaz dans le four. Une flamme bleuâtre annonce la présence de l'oxyde de carbone non brûlé, tandis qu'une flamme courte et jaunâtre indique un excès d'air. En analysant les produits de la combustion dans le four, on a reconnu qu'au moyen des apparences de la flamme, on pouvait arriver très-aisément à doser exactement l'air et les gaz, de façon à produire une combustion complète sans introduire un excès d'oxygène.

Pour que le générateur de gaz marche d'une manière continue et régulière, il faut qu'on puisse se débarrasser facilement des résidus de la combustion. En ajoutant au charbon un fondant, dont la nature et la proportion sont déterminées par la composition des cendres, on forme un laitier qui se rassemble dans le creuset et s'écoule par la partie inférieure du générateur. La régularité de la marche de ces appareils à Audincourt est très remarquable. On les laisse pendant plusieurs mois en feu sans qu'ils aient besoin de réparations.

En substituant du coke au charbon de bois dans le générateur, on obtient des gaz dont la composition est tout à fait comparable à celles des gaz de charbon, car ils renferment :

Acide carbonique.	0,7
Oxyde de carbone.	33,5
Hydrogène.	1,5
Hydrogène sulfuré.	0,2
Azote.	64,1
	100,00

Comme le coke contient 10 à 15 pour 100 de cendres argileuses, il faut ajouter un fondant qui sera du calcaire, auquel on pourra joindre une certaine quantité de scories de forges. Avec cette addition, la marche du générateur alimenté au coke est aussi régulière que dans l'alimentation avec la braise. On pourra vraisemblablement tirer parti, de cette manière, des débris de coke ou *escarbilles* qui passent à travers les grilles des fours à réverbère.

On a fait aussi quelques expériences sur l'emploi des combustibles à flamme dans des générateurs de gaz analogues à celui qui a été décrit plus haut. En l'alimentant avec du bois simplement desséché à l'air, les gaz produits se composaient de :

Acide carbonique.	7,23
Oxyde de carbone.	32,40
Hydrogène.	10,26
Azote	50,11
	100,00

Ces gaz étaient troubles et abandonnaient par leur passage à travers un long tube une proportion assez considérable de produits liquides, identiques avec ceux que fournit la distillation des bois. La proportion de ces produits liquides a été trouvée de 0^{kr},478 pour un litre de gaz supposé sec.

L'expérience a montré que l'oxygène de l'air projeté par la tuyère dans le générateur, se changeait complétement en oxyde de carbone avant d'arriver dans la région où le bois se distille, en sorte que celui-ci se carbonisait comme en vase clos. La température des gaz qui s'échappaient du générateur était à peine

supérieure à 100°, et l'on peut en conclure que la chaleur sensible qui restait à la colonne ascendante après la formation de l'oxyde de carbone, a été entièrement employée à produire la distillation du bois.

Les gaz produits avec le bois renferment près de 43 p. 100 de principes combustibles, notablement plus que les gaz de charbon, et cependant leur combustion ne donnerait pas une température aussi élevée que celle de ces derniers, si on brûlait les gaz immédiatement à leur sortie du générateur. Cela tient à la faible température de ces gaz et à la grande quantité de produits liquides qu'ils entraînent, lesquels sont formés principalement d'eau, et abaisseraient considérablement la température de combustion. Il faut ici que le générateur soit à une certaine distance des fours, et que les gaz circulent à travers des récipients d'un volume suffisant pour déterminer la condensation des vapeurs. Il faut de plus que ces gaz arrivant au four à réverbère soient réchauffés à chaleur perdue du four, comme l'air employé à la combustion des gaz. En suivant cette marche, on peut être certain que les gaz du bois donneront une température au moins égale à celle des gaz de charbon. On obtiendrait de plus, dans les condenseurs, de l'acide pyroligneux et du goudron, dont la valeur doit être prise en considération.

Pour la tourbe et les combustibles qui s'en rapprochent par leur composition, comme les lignites, il sera convenable d'opérer comme pour le bois, c'est-à-dire de condenser les produits liquides qui sont peu combustibles et de réchauffer les gaz à chaleur perdue.

En brûlant le bois, la tourbe et les lignites à l'état cru sur les grilles des fours à réverbère, on sait qu'on n'arrive pas à de très hautes températures, et leur composition en rend bien raison. En transformant au contraire ces combustibles en gaz, il est facile de les utiliser pour la production des températures les plus élevées. La séparation des produits liquides de leur distillation, l'échauffement de l'air comburant et des gaz combustibles, sont les trois conditions auxquelles il convient de satisfaire.

On emploie en Silésie la houille dans des générateurs de gaz, qui alimentent des fours de mazéage et de puddlage. En Autriche, on suit des procédés analogues pour l'emploi des lignites terreux et de mauvaise qualité. La combustion des gaz qu'ils produisent permet d'obtenir aisément la température nécessaire au puddlage de la fonte. Les générateurs employés en Autriche n'ont pas la même forme que celui décrit plus haut, mais les principes de la formation des gaz sont identiques.

Il convient d'ajouter ici que la compagnie d'Audincourt n'a pas pris de brevet d'invention pour les procédés décrits plus haut, et qui ont été établis dans ses usines à la suite d'expériences qui y avaient été exécutées aux frais de l'État. Ces procédés sont donc dans le domaine public.

4° *Emploi simultané de l'air et de la vapeur d'eau.* Si l'on injecte dans la tuyère d'un générateur, comme celui d'Audincourt, de l'air et une certaine quantité de vapeur d'eau; on reconnaît immédiatement qu'il en résulte un grand abaissement dans la température du fourneau. L'œil de la tuyère qui était d'un blanc éblouissant quand on n'injectait que de l'air devient rouge, et les scories produites par les cendres du combustible ne fondent plus. On conçoit que l'absorption de chaleur rendue latente par la décomposition de la vapeur limite nécessairement le volume de celle-ci. En la chauffant à sa sortie de la chaudière, on pourra en introduire une quantité d'autant plus considérable que sa température sera plus élevée. Dans une expérience où le volume de l'air était cinq fois plus considérable que celui de la vapeur d'eau, et où celle-ci était portée à une température de 250°, j'ai obtenu, dans un générateur alimenté avec du charbon de bois, des gaz formés de :

Acide carbonique. .	5,6
Oxyde de carbone. .	27,2
Hydrogène. . . .	14,0
Azote.	53,2
	100,0

On voit que la vapeur d'eau s'est décomposée au contact du charbon, de façon à produire de l'acide carbonique et de l'hydrogène, et l'acide carbonique n'a pas pu se changer en oxyde de carbone par défaut de chaleur disponible dans le générateur. La température des gaz sortant du générateur ne dépassait pas 200°; on pourra donc les conduire au loin sans perte notable de chaleur, et leur combustion pourra produire de hautes températures, puisqu'ils contiennent 41 p. 100 d'hydrogène et d'oxyde de carbone. Il sera avantageux d'agir sur ces gaz comme sur ceux produits avec le bois cru, c'est-à-dire de les réchauffer à la chaleur perdue du foyer où ils doivent être brûlés.

L'inconvénient que présente l'emploi simultané de l'air et de la vapeur d'eau consiste dans l'empêchement apporté par la décomposition de cette vapeur à la fusion des cendres du combustible. Cette difficulté aurait une grande importance avec des combustibles chargés de cendres, comme le coke, par exemple. Mais il me semble qu'il y aurait moyen de l'éviter, en introduisant la vapeur fortement chauffée, par un ou plusieurs orifices, situés à 30 ou 40 centimètres au-dessus des tuyères à air. La chaleur et la fusion des cendres se produiraient devant les tuyères à air, et la décomposition de la vapeur absorberait le reste de la chaleur disponible. Je ne sache pas que ce système ait encore été essayé.

Il ne serait pas convenable d'introduire de la vapeur dans des générateurs alimentés avec des combustibles à l'état cru, comme le bois ou la tourbe, puisque la chaleur disponible après la formation de l'oxyde de carbone est absorbée par les produits de la distillation.

En résumé, on voit que l'on possède des moyens faciles et économiques de transformer un combustible en un produit gazeux inflammable. Cette transformation préalable présentera-t-elle quelques avantages? C'est ce qu'il nous reste à examiner.

On peut transformer en gaz des combustibles chargés de cendres ou d'une faible valeur calorifique qui ne peuvent pas, dans l'état actuel, être utilisés avec avantage dans les opérations des arts. L'emploi du générateur de gaz a précisément pour résultat de dégager la partie combustible de la partie minérale. On a vu, d'un autre côté, qu'on pouvait condenser les produits liquides entraînés par les gaz, et développer alors par la combustion de ces derniers les températures les plus élevées dont on ait besoin dans les arts.

La substitution des gaz aux combustibles solides doit permettre de réaliser une économie sur le combustible. En effet, dans les procédés actuels le combustible est introduit froid sur la grille des fours et c'est de l'air froid qui est appelé par le tirage de la cheminée. Les combustibles gazeux ne doivent être brûlés qu'après avoir été fortement échauffés, et c'est de l'air chaud qu'on emploie pour cette combustion. On se trouve donc ici dans les circonstances les plus favorables pour obtenir une température de combustion aussi élevée que possible, et nous avons vu que plus la température de combustion était élevée, moins on consommait de combustible pour produire un effet déterminé.

Enfin un seul générateur de gaz établi sur des dimensions suffisantes peut alimenter à la fois un grand nombre de foyers Dans les ateliers où l'on a souvent un grand nombre de foyers distincts, il serait probablement fort avantageux de remplacer les combustibles solides par les gaz. Avec une conduite générale de gaz

partant du générateur et communiquant par des embranchements avec chaque foyer, de façon à ce que l'ouverture d'un registre suffise pour introduire les gaz et l'air comburant en proportion plus ou moins considérable, suivant la température qu'on veut obtenir, on arriverait avec facilité à l'exécution de ce système.

La transformation des combustibles en gaz nécessite, il est vrai, une force motrice assez considérable pour l'injection de l'air dans le générateur, et ensuite dans les foyers de combustion des gaz : mais comme il n'y a pas de tirage à établir dans ceux-ci, on peut utiliser la totalité de la chaleur sensible des gaz après leur combustion et leur passage sur la sole du four, et cette quantité de chaleur perdue serait plus que suffisante dans la plupart des cas pour chauffer les gaz à brûler, l'air comburant et la chaudière à vapeur qui fournirait la force motrice pour la machine soufflante. J. EBELMEN.

L'admirable travail d'Ebelmen, qu'avait voulu faire avec tant d'empressement notre excellent camarade de l'École polytechnique pour s'associer à une publication dont il appréciait l'extrême utilité, a été reconnu unanimement comme une des plus belles études de physique appliquée. La transformation des combustibles en gaz combustibles constituait un immense progrès, dont la théorie se trouvait admirablement formulée; mais, il faut bien le dire, la disposition pratique de son générateur laissait à désirer, il fallait un nouveau progrès pour que la belle conception théorique du savant eût toute son utilité pratique.

Une des conditions les plus gênantes dans beaucoup de cas, et la cause de dépenses toujours notables, était la nécessité d'employer une machine soufflante pour alimenter le fourneau producteur de gaz combustibles. Nous allons voir comment on est parvenu à s'en dispenser dans les appareils qui fournissent la solution la plus complète du problème, dans les cas notamment où la chaleur n'est pas employée à produire de la vapeur, et où par suite la production d'un travail moteur est une cause de complication. Auparavant, toutefois, je citerai, pour le cas où il s'agit de la production abondante de la vapeur, et je décrirai l'appareil Beaufumé qui, adopté par la puissante maison Cail, a paru un instant appelé à un grand succès. Son prix élevé, son usure rapide et la difficulté de son nettoyage ont empêché son adoption dans l'industrie.

Appareil Beaufumé. — L'appareil Beaufumé est le générateur à gaz d'Ebelmen, construit dans des conditions qui rappellent la disposition des foyers des locomotives.

L'appareil Beaufumé consiste (fig. 569 *bis*) en un foyer avec grille, enveloppé de tous côtés d'une capacité en tôle à doubles parois remplie d'eau et qui laisse à sa partie supérieure un espace suffisant pour la vapeur développée. C'est un foyer de locomotive; ce foyer est alimenté au moyen de deux chargeoirs D, D, fermés en dessus par des portes et en dessous par des valves qui permettent l'introduction des matières à brûler sans laisser échapper au dehors les gaz chauffés au rouge; l'air destiné à brûler le combustible est lancé sous la grille par un ventilateur B que conduit un petit moteur à vapeur A de la force d'un cheval, dont la vapeur est prise habituellement sur la capacité qui enveloppe le foyer. La vapeur de la grande chaudière réunie à celle du foyer s'applique à tous les emplois ordinaires de l'industrie.

Une partie de l'air est lancée dans le foyer, une autre partie va brûler les gaz combustibles sous la grande chaudière H. Des registres règlent cette distribution.

Le combustible est chargé sur 65 centimètres de hauteur, afin que l'air poussé à travers cette masse,

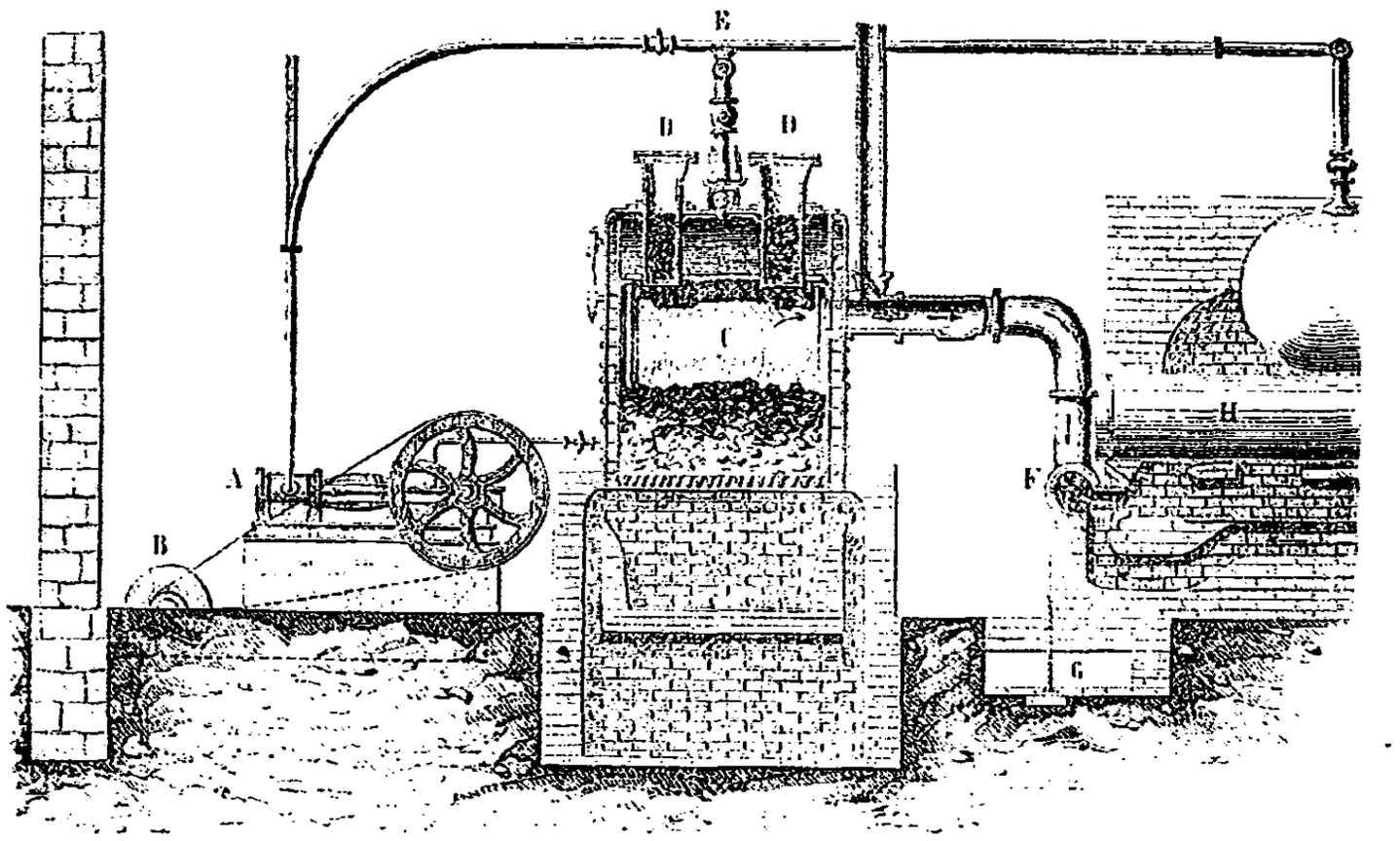


Fig. 569 *bis*.

après s'être converti en acide carbonique, en brûlant la couche inférieure et la portant à la plus haute température, se transforme en oxyde de carbone en traversant les couches supérieures beaucoup moins chauffées, et dégage en se formant une quantité de chaleur employée à chauffer ce gaz même et l'enveloppe. Le cendrier est hermétiquement clos, deux larges portes rendent facile son nettoyage et celui de la grille. Deux tuyaux de cuivre de 1 centimètre de diamètre, munis chacun d'un robinet, portent à volonté une partie de la vapeur sous la grille pour faciliter son

COMBUSTIBLES.

nettoyage, et aussi pour concourir à la transformation des combustibles en gaz.

Le générateur accouplé au producteur de gaz que nous venons de décrire a la forme que chaque constructeur préfère ; la chaudière à bouilleur convient très-bien.

Les gaz développés dans le foyer passent à travers un tuyau en fonte, jusque dans une caisse métallique C placée devant le fourneau et où a lieu leur mélange avec l'air chaud. Ce mélange est ensuite poussé dans deux carneaux placés immédiatement sous les bouilleurs de la chaudière, et pour ne pas brûler les bouilleurs, le plafond de ce carneau est plein dans la première portion et percé plus loin de larges ouvertures par lesquelles les gaz enflammés enveloppent et chauffent les bouilleurs. Ces gaz circulent ensuite deux fois sous le corps de la chaudière, et les produits de la combustion s'échappent au dehors par une cheminée à deux cloisons, munies chacune d'un registre, et qui marche très-bien avec 1 mètre de hauteur.

Ces produits ont encore 180 ou 200° de température avec la disposition représentée. Il serait bon de les faire circuler encore une fois autour d'un bouilleur, dans lequel on ferait passer l'eau d'alimentation, qui du reste peut être chauffée à 70° par la vapeur perdue du moteur.

La conduite de l'appareil est facile. On charge le combustible en quantités constantes et à des heures fixes, d'où résulte une grande régularité dans la production de la vapeur.

Le ventilateur a 0m,60 de diamètre et 0m,30 de largeur. Il fait de 700 à 1,000 tours, suivant la quantité de combustible à brûler par heure. En deux heures quand le foyer est froid, en une heure quand il a été chauffé la veille, la chaudière est en pression.

Les expériences de M. Grouvelle sur cet appareil, où, au total, toute la chaleur produite en deux fois n'en arrive pas moins tout entière au générateur de vapeur, l'ont conduit à établir que l'on obtenait avec cet appareil près de 10 kilog. de vapeur par kilog. de bonne houille, tandis que les bonnes chaudières ne permettent d'en obtenir habituellement que 6 ou 7 kilog. ; résultat peut-être un peu exagéré, mais toujours très-beau, malheureusement compensé par l'usure rapide d'un appareil presque entièrement métallique, les dépenses et chances d'accident du ventilateur, et surtout le prix élevé du système, qui ont empêché son succès dans la pratique.

Fours Siemens. — Les fours Siemens paraissent, sauf les modifications de détail qu'ils pourront recevoir dans les diverses circonstances de leurs applications, la solution complète du problème de rendre pratique le système théoriquement formulé par Ebelmen. Plus de courant d'air forcé, plus de chauffage de l'air dans des tuyaux métalliques, c'est-à-dire suppression de tout ce qu'il y avait de gênant dans l'emploi des appareils du savant ingénieur, tels sont les résultats obtenus à l'aide des dispositions proposées par MM. Siemens ; exemple intéressant des beaux résultats auxquels conduit toujours tout progrès théorique nettement formulé, qui par le concours des bons esprits qui l'apprécient, vient toujours, en peu de temps, se matérialiser sous la forme d'une disposition convenable pour l'application.

Décrivons d'abord leur régénérateur. Il consiste essentiellement en un long couloir ou une vaste chambre remplie de matières incombustibles, de briques réfractaires, par exemple, convenablement espacées et alternant par lits placés successivement à angle droit les uns sur les autres. Si on y dirige les produits de la combustion avant leur entrée dans la cheminée, les briques seront bientôt portées à une température très-élevée, surtout dans la partie la plus éloignée de la cheminée, une grande quantité de chaleur se trouvera emmagasinée et disponible pour chauffer de l'air. Si, en effet, on fait traverser cette masse par un courant d'air de direction inverse de celle des produits de la combustion, celui-ci ira en s'échauffant de manière à avoir presque la température du four même. Il suffit donc, pour obtenir le chauffage de l'air nécessaire pour brûler les gaz combustibles, d'alterner à travers la masse des briques, à des intervalles convenables, le passage des produits de la combustion et de l'air destiné à l'alimenter. Nous verrons que la disposition qui permet de réaliser cette disposition est d'une grande simplicité.

Comme MM. Siemens ont trouvé avantage à chauffer aussi les gaz produits, refroidis par la production de l'oxyde de carbone et les distillations de diverses natures, en les faisant circuler aussi dans une chambre réfrigérée en allant de la partie la plus froide vers la partie la plus chaude ; pour satisfaire à toutes ces conditions de chauffage, on dispose sous la sole du four quatre régénérateurs ; deux servent à chauffer isolément le gaz combustible produit dans le foyer et l'air atmosphérique qui se rendent au foyer ; les deux autres sont destinés à absorber la chaleur perdue des produits de la combustion qui les traversent en se rendant à la cheminée.

Le fourneau qui sert à la production des gaz combustibles représenté dans une coupe transversale, fig. 569*ter*, et une coupe longitudinale, fig. 569 *quater*, reçoit le combustible, qui doit y être entassé en couches épaisses, par la partie supérieure, au moyen de trémies a que ferment des couvercles. Il descend sur un plan incliné en briques et vient reposer sur une grille inclinée. Il s'y produit une distillation des produits gazeux si le combustible n'est pas carbonisé, et une transformation du gaz carbonique en oxyde de carbone qui conserve la température résultant de la combustion de l'acide carbonique diminuée de la chaleur qu'a coûté sa transformation en oxyde de carbone, qui sera elle-même restituée par la combustion de ce gaz dans le four qui recevra donc bien toute la chaleur que le combustible peut produire.

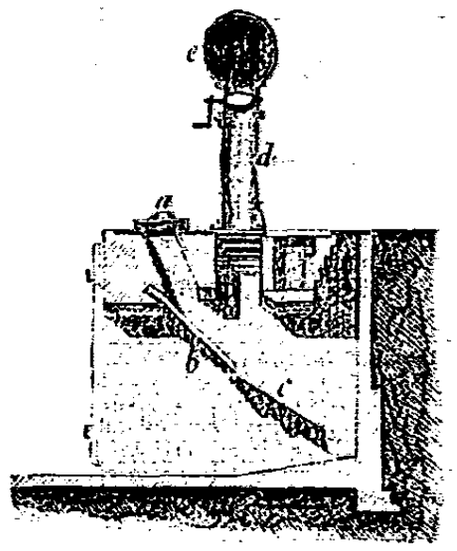


Fig. 159 *ter*.

Toute soufflerie se trouve donc supprimée et les cendres tombent à travers la grille, rafraîchie par de l'eau placée à la partie inférieure, comme dans un fourneau ordinaire ; les gaz combustibles s'élèvent dans un tuyau vertical, puis suivent un long cylindre horizontal, et enfin descendent par un dernier tuyau dans les régénérateurs. Le refroidissement qui se produit dans ces tuyaux métalliques, faisant descendre les gaz dans le dernier, produit le tirage du fourneau, indépendamment de l'appel général qui détermine le

COMBUSTIBLES.

mouvement du gaz dans les fours, à la suite desquels se trouve la grande cheminée.

Il est important au reste que tous les gaz ne soient pas appelés dans le fourneau par le tirage de la cheminée; il y a tout intérêt, au contraire, à ce que la pression de l'atmosphère soit maintenue constamment dans les carneaux qui vont des appareils producteurs au four. On évite ainsi la combustion partielle des gaz combustibles sous l'influence de l'air qui pénétrerait par les fissures des maçonneries. On brûle d'ailleurs les portions de carbone qui pourraient se déposer à l'intérieur des conduits, au moyen de filets d'eau ou de vapeur aqueuse qui se transforme en un mélange combustible d'hydrogène et d'oxyde de carbone.

Nous prendrons pour exemple d'un appareil complet une des plus heureuses applications de ces fours, ceux montés dans les verreries dont nous allons donner une description d'ensemble; c'est peut-être le cas où le succès a été le plus complet, à cause des hautes températures nécessaires dans cette industrie.

La fig. 569 *quater* représente une coupe transversale faisant comprendre le fourneau, les régénérateurs et les appareils producteurs du gaz.

A est le four sur la banquette duquel sont les pots de verrerie B, C représente les ouvreaux destinés au travail du verre. Sous la banquette sont disposés les quatre régénérateurs D^1, D^2, D^3, D^4. Chacun d'eux est formé d'une chambre construite en briques réfractaires, près du sol de laquelle est une grille E; sur cette grille sont entassées des briques réfractaires disposées de manière à laisser entre elles de petits interstices. Ces régénérateurs sont fermés à la partie supérieure par une voûte qui supporte la banquette. Cette voûte est percée de petits trous longitudinaux qui communiquent, d'une part, avec un conduit F en relation directe avec l'air atmosphérique, et d'autre part, avec un canal G.

La communication entre la partie supérieure des quatre régénérateurs et le four A a lieu de la manière suivante: D^1 communique avec la partie antérieure à travers les carneaux H, tandis que D^3 communique par les carneaux I, de même dans la partie postérieure du four, D^2 communique avec le laboratoire par le carneau J, et le régénérateur D^1 par le carneau K. (Les carneaux J et K qu'on ne voit pas sur la figure sont semblables à ceux H et I de D^3 et D^4.)

Au-dessous des grilles, chaque régénérateur porte des ouvertures, au moyen desquelles les régénérateurs D^1 et D^2 communiquent alternativement avec le carneau M venant des appareils producteurs du gaz, que l'on voit sur la droite de la figure, et avec le carneau N conduisant à la cheminée, tandis que les régénérateurs D^2 et D^3 communiquent alternativement avec le carneau G qui débouche dans l'atmosphère et avec le même carneau N.

Ces communications alternantes sont réglées par les valves O et P. Dans une position déterminée des valves,

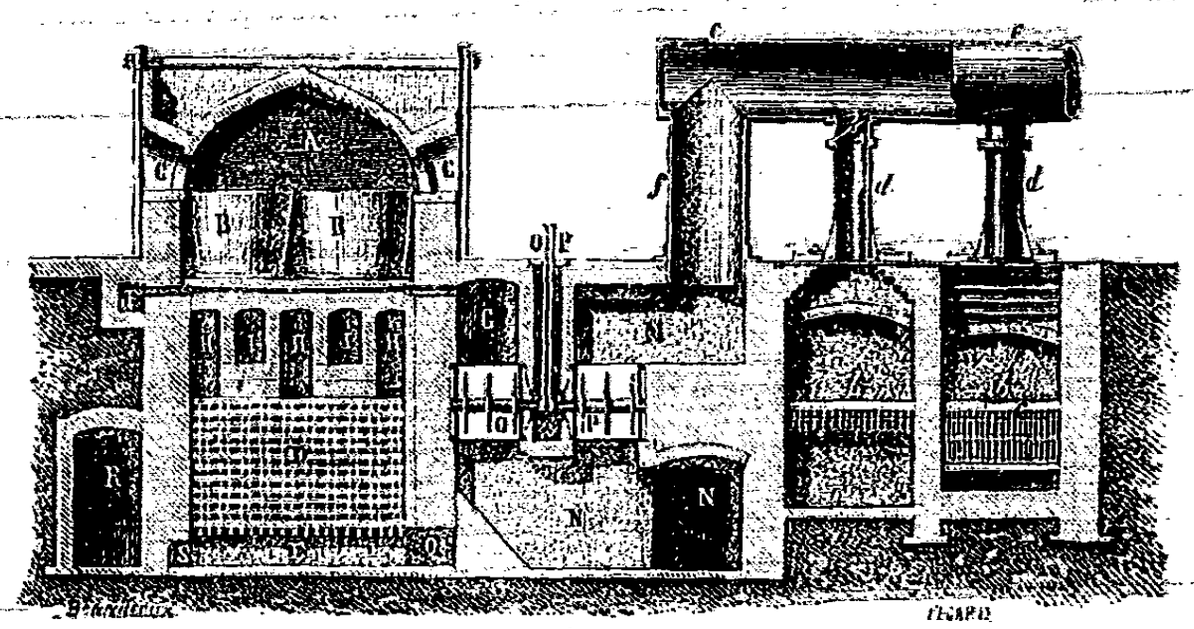


Fig. 569 *quater*.

le gaz combustible venant de l'appareil producteur traverse les carneaux et entre dans le régénérateur D^1 par l'ouverture Q^1; en même temps l'air atmosphérique passe du carneau G dans le régénérateur D^2 par l'ouverture Q^2. Si les régénérateurs D^1 et D^2 ont été chauffés préalablement par les produits de la combustion pendant les opérations précédentes, le courant d'air, comme celui de gaz combustible, en traversant les intervalles que les briques laissent entre elles, ne tarde pas à atteindre une température élevée.

Arrivés au sommet des régénérateurs, les deux courants sont conduits par les carneaux J, K, à l'intérieur du four; s'élevant alors entre les murs verticaux, ils se mélangent, et, à leur arrivée dans le four, ils brûlent avec une flamme intense qui se répand autour des pots de verrerie B et les échauffe. A l'autre extrémité du four, les produits chauds de la combustion descendent par les carneaux H et I dans les régénérateurs D^3 et D^4; là, traversant les piles de briques, ils abandonnent à celles-ci la plus grande partie de leur chaleur, en sortent relativement refroidis, par les ouvertures Q^3 et Q^4 pour se diriger par les valves dans le conduit N et de là dans la cheminée.

Lorsque, par suite du passage continu des produits de la combustion, les régénérateurs D^3 et D^4 ont atteint une température suffisamment élevée, on renverse, au moyen d'un levier, la position des soupapes; les gaz combustibles passent alors dans le régénérateur D^4 et l'air atmosphérique dans le régénérateur D^3; les deux courants d'air et de gaz combustibles, en traversant ces deux régénérateurs, s'échauffent considérablement, émergent dans la partie antérieure, brûlent, et les produits de leur combustion, après avoir traversé le four, s'échappent par la partie postérieure, traversant les régénérateurs D^2 et D^1 auxquels ils abandonnent la plus grande partie de leur chaleur; de telle sorte que chaque couple de régénérateurs sert alternativement à absorber la chaleur des produits de la combustion ou à rendre cette même chaleur aux courants de gaz et d'air qui doivent la produire. Un passage R est ménagé le long des régé-

nérateurs et permet d'en approcher par les ouvertures S¹, S², S³ et S⁴.

La pureté des gaz produits est telle, grâce à leur filtration, en quelque sorte, à travers les briques incandescentes, que dans quelques cas, la matière à fondre peut être placée directement sur la sole du four, qui est alors assez profonde, en supprimant toute espèce de pots ou de creusets. Cette disposition serait très-utile aux fabricants de poterie, qui préparent leur vernis dans leur usine même.

Aux portes de Birmingham, la verrerie de MM. Lloyd et Summorfield, dont les fours sont construits suivant ce principe, marche d'une manière régulière; cette circonstance permet de comparer avec certitude la consommation de combustible faite par le four Siemens et les fours ordinaires; de cette comparaison il résulte, ainsi que le Dr Lloyd l'a déclaré publiquement, que l'ancien four consommait par semaine 35 tonnes de charbon de première qualité au prix de 13 fr. 80 la tonne, tandis que le four construit d'après le nouveau système ne consomme que 16 tonnes de menu valant seulement 5 fr. 30 la tonne.

Dans la grande verrerie de MM. Chance frères et Cᵉ, le fourneau régénérateur à gaz a été soumis à des essais prolongés et définitivement adopté pour la fabrication du verre, soit en feuilles, soit en plateaux.

Dans quelques-uns de ces fours, les appareils producteurs peuvent contenir jusqu'à six tonnes de charbon, et la fabrication du gaz y est conduite avec la plus grande régularité, de la manière suivante :

Le charbon, en descendant lentement sur le plan incliné, s'échauffe et laisse dégager des produits volatils, hydrocarbures, eau, ammoniaque mélangée d'une petite quantité d'acide carbonique, exactement comme si l'opération s'effectuait dans une cornue à gaz. Il reste de 60 à 70 centièmes de carbone presque pur, dont il faut tirer parti. Dans ce but, un courant lent d'air atmosphérique pénètre dans la masse et produit la combustion régulière des portions qui se trouvent immédiatement en contact avec la grille. Mais l'acide carbonique traverse ensuite une couche de carbone incandescent, ayant une épaisseur d'environ 1ᵐ,50. Il dissout alors une quantité de carbone égale à celle qu'il renferme déjà, et l'oxyde de carbone se dégage avec les autres produits.

La production du gaz peut être arrêtée complétement pendant 24 heures sans déranger l'appareil; il est, après ce temps, prêt à se remettre en marche, pourvu que l'on ouvre le registre placé sur le passage du gaz au fourneau, car la masse du fourneau et la charge du combustible qu'il contient peuvent se maintenir d'elles-mêmes et pendant ce temps à la température du rouge vif. Plus l'appel est continu, et plus uniformes sont la température et la qualité des gaz combustibles.

Il est évident qu'il y a avantage à alimenter tous les fours d'une même usine et même ceux de plusieurs usines si la possibilité se présente, avec le gaz provenant d'un même générateur, en lui donnant les dimensions les plus considérables; il en résulte des économies très-grandes dans la conduite du feu. La division du gaz offre toutefois quelques difficultés pour chauffer également plusieurs points.

Il est facile de se rendre compte des modifications que la nature du feu peut subir suivant les besoins, lorsqu'on fait usage d'un combustible gazeux dans les conditions qui viennent d'être décrites; on peut, en variant la proportion des deux gaz, produire une flamme tantôt oxydante et tantôt réductive; on a toujours une chaleur intense (et par suite peu convenable pour le chauffage des chaudières à vapeur), exempte de poussières, de cendres et de corps étrangers. Ainsi l'expérience démontre que l'on peut, au moyen du four régénérateur à gaz, fondre dans des pots ouverts des compositions vitreuses renfermant même une certaine quantité de plomb; cependant, alors, quand on veut obtenir les plus belles qualités de *flint-glass*, il est préférable d'opérer dans des pots ouverts. Mais toute autre espèce de verre peut y être fondue à vase ouvert, et l'économie de combustible qu'on réalise alors n'est rien auprès des avantages que présente cette pratique au point de vue de la couleur et de la qualité générale du verre, qui n'est souillé ni de taches, ni de poussières, ni de cendres, et qui s'affine sous l'influence d'une température beaucoup plus élevée.

Avec ses grandes connaissances en métallurgie, Ebelmen, remarque avec juste raison M. Salvetat, avait préconisé l'emploi des combustibles gazeux comme permettant de tirer parti de certains charbons de mauvaise qualité restés jusqu'alors sans usage. MM. Siemens justifient complétement cette prévision du savant ingénieur français dans les termes suivants :

Dans les fourneaux à régénérateurs, la nature du combustible est pour ainsi dire absolument indifférente; on peut obtenir une chaleur aussi intense avec le plus mauvais menu qu'avec la meilleure houille de Newcastle. Avec un combustible quelque mauvais qu'il soit, il n'y a de limite à la production de la chaleur que celle fixée théoriquement par la quantité d'oxygène avec laquelle peut se combiner un équivalent de carbone : il suffit de déterminer expérimentalement l'épaisseur de la couche du combustible et la vitesse d'appel de l'air à travers la grille.

On a supputé qu'une nouvelle ère de prospérité pourra s'ouvrir pour quelques districts, comme le sud du Staffordshire, où les couches épaisses de charbon sont à peu près épuisées et ne peuvent plus guère suffire que pour une consommation de quarante années, mais où l'on rencontre en abondance des couches minces d'un combustible de qualité inférieure. On peut même espérer que dans les pays où, comme en Irlande, aucune usine n'a pu vivre faute de charbon, l'industrie pourra dorénavant trouver de bonnes conditions d'existence.

A ces données statistiques, le docteur Percy ajoute, dans sa *Métallurgie*, que dans deux houillères seulement du Staffordshire méridional, on perd chaque année 160,000 tonnes de menu dont on ne peut trouver l'emploi. Le relevé général de l'extraction anglaise porte que, soit pour l'exportation, soit pour la consommation intérieure, l'Angleterre vend 300 millions de tonnes de charbon et qu'elle en laisse perdre à l'état de menu, jusqu'ici resté sans emploi, cent autres millions; c'est faire pressentir, par des chiffres, l'énorme économie qui peut résulter pour l'industrie d'un meilleur usage du combustible minéral; c'est indiquer les ressources qui ont été jusqu'à présent perdues.

On voit qu'en substituant aux tuyaux d'échauffement pour l'air des chambres remplies de briques, véritables magasins de chaleur; en supprimant la force motrice réclamée pour l'injection d'air forcé dans la colonne de combustible solide, et la remplaçant par le simple tirage d'une cheminée dont l'écoulement est réglé de telle sorte que la différence de température produise à l'alimentation du foyer par un appel régulier; en intervertissant à volonté dans les chambres à chaleur le sens de la circulation, MM. Siemens ont dépouillé les appareils d'Ebelmen de leur forme trop exclusivement métallurgique et rendu d'immenses services aux industries du verre et des poteries, et à toutes celles qui exigent des températures élevées.

La métallurgie n'a fait jusqu'ici que peu d'usage des fours Siemens. Des essais tentés pour les appliquer aux fours à puddler ont été assez heureux, et il n'est pas douteux que leur emploi ne doive se multiplier

rapidement à mesure qu'on apprendra à les mieux appliquer.

COMPENSATEURS. Voyez HORLOGERIE.

COMPTEUR. Instrument qui, comme le nom l'indique, sert à compter le nombre de révolutions d'un axe tournant ou celui des excursions alternatives de va-et-vient d'une tige, accomplies dans un temps donné. Il se compose ordinairement d'une série de rouages analogues à ceux des montres, faisant mouvoir des aiguilles sur des cadrans gradués. Lorsqu'il s'agit d'un axe de rotation, on en communique le mouvement à l'axe principal du compteur, soit au moyen de courroies, soit au moyen d'engrenages, soit au moyen d'un excentrique monté sur cet arbre et portant un cliquet qui fait sauter à chaque tour une dent d'une roue à rochet montée sur un des axes du compteur, soit en employant le mouvement de va-et-vient produit par cet excentrique pour faire marcher les aiguilles du compteur, au moyen d'un échappement à ancre ou à verge; dans ce dernier cas l'échappement ne sert qu'à laisser échapper à chaque oscillation une dent de la roue à rochet, mais le compteur reçoit le mouvement par un poids ou un ressort, tout à fait comme dans les horloges et les montres. Les excursions alternatives d'une tige se comptent exactement de la même manière.

On peut aussi monter sur l'axe tournant ou sur tout autre axe qui en reçoit un mouvement proportionnel, une vis sans fin qui engrène avec deux roues dentées de même diamètre juxtaposées. L'une de ces roues a 99 dents et est folle sur l'axe de la seconde roue qui porte en regard une aiguille qui se meut vis-à-vis de la première roue divisée en 99es. La seconde roue divisée en 100es, a 100 dents et se meut vis-à-vis un style ou repère fixe. La vis sans fin fait sauter une dent des deux roues à chaque tour. Avant de compter, on amène les deux aiguilles à zéro; on fait alors engrener les roues avec la vis sans fin, et lorsqu'il s'est écoulé un certain temps, on désembraie; supposons, par exemple, que le repère fixe marque 76 et l'aiguille mobile 42, la vis sans fin aura fait 4276 tours, puisque par chaque tour de la seconde roue, ou par chaque centaine de tours de la vis sans fin, la première roue aura avancé d'une dent sur la seconde.

Nous parlerons à l'article ÉCLAIRAGE AU GAZ des compteurs d'un autre genre employés pour mesurer la quantité de gaz dépensée dans un temps donné par un embranchement pris sur le tuyau principal; et à l'article JAUGEAGE des compteurs à eau propres à mesurer la quantité d'eau livrée aux divers consommateurs desservis par une conduite commune.

CONCHOIDE. Courbe tracée par l'extrémité d'un rayon tournant autour d'un centre sur lequel on porte une longueur constante à partir de son point de rencontre avec une courbe donnée. Lorsque cette courbe est une ligne droite, on a la courbe plus spécialement connue sous le nom de conchoïde. (Voir notre traité de CINÉMATIQUE).

CONGÉLATION. Nous dirons à l'article GLACIÈRE comment on parvient à conserver pour les temps chauds la glace produite par les froids de l'hiver. C'est ainsi qu'on se procure à peu de frais les quantités énormes de glace qui se consomment dans nos pays; néanmoins le problème de produire à volonté de la glace offre de l'intérêt soit pour les pays chauds où la glace ne se produit pas, soit dans les campagnes où il n'a pas été formé de glacières.

Pour congeler l'eau, il faut employer les moyens qu'indique la science pour produire le froid :

1° *Dilatation des gaz.* Quand un gaz a été fortement comprimé et qu'on lui donne issue, la dilatation qui se produit à l'orifice de sortie engendre un froid qui varie en proportion de son état de compression. C'est par ce mode de refroidissement que se produit la congélation de l'acide carbonique, sous la seule pression de l'atmosphère, par un moyen fort remarquable par son extrême simplicité, mais exigeant l'emploi d'une pression très-élevée. Voy. *Complément*, LIQUÉFACTION DES GAZ.

Pour produire la congélation d'un poids notable d'eau, il faudrait dépenser trop de travail pour opérer mécaniquement la compression, pour qu'un procédé fondé sur ce principe pût s'appliquer à la production industrielle de la glace.

2° *Évaporation.* L'évaporation des liquides, par l'effet de la chaleur qu'ils absorbent pour passer de l'état liquide à l'état gazeux, est une source de froid dont l'action est plus facile à produire que celle de la dilatation des gaz. C'est la route qui a conduit à la solution du problème de la production industrielle du froid, soit au moyen de la diminution, par un moyen mécanique, de la pression qui maintient à l'état liquide un corps vaporisable à basse température comme l'éther, le sulfure de carbone, soit par l'emploi de l'ammoniaque successivement gazéifié par la chaleur et liquéfié par son contact avec l'eau, sans intervention de travail mécanique extérieur. Voir *Complément*, PRODUCTION DU FROID.

L'évaporation spontanée, considérable dans les nuits sereines et sans nuages de l'été, qui se produit par le rayonnement, est employée de temps immémorial au Bengale. Une usine montée à Saint-Ouen, près Paris, n'a pu continuer avantageusement l'usage de ce procédé, à raison du prix peu élevé de la glace dans nos pays. Les conditions à remplir pour atteindre le point de congélation de l'eau sont d'augmenter la surface d'évaporation en disposant l'eau dans des vases peu profonds. Quand le ciel est serein et l'air calme, la glace se produit, même quand la température de l'air ambiant reste à 16° au-dessus de zéro.

On accroît cette action d'évaporation en plaçant de l'eau sous la cloche de la machine pneumatique, et faisant absorber l'eau évaporée par de l'acide sulfurique concentré, du chlorure de calcium, ou d'autres substances très-hygrométriques. Ce procédé a été même indiqué par M. Péclet comme n'étant pas dénué de toutes chances de succès, dans une application sur une grande échelle. Il est évidemment inférieur aux procédés trouvés depuis, qui n'exigent pas la dessiccation d'un corps employé pour absorber l'eau en vapeur.

MM. Taylor et Martineau ont construit en Angleterre des appareils destinés à produire de la glace par l'évaporation dans le vide, par des moyens analogues à ceux qui sont appliqués pour l'évaporation dans le vide des sirops de sucre (voyez SUCRE). Le vide se produisait dans un vase en fonte ou en cuivre de grande capacité, au moyen d'une injection de vapeur que l'on condensait en versant de l'eau à la surface. En mettant alors en communication avec cette capacité le vase renfermant l'eau, l'évaporation était en proportion des volumes des deux vases, et pouvait produire plus ou moins rapidement la congélation.

Des appareils de ce genre ont été employés dans les Indes pour produire de la glace, mais abandonnés à cause de leur prix trop élevé et des difficultés de leur emploi.

3° *Mélanges frigorifiques.* Les mélanges dits frigorifiques doivent leur propriété au refroidissement que produit en général la dissolution d'un corps solide dans un liquide, parce que le premier, en passant à l'état liquide, fait passer à l'état latent une certaine portion de la chaleur sensible du mélange. Les proportions les plus convenables et les températures produites sont indiquées dans le tableau suivant :

CONGELATION.

I. *Table des mélanges frigorifiques composés de glace, de sels chimiques et d'acides.*

1° MÉLANGES FRIGORIFIQUES EN EMPLOYANT DE LA GLACE.

MÉLANGES.		ABAISSEMENT du thermomètre.
Neige, ou glace pilée. .	2 parties.	20°
Sel marin.	1	
Neige, ou glace pilée. .	5	24°
Sel marin.	2	
Sel ammoniac. . . .	1	
Neige, ou glace pilée. .	24	28°
Sel marin.	10	
Sel ammoniac.	5	
Nitrate de potasse. . .	5	
Neige, ou glace pilée. .	12	31°
Sel marin.	5	
Nitrate d'ammoniaque.	5	

2° MÉLANGES FRIGORIFIQUES NE RENFERMANT PAS DE GLACE.

MÉLANGES.	parties.	ABAISSEMENT du thermomètre.
Sel ammoniac. . . .	5	de + 10°,00 à — 16°
Nitrate de potasse. . .	5	
Eau.	16	
Sel ammoniac. . . .	5	de + 10°,00 à — 16°
Nitrate de potasse. . .	5	
Sulfate de soude. . .	8	
Eau.	16	
Nitrate d'ammoniaque	1	de + 10°,,00 à — 16°
Eau.	1	
Nitrate d'ammoniaque.	1	de + 10°,00 à — 19°
Carbonate de soude. . .	1	
Eau.	1	
Sulfate de soude. . . .	3	de + 00°,00 à — 19°
Acide nitrique étendu.	2	
Sulfate de soude. . . .	6	de + 10°,00 à — 23°
Sel ammoniac. . . .	4	
Nitrate de potasse. . .	2	
Acide nitrique étendu.	4	
Sulfate de soude. . . .	6	de + 10°,00 à — 26°
Nitrate d'ammoniaque.	5	
Acide nitrique étendu.	4	
Phosphate de soude. .	9	de + 10°,00 à — 29°
Acide nitrique étendu.	4	
Sulfate de soude. . . .	8	de + 10°,00 à — 17°
Acide hydrochlorique. .	5	
Sulfate de soude. . . .	5	de + 10°,00 à — 16°,11
Acide sulfurique étendu.	4	
Neige.	3	de + 0°,00 à — 5°,00
Acide sulfurique étendu.	2	
Neige.	8	de + 0°,00 à — 2°,78
Acide hydrochlorique. .	5	
Neige.	7	de + 0°,00 à — 1°,11
Acide nitrique étendu.	4	
Neige.	4	de + 0°,00 à — 4°,44
Chlorure de calcium. .	5	
Neige.	2	de + 0°,00 à — 10°,00
Chlorure de calcium. .	3	
Neige.	3	de + 0°,00 à — 10°,56
Potasse.	4	

Les mélanges de glace et de sel marin, qui descendent beaucoup au-dessous de zéro, sont employés journellement par les glaciers pour préparer les glaces proprement dites, formées de sirops ou dissolutions qui placées à l'intérieur de vases contenant ces mélanges se solidifient rapidement.

On a souvent proposé d'employer les mélanges frigorifiques ne renfermant pas de glace pour produire celle-ci avec facilité dans les ménages, sinon très économiquement, au moins très aisément. La fig. 570 représente le congélateur Villeneuve, qui a été accueilli favorablement à l'exposition de 1844. Nous empruntons à M. Burat (Compte-rendu de l'exposition) la description de cet appareil, qui peut être utile dans un grand nombre de cas.

Le congélateur se compose :

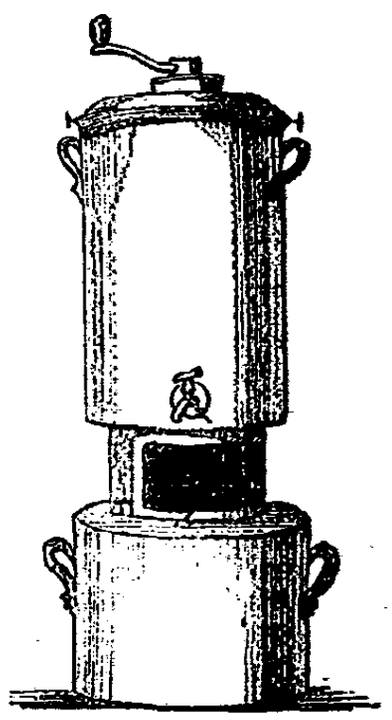
1° De quatre tubes ou vases cylindriques, s'enchâssant l'un dans l'autre et formant le corps principal de l'appareil.

Le premier et le deuxième tube sont soudés ensemble; l'intérieur du premier est rempli d'une substance non conductrice du calorique.

Le troisième adhère au deuxième par ses bords supérieurs et le ferme hermétiquement.

Le quatrième tube, ou *sabotière*, s'enchâsse librement dans le troisième, mais il est lui-même hermétiquement fermé par un couvercle auquel est fixée une petite manivelle destinée à faire tourner la sabotière. Deux pitons à vis servent à la maintenir dans le troisième tube.

2° D'un vase cylindrique placé à la partie inférieure de l'appareil et servant de *récipient* aux matières réfrigérantes qui s'échappent du troisième tube au moyen d'un conduit fermant à soupape et traversant les deux premiers tubes Cette partie de l'appareil se disjoint, au besoin, du corps principal dans lequel il est enchâssé, en le faisant tourner comme si on voulait ôter la baïonnette d'un fusil.



570.

Un petit entonnoir soudé en haut de l'appareil et un robinet fixé au bas du corps principal traversent les deux premiers tubes, communiquent avec le troisième et servent, l'un à l'introduction du liquide à congeler, l'autre à l'écoulement de l'eau refroidie.

Deux mélanges différents peuvent être employés à opérer la congélation. Le premier se compose de trois parties de sulfate de soude et de deux parties d'acide hydrochlorique.

Le second se fait avec une partie de nitrate d'ammoniaque et une partie d'eau. Ce dernier mélange détermine moins rapidement la congélation, mais en revanche il est moins coûteux, car il peut servir de nouveau, après qu'on lui a fait perdre par évaporation la quantité d'eau qu'on lui avait ajoutée. L'opération n'offre d'ailleurs aucune difficulté. Voici en quelques mots comment il faut la conduire :

1° Enchâsser le troisième tube dans le deuxième et visser le conduit à soupape.

2° Verser dans le deuxième tube, par le petit entonnoir, l'eau à congeler, et dans la sabotière, le liquide ou les substances à congeler.

3° Introduire le mélange réfrigérant dans le troisième tube, en commençant par le sulfate de soude pour le premier réfrigérant, par l'eau pour le second.

4° Plonger la sabotière dans le troisième tube, et l'agiter vivement pour opérer la dissolution.

5° Faire écouler et renouveler le mélange à chaque période.

6° Faire écouler l'eau non congelée du deuxième tube, retirer de la sabotière la glace ou les substances congelées, et détacher du troisième tube le cylindre de glace.

7° Séparer le récipient du corps principal de l'appareil, jeter les résidus si l'on a employé le premier réfrigérant, ou les transvaser avec soin pour faire cristalliser de nouveau le nitrate d'ammoniaque si l'on s'est servi du second.

8° Laver toutes les parties de l'appareil à l'eau chaude, les essuyer fortement, puis les frotter avec du blanc d'Espagne, et les essuyer de nouveau.

CONSERVATION DES SUBSTANCES VÉGÉTALES ET ANIMALES. La plupart des substances végétales et animales, s'altèrent plus ou moins rapidement au contact de l'air atmosphérique, surtout lorsqu'il est chaud et humide; très fréquemment la substance en se putréfiant; se désorganise et se réduit d'abord en une masse pâteuse, en répandant une odeur plus ou moins forte et désagréable, et enfin se dessèche en formant un résidu terreux et presque pulvérulent qui porte le nom de *moisissure*.

Les matières azotées, et principalement parmi celles-ci les substances animales, s'altèrent et se putréfient beaucoup plus rapidement que les matières organiques non azotées; quelques-unes de ces dernières, telles que les résines, les corps gras, les huiles volatiles, etc., ne paraissent pas susceptibles d'éprouver la fermentation putride, et préservent de toute altération les corps qui en sont suffisamment imprégnés. La putréfaction des matières azotées s'annonce par une odeur extrêmement fétide et repoussante, qui est peu ou point sensible pour les substances non azotées.

Nous parlerons des différentes fermentations, de leurs causes et de leurs produits, à l'article FERMENTATION, nous rappellerons seulement ici que la fermentation, qui n'est autre chose qu'une veritable combustion, qui transforme les éléments d'un corps organique en composés plus simples que ceux préexistants, ne se développe que dans des conditions bien déterminées qui sont ordinairement : une température de 0 à 100°, et souvent comprise entre des limites plus étroites; le contact de l'air humide. Le contact d'une matière en putréfaction excite de la façon la plus sûre et souvent la plus rapide, la putréfaction des substances animales avec lesquelles on les mélange.

Le principal produit de la fermentation est de l'acide carbonique, vient ensuite pour les matières azotées l'ammoniaque dont la formation paraît activer beaucoup la décomposition; enfin il se dégage quelquefois du gaz des marais (hydrogène proto-carboné), lorsque la putréfaction a lieu sous l'eau, et de l'hydrogène sulfuré (qui a une odeur d'œufs pourris), dans le cas de matières animales renfermant un peu de soufre.

Nous venons de dire que les conditions nécessaires pour que la fermentation s'établisse étaient l'accès de l'air, la présence de l'eau, et une température convenable; nous allons les examiner successivement.

Accès de l'air. Les substances organisées complétement soustraites au contact de l'air ou de l'oxygène, n'éprouvent point de fermentation. De la viande de boucherie introduite sous une cloche renversée sur la cuve à mercure et remplie d'acide carbonique ou d'hydrogène, se conserve des mois entiers sans acquérir la moindre odeur tandis qu'elle se putrefie rapidement dans les mêmes circonstances lorsqu'on remplit la cloche d'oxygène ou d'air atmosphérique. D'après les expériences de M. Gay-Lussac le raisin exprimé dans le vide ou dans du gaz hydrogène pur fournit un moût sucré qui se conserve sans altération, mais qui éprouve la fermentation alcoolique aussitôt qu'on introduit quelques bulles d'air sous la cloche qui le renferme.

Présence de l'eau. Les substances organiques bien desséchées se conservent sans altération dans l'air sec comme cela arrive, par exemple, pour la colle-forte, qui en solution éprouve très rapidement la fermentation putride; cependant les matières organiques peuvent se conserver à l'état humide, lorsqu'on a saturé l'eau par un sel ou du sucre, ou qu'on y a ajouté quelques-unes des substances anti-septiques dont nous parlerons plus loin. On explique l'efficacité des sels, du sucre et de l'esprit de vin, en admettant que par suite de leur affinité pour l'eau ils la retiennent à l'état de combinaison et produisent ainsi un effet analogue à la dessiccation, tandis que d'un autre côté ils coagulent l'albumine, substance très putrescible. On est encore incertain sur le rôle que joue l'eau dans la putréfaction, à savoir si elle est décomposée et donne lieu à une formation d'ammoniaque et d'acide carbonique aux dépens de l'azote et du carbone de la substance organique, ou bien si elle en active seulement la marche en jouant le rôle d'un dissolvant intermédiaire qui facilite les réactions.

Chaleur. La température a une grande influence sur les progrès de la fermentation putride, en coagulant l'albumine; la fermentation n'a pas lieu au-dessus de 100° et elle cesse au-dessous de 0°; ainsi, Pallas a découvert dans le nord de la Sibérie renfermés dans les glaces éternelles, des restes d'animaux anté-diluviens, dont l'espèce n'existe plus, parfaitement conservés et dont la chair n'avait subi aucune altération.

Les différents procédés employés pour conserver les substances organiques consistent soit à les soustraire à l'action de l'air, de l'eau et de la chaleur, soit à les imprégner de substances telles que, la plupart des huiles volatiles, comme l'essence de térébenthine, divers sels métalliques, comme le sublimé corrosif et le perchlorure de zinc, et surtout la créosote; ces substances sont dites par cette raison *anti-septiques*.

1° *Dessiccation.* C'est le procédé le plus efficace, mais dans beaucoup de circonstances il ne peut être employé. D'une part, il est très difficile d'obtenir pour les objets d'un certain volume, tels que les quartiers de viandes de boucherie, une dessiccation complète et assez rapide pour qu'il ne s'opère pas pendant la durée de l'opération une altération partielle; et, d'autre part, les substances en se desséchant se racornissent, et ne peuvent plus reprendre entièrement leur saveur et leur état primitif, même après une cuisson prolongée; enfin, la dessiccation en grand cause beaucoup de peine et d'embarras, et par suite, n'est pas toujours avantageuse sous le rapport économique. La chair découpée en tranches minces et séchée au soleil comme on le pratique dans quelques parties de l'Amérique, devient très dure, et fournit un aliment aussi peu savoureux que difficile à digérer. Un procédé bien préférable, mais aussi plus coûteux est le suivant :

On fait tremper, pendant 5 à 10 minutes, la viande à conserver découpée en morceaux du poids de 50 à 100 grammes, dans une chaudière remplie d'eau bouillante, puis on la retire et on la porte sur un treillis dans une étuve à air chaud dont la température doit être de 45 à 50° C.; on plonge ainsi successivement tous les morceaux de viande dans la même eau, qui se transforme en un consommé très concentré, auquel on ajoute s'il en est besoin, au fur et à mesure, un peu d'eau fraîche pour remplacer celle qui se perd par évaporation, et même un peu de sel et quelques épices; enfin on évapore ce consommé jusqu'à ce qu'il forme une solution gélatineuse qui se transforme rapidement en gelée par le refroidissement. Au bout de deux jours passés à l'étuve,

la viande est suffisamment desséchée, on l'en retire et on la trempe dans la gelée précédente que l'on a préalablement chauffée, puis on la reporte à l'étuve, de sorte qu'elle se trouve recouverte d'un vernis de colle de gélatine, dont on peut augmenter l'épaisseur par une seconde immersion. Ainsi préparée, la viande se conserve sans la moindre altération, dans un lieu sec, et reprend à très peu près ses propriétés primitives lors de la cuisson.

La dessiccation est surtout employée pour conserver les fruits, qui tantôt sont desséchés entiers comme les raisins, les prunes, etc., tantôt sont d'abord coupés en quartiers comme les pommes. La dessiccation a lieu suivant le climat, soit au soleil, soit dans les fours de boulangerie, soit enfin dans des étuves. Ce dernier procédé a été appliqué récemment à la conservation des betteraves préalablement coupées en rondelles à l'aide d'une machine; ce procédé permet aux fabriques de sucre de marcher toute l'année sans interruption, tandis que l'emploi des betteraves fraîches restreint à l'hiver la durée de la fabrication, et s'il donne lieu à une certaine dépense en combustible, nécessaire pour opérer la dessiccation, cet inconvénient est presque balancé par les avantages suivants · Le volume des betteraves est considérablement diminué, ce qui facilite leur transport et le rend bien plus économique; la betterave desséchée se réduit aisément en une farine qui peut être traitée avec une quantité d'eau proportionnellement bien moins considérable, de telle sorte que l'on obtient un jus sucré beaucoup plus concentré et plus pur, dont le traitement ultérieur exige beaucoup moins de combustible et donne moins de déchet.

La compression jointe à la dessication est exploitée avec un grand succès pour la conservation des légumes.

2° *Salaison.* C'est un des procédés les plus employés pour conserver les substances alimentaires; il consiste simplement à frotter la viande avec du sel et à l'en saupoudrer, puis à la disposer par lits dans une terrine et à la surcharger de poids; au bout de quelques jours, on la retire, on la place de nouveau par lits séparés par des couches de sel, dans le saloir; puis on l'arrose avec la saumure qui s'en était écoulée par la pression, qu'on concentre quelquefois d'abord jusqu'à moitié de son volume primitif. Les poissons de mer et particulièrement les harengs, sont salés avec du sel gris; après les avoir lavés, on les fait tremper pendant 24 heures dans la saumure. puis on les met en caque. On sale également le beurre, le fromage, etc., pour les conserver.

On ajoute souvent au sel marin une certaine quantité de nitre qui paraît avoir une action très efficace. Parmi les autres sels, que leur saveur ou leurs propriétés empêchent d'employer pour la conservation des substances alimentaires, nous citerons particulièrement l'alun et le sulfate d'alumine. Ce dernier, en dissolution concentrée, est très employé dans les préparations anatomiques et pour conserver les cadavres (*procédé Gannal*), en l'injectant dans la veine carotide, d'où il se répand par les ramifications du système veineux dans toutes les parties du corps.

3° *Emploi de l'esprit de vin.* Ce procédé employé dans les préparations anatomiques et la conservation des fruits, réunit à la simplicité, la faculté de conserver aux substances organiques leur forme et leur état naturel, en permettant de les observer facilement à travers le liquide transparent qui les baigne, avantage immense pour les préparations anatomiques. Malheureusement, ce moyen de conservation, parfait d'ailleurs, ne peut avoir qu'un usage très restreint pour la conservation des substances alimentaires à cause de la saveur qu'il leur communique.

4. *Emploi du sucre.* Le sucre qui, en dissolution étendue, éprouve très aisément la fermentation alcoolique, surtout en présence d'un ferment, ne s'altère nullement en dissolution très concentrée et peut alors servir comme agent de conservation; c'est ainsi que l'on confit, pour les conserver, les fruits, les racines, et un grand nombre de substances végétales.

5. *Emploi du froid.* Le froid s'oppose, comme nous l'avons dit, au développement de la fermentation; ainsi pendant l'été, on conserve facilement dans des glacières la viande de boucherie et autres substances alimentaires; de même, en Angleterre, on emballe dans de la glace les poissons, et particulièrement les truites, pour les expédier des lacs de l'Écosse jusqu'à Londres.

6. *Soustraction du contact de l'air.* Dans cette catégorie nous mentionnerons d'abord le procédé de *Siceeny*, qui consiste à remplir un vase avec de l'eau complétement privée d'air, par une ébullition prolongée, à jeter au fond de la limaille de fer, à y introduire la viande à conserver, et à verser au-dessus de l'huile de manière à en former à la surface une couche de 1 à 2 centim.; cette couche s'oppose presque entièrement à la dissolution de l'air dans l'eau, et la petite quantité d'oxygène qui pourrait s'y dissoudre est absorbée par la limaille de fer; la viande se conserve ainsi pendant plusieurs mois sans altération.

Les procédés employés par le célèbre *Appert*, pour la conservation des mets déjà préparés, reposent également sur le principe de la soustraction complète du contact de l'air. A cet effet, il introduit les mets tout préparés dans une boîte en fer-blanc de grandeur convenable, soude le couvercle qui porte une petite ouverture par laquelle il achève de remplir entièrement la boîte de sauce, puis soude enfin une petite pièce de fer-blanc sur cette ouverture. Il plonge ensuite ces boîtes pendant 1/2 à 4 heure, suivant leur grosseur, dans un bain d'eau bouillante, afin de combiner avec les éléments de la sauce les dernières traces d'oxygène qui pourraient rester dans les boîtes, qu'il recouvre enfin pour plus de sûreté, après leur refroidissement, d'un vernis à l'huile.

« La méthode d'Appert, dit *Liebig*, est basée sur le même principe que le procédé de la fermentation de la bière avec dépôt (voyez BIÈRE DE BAVIÈRE, art. BIÈRE). Dans cette dernière opération, on sépare, par l'intermédiaire de l'air, toutes les matières putrescibles, à une température basse, à laquelle l'alcool ne peut pas s'oxyder : en les éloignant ainsi, on diminue la tendance de la bière à s'aigrir, c'est-à-dire à subir une métamorphose ultérieure. La même chose se pratique dans la méthode d'Appert; elle consiste à mettre l'oxygène en présence des légumes ou des mets qu'il s'agit de conserver, à une température élevée, où il y a bien combustion lente, mais non putréfaction ni fermentation. Par l'éloignement de l'oxygène, après que la combustion lente est achevée, toutes les causes d'une altération ultérieure se trouvent écartées. Dans la fermentation de la bière, avec dépôt, on enlève la matière qui *éprouve* la combustion; dans la méthode d'Appert, au contraire, celle qui la *produit*. »

Appert livre au commerce une grande variété de viandes ainsi préparées qui, d'après les nombreuses expériences auxquelles leur usage journalier dans la marine a donné lieu, se conservent des années entières sans éprouver d'altération. S'il y a eu une fermentation partielle dans l'une des boîtes, on le reconnaît à la vue de l'extérieur seul, par la déformation des parois planes causée par le dégagement des gaz.

Les petits objets, comme les petits pois, les haricots, etc., sont conservés dans des bouteilles en verre que l'on ferme avec de bons bouchons, et que l'on place ensuite dans un bain d'eau salée ou de vapeur chauffé un peu au-dessus de 100°. Pour prévenir la casse des bouteilles, on emploie des chaudières munies d'un double fond percé de trous, et même on enveloppe préalablement les bouteilles dans des sacs en toile; après

quelques heures d'ébullition, on retire le feu et on laisse refroidir les bouteilles dans la chaudière; enfin on les cachète. On peut introduire les petits pois et d'autres légumes à l'état cru dans les bouteilles; cependant il est préférable de les faire d'abord bouillir dans de l'eau, ce qui diminue leur volume, de telle sorte qu'il en tient davantage dans les bouteilles et qu'il y reste d'autant moins d'air. L'ébullition du bain-marie doit durer de une à deux heures, suivant la nature des légumes.

On peut aussi conserver assez longtemps le lait par les procédés d'Appert, en en remplissant une bouteille bien propre, la bouchant avec soin, et chauffant au bain-marie pendant 3/4 d'heure environ.

La plupart des procédés employés pour la conservation des œufs consistent également à soustraire au contact de l'air l'albumine ou blanc d'œuf; la coque qui est calcaire est très poreuse et suffit seulement pour retenir le blanc d'œuf, mais l'air la traverse avec la plus grande facilité. Ordinairement on place les œufs par étages, la pointe en bas, dans une terrine, que l'on remplit ensuite d'eau de chaux; la chaux s'infiltre à travers la coque, et forme en très peu de temps avec le blanc d'œuf un *ciment* très compacte qui bouche les pores de la coque, et s'oppose très efficacement à tout accès de l'oxygène dissous dans l'eau de chaux. Quelquefois on plonge les œufs frais pendant une à deux minutes dans l'eau bouillante, de manière à coaguler, à la surface seulement, le blanc d'œuf qui forme un enduit préservateur pour la partie non coagulée, on conserve ensuite les œufs au frais dans de la soiure de bois. Il vaudrait mieux enduire les œufs ainsi préparés et encore chauds d'une dissolution épaisse de gomme mêlée avec un peu de sirop de sucre, puis les conserver dans du poussier de charbon.

7. *Emploi de substances anti-septiques.* Parmi ces substances, on doit placer en première ligne, comme nous l'avons déjà dit, la créosote, dont la présence dans la fumée, ainsi que dans l'acide pyro-ligneux, est probablement la cause qui rend si remarquable l'emploi de ces deux agents comme moyen de conservation.

La viande à fumer est d'abord frottée avec du sel, et souvent aussi avec un peu de salpêtre, puis enfumée dans une hutte destinée à cet usage. Les bois feuillus sont préférables aux bois résineux qui communiquent toujours à la chair un arrière-goût désagréable. La règle essentielle à suivre, en fumant les viandes, est de ne produire que peu de fumée à la fois, et par suite d'augmenter beaucoup la durée de l'opération. Lorsqu'on produit trop de fumée, il est impossible d'obtenir un bon résultat; l'extérieur est déjà extrêmement fumé avant que l'intérieur le soit sensiblement. A la fin de l'opération seulement, on produit, pendant un temps très court, beaucoup de fumée, afin surtout de préserver la surface constamment exposée au contact de l'air.

La viande immergée pendant quelque temps dans l'acide pyro-ligneux, puis séchée à l'air libre, se conserve tout aussi bien que la viande fumée, mais elle acquiert un goût désagréable, ce qui fait que ce procédé n'est point employé pour la conservation des substances alimentaires.

Les autres substances anti-septiques, comme le sublimé corrosif, le perchlorure d'étain et l'acide arsénieux, sont surtout employées pour la conservation des objets d'histoire naturelle et pour embaumer les cadavres. Une injection de sublimé corrosif en dissolution dans les veines, ou mieux une immersion dans cette dissolution, préserve parfaitement les cadavres de toute altération.

8. *Conservation de l'eau.* C'est un fait bien connu que l'eau conservée dans des tonneaux en bois se corrompt très facilement, ce qui paraît dû à ce qu'elle dissout peu à peu les matières extractives du bois, lesquelles une fois dissoutes ne tardent pas à entrer en putréfaction; d'après les observations de Prechtl, le sulfate de chaux contenu dans la plupart des eaux se décompose alors et donne lieu à un dégagement d'hydrogène sulfuré, de sorte que l'eau n'est plus du tout potable.

Les tonnes en bois ne sont donc pas propres à conserver l'eau; aussi dans la marine emploie-t-on fréquemment des barriques en fer-blanc, où elle se conserve très bien, et dans le fond desquelles on a soin de mettre quelques morceaux de fer, sur lesquels se porte en grande partie l'action de l'oxygène dissous dans l'eau; mais ce moyen est assez coûteux, parce que le fer-blanc s'attaque aisément par la rouille.

Par suite des propriétés désinfectantes du charbon, on peut conserver de l'eau pendant assez longtemps dans des tonnes en bois carbonisées à l'intérieur sur une certaine épaisseur; seulement il convient de remarquer que l'efficacité d'une couche de charbon aussi mince ne dure qu'un temps limité.

Lorsqu'il s'agit de rendre potable de l'eau déjà corrompue, le charbon est le moyen le plus efficace et le plus généralement employé; nous reviendrons à ce sujet à l'article FILTRATION. Un autre procédé consiste à ajouter une très faible quantité d'alun en poudre, qui clarifie l'eau en précipitant la plus grande partie des substances organiques dissoutes, mais qui ne peut lui enlever l'odeur qu'elle a acquise; il réussit beaucoup mieux employé comme moyen de prévenir la corruption de l'eau.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS. L'idée de l'établissement d'un lieu public où seraient conservés, et mis à la disposition de tout le monde, ayant intérêt à les consulter, des modèles d'outils, de machines, d'instruments, utiles aux manufacturiers, aux agriculteurs, aux ouvriers, fut une grande et noble idée, qui devait être féconde en heureux résultats, et donner une forte impulsion à l'industrie nationale. Elle remonte aux temps où fut fondée l'institution de l'Exposition périodique des produits de l'industrie française, qui devait servir à constater les pas en avant que l'institution du Conservatoire aurait fait faire aux arts, et aussi à ces mêmes temps qui virent naître l'École Polytechnique, institution noble et généreuse, qui a fait tant de bien et a fait jaillir tant d'éclat sur notre patrie. Après plusieurs essais, plus ou moins heureux, le Conservatoire des arts et métiers fut enfin établi dans l'ancienne abbaye Saint-Martin, dans un quartier très populeux, centre de l'active production, à la proximité de ceux qui devaient avoir le plus souvent besoin de visiter ses nombreuses collections, pour en retirer un utile enseignement. C'est sur le rapport de M. Grégoire, que la loi de prairial an VI fixa cette installation définitive.

Bientôt les modèles arrivèrent de toutes parts. Des dons particuliers, des achats faits par le gouvernement d'après les indications d'hommes d'un mérite éminent, firent des salles du Conservatoire le plus précieux musée industriel qui soit au monde; des existences entières d'hommes savants et zélés furent consacrées au développement, à la classification des richesses accumulées dans les immenses galeries de ce vaste établissement. Un ministre de l'intérieur dont le nom se retrouve toutes les fois qu'il est question de choses grandes et utiles à la nation, Chaptal, établit en ce lieu une école de filature, qui fut, dans un temps où l'art était encore si loin de ce qu'il fut depuis, un véritable bienfait pour le monde industriel. Il eût été heureux que ceux qui ont succédé à Chaptal, marchant sur ses traces, eussent successivement doté le Conservatoire d'écoles semblables pour les branches de la fabrication qui étaient arriérées chez nous. Ainsi on aurait établi une école de mécanique, à la tête de laquelle on aurait mis un habile mécanicien praticien, qui aurait appelé dans son école un professeur de théorie. On aurait pu ensuite établir une école d'horlogerie, sous la direction d'un Bréguet, etc., etc. Mais

les choses ne tournèrent pas ainsi, et l'enseignement pratique fut bientôt sacrifié à l'enseignement théorique, qui est certainement d'une haute importance, mais qui, pour les travailleurs, pour les ouvriers, est d'une utilité moins directe que le premier. Nous ne sommes pas de ceux qui affectent un superbe dédain pour l'art oratoire ; nous pensons que dans beaucoup de circonstances, la parole est un grand moyen de civilisation, de propagation des bonnes idées, de perfectionnement moral ; mais nous sommes obligés de convenir avec beaucoup de bons esprits, qu'on a un peu abusé de ce moyen, tout divin soit-il, et cela depuis 1814 surtout. Il fallait au Conservatoire beaucoup faire et peu parler ; c'est tout le contraire qui a eu lieu depuis cette époque ; ce n'est point avec des paroles seulement qu'on enseigne un art, un métier ; c'est surtout par l'action, par l'exemple : cela est vrai pour les arts et métiers ; cela est même vrai souvent pour les sciences : il faut des manipulations au chimiste, il faut à l'astronome des nuits passées à observer ; il faut au médecin l'anatomie, la clinique. Si l'on en excepte la classe de dessin linéaire, on accorda bien peu de chose à la pratique, on donna beaucoup à la parole ; on institua des chaires, confiées à des hommes sans doute très éloquents ; mais l'opinion d'hommes savants a été que c'étaient des ateliers qu'il fallait plutôt instituer ; parce que, disaient-ils, dans les arts et métiers, c'est faire, c'est produire, qui doit être le but ; or, on ne fait pas en parlant ; mais on fait en faisant. Ce n'est ni le bon vouloir, ni l'argent, il faut rendre cette justice, qui ont manqué ; on a fait tout ce qu'on pouvait ; mais dans ce qu'on a fait, ce qu'on devait faire n'a malheureusement pas été fait. Notre conscience nous contraint à le dire, l'excès de la parole a fait tort au Conservatoire.

Comme on augmentait sans cesse les collections de machines, de modèles d'instruments, sans qu'une haute sagacité présidât toujours infailliblement aux choix, il y eut bientôt encombrement, confusion ; et sans partager le blâme déversé par des esprits chagrins, enclins à une critique trop amère, nous devons convenir que la visite de cet imposant établissement est devenue pour beaucoup de gens, ou une promenade pure et simple, dans un lieu renfermant des objets dignes d'exciter la curiosité, ou un casse-tête affreux pour celui qui veut retirer de sa visite ou d'utiles enseignements sur l'industrie en général, ou une instruction solide dans une branche spéciale. La grande majorité des modèles représentent des instruments vieillis, dépassés, abandonnés par la pratique qui marche toujours ; et l'industrie nationale ne pouvant plus retirer aucun profit du temps passé à leur étude, le but de l'institution se trouvait manqué, et de toutes parts on réclama contre cet état de choses.

En 1837 ou 1838, le ministère lui-même reconnut que l'industrie nationale ne pouvait retirer aucun avantage de l'institution du Conservatoire des arts et métiers, et une commission fut autorisée de rechercher les moyens propres à *utiliser au profit de notre industrie l'institution du Conservatoire des arts et métiers.* Cette commission était composée de dix-huit personnes, portant, pour la plupart, des noms justement célèbres ; mais malheureusement presque tous étaient des hommes de cabinet, des employés, des professeurs ; il ne s'y trouva que peu d'hommes praticiens, deux ou trois, et encore de ces praticiens qui s'occupent plus de l'ensemble que des détails, plus de théorie que de pratique. Aussi, le résultat des travaux, consciencieux d'ailleurs de cette commission, fut-il la création de nouvelles chaires à ajouter aux chaires déjà existantes, l'ouverture de nouveaux cours ; c'était continuer, amplifier, ce qui existait avant. L'institution du Conservatoire des arts et métiers sera-t-elle par ce moyen *utilisée au profit de l'industrie nationale?* L'avenir répondra.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

L'attention publique éveillée sur cette grande question proposée par le gouvernement à la commission, plusieurs mémoires, fruits de méditations particulières, furent adressés au ministre, à l'effet d'aider les honorables membres dans leur travail. Que les idées proposées dans ces mémoires fussent ou non réputées impraticables, l'intention de ceux qui les fournissaient était louable, et bien que ces travaux n'aient pu être récompensés par la satisfaction qu'auraient éprouvée les auteurs à voir leurs idées se faire jour ; peut-être les lecteurs seront heureux de les retrouver ici. C'est ce qui nous a déterminé à rendre public l'un de ces mémoires. Les hommes spéciaux jugeront.

« . . . . . La question de haute importance qui vous est soumise, pour la solution de laquelle le gouvernement invoque l'appui de vos lumières et de votre expérience, peut être envisagée sous plusieurs aspects. C'est, assurément, parce que cette vérité a tout d'abord frappé les regards, que le ministre a cru devoir vous réunir en grand nombre, et qu'il a rassemblé en faisceau, dans la composition de la commission, toutes les hautes capacités dans chaque spécialité. L'industrie nationale profitera certainement des choix éclairés, et devra à votre heureuse et patriotique intervention des enseignements, des voies et moyens, qui lui imprimeront une salutaire impulsion.

« Le Conservatoire des arts et métiers ne saurait être considéré simplement comme de nobles archives dans lesquelles les nationaux, et même les étrangers, peuvent à chaque instant, pour chaque profession, venir admirer les efforts et les essais de nos pères laborieux ; il doit être de plus une école de brillant enseignement industriel. La réputation méritée des professeurs, la libéralité, la puissance de leur langage porteront sans doute d'heureux fruits ; et les bonnes théories, les saines doctrines industrielles se répandront parmi nos ouvriers..... D'une autre part, au moyen d'une belle publication, de planches bien gravées, des modèles choisis se répandent dans tous les lieux où l'on travaille.

« Il semble, au premier aperçu, que ces leçons, que ces publications, devaient suffire à tous les besoins de l'éducation industrielle ; et, cependant, quelques personnes pensent, et le gouvernement paraît le reconnaître aussi, puisqu'il vous a réunis en commission, qu'il pourrait être ajouté encore quelque chose à ces moyens de perfectionnement.

« Un besoin se fait sentir vivement en France, c'est celui de bons ouvriers. Cette proposition paraîtra d'abord un paradoxe ; mais, en l'examinant attentivement, on reconnaîtra qu'elle est juste en tous points. Les ouvriers français, il est pénible de le dire, mais nous devons avant tout dire la vérité, sont en arrière de ceux de la Belgique, de la Suisse, de l'Allemagne ; nous ne parlerons pas de l'Angleterre, elle est hors ligne, sa supériorité est incontestable et incontestée. Et, pourtant, la nature a doué l'ouvrier français de qualités qu'elle a refusées à l'anglais, au belge, à l'allemand, à toutes les autres nations ; elle lui a donné une imagination ardente, la facilité d'apprendre promptement, la souplesse, la soif de la gloire et de l'approbation ; elle a fait, enfin, à l'ouvrier français, la plus précieuse des largesses en lui donnant, plus qu'à tout autre, ce tact, ce sentiment du bon et du convenable, que nous appelons le goût. Heureuse faculté, qui seule, jusqu'à présent, a soutenu sa réputation et l'a empêché d'être relégué dans les derniers rangs des capacités européennes. Car on trouve en France beaucoup d'ouvriers habiles, adroits ; mais peu, très peu qui soient instruits. Un ingénieur, un entrepreneur de grands travaux réalisera plus aisément ses conceptions dans les pays dont nous venons de parler que dans le centre de cette belle France qui a un renom si retentissant d'intelligence industrielle.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

« Les écoles d'arts et métiers, si elles sont dirigées par des hommes pratiques, seront de riches pépinières de bons ouvriers, d'ouvriers instruits; mais ce n'est pas ici le cas de nous occuper du bien qu'elles pourront produire, nous devons nous appliquer seulement à faire ressortir à vos yeux quelle part importante le Conservatoire des arts et métiers peut réclamer dans l'instruction industrielle, c'est-à-dire, dans la production des bons ouvriers; éléments radicaux de toute fabrication. »

« Ainsi donc, pour que le Conservatoire des arts et métiers *puisse être utilisé au profit de l'industrie nationale*, il faut qu'il devienne une école industrielle qui dote la France de ce qui lui manque, d'ouvriers instruits, de bons ouvriers. Récapitulons ce qu'on a fait: voyons ensuite ce qui est à faire pour atteindre ce but. »

« Avant toutes choses, établissons bien clairement ce qu'on entend par un bon ouvrier. Un bon ouvrier est l'homme intelligent, instruit, rangé, qui fait vite et bien. Ainsi, deux conditions essentielles: l'une morale, l'intelligence, la science, la bonne conduite : l'autre toute physique, faire vite et bien. Qu'a fait le Conservatoire des arts et métiers pour que ces deux conditions soient remplies?

« *L'intelligence*, c'est un don particulier de la nature. Le Conservatoire des arts et métiers, non plus qu'aucune autre institution, ne pourra jamais doter de ce présent celui qui ne l'aura pas reçu de ses pères; mais, heureusement, comme nous l'avons dit, l'intelligence est chose commune en France.

« *La science*, les leçons, les cours, la parole des professeurs, l'exhibition des modèles, la publication imprimée et gravée des modèles, pourront la donner en partie.

« *La bonne conduite*, c'est aux efforts des particuliers, c'est aux bons livres, tels que ceux qui ont été publiés par M. Bergery de Metz, à donner aux ouvriers des habitudes d'ordre, à en faire des hommes rangés; cette mission ne peut être celle des professeurs du Conservatoire; ils ne font pas des sermons, mais des leçons.

« Donc, relativement à la *condition morale*, le Conservatoire, organisé comme il l'est, ne peut donner que la science, ou du moins, partie de la science.

« Quant à la *condition physique*, donner les moyens de *faire vite et bien*, le Conservatoire, organisé comme il l'est, ne paraît nullement propre à la remplir.

« Quels ont été, en effet, les moyens employés pour que ces deux conditions se trouvassent suffisamment? Ce fut, 1° l'exposition hebdomadaire des machines employées dans toutes les parties des arts et métiers; 2° des cours de dessin de ces mêmes machines, et d'autres cours, savamment appropriés à toutes les intelligences sur les théories mécaniques, chimiques, physiques, et sur l'économie industrielle.

« Ces moyens ont-ils été suffisants pour produire de bons ouvriers, et en grand nombre? Non, ont dit les manufacturiers, les chefs d'usines, les directeurs d'ateliers : Non, a dit le gouvernement, puisqu'il a nommé une commission chargée de rechercher les moyens d'*utiliser au profit de notre industrie l'institution du Conservatoire des arts et métiers*.

« Pourquoi ces moyens ont-ils été insuffisants? La réponse pourrait être brève; mais peu claire. Il convient donc d'entrer dans les détails qu'elle comporte.

« L'exposition des modèles des machines ne peut suffire, parce qu'elle ne dit point à l'ouvrier ce qu'il importe surtout de lui dire : Quels ont été le mode, les moyens d'exécution employés pour la confection de chaque machine, combien elle a dû coûter, en combien de temps elle a dû être faite... Quand un industriel, maître, contre-maître, ou simple ouvrier, voit une machine à travers un vitrage, ou, même quand il peut tourner autour, peut-il se rendre raison de la somme de force motrice qu'il faudra dépenser pour la faire fonctionner? Peut-il se figurer quelle sera son allure? peut-il savoir quelle sera la qualité ou la quantité de ces produits? l'affirmative est bien difficile à croire. Peut-il, lorsqu'il suit la longue file des machines exposées, qui, toutes, par des moyens divers, sont destinées à remplir la même fonction, à donner les mêmes produits, discerner celle qui, seule, mérite de fixer son attention? Cela est encore bien difficile à concevoir.

« Dans ce palais de merveilles, dans ce labyrinthe de féeries, quelle que soit la précision de son indicateur, et la complaisance à toute épreuve des préposés, pourra-t-il arriver juste à la rencontre de l'objet qu'il cherche, qu'il vient chercher de très loin peut-être? En vain, fermera-t-il les yeux pour n'être point distrait à chaque instant, pour n'être point sollicité de s'arrêter à chaque pas, afin de réserver son attention entière et forte pour la spécialité qui l'amène dans le sanctuaire des arts; bien rarement il aura la chance de rencontrer cet objet désiré; ou bien, lorsqu'il l'aura rencontré, il ne pourra s'en faire qu'une idée bien imparfaite qui s'effacera de son esprit avant qu'il soit rentré chez lui.

« Par ces considérations et par bien d'autres encore qu'il serait trop long de rapporter, les salles du Conservatoire sont remplies, aux jours d'ouverture, par ce même public, *voyeur* infatigable qui remplit les salles du cabinet d'histoire naturelle, les galeries de tableaux, celles des antiques, des médailles, les bibliothèques, etc. C'est un muséum que les oisifs et les touristes ont inscrit sur leur carnet, qu'ils se croient dans l'obligation de visiter en voyant Paris. L'industriel, l'ouvrier, qui pensent y trouver des lumières, n'en rapportent que des maux de tête intenses.

« Mais la publication gravée, accompagnée d'un texte explicatif, qui reproduit les modèles principaux, n'est-elle pas une compensation à la fatigue produite par l'agglomération de ces modèles? Pour les chefs de manufacture, pour les ingénieurs; oui, sans doute : pour les ouvriers, non.

« Pour qu'un homme puisse s'instruire au moyen de la communication, écrite ou imprimée, de la pensée, il faut que ce moyen lui soit depuis longtemps familier; il faut qu'il lise sans peine, sans travail, sans que cette opération des yeux et de l'entendement le fatigue, et sans qu'elle exige de lui aucune contention d'esprit. Il faut que, dès l'enfance, ou du moins, depuis longues années, il ait fait un emploi fréquent de ce moyen de transmission, d'échange des idées. Celui dont toute la force intellectuelle est absorbée par l'action elle-même de lire, qui dépensera à l'accomplissement de cette action toute la force de son cerveau, celui-là ne retirera aucun profit de la lecture : et de même qu'une machine mal combinée absorbe toute la force motrice disponible pour être mise en mouvement et n'en transmet que peu ou point pour l'effet utile; de même, l'homme inculte, encore bien qu'il sache lire, s'il n'a pas fait de cet avantage un usage presque journalier, est incapable de rien apprendre par la lecture. C'est ce qui fait que nos ouvriers n'aiment point lire, et ne lisent point, si ce n'est des ouvrages futiles qui ne demandent aucune contention d'esprit. Une lecture sérieuse est une fatigue pour eux, et une fatigue sans résultat profitable.

« Les planches qui représentent les machines, pourraient, jusqu'à un certain point, parer à cet inconvénient : quand on met, non-seulement entre les mains des ouvriers, mais même entre celles de personnes plus haut placées dans l'échelle intellectuelle un livre accompagné de figures, c'est toujours aux figures qu'on s'adresse, d'abord, pour prendre une idée sommaire de l'ouvrage; mais encore, ici, il faut un long apprentissage, une habitude, un usage fréquent, pour se livrer avec fruit à cette espèce de lecture, surtout lorsqu'il s'agit de dessins de machines : souvent l'ouvrier, dans les

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

traits déliés et compliqués d'un dessin de mécanique, ne voit que des traits confus qui fatiguent son œil sans parler à sa pensée. Les gravures valent mieux que les descriptions pour les hommes incultes, mais ne sont encore qu'un moyen bien insuffisant. C'est ce qui fait que les ouvrages, même les mieux faits, publiés pour les ouvriers n'ont jamais produit tous les résultats qu'on était en droit d'attendre : les ouvriers ne les ont point lus.

« Les cours, les leçons orales, semblent, au premier aperçu, devoir produire de meilleurs effets : ici, la pensée se transmet par un agent dont les ouvriers ont l'habitude de se servir, la parole. Toute la force de leur entendement n'est pas absorbée par une opération intermédiaire, la lecture. Elle se porte entière sur ce que dit le professeur; mais le langage des auditeurs n'est pas le même que celui du professeur qui leur parle : il est bien plus pauvre; beaucoup d'expressions sont ouïes pour la première fois ; ces auditeurs ne sont pas habitués aux longues périodes, aux inversions; la conception est lente chez eux, ils ont besoin pour comprendre des longs repos de leur dialogue, pendant lesquels leur esprit élabore les phrases perçues ; et cependant, au cours, le discours du professeur s'écoule rapidement, incessamment; les idées se succèdent rapides et fugitives, et assez souvent ils n'ont pas eu le temps de bien comprendre celle qui fait la base, le point de départ de la démonstration. Comment en suivraient-ils les corollaires?.... Les leçons orales, elles-mêmes, ne produisent donc qu'un effet très limité.

« D'une autre part, les cours publics ont cet inconvénient grave, qu'ils ne s'appliquent et ne peuvent s'appliquer, en effet, qu'aux théories, qu'aux préceptes; et que, par conséquent, ils s'adressent plus spécialement à ceux qui doivent commander qu'à ceux qui doivent exécuter : ils parlent aux maîtres et non aux ouvriers, ils tendent à former des manufacturiers, des ingénieurs, des directeurs de travaux; mais nous sommes riches de ce côté : ce sont les bons ouvriers qui nous manquent, et les cours ne sont point aptes à les produire. Vainement a-t-on matérialisé l'enseignement de quelques branches, en faisant suivre la manipulation de l'expérimentation, lorsqu'elles ont été nécessaires à la démonstration, dans les cours de chimie et de physique; ces louables essais n'ont pas produit le bien qu'on en attendait. Ces cours ont servi à rectifier un peu les idées des demi-savants; ils n'ont pas élevé au rang de demi-savant celui qui ne savait rien : ils n'ont été d'aucun avantage pour l'ouvrier.

« Quant à la bibliothèque du Conservatoire, nous nous abstiendrons d'en parler, pour n'en point trop parler; nous avons établi plus haut que la lecture ne peut suffire seule à instruire les ouvriers ; nous n'en dirons pas davantage à ce sujet.

« Ainsi donc, aucun des moyens employés, l'exposition des machines, les publications imprimées et gravées, les leçons orales, n'a produit l'effet désiré, la production en grand nombre des bons ouvriers.

« Il faut donc chercher ailleurs que dans ce qui a été fait jusqu'à présent les moyens d'*utiliser au profit de notre industrie l'institution du Conservatoire des arts et métiers*.

« Nous venons d'établir que ce sont les bons ouvriers qui nous manquent; mais par ce mot ouvriers, on ne doit pas entendre seulement les journaliers ; l'artisan qui travaille seul, ou qui se fait aider dans son labeur par un ou plusieurs ouvriers, est dans le même cas que ces derniers : car, ce maître, c'est un ouvrier qui a ouvert boutique ou chantier, et qui paye patente. Sorti des rangs des journaliers, il n'a pas plus de savoir que les journaliers : il a seulement, lorsqu'il est plus âgé, plus d'expérience, on pourrait dire plus de routine.

« A Metz, à Paris, à Lyon, à Rouen, et dans quelques autres centres d'activité industrielle, en cherchant bien, on pourrait toutefois rencontrer peut-être, peut-être! des ouvriers intelligents, instruits ; mais partout ailleurs les recherches pourront être vaines. Ce n'est pas que nous prétendions jeter du blâme sur les ouvriers des petites localités. Cette pensée est bien éloignée de notre esprit; nous savons pertinemment que dans les petites localités, on rencontre en bien plus grand nombre que dans les grandes villes des hommes de bonne moralité, grands travailleurs, très adroits, très ingénieux, et d'autant plus ingénieux, qu'ils sont contraints, réduits à leurs propres forces, d'embrasser plusieurs genres de fabrication, et de réunir en eux les talents d'ouvriers divers; mais isolés, séquestrés, pour ainsi dire, ils ne peuvent jouir des découvertes faites par les aînés de l'industrie, et prendre leur part des lumières répandues par la communication des travailleurs entre eux, ni suivre les progrès des masses, qui, de leur nature, marchent toujours en avant. Ainsi nous pouvons affirmer, sans que les ouvriers isolés en puissent prendre ombrage, que, hors les grands centres d'activité industrielle, on pourra peut-être trouver un ingénieur, un architecte, mais que les ouvriers manqueront. Les plans seront bons, mais l'exécution mauvaise, et tellement chère qu'il y aura souvent profit, lorsque cela sera possible, à faire venir de fort loin, de l'étranger même, quel que soit le coût des transports, les mécaniques, ou autres objets, qui auraient pu être confectionnés sur les lieux, si de bons ouvriers s'y fussent rencontrés. Chez nous, tout ce qui est fabrique, manufacture, usine, grand atelier, a fait des pas en avant, tandis que la boutique, le petit atelier sont restés ce qu'ils étaient il y a trente ans. Et comme il y a dix mille boutiques pour une fabrique, et comme certaines fabrications, la serrurerie, la menuiserie, la maréchalerie, l'horlogerie courante, la reliure, la ciselure, et beaucoup d'autres qui forment la majorité des fabrications resteront boutiques; c'est donc vers l'amélioration de la boutique qu'il convient de diriger tous les efforts.

« Si l'on nous demande ce qui manque à la boutique, nous répondrons : des moyens d'exécution prompte et sûre, un outillage plus parfait, des méthodes de faire vite et bien, afin que l'ouvrier, pour le même prix, augmente la somme de ses produits, afin que ces produits augmentés soient en même temps plus parfaits, afin que l'aisance et le bien-être de l'ouvrier se trouvent augmentés dans la même proportion.

« C'est l'outillage qui doit appeler d'abord toute l'attention; car le proverbe dit : *Les bons outils font la moitié de la besogne*. Or, jusqu'ici, cette partie radicale de toute fabrication manuelle a été, pour son perfectionnement, livrée à l'aveugle hasard; ce sont ordinairement les quincailliers et les marchands d'outils, qui seuls, dans leur intérêt privé qui n'a pas toujours été d'accord avec le progrès, ont fait le peu de bien qui s'est manifesté depuis une vingtaine d'années; c'est le marchand qui très souvent a fait connaître à l'ouvrier l'outil qui était le plus propre à faciliter son travail, à augmenter la masse de ses produits, et conséquemment la masse de ses profits. C'est par son admirable outillage que l'Angleterre règne sur le monde industriel : c'est par ses méthodes de faire vite et bien, et à bon marché, qu'elle écarte notre concurrence sur les marchés étrangers.

« Ces moyens d'exécution, cet outillage perfectionné, ces méthodes de faire vite et bien, est-il au pouvoir de l'institution du Conservatoire des arts et métiers de les provoquer, de les propager, de les faire connaître partout?... Nous pensons que cela lui est non seulement possible, mais facile, et si on nous demande par quels moyens, nous répondrons : Par l'établissement, dans le sein du Conservatoire des arts et métiers, de nombreux ateliers-modèles, qui seraient pour la majeure partie des métiers et professions de véritables et utiles écoles in-

dustrielles, telles et plus développées encore que Chaptal ne les avait conçues.

« Les ateliers-modèles devraient être établis dans les chefs-lieux de départements. Nous avons donné en 1834, dans le n° de mai du *Journal des Connaissances utiles*, les moyens de parvenir à rendre au pays cet éminent service, nous avons évalué approximativement la dépense qu'entraînerait cet établissement ; mais nous n'avons ici à nous occuper que de l'établissement de ces ateliers au Conservatoire des arts et métiers de Paris. Ce serait de Paris que partirait l'exemple et que l'impulsion serait donnée ; les ateliers-modèles des départements seraient une répétition en petit de ceux du Conservatoire des arts et métiers.

« L'atelier-modèle, pour chacune des principales professions industrielles, serait composé le plus souvent d'une seule chambre, qui pourrait être même très restreinte en étendue ; car souvent un ouvrier n'a pour atelier qu'un très petit local, éclairé par une seule fenêtre, dans la majeure partie des cas. Dans ce lieu seraient réunis les outils, machines-outils, instruments propres à une seule et même profession, non point rangés sur des tablettes, mais mis à la portée de la main, et dans la place qui leur est le plus communément assignée dans l'arrangement d'une boutique bien tenue. Aucun de ces outils ou instruments ne sera double, aucun ne sera admis sans discernement. Il faudra qu'un jury, composé de maîtres renommés, ait déclaré que l'outil est le plus parfait des outils de même nature connus, pour qu'il obtienne l'honneur de l'admission. Cet honneur il le conservera jusqu'à ce qu'un autre outil plus parfait encore, reconnu tel par le jury, vienne le détrôner. Alors l'outil déclaré supérieur remplacera le premier qui sera enlevé de l'atelier-modèle, et porté dans une autre partie du Conservatoire destiné à devenir les archives de la profession ; car si toutes les nouveautés étaient admises, si les outils surpassés restaient dans l'atelier-modèle, il y aurait encombrement, confusion, incertitude pour le visiteur, et le but qu'on se propose d'atteindre serait manqué. A la garde, à l'entretien de chacun des ateliers serait préposé un vétéran célèbre du métier, choisi au concours par le jury des maîtres, comme le plus instruit, le meilleur sujet, le plus digne. Ce serait ce gardien qui serait chargé d'expliquer, de faire comprendre aux ouvriers de sa profession, qui viendraient chercher la lumière dans l'atelier-modèle, la supériorité des outils et procédés exposés à leurs regards.

« Il se trouvera toujours dans l'atelier-modèle une certaine quantité de matière première, afin que l'ouvrier-gardien puisse, par lui-même, ou par le visiteur, si le gardien y consent, faire fonctionner l'outil ou la machine. Une récompense honorifique ou pécuniaire serait toujours accordée à l'ouvrier qui serait assez heureux pour avoir fait admettre un perfectionnement par le jury. Son nom serait cité ; et lorsque, par la suite, les ateliers-modèles seraient institués par toute la France, l'outil agréé à Paris serait expédié à tous les ateliers-modèles des départements, qui pourraient l'adopter d'après la décision du jury, ce qui serait déjà un puissant encouragement, et pourrait dispenser l'administration de décerner une autre récompense. Dans tous les cas, les noms et adresses des auteurs seraient affichés dans l'atelier-modèle, ainsi que les prix de leurs outils perfectionnés. Par ce moyen, qui exciterait puissamment l'émulation des ouvriers, des fabricants, on aurait peu d'achats à faire ; les modèles viendraient d'eux-mêmes briguer l'honneur de l'admission... Les matières servant à la fabrication, les pierres à aiguiser, les poudres employées pour le poli, les papiers de verre, les toiles émerisées, les colles, les huiles, etc., seraient admis dans l'atelier-modèle après avoir subi l'épreuve du concours.

« Spécifions : déterminons un atelier-modèle, pour bien faire comprendre ce qui précède. prenons au hasard, dans les trente ou quarante ateliers-modèles qui seront ouverts au Conservatoire ; supposons que nous entrons dans l'atelier du forgeron. Dans une chambre au rez-de-chaussée, nous trouverons une forge à bâti circulaire, abordable de tous côtés ; si ce mode a été jugé par le jury le mode le plus avantageux, un soufflet Rabier, si ce soufflet est toujours le meilleur connu, surmonté par le ventimètre le plus parfait ; la tuyère sera à réservoir d'eau fraîche, si cette tuyère est toujours en possession d'occuper le premier rang sous le rapport de l'inaltérabilité ; une plaque d'âtre à huit sens, si on n'a pas trouvé mieux encore ; les foyers à air échauffé de Taylor et d'Hoffmann, s'ils conservent leur supériorité ; l'étau à chaud à ouverture parallèle, les marteaux à panne contrée ; une enclume de tel ouvrier qui a remporté la médaille d'or à l'exposition des produits de l'industrie nationale ; du charbon de tel pays déclaré être le meilleur, etc., etc. ; il y aura là des fers de telle fonderie, des aciers de telle autre. Le vieux forgeron-gardien sera toujours là tout prêt à mettre le fer au feu, à démontrer l'excellence des outils et des matières employées ; il pourra permettre à ce jeune homme, qui semble douter encore, de mettre lui-même le fer au feu et de frapper sur l'enclume. Il n'y aura jamais encombrement dans cet atelier, car il n'y viendra, à coup sûr, que des forgerons, des hommes de l'état. Les oisifs, les flâneurs se répandront dans les galeries des archives ; mais, dans les ateliers-modèles, il ne se rencontrera que des hommes du métier, qui ont besoin de prendre connaissance de ce qui se fait le mieux, afin de pouvoir répéter ce mieux dans leur boutique.

« Si la nouvelle se répand parmi les menuisiers qu'il existe par le monde une machine très simple servant à percer facilement et correctement les mortaises, une mèche qui permet de percer, avec le même outil, des trous de diamètres très différents, des rabots sans coins, des guillaumes atteignant jusque dans les angles, des bouvets faisant des rainures et des languettes à queue et autres perfectionnements, la première question qu'ils font, dans leur impatience de connaître ces outils, qu'il leur serait si important de connaître, est celle-ci : Y en a-t-il au Conservatoire ? et quand on leur a répondu : Non, ils s'écrient, avec raison, dans leur dépit : A quoi sert donc le Conservatoire ?

« Un serrurier entend vanter des filières doubles, bien plus faciles à faire et fonctionnant bien mieux que les anciennes, les étaux à genoux et autres outils, il court au Conservatoire, dans l'espérance de les voir : il revient fatigué de ses longues et inutiles recherches, chagrin de sa journée perdue.

« Un tourneur a vu à l'exposition publique des produits de l'industrie nationale, un tour, un support avantageux ; il n'a pu en prendre le dessin dans la foule, dans la cohue, il se dit : Je les retrouverai au Conservatoire des arts et métiers dans l'atelier des tourneurs... ; il se trompe ; il n'y a pas un atelier de tourneur au Conservatoire. Si l'outil qu'il désire revoir et dessiner a été acquis par l'administration, ce qui n'est pas du tout certain, il sera perdu dans une foule inextricable d'outils de toute nature ; et il faudra un hasard providentiel ou un an de visites assidues et tenaces pour le retrouver.

« Un maître mécanicien dit à son ouvrier : Alèse ce tube. L'ouvrier répond : Comment faire ? — A quoi sert donc le temps que tu passes au Conservatoire ? — On y dit, répond l'ouvrier, qu'il faut aléser ; mais on n'indique pas quelle est la manière de faire cette opération. — Mais, pourtant, il me semble bien y avoir vu des alésoirs. — Assurément, notre maître ; mais avez-vous dans votre boutique une machine à vapeur de la force de vingt chevaux ? — Il n'existe donc pas un endroit où les ouvriers mécaniciens puissent apprendre à connaître les meilleurs outils de leur profession ? — Non. — On ne fait donc

pas un cours de technologie au Conservatoire? — Non. — Il serait pourtant le plus important de tous.

« Mais quand les ateliers-modèles seront établis, le maître ira voir celui de sa profession, il y enverra son ouvrier quand celui-ci lui répondra : *Je ne sais pas* : il n'y aura plus de pas et de temps perdus, plus d'incertitude, plus de fatigue. Quand le père ébéniste de Rouen, d'Amiens ou d'Orléans enverra son fils à Paris, sa recommandation la plus expresse sera d'aller au Conservatoire des arts et métiers prendre une connaissance détaillée de l'atelier d'ébénisterie, afin qu'à son retour on puisse plaquer dans sa boutique suivant les meilleures méthodes.

« Quand un ouvrier voyageur viendra dire à l'artisan de la petite ville : Vous faites mal, vous êtes en arrière; on ne fait plus ainsi à Paris. L'artisan, au lieu de se laisser induire en erreur par l'ouvrier qui vient de loin et qui veut faire le capable, lui répondra : Vous vous trompez vous-même ou vous voulez me tromper. L'atelier-modèle existe; c'est lui qui sera notre juge et nous mettra d'accord. Ce que vous dites n'existe pas à l'atelier-modèle; je l'ai vu lors de mon voyage à Paris: c'est moi qui suis dans la bonne route.

« L'atelier-modèle serait le régulateur dans chaque profession. Il exciterait une noble émulation entre les ouvriers Heureux celui qui pourrait découvrir un perfectionnement ! il saurait désormais où le porter, où trouver des juges, des appréciateurs; et si sa découverte était goûtée, si son nouveau moyen d'exécution était admis, sa réputation grandirait parmi ses confrères; sa condition serait améliorée.

« A peine Paris serait-il doté de cette utile institution, que tous les chefs-lieux de département voudraient aussi en jouir. Des amateurs riches, des ouvriers retirés fourniraient les uns le local, les autres le matériel. Chacun voudrait attacher son nom à cette noble et profitable fondation, et l'administration publique aidant, les chefs-lieux d'arrondissement eux-mêmes ne tarderaient pas à suivre l'impulsion. Par ce seul moyen, l'ouvrier du village le plus arriéré dans l'industrie pourra le dimanche, lorsqu'il se rendra à la ville, visiter l'atelier-modèle de sa profession; il trouvera là une contre-épreuve de l'atelier-modèle de Paris; il puisera, dans cette nouvelle télégraphie, les moyens de faire vite et bien; il ne sera plus exposé à errer dans la recherche du mieux, il ne perdra plus son temps, il n'usera plus ses capacités en essais infructueux, et peut-être, un jour, un perfectionnement surgira-t-il d'une petite ville inconnue pour venir briller dans l'atelier-modèle de Paris.

« Les objets qui seront surpassés, et qui, ainsi que nous l'avons dit, seront extraits de l'atelier-modèle et transportés dans les archives de la profession, y seront classés par dates, avec le nom de l'inventeur et rangés par ordre de similitude. C'est dans ces archives de l'industrie que viendra l'écrivain qui voudra faire l'histoire d'une profession quelconque. Il trouvera dans ce lieu rassemblé, sous un seul coup d'œil, tout ce qui a trait au sujet qu'il voudra traiter; il pourra suivre toutes les phases par lesquelles l'art a passé avant d'arriver à la perfection actuelle. Celui qui voudra reculer les bornes de l'art, qui ambitionnera la palme offerte par l'atelier-modèle, trouvera aussi dans ces archives les forces d'atteindre ce louable but : il y verra par quelles routes tortueuses l'art est arrivé du composé au simple : la vue des essais des autres lui servira à se garantir contre leur répétition inutile; il ne suivra pas une route déjà explorée, déjà battue; toute la force de sa conception ne s'usera pas à s'enfoncer dans des impasses; elle se réunira, dans toute sa plénitude, contre l'obstacle à vaincre, et l'obstacle sera plus souvent vaincu.

« Le Conservatoire des arts et métiers sera alors *utilisé* au profit de l'industrie nationale; nous aussi, alors nous aurons de beaux ouvriers, et, avec cet élément de succès, la fabrication française ne connaîtra pas de rivale... »

En dehors de ces classifications par profession, des machines, outils, instruments, déposés au Conservatoire, on ne rencontrera jamais que confusion et encombrement : la classification que la société a adoptée doit faire loi, tout autre, fût-elle plus rationnelle, doit être écartée; or, du classement des outils par profession à l'établissement des ateliers-modèles, il n'y a qu'un pas facile à faire. PAULIN DÉSORMEAUX.

(Inutile d'observer que l'intéressant travail de notre collaborateur, fait exclusivement au point de vue de l'ouvrier professionnel, ne prouve nullement que le Conservatoire ne puisse être à la fois utile aux ingénieurs, et aux fabricants comme aux ouvriers, en augmentant le domaine de la science appliquée à l'industrie.)

CONSTRUCTION DES MACHINES. Vers 1815 ou 1820, l'Angleterre possédait seule de grands ateliers de construction de machines; mais le mouvement industriel s'est rapidement propagé, et avec lui la fabrication des machines a pris une extension considérable. Aujourd'hui, l'Amérique du Nord se pose en rivale de sa mère-patrie; la Belgique a aussi organisé le travail industriel et, partant, la construction des machines, sur une échelle audacieuse.

Le rapide développement de la navigation à vapeur sur le Rhin et l'Escaut, a donné naissance à d'importants ateliers de construction en Allemagne et en Hollande.

La France, procédant avec une allure très réservée, d'abord, et trop timide peut-être, a marché lentement dans cette voie de création de grands ateliers; mais bientôt elle s'est hâtée, et à cette heure elle se présente dans la lice industrielle, forte déjà d'épreuves importantes et décisives. La filature et le tissage mécanique, importés et rapidement développés sur le sol français, ont oublié déjà le chemin du marché anglais, et demandent leurs métiers presque exclusivement aux constructeurs de Paris et de l'Alsace.

A l'aide des théories mécaniques des Poncelet, des Coriolis, des Bélanger, les moteurs hydrauliques ont été établis sur des principes ou nouveaux ou perfectionnés. Les turbines étudiées par MM. Burdin et Fourneyron, et rendues facilement calculables par MM. Bélanger, Walter et Combes, se sont propagées, enrichissant ainsi l'industrie d'un moteur à peu près nouveau, dont les dispositions, ingénieuses et commodes, simplifient dans un grand nombre de cas les transmissions de mouvement du moteur au récepteur, en utilisant le mieux possible la puissance motrice des cours d'eau.

Sous la main des constructeurs français, et avec les calculs théoriques des géomètres français, la machine à vapeur s'est enrichie de la détente variable; perfectionnement des plus ingénieux et dont les résultats économiques ont une grande importance. Les machines à vapeur anglaises, souvent irréprochables, sous le rapport de la disposition, de l'exécution et de la marche régulière, consomment beaucoup de combustible, et sont presque toujours chargées en matière. Aussi, le jour n'est pas loin où la France, pour ses usines, comme pour sa navigation fluviale et maritime, préférera les appareils de construction toute française. A l'appui de cette prévision, on peut citer : 1° les machines de 450, 220 et 160 chevaux, livrées déjà par nos constructeurs au gouvernement français; 2° les bateaux du Rhône et de la Saône; 3° les bateaux de la Loire.

Les machines locomotives, amenées à un point de perfection vraiment remarquable par les constructeurs anglais, n'ont pas tardé à occuper les ateliers français. Là encore, l'esprit français a imprimé son caractère, et l'idée de la chaudière tubulaire appartient à M. Ju-

les Séguin. Les besoins de la création des chemins de fer ont donné naissance à d'importants et remarquables établissements de constructions et de réparations, parmi lesquels il est juste de citer les ateliers de Cail, Gouin, et ceux des chemins de fer d'Orléans et de Rouen. Nos ingénieurs ont encore pris là une grande position.

Enfin les machines-outils, après avoir été longtemps l'un des éléments essentiels de la prospérité et de la supériorité anglaises, se sont multipliées en France. A l'exposition, dont le souvenir est encore tout récent, on admirait les beaux et puissants outils sortis des ateliers de MM. Schneider, Decoster, Pihet, Calla, etc. Tous ceux qui savent les relations intimes qui lient la construction des machines et l'outillage, ont dû y puiser comme nous la conviction profonde que les ateliers français sont en mesure à cette heure de lutter à armes égales, les commandes aidant, avec les ateliers anglais.

Toutefois, il faut le dire, dans cette lutte les constructeurs français se heurteront longtemps encore contre un obstacle sérieux, et les prix de revient de leurs appareils auront de la peine à se niveler avec les prix anglais et belges. Le combustible et le fer coûtent cher dans notre pays; l'Angleterre et la Belgique, au contraire, produisent et transportent ces matières premières jusqu'à pied d'œuvre à des prix tellement inférieurs aux nôtres, que le résultat de cette cause, combinée avec quelques autres, dont nous n'avons pas à nous préoccuper ici, leur permet de livrer les machines à des prix plus bas de 20 à 35 p. 100 que ceux possibles dans nos ateliers. Cela est un mal sans doute, mais dans le siècle des intérêts industriels, une grande nation ne doit pas, ce nous semble, rester volontairement tributaire de l'étranger pour ses machines, qui sont le pain de l'être industriel, non plus que pour ses céréales. Marchons donc et progressons, l'économie suivra, n'en doutons pas, et pour preuve, rappelons le fait énorme qui s'est accompli dans ces dernières quinze années. Le prix de vente des fers a diminué de 33 p. 100 environ, tandis que les matières premières qui servent à l'obtenir, ou sont restées stationnaires, ou, comme le bois, ont presque doublé de valeur.

Admettant donc comme hors discussion que la France doive construire des machines, on peut affirmer, sans crainte d'être démenti, qu'elle possède en capitaux, en intelligences, en savoir théorique et pratique, en matières premières pour leurs qualités et leur abondance, sinon pour leur prix, en personnel nombreux et exercé, tous les éléments nécessaires. On peut affirmer, et les preuves ne manqueront pas au besoin, que nos constructeurs, toutes les fois que les circonstances leur permettront de l'entreprendre, sauront reproduire, modifier, créer. Mais il importe de dire bien haut qu'une fabrication active, alimentée par des commandes importantes et nombreuses permettra seule de résoudre le double problème de faire bien et à bon marché.

Que l'administration protectrice et intelligente persiste donc dans le système éminemment fécond qui l'a déterminée à confier aux ateliers français la construction des grands appareils de 450, 220 et 160 chevaux: nos ingénieurs, nos ouvriers, nos moyens d'exécution ne lui feront pas défaut. Déjà les résultats obtenus ont dû raffermir sa confiance, et ces commandes du gouvernement, on ne saurait trop le dire, sont la condition d'existence de nos grands ateliers : seules en effet ces commandes permettent la création et le développement continu d'un outillage puissant, sans lequel rien de grand n'est possible, sans lequel enfin nos ateliers ne sauraient arriver à dire leur dernier mot en fait de prix de revient. Tout cela d'ailleurs peut se résumer en quelques paroles : Celui-là produit beaucoup à qui il est beaucoup demandé; celui-là seul arrive à bien faire à qui il est permis de faire souvent, parce que chaque œuvre nouvelle d'un être intelligent est un progrès sur son œuvre précédente; celui-là seul enfin produit à bon marché, qui peut répartir ses frais généraux sur une grande fabrication.

Il n'y a pas longtemps encore, on comptait clair-semés en France les hommes voués à l'étude et à la pratique de la science industrielle; ces hommes abondent aujourd'hui, et leur savoir n'est pas comme le fut longtemps, comme l'est trop encore peut-être, celui des ingénieurs et constructeurs anglais, un composé de règles ou recettes péniblement classées dans la mémoire par la pratique. Ce qu'ils savent est raisonné, déduit d'une combinaison bien entendue de la pratique et de la théorie, si fortes accouplées, si impuissantes dès qu'elles s'isolent. Disons-le en fils reconnaissant, l'école centrale a contribué pour une large part à former cette génération déjà forte et nombreuse, aujourd'hui répandue en France, en Belgique, en Suisse, en Allemagne. Les écoles d'application du gouvernement ont mis leurs études au niveau du programme de l'époque, et tous à cette heure, ingénieurs des corps royaux comme ingénieurs industriels, sont à la hauteur de leur mission.

Il nous a semblé utile de faire procéder par cet aperçu rapide, l'examen des conditions principales d'établissement et d'organisation d'un grand atelier de construction de machines.

La création d'un établissement destiné à la construction des machines, est subordonnée à des conditions de position commerciale et de débouchés, qui en modifient puissamment la constitution selon le genre spécial d'appareils que les créateurs se proposent de livrer à l'industrie. L'échelle de proportion des divers ateliers de l'établissement, leur outillage, leur organisation de détail et leur personnel, varient à l'infini. Mais nous devons dire dès à présent que les fondateurs d'un établissement de ce genre, doivent s'organiser dès le principe en vue d'une fabrication spéciale, qui seule permet d'amener successivement les prix de revient des machines créées à leur dernière limite possible. Répéter souvent les mêmes machines, avec les mêmes éléments, les mêmes organes, les mêmes formes, sera toujours, quoi qu'on fasse, l'une des conditions essentielles de prospérité.

Nous nous proposons d'indiquer les conditions d'organisation d'un établissement voué à la construction des grands appareils à vapeur, pour l'industrie manufacturière, pour la navigation fluviale et maritime, le service des chemins de fer, etc.

MM. Schneider frères au Creusot, Cavé, Derosne et Cail à Paris, Hallette à Arras, la marine royale à Indret, Mazeline au Havre, etc., ont créé et développé brillamment des établissements du genre de celui auquel nous voulons rapporter l'examen qui va suivre. Les indiquer, c'est fixer tout d'abord le point de vue auquel nous nous sommes placé.

Le travail des métaux joue le rôle le plus important dans la construction des machines ; il s'exécute *à chaud* et *à froid*. Le travail des métaux à chaud s'opère par *fusion* ou par *percussion*. Le premier mode s'applique aux métaux liquéfiables, auxquels il donne par le moulage les formes voulues. La fonte de fer, le bronze, le laiton, sont parmi les métaux liquéfiables, ceux que le constructeur de machines emploie journellement. Le travail à chaud par percussion, plus spécialement désigné sous le nom de *forgeage*, s'applique aux métaux malléables, et principalement au fer, à l'acier, au cuivre rouge. Le travail des métaux à froid, complément ordinaire et obligé du travail à chaud, a pour résultat de donner aux pièces des machines les formes exactes et les dimensions précises, , que l'imperfection des moyens dont on dispose dans le travail à chaud n'aurait pas permis d'atteindre assez rigoureusement. Par le

travail à froid, plus spécialement connu sous le nom d'*ajustage*, on arrive à donner aux assemblages des parties fixes et aux articulations des pièces mobiles, la stabilité pour les premières, la précision presque mathématique pour les secondes.

Un établissement de construction sera donc la réunion, dans des conditions favorables et économiques, des ateliers divers consacrés à l'exécution des travaux que nous venons d'indiquer; chacun de ces ateliers pourvu des appareils, outils et personnel au moyen desquels ces travaux pourront être opérés avec économie, promptitude relative et précision. Les relations de ces ateliers entre eux, et le passage des pièces en voie d'exécution de l'un dans l'autre, devront être soumis à un ordre absolu, sans lequel un établissement de construction ne saurait prospérer.

ATELIER DE MOULAGE ET FONDERIE. On retrouvera à leur place, traitées isolément, ces deux parties essentielles des arts mécaniques; nous nous bornerons à les résumer ici en quelques mots. Par le moulage on prend les formes ou empreintes de modèles en bois ou en métal. On y arrive, en plaçant ces modèles entre deux caisses ou *châssis*, et battant sur les surfaces du modèle des sables de consistance, de finesse et de composition variables, mais appropriées à la nature de la pièce que l'on veut reproduire. Le châssis supérieur étant ensuite soulevé, et le modèle retiré, l'ensemble des deux châssis superposés de nouveau, forme une espèce de vase qui reproduit en creux toutes les parties pleines du modèle. Dans le moule ainsi obtenu, soumis préalablement à un séchage à l'air libre ou dans une étuve, on verse le métal en fusion. La pièce solidifiée est retirée des châssis, désablée, ébarbée, burinée ensuite, c'est-à-dire débarrassée au moyen du ciseau ou burin des parties de métal surabondantes qui se sont infiltrées dans les vides réservés soit à dessein, soit involontairement. On obtient alors la pièce à l'état de *pièce brute de fonte*.

Les appareils dans lesquels s'opère la liquéfaction du métal sont de divers genres :

1° Le *haut-fourneau*, dans lequel la fonte est produite directement, par l'action sur le minerai de fer, du charbon et d'un courant d'air forcé.

2° Le *four à réverbère*. Dans cet appareil la fonte déposée sur une sole en briques réfractaires, est mise en fusion au moyen d'un courant de gaz enflammés dont la chaleur est réverbérée sur la sole par une voûte de forme et d'inclinaison convenables. Une grille située en avant de la sole porte la houille en combustion, et le tirage s'opère au moyen d'une cheminée de hauteur et de section déterminées, qui prend naissance à l'autre extrémité de la sole.

3° Le *cubilot* ou *fourneau à la Wilkinson*. C'est pour l'ordinaire un cylindre formé de pièces de fonte solidement reliées entre elles, revêtu intérieurement d'une chemise en briques réfractaires. Par la partie supérieure ou *gueulard* on introduit alternativement des morceaux de fonte et du coke. L'élévation de température nécessaire à la fusion du métal est obtenue par la combustion du coke, laquelle est opérée avec toute l'activité désirable au moyen d'un courant d'air lancé dans le cubilot par une ou plusieurs *buses* dépendant d'un appareil soufflant.

La réunion de ces trois espèces d'appareils, ou tout au moins des deux dernières, est indispensable à la fonderie d'un établissement important, dans laquelle une seule *coulée* peut exiger 15,000 à 20,000 kilogr. de métal liquide. Ainsi la fonderie du Creusot peut disposer pour une seule coulée de :

1° 1 haut-fourneau fournissant	3000k	à	4000k
2° 4 fours à réverbère —	12000	à	16000
3° 3 cubilots —	4000	à	6000
Ensemble et pour une seule coulée.	19000k	à	26000k

CONSTRUCTION DES MACHINES.

Toutefois on comprend que dans une fonderie même de cette importance, une partie seulement des appareils de liquéfaction fonctionne chaque jour.

La fonderie d'un établissement de construction important, devra pouvoir produire mensuellement 250 à 300 tonnes de pièces moulées et disposer des appareils suivants pour la fusion de la fonte :

1° 3 ou 4 grands fours à réverbère;

2° 2 ou 3 cubilots de grande dimension.

Nous ne parlons pas ici d'un haut-fourneau parce que cet appareil ne peut exister que dans des localités spécialement favorisées et exceptionnelles.

L'air pour l'alimentation des cubilots sera fourni par un ventilateur, faisant de 1500 à 2000 tours par minute, et mis en mouvement par une machine à vapeur de la puissance de 10 à 12 chevaux au plus.

La halle de fonderie pour être suffisamment vaste et commode, pour répondre à tous les besoins du moulage et du séchage successif à l'air libre des différents moules, devra occuper une superficie de 600 à 700 mètres carrés. Le transport des moules et châssis qui doivent être soulevés plusieurs fois pendant le moulage d'une pièce et dont le poids dépasse fréquemment plusieurs milliers de kilogrammes, ainsi que celui de la fonte liquide aux différents moules dans lesquels elle doit être versée s'effectuent au moyen de *grues* convenablement réparties. Les *volées* de ces grues doivent être disposées de manière à pouvoir transmettre de l'une à l'autre les vases ou *poches* dans lesquels la fonte a été reçue au sortir du fourneau de fusion, et atteindre successivement tous les points du sol de la halle.

Deux *étuves*, l'une dite *étuve à noyaux*, l'autre destinée au séchage des moules sont annexées à la fonderie; le transport des moules ou noyaux de la halle à l'étuve et réciproquement, s'effectue par un chariot roulant sur un chemin de fer établi dans la longueur de l'étuve et dont l'extrémité vient aboutir au dehors de l'étuve, à portée de la volée d'une des grues de service.

Le sol de la fonderie est composé d'une couche de 1m,10 à 1m,50 de sable argileux, et l'on y pratique une ou moins et le plus souvent deux fosses en maçonnerie, destinées au moulage des grands cylindres, ou des pièces qu'il importe de couler debout.

Le matériel d'une fonderie en châssis, moules, appareaux, bancs de mouleur, poches, etc., est toujours considérable, encombrant, et exige un vaste emplacement couvert ou découvert.

Le personnel d'un atelier de fonderie tel que nous l'avons supposé sera composé de 50 à 60 hommes comprenant les fondeurs et leurs aides, les mouleurs et leurs aides et les manœuvres de service.

L'organisation du travail, la répartition des moulages aux ouvriers mouleurs, le choix des fontes dont le mélange doit être modifié et approprié à la nature des pièces qui seront coulées à chaque opération, le maintien d'un ordre rigoureux et prévoyant dans toutes les parties du service, sont confiés à un contre-maître de fonderie. Les connaissances pratiques nombreuses et variées de toutes les parties de l'art de la fonderie et du moulage, rendent difficile le choix d'un tel employé, qui doit réunir à toutes ces connaissances et à une pratique consommée, un sang-froid à toute épreuve et un coup d'œil sûr au moment toujours solennel et dangereux de la coulée. A cet instant, en effet, 100 bras agissent simultanément sous la volonté d'un seul homme; une fausse manœuvre, la fonte versée dans un moule frais encore, et mille autres circonstances souvent difficiles à prévoir, peuvent ou mettre en péril la vie d'un certain nombre d'hommes, ou faire manquer une pièce dont le moulage seul a déjà absorbé des sommes importantes.

A l'atelier de moulage et de fonderie viennent se joindre comme annexes indispensables, les ateliers suivants :

1° La menuiserie de modèles;
2° Le magasin de modèles;
3° Une petite forge de maréchal pour la réparation et l'entretien des outils de la fonderie et de ses annexes;
4° Enfin la fonderie de cuivre.

L'atelier de menuiserie en outre des bancs de menuisier convenablement outillés, doit être muni des outils-machines que nous allons indiquer :

Un ou plusieurs *tours à pointes*, et un *tour en l'air*.

Une *scie circulaire* pour le débitage des bois.

Une *plate-forme à diviser* les modèles des roues d'engrenage.

Un renvoi de mouvement pris sur la machine à vapeur des cubilots, fera tourner les tours et la scie circulaire.

A la connaissance approfondie du travail du bois, le contre-maître de l'atelier des modèles doit joindre celle des procédés et des ressources du moulage, qui seule lui permet de disposer et d'assembler convenablement le modèle d'une pièce, composé souvent de plusieurs parties, de ménager là où elles sont nécessaires les *portées* ou saillies destinées à assigner dans le moule les places précises où viendront ultérieurement se poser les *noyaux* en terre, par lesquels seront réservés dans la pièce de fonte les vides nécessaires.

Enfin le tracé des épures en grandeur naturelle est pour l'ordinaire confié à ce contre-maître et exécuté par lui, sous la direction de l'un des ingénieurs de l'établissement.

Le magasin de modèles est un annexe important d'un établissement de construction bien ordonné. Chaque modèle après avoir servi au moulage devra y être réintégré à sa place invariable, avec son numéro d'ordre correspondant au numéro semblable d'un catalogue descriptif et détaillé. On se figurerait difficilement les bons et économiques résultats qu'un établissement de construction réalise par suite d'un classement exact et d'une conservation bien ordonnée de ses modèles.

Pour fixer les idées, nous supposons concentrés dans un même corps de bâtiment le magasin ou musée de modèles, la menuiserie, et l'aire couverte réservée pour le tracé des épures.

Enfin, pour compléter nos idées sur l'importance de la fonderie et de ses annexes dans un grand établissement, nous indiquerons sommairement les chiffres approximatifs des sommes qu'absorbe leur installation et leur construction.

4 fours à réverbère.	20,000 fr.
3 cubilots. , ...	5,000
6 grues avec leurs apparaux. . . .	18,000
1 ventilateur, la machine motrice avec ses générateurs.	20,000
2 étuves avec leurs chariots. . . .	6,000
Une forge de maréchal et un fourneau pour fusion de cuivre.	4,000
Bâtiment de menuiserie avec son outillage et magasin des modèles. . . .	30,000
Halle de fonderie.	45,000
Matériel de tout genre, en châssis, apparaux, outils, etc.	50,000
	200,000 fr.

ATELIERS DE FORGEAGE. Les métaux malléables soumis à l'action d'une chaleur suffisamment intense et prolongée acquièrent des degrés de mollesse très différents. Le fer, par exemple, après s'être soudé à lui-même sous l'influence de la chaleur blanche et à l'aide de la percussion, passe par degrés successifs et lents de l'état pâteux jusqu'à la consistance la plus nerveuse et la plus tenace. Sous ces différents états, l'action du marteau, combinée avec des réchauffages réitérés, fait subir au fer des modifications successives, et l'amène par degrés aux formes définitives et aux dimensions voulues; mais dans cette combinaison du réchauffage et du forgeage, l'intelligence de l'ouvrier, son habileté de main, la sûreté de son coup d'œil ne sauraient être remplacés par des moyens mécaniques. Là, en effet, il ne s'agit point d'un travail qui doit s'accomplir pendant un temps fini, sous des conditions invariables et déterminées, mais au contraire d'un travail dont les conditions varient à chaque instant. Aussi cette partie de la construction des machines est celle qui réclame avant tout des ouvriers habiles, des bras intelligents pour activer ou suspendre à propos les forces brutales, s'il est permis de s'exprimer ainsi, des agents mécaniques, la chaleur développée dans les fours de chaufferie et la puissance vive des appareils de percussion. Là, plus que dans toute autre partie de l'art du constructeur des machines, l'économie de main-d'œuvre et de combustible, la réduction des déchets à leur limite extrême sont liés intimement et sans intermédiaire, au contrôle possible, à la seule habileté de l'ouvrier.

Il convient de diviser le forgeage en deux parties distinctes : 1° le forgeage à la main; 2° le forgeage mécanique; et dans un établissement de l'importance que nous avons fixée à notre point de départ, ces deux parties réclament chacune un atelier distinct.

Atelier du forgeage à la main. Pour être en harmonie avec l'importance que nous avons donnée à la fonderie, l'atelier des forgerons à la main sera composé de 40 *feux*. Un feu de forge ordinaire ou *forge de maréchal*, se compose essentiellement : 1° de l'*âtre*; 2° du *contre-cœur* ou paroi perpendiculaire à l'âtre; 3° d'*une tuyère* en communication avec la source du vent qu'elle lance sur le foyer. La tuyère doit être placée par rapport à l'âtre de telle façon que la colonne d'air en mouvement auquel elle livre passage soit forcée de traverser toute la masse du combustible disposé sur l'âtre, mais sans frapper directement contre la pièce de fer que l'on réchauffe, et qui à cet effet a été disposée convenablement au milieu du combustible qui l'entoure. Le fer amené à la température ou à *la chaude* voulue est porté sur des *enclumes* en fonte, ou mieux en fer forgé. L'enclume, composée d'une *table* ou partie plane, et de deux *bigornes* ou portions pyramidales adossées par leur base à la table, repose par les pieds d'une espèce d'arcade sur un bloc en bois noyé en partie dans le sol, et destiné à absorber en partie les vibrations et les chocs.

Les marteaux, qui selon leur poids et la longueur du manche sont dits *marteaux à main* ou *marteaux à devant*, sont manœuvrés, le premier par le *forgeron* qui dirige le travail, les seconds par des servants ou *frappeurs*. Le fer est tenu et manœuvré au moyen de *pinces* et *tenailles* de formes et de grandeurs diverses.

A la chaude au *blanc soudant* ou *chaude suante*, à une température de 1500 à 1600 degrés, le fer est *soudé* à lui-même et *corroyé*. Par le corroyage qui consiste à souder plusieurs barres les unes sur les autres, et à étirer ensuite le paquet ainsi formé, on améliore la qualité du fer, on lui donne du *nerf*, de l'homogénéité.

A la *chaude rouge-blanc* ou *chaude grasse*, 1300 degrés environ, le fer est étiré, façonné, modifié dans ses formes ou dimensions.

A la *chaude rouge-cerise*, 900 à 1000 degrés, on corrige les défauts de la pièce obtenue à la chaude rouge-blanc, et on *pare* le fer, en arrosant légèrement sa surface pendant qu'on le bat.

Enfin *la chaude rouge-brun*, la plus faible température à laquelle il convient de forger le fer et qui correspond à 700 degrés environ, est donnée le plus souvent à la pièce finie, pour dilater le métal et permettre aux molécules de reprendre leur état primitif. C'est l'opération du *recuit*, par laquelle on enlève à la pièce forgée *l'aigreur* qu'elle avait contractée pendant le forgeage, alors que sur la fin de l'opération on continue de frapper encore le fer redevenu noir.

Les feux de forge sont ordinairement disposés deux à deux, une seule *hotte* pour chaque couple et une seule enclume pour desservir deux feux. L'outillage et le matériel d'un feu de forge consistent en *pinces, tenailles, tranches, marteaux à main, marteaux à devant, cloutières, étampes, poinçons, mandrins, chasses, matrices, bâche à eau, bâche à combustible*, etc.

Le forgeage à main s'applique avec avantage et facilité aux pièces dont le poids peut atteindre jusqu'à 150k, mais au-delà le forgeage mécanique permet seul de travailler le fer bien et économiquement. Pour le manœuvrage des pièces lourdes de l'âtre à l'enclume et réciproquement, il convient que chaque feu dispose à proximité d'une petite grue ou *potence* mobile sur son axe et dont la volée atteint jusques au-delà de l'enclume. Un banc garni d'étaux en nombre suffisant devra être établi dans cet atelier, où l'on a souvent besoin de dégrossir à la lime.

Chaque couple de deux feux occupera une équipe d'ouvriers composée ainsi :

1° 2 forgerons ;
2° 2 aides-forgerons ;
3° 3 frappeurs ;

Soit donc pour 40 feux un personnel de 140 hommes.

Une soufflerie mise en mouvement par une machine à vapeur spéciale, donne le vent à tous les feux dont l'alimentation isolée est réglée pour chaque feu par un robinet spécial ; en fixant à 16 chevaux la puissance de la machine, ou 4/10 de cheval par feu, on satisfait amplement aux besoins d'un feu de forge actif, et d'autant mieux, d'autant plus régulièrement que le nombre des feux desservis par la même machine est plus considérable.

Si nous avons insisté en commençant sur l'habileté que doivent posséder les forgerons, on conçoit à plus forte raison combien il est utile et indispensable que le contre-maître de la forge à main soit lui-même initié à l'art du forgeron. Organisation, distribution et réception du travail, choix de l'équipe à laquelle il doit confier telle ou telle sorte de pièce à exécuter, examen minutieux des pièces finies, comparaison entre le poids du fer livré aux ouvriers, et le poids des pièces finies pour reconnaître si le travail a été fait économiquement, précaution soutenue de former des ouvriers et des équipes spéciales, auxquels il confiera toujours les ouvrages de même nature, et chez lesquels se développeront toujours davantage les merveilleux résultats de l'habitude, enfin science et finesse d'observation pour arriver à fixer sûrement les prix de main-d'œuvre de chaque genre de pièces en rapport avec les difficultés réelles de l'exécution, voilà les principales attributions et les qualités qui font du bon contre-maître de forge un être pratique difficilement réalisable et dont le choix, dont la rencontre importe au plus haut point à un établissement de construction. Dans le travail de la forge, en effet, les déchets et les consommations sont éminemment variables selon l'habileté des ouvriers et la sévérité éclairée de celui qui les dirige, et c'est à cet atelier surtout qu'il convient d'appliquer le système des primes en argent aux ouvriers qui accomplissent le travail dans les conditions de plus grande économie.

Installé sur les bases et de la manière qui ont été dites, la création de l'atelier des forgerons à main, absorberait les capitaux suivants :

Chaque feu double, avec son enclume et son outillage complet, environ 3,000 fr., soit pour 20 feux doubles.	60,000 fr.
Soufflerie de 16 chevaux.	10,000
Machine motrice avec son générateur et son fourneau.	25,000
Bâtiments, bancs d'étaux, potences, conduites de vent, etc.	35,000
	130,000 fr.

CONSTRUCTION DES MACHINES.

Atelier pour le forgeage mécanique. L'application de la vapeur à la locomotion fluviale ou maritime et à la traction sur chemins de fer, dans ses admirables et rapides développements, a rencontré comme condition première la création d'appareils mécaniques puissants pour le soudage, le forgeage et le corroyage du fer. L'emploi du fer forgé s'est substitué nécessairement à celui de la fonte dans les pièces importantes soumises à des vibrations ou des chocs fréquents et énergiques, parce que le fer forgé peut seul être employé avec sécurité dans toutes les circonstances où, malgré des vibrations énergiques, il importe d'être à l'abri d'une rupture immédiate. La texture fibreuse, le *nerf* du fer le rendent précieux alors, parce que sous un volume suffisamment limité, grâce à son élasticité, il résiste bien sans s'altérer trop profondément ; la fonte au contraire de contexture grenue, douée d'une élasticité très faible, exigerait pour résister dans les mêmes circonstances, avec une sécurité toujours moindre quoique l'on eût fait, un volume et des dimensions qu'il importe d'éviter, sous le double rapport de l'économie d'établissement et de la consommation de puissance motrice due à l'inertie des masses.

Or, jusqu'à ces dernières années, forger une pièce de fer du poids de 2,000 à 3,000 kil., avait semblé la limite du possible avec les appareils de percussion mécanique en usage ; encore même était-on réduit à multiplier les réchauffages et à composer la pièce d'une âme, ou noyau primitif que l'on augmentait jusqu'aux dimensions voulues par des *mises* successives. De là résultaient inévitablement des imperfections nombreuses, des soudures vicieuses, l'absence d'homogénéité et des déchets énormes, avec une main-d'œuvre et une consommation de combustible très coûteuses. Là, comme toujours et partout, nécessité fut mère d'industrie, et le jour où l'on se proposa de construire un appareil à vapeur de 400 à 500 chevaux, pour la navigation, il fallut forger des pièces de fer telles que les arbres des manivelles, dont le poids peut s'élever pour la pièce forgée jusqu'à 9,000 kil., et 14,000 kil. pour le paquet de fer duquel doit résulter cette pièce après les déchets de forgeage et de réchauffage.

L'habile ingénieur qui dirige à l'établissement du Creusot les constructions mécaniques, M. *Bourdon*, a eu l'honneur de créer le premier et de toutes pièces, quoique l'on ait pu dire, l'outil-machine qui a résolu complétement le problème posé, le *marteau-pilon*, à levée variable de 0m,00 à 1m,00, mû par application directe de la vapeur. Avec cet outil, d'une admirable simplicité, d'un manœuvrage docile et prompt, les ressources du forgeage deviennent énormes, puisque l'on travaille, soude, étire et façonne avec une facilité et une promptitude relatives très remarquables un paquet de fer, du poids de 15,000 kil., composé par la réunion de bandes ou *plates* de fer, juxtà-posées.

L'atelier de forgeage mécanique de l'établissement dont nous étudions l'organisation, devra disposer des appareils de percussion suivants :

1° Un *marteau-pilon*, avec pilon du poids de 2,000 k.,
2° Un *marteau à soulèvement* pour le forgeage des pièces dont le poids dépasse 500 kil.
3° Un *martinet à bascule* pour forgeage des pièces de 100 à 500 kilogr.

Le réchauffage du fer exigera pour le service de ces trois outils, les fours de chaufferie suivants :

1° Un four à réverbère pour le service du pilon ;
2° Un four à réverbère pour le service du marteau à soulèvement ;
3° Un four à réverbère pour le service du martinet.

A la suite de chacun de ces fours seront établis des générateurs chauffés par les flammes perdues.

Le mouvement sera donné au marteau à soulèvement et au martinet par une machine à vapeur spéciale.

Une grue puissante pour le pilon, et deux autres grues de force proportionnée, transportent les pièces de fer en travail, du four de chaufferie à l'outil de percussion et réciproquement. Pendant le forgeage dirigé par un maître forgeron pour chaque outil, le manœuvrage de la pièce soutenue toujours par sa grue est effectuée par des manœuvres au moyen de *tourne-à-gauche* en nombre suffisant qui embrassent la pièce, et présentent successivement ses diverses faces à l'action de l'appareil percutant. Les *lumières* ou *œillards* dans les pièces qui doivent être percées à chaud sont pratiquées par percussion au moyen de *mandrins*.

Personnel pour le forgeage mécanique.	Service du pilon.	1 maître forgeron. 1 ouvrier pour le service de la vapeur. 6 à 12 manœuvres.
	Service du marteau à soulèvement.	1 maître forgeron. 4 aides forgerons ou manœuvres.
	Service du martinet	1 maître forgeron. 2 aides.
	Ensemble. . .	16 hommes.

Enfin évaluons approximativement les frais de création de cet atelier :

Marteau-pilon avec ses fondations. .	20,000 fr.
Marteau à soulèvement avec ses fondations.	15,000
Martinet à soulèvement avec ses fondations.	6,000
Machine à vapeur de 15 chevaux. . .	12,000
Trois grues.	6,000
Trois fours de chaufferie.	10,000
Générateurs avec leurs fourneaux, conduites de vapeur, etc.	12,000
Bâtiment, et outillage.	9,000
	90,000 fr.

ATELIER DE CHAUDRONNERIE. La chaudronnerie de fer et de cuivre qui est une des parties les plus importantes de la construction des machines, a fait déjà dans ce Dictionnaire l'objet d'un article étendu, dans lequel les conditions des travaux divers qui constituent cet art, ses moyens d'exécutions, son outillage mécanique récemment perfectionné et développé, ont été indiqués et décrits avec une lucidité remarquable et une connaissance approfondie. Nous n'avons donc rien à y ajouter ; seulement, pour rester fidèle au point de vue économique que nous nous sommes proposé, nous dirons que l'installation et l'outillage d'une chaudronnerie en rapport avec l'importance déjà donnée par nous à la fonderie et au forgeage, n'absorberait pas moins de 150,000 fr. en capitaux de création, et occuperait un nombre de 150 à 300 ouvriers, selon l'activité nécessairement variable de la fabrication. Ce nombre d'ouvriers serait dépassé et le chiffre indiqué pour les frais de création serait insuffisant, si l'établissement se trouvant à côté d'un canal ou d'une voie navigable, pouvait installer sur place la construction des coques en fer de ses paquebots.

ATELIERS POUR LE TRAVAIL DES MÉTAUX A FROID. Les principales opérations auxquelles on soumet les métaux à froid, ont pour but de les :

1° Couper,
2° Buriner,
3° Limer,
4° Percer,
5° Tourner
6° Forer,
7° Aléser,
8° Dresser ou planer,
9° Mortaiser,
10° Diviser et fendre,
11° Fileter et tarauder,
12° Ajuster,
13° Émoudre,
14° Rôder,
15° Polir.

Si l'on excepte le tournage, le forage, l'alésage et

l'émoulage, toutes ces opérations, il y a vingt années à peine, s'exécutaient par la main de l'homme conduisant des outils appropriés à chacune d'elles. Mais l'extension rapide imprimée à la fabrication des machines et les nécessités de la concurrence ont aiguillonné l'émulation des constructeurs obligés de faire chaque jour mieux, plus vite et à meilleur marché. Successivement donc on s'est posé et on a résolu les problèmes variés de l'outillage mécanique. Ce que l'homme exécutait à prix de temps, de patience et d'adresse, en agissant d'une façon nécessairement irrégulière et peu précise, en se fatiguant et se reposant, les outils-machines l'accomplissent régulièrement, continuement, sous des conditions toujours identiques, empruntant le mouvement à un moteur dont la puissance peut être aussi grande qu'il est besoin et dont l'action est continue, exempte de fatignes et de variations. L'ouvrier n'a plus à exercer d'autre rôle que celui de surveillant pour ainsi dire, chargé de suspendre et renouveler la marche à volonté et chaque fois qu'il en est besoin. Ces divers outils-machines si ingénieux et si multipliés aujourd'hui, ou tout au moins les plus importants d'entre eux, sont décrits et représentés dans ce Dictionnaire, nous nous bornerons donc ici à indiquer brièvement les conditions essentielles des travaux qu'ils accomplissent, et le principe sur lequel chacun d'eux est fondé.

1° *Couper.* On coupe les métaux ductiles (fer, cuivre, plomb, zinc, acier non trempé, etc.) au moyen de *cisailles*. Les *cisailles droites*, très variées dans leurs formes et dispositions, se composent toujours essentiellement de deux lames droites, ou *couteaux*, dont l'un est fixé très solidement, et l'autre mobile autour d'un axe. On les manœuvre ou à la main, ou à l'aide d'un moteur mécanique par une disposition qui change le mouvement circulaire continu en circulaire alternatif. Les *cisailles circulaires* à mouvement continu, composées de deux disques en fonte sur lesquels s'assemblent des *couteaux circulaires*, tournant simultanément en sens inverse l'un de l'autre, sont employées surtout pour couper les métaux en feuilles.

A l'exception de l'acier trempé et de la fonte blanche, tous les métaux employés dans les machines peuvent se couper avec une lame circulaire dentée en scie, animée d'un mouvement de rotation suffisamment actif. Le sciage des métaux s'opère le plus souvent après un chauffage préalable, cependant il peut s'exécuter à froid pour le fer forgé, la fonte grise douce et le cuivre.

2° *Buriner.* L'opération du *burinage* ou *ciselage* se pratique à la main au moyen de *ciseaux* ou *burins*, sur lesquels on frappe à l'aide d'un marteau. La fonte de fer pour être burinée exige des ciseaux en acier fondu, que l'ouvrier tient d'une main sous un angle d'environ 45 degrés, pendant qu'il frappe de l'autre avec vivacité.

3° *Limer.* Le travail à la lime s'exécute à la main ; les limes, en acier naturel ou en acier de cémentation, présentent des surfaces couvertes de *tailles* ou rayures plus ou moins profondes, entre-croisées sous un certain angle variable. Selon la forme de leur section transversale on nomme les limes *carrées*, *rondes*, *demi-rondes*, *plates*, *trois-quarts*, *tiers-point* ; leur surface doit être taillée régulièrement, parallèlement, également, et présenter une légère convexité dans le sens de la longueur. Les limes servent à attaquer, user la surface des métaux, pour leur donner des formes plus exactes que celles que l'on peut atteindre à la forge. Les pièces que l'on veut limer sont maintenues entre les mâchoires d'un *étau* fixé à un *établi* ou table en bois, et pour laisser aux ouvriers la liberté de mouvement nécessaire, les étaux doivent être espacés de 1m,30 au moins.

4° *Percer.* On perce les métaux ou soit entamant successivement le métal au moyen d'un outil tranchant animé d'un mouvement de rotation soit par pression, le

CONSTRUCTION DES MACHINES.

premier mode applicable à tous les métaux, s'exécutant soit à la main, soit au moyen d'outils-machines, le second ne pouvant s'employer que pour les métaux ductiles et d'épaisseur très limitée. L'outil qui perce par le premier mode, soit que la main de l'homme lui imprime un mouvement circulaire alternatif, soit qu'une disposition mécanique lui communique un mouvement de rotation continue, emprunté à un moteur mécanique, est toujours une *mèche* ou *foret*, dont le bout est aplati et forme un angle obtus; un système de bascule à contre-poids règle la pression de l'outil, et lui permet de tourner sans mordre, et par conséquent sans briser, lorsque l'obstacle dépasse une certaine limite. Les machines à percer sont de dispositions assez variées d'ailleurs.

Les mèches ou forets doivent être faits avec le meilleur acier, et trempés dur à la pointe seulement. Pour cela, on chauffe la mèche par la partie opposée, et aussitôt que la pointe atteint *la couleur paille*, on trempe dans l'eau froide. La tige du foret pendant la trempe, revient à *la couleur bleue plus ou moins foncée*, et a par conséquent moins de fragilité. Nous avons indiqué ce mode de trempe des pointes et tranchants, en chauffant l'outil par le côté opposé, parce qu'il est d'usage général pour tous les outils à pointes ou à tranchants très durs.

En perçant le fer ou l'acier, il faut arroser l'outil avec de l'huile ou de l'eau chargée de savon; la fonte et le cuivre se percent à sec. Les mèches pour le cuivre doivent être plus minces, plus dures et à tranchant plus aigu que pour le fer. Pour percer des trous coniques on emploie ou *l'équarrissoir* ou *la fraise;* le premier est un outil pyramidal à section carrée, le second est un cône, dont la surface est *taillée* suivant les génératrices du cône.

Pour percer par pression on emploie les machines-outils connues sous le nom de *découpoirs*. On peut voir à l'article chaudronnerie la description et la représentation de découpoirs divers, ce qui nous dispense d'insister ici davantage.

5° *Tourner*. Cette opération a pour but de donner à un solide auquel on imprime un mouvement de rotation, en enlevant successivement de la matière au moyen d'un outil tranchant, une forme telle qu'une section quelconque perpendiculaire à l'axe du mouvement de rotation soit un cercle. Toutefois on peut tourner aussi à sections elliptiques, ovoïdes, ondulées. Les opérateurs qui exécutent ces différents travaux se nomment *tours;* ceux au moyen desquels on exécute des surfaces de révolution, ont pour principe de faire tourner les pièces autour d'un axe invariable; ceux à l'aide desquels on obtient des surfaces à section ovales ou ondulées, font tourner les pièces autour d'axes variables ou parallèles entre eux, ou convergents. Dans les deux cas l'outil tranchant est mobile. Les tours, quelle que soit la variété de leurs dispositions et de leurs dénominations, ne forment que deux espèces distinctes : les *tours à pointes* et les *tours en l'air*. Dans les tours à pointes, la pièce à tourner est maintenue par ses deux extrémités au moyen de pointes coniques; dans les tours en l'air, la pièce à tourner n'est maintenue qu'à l'un des bouts de son axe de rotation. Le plus souvent un tour est disposé de manière à pouvoir servir à volonté de tour à pointes, ou de tour en l'air. L'outil tranchant ou *crochet* est présenté et appuyé fortement contre la pièce dont il doit entamer la surface; dans les tours à main l'outil emmanché d'un manche suffisamment long est tenu à deux mains par l'ouvrier, pendant que l'extrémité du manche est maintenue par la pression de son épaule; dans les tours à support mobile parallèlement à l'axe de mouvement, l'outil est embrassé et maintenu dans le support au moyen de vis de pression, et sa position d'avancement contre la pièce qu'il doit entamer plus ou moins profondément est aussi réglée par vis de pression. Les tours en l'air, ou *tours à plate-forme* portent à l'extrémité de l'arbre du tour un disque de diamètre variable et approprié à la grandeur maxima des pièces que l'on doit travailler; ce disque est percé de mortaises, dans lesquelles on engage des *taquets* qui embrassent la pièce sur plusieurs points et la maintiennent invariablement au moyen de clavettes.

Outils de tours à métaux. Ces outils, spécialement désignés sous le nom de *crochets*, doivent être en bon acier fondu et trempés à des degrés de dureté variables. Les uns, servant à *dégrossir*, ont leur tranchant plus ou moins arrondi; les autres, servant à *finir*, ont le tranchant droit. Pour la fonte et pour les métaux durs non ductiles, le *tranchant* est plat, avec *biseau*, d'autant moins aigu que le métal est plus dur. Pour le fer et les autres métaux ductiles, le tranchant est plus aigu et un peu plus relevé, de manière à entamer en coupant. La forme du tranchant varie d'ailleurs d'une infinité de manières.

Vitesses du tournage. Lorsqu'on tourne avec des crochets fixes, c'est-à-dire, maintenus par des supports, les vitesses à la circonférence des pièces à tourner, doivent être réglées à peu près comme il suit :

Pour fonte grise. . .	5 à 8	centimèt. par	seconde.
Fonte blanche ou truitée.	1 à 2	—	—
Fer.	9 à 12	—	—
Cuivre jaune ou laiton.	8 à 9	—	—

En dépassant trop ces limites de vitesse, non seulement ces outils se détrempent promptement, mais encore ils vibrent ou *broutent*, et l'on ne peut obtenir des surfaces unies.

Avec des crochets à main, la vitesse du tournage peut sans inconvénient être doublée ou triplée : d'abord, parce que l'outil mord d'une moindre profondeur, et ensuite parce que le plus léger mouvement de la main les dégage promptement quand ils ont mordu un peu trop fort.

6° *Forer*. C'est percer suivant son axe, une pièce pleine et de longueur assez étendue, et on nomme *forerie*, les machines qui exécutent cette opération. Dans les foreries horizontales ou verticales, la pièce à forer tourne et l'outil ou *foret*, maintenu dans la direction de l'axe n'a qu'un mouvement de progression; sa pression est limitée au moyen d'un système de bascule à contrepoids. Lorsqu'on se propose de forer des pièces d'une certaine longueur et d'un faible diamètre comme les canons de fusil, par exemple, le foret est alors un long fleuret en acier flexible, tournant avec assez une grande rapidité, et la pièce qu'il s'agit de forer est immobile. Par suite de la pression exercée sur le foret, il s'infléchit, *il fouette*, mais néanmoins le trou est pratiqué en ligne droite, de direction bien déterminée.

7° *Aléser*. Cette opération a été déjà décrite (voyez ALÉSOIR), et nous ne voulons y rien ajouter, si ce n'est pour fixer approximativement *la vitesse des couteaux*. La vitesse du travail dans l'alésage doit être à peu près la moitié de celle du tournage, et, comme assez habituellement on n'opère dans l'alésage que sur fonte grise ou sur cuivre, on règle entre 2 et 4 centimètres par seconde la vitesse des couteaux.

8° *Dresser*, ou *planer*, ou *raboter*. Cette opération qui a pour but de rendre une surface exactement plane en enlevant par l'action d'un outil tranchant à la surface brute de la pièce au travail toutes ses aspérités, peut se faire, et s'est longtemps faite à la main au moyen du burin et de la lime. Mais pratiquée ainsi, elle est à la fois difficile, dispendieuse et limitée à des surfaces d'une très faible étendue. C'est la substitution d'un outil-machine à la main de l'homme dans cette opération qui, sans contredit, a contribué le plus puissamment aux rapides progrès faits dans la construc-

CONSTRUCTION DES MACHINES.

tion ; aussi l'emploi de cette machine s'est rapidement propagé, et ses dispositions, ses dimensions ont été bientôt variées ou étendues. C'est vraiment chose admirable de voir avec quelle régularité, quelle précision, quelle facilité relative, une plaque de fonte de 3 à 4m de largeur sur une longueur de plusieurs mètres, est planée dans toute son étendue, lorsqu'on pense surtout que l'introduction en France de la première machine à raboter les métaux remonte à peine à 12 années, et que l'on se rend compte de la puissance de ce bel outil. Le principe sur lequel sont établis ces appareils, consiste à imprimer à la pièce qu'il s'agit de dresser un mouvement de translation rectiligne alternatif, pendant lequel l'outil fixé à un support, enlève sur toute la longueur de la ligne droite parcourue un copeau de métal ; les choses étant d'ailleurs tellement disposées qu'à chaque changement de sens du mouvement rectiligne dans les machines à deux crochets, ou après une allée et un retour dans celles à un seul crochet, l'outil se transporte perpendiculairement au sens du mouvement de la pièce d'une quantité déterminée. La pièce en travail est solidement fixée sur le chariot mobile au moyen de taquets boulonnés, ou de toute autre manière, et le porte-outil est disposé de façon à pouvoir régler facilement la hauteur de l'outil ou crochet en acier fondu qui entame le métal, et par suite, l'épaisseur maxima du copeau enlevé, épaisseur qui varie : 1° avec la matière de la pièce travaillée ; 2° selon les périodes du dressage, c'est-à-dire selon que l'on *dégrossit*, ou que l'on *finit*.

La marche du chariot qui porte la pièce et présente successivement tous les points à l'action de l'outil, doit être réglée de manière à se rapprocher beaucoup des limites de vitesse que nous avons indiquées pour les différentes matières, quand il a été question du tournage des métaux ; en outre, les transmissions de mouvement doivent être disposées de telle sorte que la marche se suspende d'elle-même aussitôt que l'outil éprouve une résistance anormale. Très variées de formes, de dispositions et de dimensions, les machines à raboter horizontalement, verticalement ou circulairement, remplacent presque absolument le travail à la lime et au burin, sur toutes les pièces de machines, depuis les plus grandes, jusqu'aux plus petites dimensions ; un établissement bien outillé doit posséder un assortiment de ces appareils, s'il est permis de s'exprimer ainsi.

Les machines à dresser, convenablement modifiées, peuvent servir à tracer des cannelures parallèles, plus ou moins profondes, plus ou moins rapprochées. La *machine à canneler les cylindres* si répandue dans les ateliers consacrés à la spécialité des constructions pour filatures, ne diffère essentiellement d'une machine à dresser qu'en ceci : Sur le chariot mobile on établit deux supports à pointes ou *poupées mobiles*, dont l'axe est parallèle au mouvement du chariot ; le cylindre préalablement tourné est placé entre les deux pointes, et le crochet, fixé suivant l'axe du cylindre ou des pointes, creuse en s'abaissant successivement une cannelure par la seule translation du chariot. Une roue à rochets ou *diviseur* fait d'ailleurs tourner le cylindre après chaque passage, d'une quantité convenablement réglée et correspondante à l'espacement voulu des cannelures.

9° *Mortaiser*. Pratiquer une mortaise dans une pièce de métal c'est exécuter dans l'épaisseur de cette pièce une *ouverture*, une *rainure* ou une *échancrure* de formes et de dimensions déterminées. Les outils-machines qui accomplissent ce travail, non moins variés que les machines à dresser, dans leurs formes, dispositions et dimensions, sont établis sur un principe inverse. Le *porte-outil*, ou *curseur*, dans les machines à mortaiser a un mouvement rectiligne alternatif, et la pièce en travail est solidement fixée sur une plate-forme mobile, qui progresse d'une petite quantité déterminée, après chaque alternance complète (aller et retour) de l'outil, et dans un sens perpendiculaire, ces deux mouvements s'opérant d'ailleurs par le jeu même de la machine.

10° *Diviser et fendre*. La division exacte et régulière de la denture des roues d'engrenage, cet organe vital des machines, est de la plus haute importance ; l'exécution rigoureuse et géométrique des surfaces en contact dans le mouvement simultané de deux roues qui se conduisent, n'importe pas moins à la régularité de mouvement qu'au bon emploi de la puissance du moteur ; on a donc dû chercher à substituer à la division au compas et à la main, œuvre de tâtonnement, aux irrégularités inhérentes à ce mode d'opérer, et à la taille des dents par le burin et la lime, manœuvrés à la main, des moyens mécaniques réguliers, précis et déterminés. On y est très heureusement parvenu par l'emploi combiné de *la plate-forme à diviser*, appareil anciennement connu dans l'horlogerie, et d'un outil tranchant, *grain d'orge* ou *burin*, de forme convenable et appropriée, animé d'un mouvement de rotation continue. De cette combinaison est résulté l'outil machine connu sous le nom de *machine à diviser et fendre les engrenages*. Voici le principe sur lequel est fondée cette machine que l'on a d'ailleurs variée dans ses dispositions : un plateau circulaire ou plate-forme, porte sur des cercles concentriques les diverses divisions de circonférences dont on a le plus habituellement besoin, chaque division marquée par un trou conique. Une *alidade* mobile, terminée par une pointe à vis, s'ajuste à volonté dans l'un quelconque des trous coniques de la plate-forme et sert à fixer celle-ci pendant tout le temps nécessaire dans une position invariable. Sur l'arbre ou axe de la plate-forme on fixe et on centre invariablement la roue qu'il s'agit de diviser, et dont la position ne change qu'au fur et à mesure du besoin, par le fait du déplacement de l'alidade qui occupera successivement tous les trous d'un même cercle de la plate-forme. On comprend donc que l'on peut ainsi présenter à l'action de l'outil, des points régulièrement espacés sur un cercle qui a même centre que la plate-forme. Le *grain d'orge* en acier fondu, découpé et taillé convenablement sur une forme exacte et appropriée à la nature de la surface que l'on se propose d'exécuter, est fixé sur une bague liée elle-même à un arbre rotatif ; cet arbre ou porte-outil est supporté par une plaque mobile elle-même, convenablement guidée et reliée à un chariot mobile dont la position règle la distance à laquelle l'outil doit agir successivement par rapport au centre de la plate-forme ; une disposition spéciale permet en outre à l'outil de prendre des positions et des inclinaisons variables que l'on détermine au moyen de vis de rappel.

11° *Fileter* et *tarauder*. Il suffit de rappeler l'emploi si général et si multiplié des boulons et écrous comme moyens d'assemblage et de serrage, l'emploi des vis soit comme moyen de rappel et de pression, soit comme organe de transformation du mouvement circulaire en un autre mouvement rectiligne, pour faire comprendre combien il importe que les filets héliçoïdaux d'une vis ou d'un écrou soient exécutés avec précision. Le filetage et le taraudage à la main, pratiqués à l'aide des *filières* ou *tarauds*, donne des résultats très imparfaits, exige beaucoup de temps et de main-d'œuvre, et est d'ailleurs limité à d'assez faibles dimensions des boulons ou écrous. Aussi, les machines à fileter et à tarauder existent-elles depuis assez longtemps dans les ateliers ; elles sont assez simples et reproduisent fidèlement, mais d'une manière bien plus régulière, le travail du filetage et du taraudage à la main. Les *filières* et *tarauds* sont en acier fondu ; ils s'exécutent ainsi que les vis et écrous de fortes dimensions, au moyen d'un tour particulier connu sous le nom de TOUR *à fileter et à tarauder* que l'on retrouvera décrit à sa place dans ce Dictionnaire.

12° *Ajuster*. Après que les pièces de machines ont été préparées et travaillées isolément, il faut les adapter

l'une à l'autre, en assurer et en régulariser le jeu si elles doivent être mobiles, opérer leur *assemblage*, les achever dans tous les détails de forme et de dimensions que n'auraient pas réalisés complétement le travail isolé déjà exécuté sur chacune d'elles. L'ensemble de ces opérations constitue l'*ajustage*, travail essentiellement manuel, qui exige de la part de l'ouvrier *ajusteur* de l'adresse, de l'intelligence, des connaissances géométriques et pratiques. Le *marteau*, le *burin*, la *lime*, la *règle*, l'*équerre*, la *fausse équerre*, les *instruments à pointe aiguë pour tracer sur les métaux*, le compas, l'*étau à main*, l'*étau fixe*, le *fil à plomb* composent l'outillage de l'ajusteur, auxquels il convient de joindre les *calibres*, *patrons* ou *gabarits*, au moyen desquels on reconnaît et vérifie l'identité des formes et dimensions des pièces semblables. Les pièces ajustées sont ensuite *repérées*, c'est-à-dire pointées et marquées soit au moyen du *pointeau*, soit au moyen de lettres ou chiffres frappés, qui indiquent nettement les positions relatives des diverses pièces de la machine.

13° *Émoudre*. C'est user la surface d'un métal au moyen de *meules*. Ce travail remplace celui de la lime dans beaucoup de circonstances, avec économie de temps et d'argent; et c'est d'ailleurs le seul moyen dont on dispose pour user ou *affûter* les outils et instruments en acier trempé. Les *meules* grandes et moyennes sont en *grès*, tournées à leur circonférence et légèrement bombées. Leur vitesse à la circonférence atteint et dépasse même la limite de 7 à 8^{m} par seconde. On emploie des meules en grès tendre pour ébaucher, et pour finir des meules dures, moins mordantes. Parmi les meules les plus petites et les plus dures, il en est auxquelles on donne une vitesse de 30 ou 40^{m} à la circonférence. Les meules en grès travaillent avec injection continue d'eau sur leur surface.

On se sert assez souvent de meules en *fer*, en tôle, avec addition de sable fin pur et mouillé, de meules en acier travaillant à sec; mais le *travail* de ces dernières est très insalubre. Enfin, on voit dans beaucoup d'ateliers des *meules ou disques horizontaux*, tournant avec une grande vitesse et qui servent à aser au moyen d'un mélange d'*émeri* et d'huile d'olive les têtes de boulons et les faces des écrous. Toutefois, on préfère, et avec raison, pour ce travail, l'emploi de machines spéciales, dites *machines à tailler les écrous*, qui ont pour principe les unes le mouvement circulaire d'une ou de plusieurs *fraises* combinées, les autres le mouvement rectiligne alternatif d'un burin.

14° *Roder*. Par cette opération on use deux surfaces destinées à glisser ultérieurement l'une sur l'autre, par un mouvement de va-et-vient plus ou moins rapide imprimé à l'une des deux surfaces fortement pressée contre l'autre, après que l'on a interposé du sable fin, ou de l'*émeri* arrosés d'eau. A mesure que les surfaces se rôdent, on emploie des matières plus fines, et on termine avec de l'émeri fin et de l'huile.

15° *Polir*. Par cette opération on use une surface jusqu'à ce qu'elle ne décèle aucune rayure en l'exposant aux jeux de la lumière; le polissage des métaux n'est en quelque sorte que la continuation de l'émoulage, en y employant des substances de plus en plus fines. Les meules pour le polissage des métaux sont faites de bois durs auxquels on donne du mordant au moyen de la pierre-ponce en poudre, de l'émeri, du *colcothar* ou rouge d'Angleterre, et de la *patée d'étain* appliquée au moyen de suif. Ainsi disposées, ces meules prennent le nom de *brunissoirs;* leur vitesse à la circonférence va jusqu'à 40^{m} par seconde. Pour achever le polissage on se sert de meules en bois dont la circonférence est garnie de buffle, avec addition de colcothar; la vitesse à la circonférence de cette sorte de meules, plus particulièrement désignées sous le nom de *polissoirs*, varie de 20 à 25^{m} par seconde. Mais il est bon d'observer que dans les

CONSTRUCTION DES MACHINES.

machines où le poli brillant n'est pas nécessaire, et serait d'ailleurs promptement altéré, on emploie bien rarement les *polissoirs*, et on se contente de rendre les surfaces bien unies en les usant à l'émeri mêlé d'huile d'abord, puis en dernier lieu à l'émeri très fin et à sec.

Organisation et outillage des ateliers pour le travail à froid, dits *ateliers de tournerie et d'ajustage*. Les ateliers consacrés aux travaux divers que nous venons d'énumérer et de décrire sommairement, occupent dans un établissement de l'importance supposée dès l'origine de cet article, un espace considérable qui ne s'élève pas à moins de 1800 ou 2000 mètres carrés. Pour fixer les idées, et sans que la division que nous adoptons ait rien d'absolu, nous supposerons cette superficie répartie sur deux ateliers, avec rez-de-chaussée et premier étage, occupant chacun un espace rectangulaire de 46^{m},00 sur 30^{m},00.

Un chemin de fer traversera longitudinalement le rez-de-chaussée, chacun de ces deux ateliers et une machine à vapeur à moyenne pression, à condensation et à détente variable, de la puissance de 25 à 30 chevaux, donnera le mouvement aux divers appareils.

La machine motrice placée dans la partie centrale fait mouvoir une ligne principale d'arbres de couche. L'atelier, dans le sens longitudinal est séparé en trois travées au moyen de deux rangs de colonnes en fonte, qui portent à leur partie supérieure les supports de la ligne d'arbres de couche principaux. Au moyen de roues d'engrenage, poulies, tambours et courroies, le mouvement est transmis à une ligne d'arbres horizontaux qui occupent le milieu de chacune des deux travées latérales, et de là à chaque opérateur avec les vitesses convenables pour chacun. Il est indispensable pour obtenir dans l'atelier une clarté suffisante, que les murs soient percés par de vastes baies, sur les quatre faces du bâtiment. Le jeu des courroies, et le diamètre des tambours exige une hauteur de 5^{m},50 à 6^{m},50 entre le sol et les poutres du plancher. L'organisation des transmissions de mouvement, les diamètres des arbres, des tourillons, des poulies, les dimensions des courroies, etc., doivent avoir été calculés par les méthodes qui seront indiquées à l'article RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX. Un renvoi de mouvement pris sur l'un des arbres de couche principaux fait tourner un arbre horizontal établi au premier étage, sur l'axe longitudinal et dans la partie supérieure de cet atelier.

Une trappe pratiquée dans le plancher qui sépare le rez-de-chaussée et le premier étage, livre passage aux pièces qui doivent être travaillées; *un palan* attaché à l'un des tirans du comble, et desservi par *un treuil* situé au rez-de-chaussée, est chargé d'élever ces pièces du wagon de transport jusqu'à l'atelier supérieur.

1er *Atelier consacré au grand ajustage*. Prenant pour modèle l'outillage d'un de nos plus grands établissements de construction, nous pensons que le premier atelier devra être pourvu, sinon dès le principe, au moins lorsqu'il sera arrivé à complète organisation, des appareils et outils-machines suivants :

1° Un grand alésoir vertical, pour aléser les cylindres de grande dimension.

2° Un alésoir horizontal, pour cylindres jusqu'à 1^{m},00 de diamètre.

3° Un alésoir horizontal, pour cylindres jusqu'à 0^{m},40 de diamètre.

4° Un petit alésoir vertical, pour aléser les lumières des roues d'engrenage et volants.

5° Un tour à plate-forme, de grandes dimensions, pour tourner les roues de locomotives, les grands couvercles de cylindre, grands pistons, etc.

6° Quatre autres tours à plate-forme de diamètres gradués.

7° Un grand tour parallèle à pointes, pour tourner les gros arbres, jusqu'à 8^{m},00 de longueur.

8° Deux ou trois tours pour la préparation des cylindres de laminoirs.

9° Une machine à diviser et tailler les grands engrenages.

10° Une grande machine à raboter, 3m,80 de course pour l'outil, 11m,00 longueur des jumelles-guides de la plate-forme mobile.

11° Une machine à percer dans les plus fortes tôles des trous de diamètre variable jusqu'à 0m,20.

12° Deux machines à percer.

13° Deux machines à fileter, pour boulons et écrous gros et moyens.

14° Une machine à tarauder, pour boulons et écrous gros et moyens.

15° Un découpoir pour percer les tôles fortes.

16° Deux meules à aiguiser.

17° Six étaux de force variable avec leur établi.

18° Une forge à main, avec feu double pour l'entretien et la réparation des outils.

19° Deux ou trois tours à main.

Enfin le bureau du contre-maître placé centralement, de manière à embrasser d'un coup d'œil l'ensemble de l'atelier.

24 chevaux, sur les 30 dont on dispose, suffiront bien à la marche non pas simultanée, mais ordinaire de ces outils, parmi lesquels quelques-uns sont alternativement en chômage.

Le premier étage de cet atelier sera pourvu des appareils suivants :

1° Trois petites machines à parer ou dresser, avec outil à mouvement vertical.

2° Deux petites machines à parer ou dresser, avec outil à mouvement horizontal.

3° Deux machines à percer.

4° Deux machines à fileter et une machine à tarauder, pour moyens et petits écrous et boulons.

5° Deux machines à tailler les têtes de boulons et les écrous.

6° Huit ou dix bancs de tour à la main.

7° Une meule horizontale.

8° Une meule à aiguiser.

9° Vingt étaux d'ajusteur avec leur outillage et leur établi.

10° Une petite forge volante pour entretien et réparation des outils.

Une puissance de 6 chevaux suffira bien à la conduite des outils-machines de cet atelier.

2° *atelier, grand et moyen ajustage.*

L'outillage de cet atelier comprendra les machines suivantes :

1° Une machine à mortaiser les pièces des plus fortes dimensions.

2° Une machine à mortaiser et dresser les faces verticales, pour pièces de dimensions moindres.

3° Un petit alésoir vertical, à grande plate-forme, pour aléser les lumières des longues pièces, telles que bielles, etc.

4° Une machine à dresser, avec outil à mouvement horizontal, course de 1m,30 pour l'outil, et de 8m,00 pour la plate-forme qui porte la pièce.

5° Une machine du même genre, avec courses moindres.

6° Une machine à diviser et tailler les moyens et petits engrenages.

7° Dix bancs de tour, tant à pointes qu'à plate-forme, avec bancs de longueurs variables depuis 14m,00 jusqu'à 3m,00.

8° Une ou deux machines à percer.

9° Deux meules à aiguiser.

10° Huit ou dix étaux d'ajusteur.

11° Une forge à main à double feu, pour réparation et entretien des outils.

CONSTRUCTION DES MACHINES.

Une puissance de 20 chevaux suffira pour la marche des machines en travail ordinaire.

Au premier étage seront installés :

1° Deux petites machines à parer, avec outil à mouvement vertical.

2° Deux petites machines à parer, avec outil à mouvement horizontal.

3° Une machine à fileter et une machine à tarauder.

4° Une machine à tailler les faces d'écrous et les têtes de boulons.

5° Deux machines à percer.

6° Huit ou dix tours à main.

7° Une meule à aiguiser.

8° Vingt étaux d'ajusteur.

9° Une petite forge volante.

Une puissance de 5 chevaux suffira largement à la marche de ces machines.

Deux contre-maîtres l'un au rez-de-chaussée, l'autre au premier étage conduiront le travail, de même que dans le premier atelier.

Personnel des ateliers de tournerie et d'ajustage. La plupart des travaux de ces ateliers s'exécutant à la journée, on conçoit que la surveillance des contre-maîtres y doit être continue, et qu'en outre, pour se rendre un compte exact du temps consacré à chaque pièce, un ordre et un soin rigoureux leur est indispensable. Les ouvriers conducteurs des machines chargés de régler la pression et la position de l'outil, de la mise en chantier des pièces, de l'affûtage de leurs outils, n'ont à dépenser qu'une très faible activité musculaire, mais en revanche ils doivent suivre avec une attention soutenue la marche de l'outil; le degré de perfection du travail confié à chaque machine et la durée de ce travail varient d'ailleurs dans d'assez grandes limites, selon l'habileté et les soins plus ou moins intelligents de son conducteur.

Le service de ces ateliers occuperait 100 hommes en marche ordinaire, 130 à 140 en marche complète; dans ce dernier cas, la puissance nominale du moteur n'est pas suffisante. Dans ce cas on force en vapeur, en augmentant légèrement la pression dans la chaudière; sans doute ce moyen est peu économique sous le rapport du bon emploi du combustible, mais on n'a à l'employer que rarement et exceptionnellement.

La création des ateliers de tournerie et d'ajustage, ainsi organisés et outillés, absorberait un capital considérable qui peut s'évaluer comme suit :

Construction des deux ateliers avec leurs colonnes en fonte, leurs chemins de fer de service, les appareils de transport et d'élévation. .		110,000 fr.
Moteurs, deux machines de 30 chevaux chacune. . .		48,000
Fourneaux et générateurs. .		22,000
Transmissions de mouvement avec tous leurs accessoires.		20,000
Outillage pour grand ajustage (rez-de-chaussée du premier atelier), en y comprenant les fondations et l'installation des grandes machines-outils. . . .	110,000 à	120,000
Outillage pour grand et moyen ajustage (rez-de-chaussée du deuxième atelier).	90 000 à	100,000
Outillage pour petit ajustage (premier étage des deux ateliers).	25,000 à	30,000
Ensemble. . .		450,000 fr.

Dans ces évaluations, l'outillage absorbe à lui seul plus de la moitié du chiffre total, et on le concevra

sans peine dès que nous aurons indiqué les prix séparés de quelques-unes des grandes machines-outils.

Ainsi la grande machine à raboter, indispensable pour la fabrication des appareils à vapeur de 500 chevaux, ne coûtera pas à elle seule, compris ses fondations, moins de. . . . . 30,000 fr.

Le grand alésoir vertical, avec ses fondations et son bâti en charpente. . . . . 25,000 à 30,000

Le grand tour parallèle. . . 15,000

Le grand tour à plate-forme. . 12,000

Rappelons d'ailleurs que l'outillage d'un grand établissement n'arrive au point où nous l'avons supposé que par un développement successif.

Atelier de montage. Tous les éléments d'une machine, après avoir été isolément travaillés, arrivent à l'atelier de montage pour y être assemblés, réunis et repérés. Là, sous la direction d'un *monteur*, toutes les pièces fixes sont assemblées provisoirement, toutes les pièces mobiles sont présentées chacune à la place qu'elles doivent occuper et reliées les unes aux autres. Le monteur s'assure que les mouvements voulus s'accomplissent rigoureusement, que tous les axes de ces mouvements divers sont bien dans la direction demandée, que les tourillons de ces axes et les articulations diverses jouent librement et régulièrement; au fur et à mesure des besoins du montage, il fait achever ou modifier l'ajustage. OEuvre de précision et de tâtonnement, le montage à l'atelier, bien fait, dirigé par un homme soigneux, instruit, intelligent, peut seul assurer le succès, la rapidité et l'économie du montage définitif et sur place.

Un atelier de montage doit être vaste, élevé, parfaitement éclairé, et pourvu suffisamment des machines qui servent au transport et à l'élévation des fardeaux. On doit prévoir le montage simultané d'un certain nombre de machines, et si, par exemple, nous supposons en train de montage :

1° Les machines d'un navire à vapeur de 200 à 500 chevaux;

2° Une machine fixe de 40 à 100 chevaux;

3° Une ou deux locomotives pour chemin de fer;

4° Un ou deux appareils pour l'industrie (soufflerics, pompes, etc.).

Eventualité qui se réalisera très fréquemment, sinon toujours dans un grand établissement de construction, la superficie de l'atelier de montage devra être de 600 à 800 mètres carrés.

Cet atelier doit laisser disponible sous entrait une grande hauteur, soit 12 à 13 mètres, complétement libre et exempt de toute colonne de support.

Pour fixer les idées, adoptons un espace rectangulaire de 45 mètres sur 16 mètres dans œuvre, traversé longitudinalement par un chemin de fer, fermé aux deux extrémités par des portes à coulisses de 6 à 7 mètres d'ouverture. Une grue à volée variable jusqu'à 4m,50, et capable d'enlever 15 tonnes, desservira une première partie de l'atelier. Une fosse de 20 mètres de longueur sur 9 mètres de largeur et 0m,70 de profondeur occupera la partie centrale du sol de l'atelier. Sur la longueur de cette fosse règneront, régulièrement espacées, 6 fortes poutres en chêne de 0m,40 d'équarrissage, solidement établies sur un sol rendu incompressible soit par une forte couche de *béton*, soit au moyen d'un grillage avec pilotis. Cette fosse sera desservie par 10 palans suspendus aux tirants des fermes du comble et régulièrement répartis, dont les câbles seront manœuvrés au moyen de 10 treuils à engrenage solidement fixés à la hauteur convenable contre les pieds-droits des larges baies ouvertes sur les deux murs latéraux.

L'outillage de cet atelier, indépendamment des appareaux déjà énumérés, se composera de :

1° Deux machines à percer;

2° Une machine à dresser;

3° 20 étaux d'ajusteur, avec leurs établis;

4° Une forge de maréchal.

Le mouvement sera donné aux outils ou par une petite machine à vapeur spéciale, ou par un arbre de couche en communication avec l'un des ateliers d'ajustage.

Ainsi équipé, outillé et établi l'atelier de montage coûtera 45,000 fr. environ. Son personnel en monteurs, ajusteurs, manœuvres, sera de 20 à 30 hommes.

Nous voici arrivés au terme de notre examen en ce qui concerne l'organisation des divers ateliers d'un établissement de construction ; il serait d'ailleurs sans intérêt de donner un plan général d'un tel établissement, parce que les dispositions de ce plan sont toujours liées à des conditions de localité spéciales et nécessairement variables. Qu'il suffise donc d'ajouter qu'un établissement de ce genre, indépendamment des superficies occupées par les ateliers divers, doit disposer d'une très vaste surface soit pour le dépôt des approvisionnements en combustible, fontes de moulage, mouleries de rebut ou *boccages*, pièces moulées de rechange, etc., etc., soit pour le dépôt des pièces isolées, des appareils en voie de confection, enfin de bâtiments accessoires pour les magasins divers, tels que magasins à métaux et autres, etc., pour l'administration, les bureaux des ingénieurs et des agents comptables.

Pour évaluer d'une manière complète le capital de création d'un tel établissement, il faudrait donc ajouter à la somme déjà énorme de nos évaluations partielles, la valeur des terrains et celle des bâtiments accessoires dont il vient d'être question.

Rapports des divers ateliers entre eux et organisation du service des contre-maîtres. Pour que la surveillance soit active, continue, incessante dans chaque atelier, il est bon que le service de cette surveillance soit réparti entre plusieurs contre-maîtres, chacun d'eux ayant à diriger et surveiller un nombre d'hommes limité, 60 au plus, et sous les ordres lui-même d'un contre-maître général. A chaque tiers de la journée, il est pris état détaillé de l'emploi du temps de chaque ouvrier, et à la fin de la semaine le contre-maître général compose sur ces états de détail un tableau semainier qui renferme aussi concis que possible, mais complets, tous les éléments nécessaires à l'établissement du prix de revient pour la main-d'œuvre, les consommations et déchets relatifs aux diverses pièces travaillées pendant la semaine. Un contre maître général a sous ses ordres immédiats et sous sa main un commis d'écritures; le contre-maître devient donc un être double, si l'on peut s'exprimer ainsi, le premier surveillant, dirigeant, organisant, répartissant le travail, *à la tâche*, toutes les fois que la bonne exécution des pièces le permet, *à la journée*, dans le cas contraire; le second écrivant et enregistrant toutes les circonstances du travail dont il importe de conserver les traces. Cette division des plus heureuses, que nous empruntons à l'un des plus prospères parmi nos établissements de construction, assure un ordre complet et de tous les instants, à défaut duquel la prospérité est impossible, dans une fabrication dont les détails sont multipliés à l'infini, et qui comprend dans son ensemble tant d'opérations successives.

Un chemin de fer de service, avec embranchement sur chaque atelier, relie entre eux tous ces ateliers et réduit à la dernière limite les frais de transports nombreux et successifs. Enfin chaque contre-maître, sur les états de détail dressés comme il a été dit, *facture et rend les produits de son atelier* au contre-maître de l'atelier voisin, où les pièces arrivent successivement sans oubli ni confusion possibles.

CONSTRUCTION DES MACHINES.

En fin de compte, et après son passage aux divers ateliers, chaque pièce arrive au montage avec son prix de revient facturé et composé par l'addition des prix de revient partiels dont elle s'est grevée dans chaque période du travail.

Nous avons insisté sur ce mode administratif appliqué aux travaux divers, avec la conviction que son observation minutieuse renferme les germes les plus féconds, tandis qu'au contraire une ruine plus ou moins prochaine menace toujours un établissement où cet ordre sévère ne serait pas maintenu dans sa dernière rigueur.

ÉTUDE, COMPOSITION, CALCUL ET DESSIN DES MACHINES. Quand une machine est demandée à un établissement de construction, les conditions à remplir, les dispositions principales, etc., sont d'abord discutées entre l'industriel ou l'administration qui fait sa commande et le directeur de l'établissement, assisté de l'un de ses ingénieurs ; un marché signé par les parties contractantes, accompagné d'un cahier des charges, constate les résultats de cette discussion, et dans l'intérêt de tous, il importe que cet acte, avec toutes les clauses et conditions, soit bien rédigé et très explicite. Le cahier des charges est ensuite mûrement examiné et discuté entre le gérant de l'établissement, l'ingénieur-directeur et celui des ingénieurs attachés à l'usine auquel doit être spécialement confiée l'étude et l'exécution de l'appareil demandé. Le système particulier, les dispositions générales de la machine ainsi arrêtés et convenus, l'ingénieur chargé de l'étude s'en occupe dès lors exclusivement et devient seul responsable de l'exécution, sauf les conseils qu'il croit devoir demander à l'ingénieur-directeur. Après qu'il a combiné toutes les parties de son appareil, calculé ses dimensions, arrêté les formes et les assemblages étudiés préalablement par des dessins de détail, il exécute ou fait exécuter sous ses yeux, et sous son contrôle immédiat, les dessins d'exécution. Il transmet ensuite sans intermédiaire aux contre-maîtres des divers ateliers ces dessins et croquis de détails, toujours dessinés sur une échelle suffisamment grande, minutieusement côtés, et accompagnés d'instructions écrites.

Le contre-maître devient responsable à son tour vis-à-vis de l'ingénieur dont il a reçu les dessins signés, et auquel chaque fois qu'il le juge utile, il doit demander un supplément d'instructions.

L'ingénieur préside au tracé des épures en grand, surveille la confection des modèles, suit et dirige partout et toujours la fabrication successive de toutes les pièces de sa machine, aux divers degrés d'avancement et dans les divers ateliers où elle doit passer pendant les périodes du travail. A l'aide des dessins de détail, il exécute ou fait exécuter sous sa direction des plans d'ensemble de la machine, et ces plans achevés, signés par l'ingénieur chargé de l'étude, contrôlés par l'ingénieur-directeur, viennent se classer dans le portefeuille de l'établissement, arsenal précieux pour le présent, comme pour l'avenir, dont on conçoit sans peine l'utilité et tous les avantages.

La méthode de composition et d'étude que nous venons d'exposer est suivie dans un de nos plus grands établissements; en outre des beaux résultats obtenus par cette usine qui a livré à l'industrie et à l'État de nombreux, grands et beaux appareils, dont la bonne et prompte exécution a dépendu pour une grande part de la méthode que nous venons d'indiquer, on peut dire à l'avantage de celle-ci qu'elle doit être féconde en résultats pour l'avenir d'un établissement de construction. En effet, respectant scrupuleusement le travail de chacun, elle rend impossible toute confusion d'attributions, laisse à qui de droit à côté du mérite de son œuvre, la responsabilité entière, surexcite les capacités des individus, fait grandir rapidement l'importance des intelligents et des travailleurs, et crée dans l'établissement une pépinière d'hommes précieux et spéciaux. Là, en effet, on conçoit que les bons effets de la division du travail se feront sentir rapidement, et que l'ingénieur consacré par exemple à la spécialité des locomotives, ou de tout autre genre d'appareils, doit acquérir dans cette spécialité une aptitude à laquelle ne saurait atteindre celui qui est contraint d'éparpiller, pour ainsi dire, son travail et ses méditations sur la foule des machines que l'industrie emploie et demande chaque jour.

Ajoutons enfin, pour compléter ce sujet, que l'ingénieur après avoir suivi et dirigé le montage dans l'atelier de son appareil, suit la machine jusqu'au lieu de son installation, quand l'importance de la commande le réclame, en dirige sur place le montage et l'installation, préside aux essais, en discute les résultats devant les intéressés avec tous les avantages de l'homme spécial qui possède son sujet jusque dans les plus intimes détails. Quant aux connaissances variées, approfondies, théoriques et pratiques que doit posséder l'ingénieur constructeur de machines, on conçoit ce qu'elles doivent être, si l'on récapitule la série des opérations auxquelles il est chargé de présider, et les bornes de cet article ne nous permettent pas de les passer en revue.

Nous ne pensons pas avoir besoin, en terminant, de justifier le choix que nous avons fait d'un établissement sur une vaste échelle, dans l'examen des bases de l'organisation d'une usine pour la construction des machines. On peut comprendre maintenant combien il importe à ceux qui consacrent des capitaux à une création de ce genre de viser à une spécialité, puisque l'outillage si varié et si coûteux se modifie pour chaque genre de fabrication, puisque la perfection et l'économie pour être poussées à leur dernière limite exigent une fabrication multipliée et la reproduction fréquente des mêmes modèles.

Le but de cet article aura été atteint d'ailleurs, si nous avons réussi à faire comprendre par un examen rapide et sommaire : d'une part quelle réunion de capitaux, d'intelligences et d'ordre administratif suppose et réclame la création d'un atelier de construction des machines; d'autre part, combien la prospérité d'un semblable établissement a besoin d'être soutenue et alimentée par des commandes nombreuses, qui seules, nous le répétons en terminant, permettent d'atteindre le dernier terme du problème d'une fabrication parfaite et économique. FAURE.

CONSTRUCTION DES NAVIRES. La construction des navires, l'architecture navale, est à la fois une science et un art. Comme science, elle comprend l'étude de la résistance des fluides et, par suite, la détermination des formes de moindre résistance, les lois de la stabilité, celles des dimensions des pièces, etc. Comme art, elle se confond, pour la construction des navires en bois, avec la charpente, pour la construction des navires en fer, avec les constructions en fer.

Tous les problèmes de l'architecture navale, que la science a été en général insuffisante à résoudre théoriquement, et qui exigent impérieusement les résultats de l'expérience pour chaque cas particulier, sont l'objet des travaux de l'ingénieur constructeur. La France en a compté de justement célèbres, Sané notamment, qui créa le plus beau modèle de trois-ponts, qu'on eût peut-être dû toujours imiter si la vapeur n'était venue déterminer la transformation absolue de la marine militaire.

Le meilleur résumé qui existe de cette science est, sans contredit, le traité abrégé de la construction du navire que le savant M. de Fréminville a rédigé pour le *Guide du marin* ; nous lui empruntons les principes de la construction des navires, en renvoyant aux ou-

CONSTRUCTION DES NAVIRES

vrages de cet ingénieur les lecteurs qui auraient à faire une étude approfondie de la question.

Description sommaire de la charpente du navire. L'élément principal de la charpente des navires consiste en une série de pièces présentant quelque analogie avec les côtes d'un animal gigantesque et qui reçoivent le nom de *couples*. (La *fig.* 5 ci-après représente l'axe d'un de ces couples.) Les couples sont réunis par de fortes planches ou plutôt de véritables madriers nommés *bordages*, qui les croisent à angle droit; les bordages doivent être assez exactement joints les uns avec les autres, pour constituer avec les couples un vase parfaitement étanche.

Les couples sont formés de deux plans de charpente superposés, et composés chacun de pièces de longueur et de courbure modérées, placées bout à bout de manière à reproduire le contour voulu; les extrémités jointives des pièces de l'un des deux plans correspondent au milieu des pièces de l'autre, et les deux plans sont ensuite chevillés l'un par l'autre, de manière à former un ensemble rigide. Ce système de construction est d'ailleurs le même que celui employé par le célèbre Philibert de l'Orme, pour les toitures à grande portée; il permet d'exécuter les charpentes les plus considérables avec des matériaux de petite dimension et de faible valeur.

La face de jonction des deux plans de bois du couple reçoit le nom de *plan de gabariage*, ou de *plan du couple*. Les couples sont répartis à distance égale sur la longueur du navire, celui qui correspond à la maîtresse partie reçoit le nom de *maître-couple*; les autres sont nommés *couples avant*, ou *couples arrière*, suivant la position qu'ils occupent. Les couples consécutifs laissent, entre leurs faces latérales, des espaces libres plus ou moins considérables nommés *mailles*; cette disposition a pour but d'alléger l'ensemble de la construction, et surtout de permettre la circulation de l'air à l'intérieur de la charpente, condition indispensable à sa conservation, et faute de laquelle elle serait attaquée par la pourriture et détruite avec une rapidité que l'on aurait peine à imaginer.

Les couples sont réunis à leur partie inférieure par une longue pièce prismatique à section rectangulaire, nommée la *quille*, dont l'axe de figure est situé dans le plan diamétral, et dont les faces latérales sont parallèles à ce plan. A l'avant la quille s'assemble avec une pièce cylindrique présentant une courbure assez prononcée à la partie inférieure, nommée l'*étrave*; à

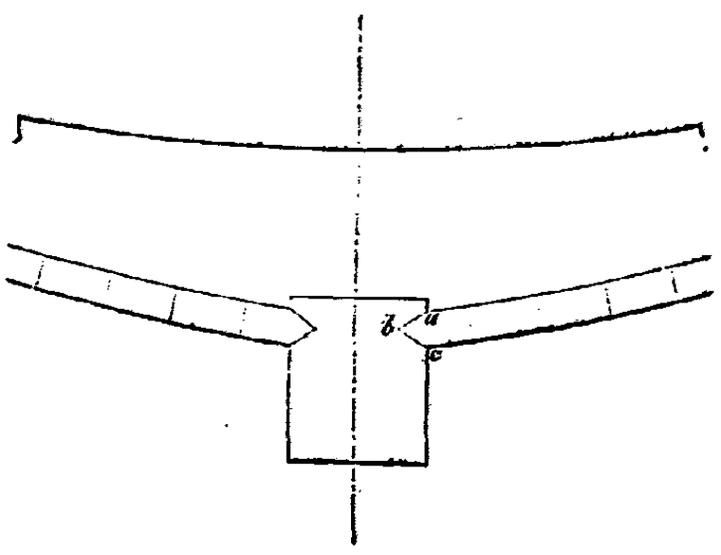


Fig. 4.

l'arrière elle reçoit l'*étambot* dirigé verticalement ou légèrement incliné sur l'arrière.

Les bordages sont simplement juxtaposés à plat joint, mais leur contact ne saurait jamais être assez exact pour s'opposer au passage de l'eau, que l'on arrête en introduisant de l'étoupe fortement comprimée dans les interstices qu'ils laissent entre eux; cette opération constitue le *calfatage*, elle est indispensable pour rendre la carène complétement étanche. Les bordages s'assemblent avec la quille, l'étrave et l'étambot dans une rainure à section triangulaire (*a*, *b*, *c*, *fig.* 4), nommée la *rabiure*; ses trois arêtes qui passent respectivement par les points *a*, *b*, *c*, reçoivent cha-

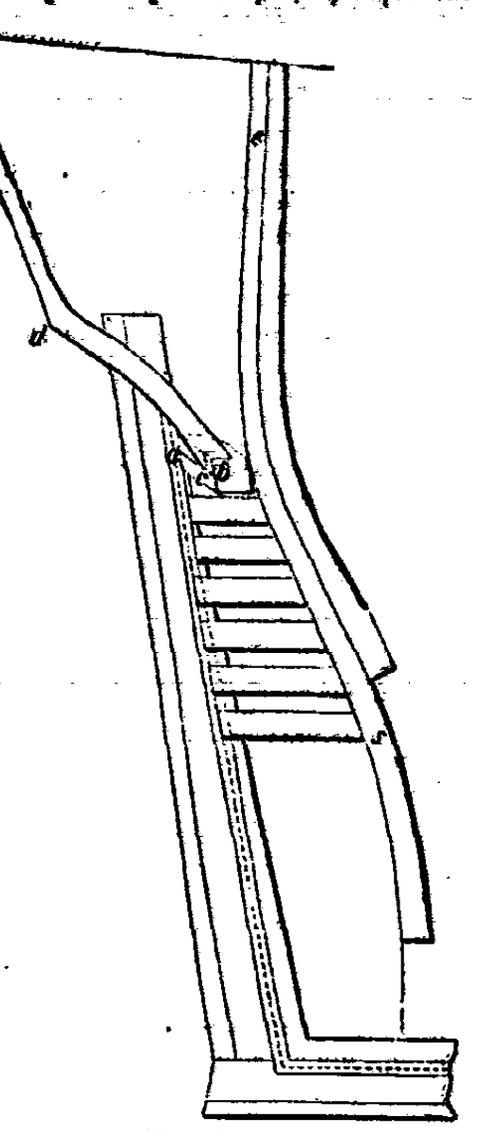


Fig. 2.

cune un nom particulier : la première est nommée indifféremment *trait supérieur*, ou *intérieur* de la rabiure, ou encore *dessus de quille*; le deuxième est le *fond de rabiure*; et le troisième, le trait *inférieur* ou *extérieur* de la rabiure. Les rabiures de l'étrave et de l'étambot forment le prolongement de celle de la quille, et leurs arêtes conservent les mêmes désignations.

Le système des couples ordinaires ne convient pas aux formes des extrémités avant et arrière, et il est nécessaire pour ces parties de recourir à d'autres dispositions; celles de l'avant sont excessivement simples, et il est inutile de s'y arrêter; quant à celles de l'arrière, elles sont un peu plus compliquées et méritent de fixer particulièrement l'attention.

La charpente de l'arrière, nommée l'*arcasse*, consiste en une série de *barres* horizontales (*fig.* 2 et 3) fixées en leur milieu sur l'étambot et ajustées par leurs extrémités sur les faces planes d'un couple *e s* dirigé obliquement par rapport au plan diamétral et nommé l'*estain*. L'arcasse, considérée isolément, forme comme une petite carène dont l'étambot serait la quille, et les barres, les couples; l'estain sert à raccorder cette charpente avec la carène. La barre la plus élevée *a b* reçoit le nom de *barre d'hourdy*, elle est comprise entre des surfaces cylindriques dont les génératrices sont horizontales et verticales et dont les directrices sont des arcs de cercle de grand rayon; elle reçoit les aboutissements d'une partie des bordages de la carène

dans une rablure d'une forme particulière, nommée *rablure de la barre d'hourdy*.

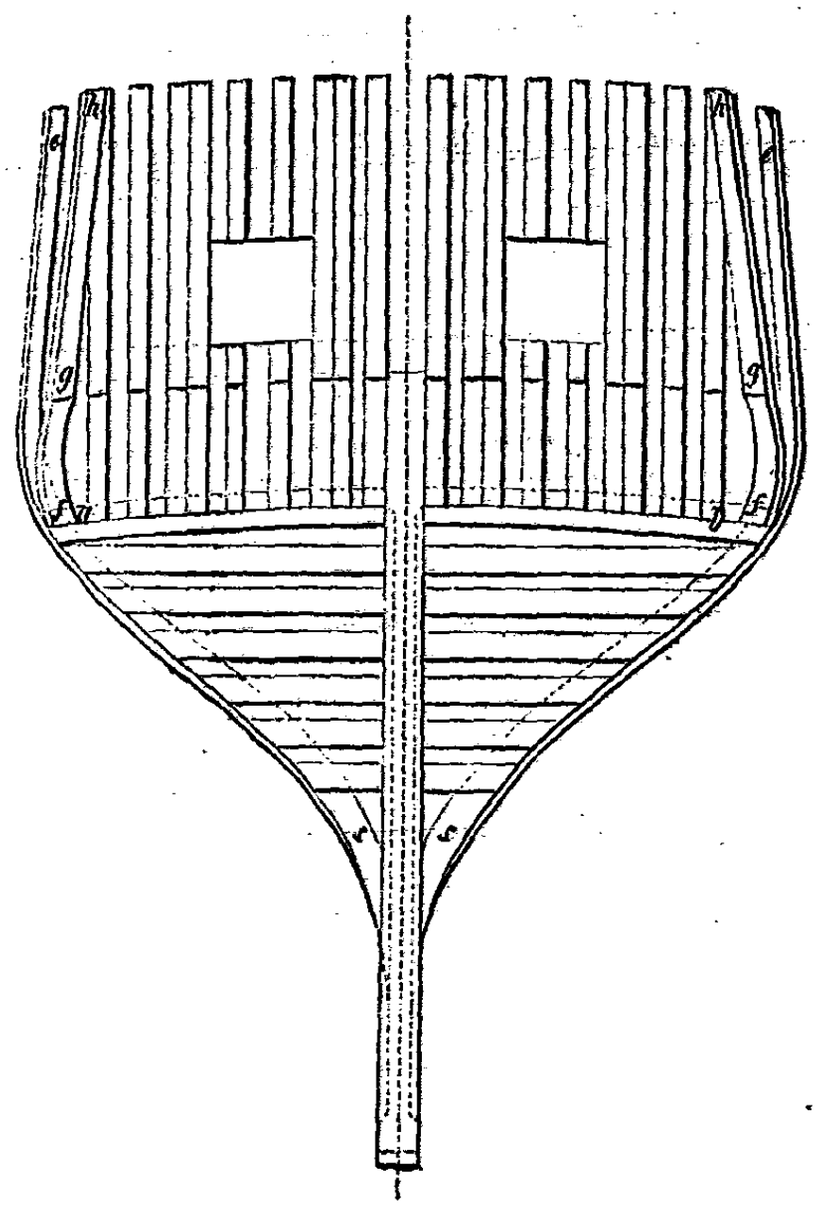


Fig. 3.

Sur la barre d'hourdy repose la charpente qui termine l'accastillage ; cette charpente est composée de membrures simples parallèles au plan diamétral ; à leur partie inférieure elles présentent une assez forte saillie *c d* (*fig.* 2) constituant la *voûte*, et leur partie supérieure *d e*, moins inclinée sur l'horizon, forme le *tableau de la poupe* ; les portions inférieures de ces membrures sont nommées *allonges de voûte*, et les parties supérieures, *quenouillettes du tableau*. La jonction des murailles latérales avec celles de la voûte et du tableau est opérée au moyen de l'*allonge de cornière f g h* (*fig.* 3), dont les formes sont assez compliquées et qui ne présente aucune face plane.

Indépendamment du bordé extérieur, les couples sont assujettis par un revêtement intérieur composé de bordages longitudinaux désignés sous le nom de *vaigrages* ou *vaigres* ; ils règnent depuis la naissance des couples jusqu'à leur extrémité supérieure.

La charpente du navire composée des couples et revêtements tant extérieurs qu'intérieurs jouit d'une certaine solidité ; cependant, elle ne présenterait pas la rigidité suffisante pour résister aux pressions latérales qu'elle supporte, et il est indispensable de maintenir l'écartement des murailles à l'aide de fortes pièces de bois disposées par files transversales et nommées *baux* ou *barrots* (*fig.* 4, *a b*, *c d*). Ces pièces de charpente sont ensuite réunies par un bordé longitudinal et constituent ainsi des planchers ou *ponts* qui partagent le navire en plusieurs compartiments affectés à divers usages, suivant la position qu'ils occupent : le compartiment le plus bas, situé entièrement au-dessous de l'eau, est la *cale*, il sert à emmagasiner les objets pesants et qui ne redoutent pas l'humidité ; la cale est quelquefois séparée en deux, dans le sens de la hauteur, par une *plate-forme* légère sur quelle sont placés les cordages de rechange, les voiles, etc.

Le pont *e d*, qui limite la cale à la partie supérieure, est situé au-dessous de la flottaison, il est nommé le *faux pont*, ainsi que l'étage qu'il constitue ; il est affecté aux logements des officiers et d'une partie de l'équipage. Les étages qui surmontent le faux pont sont tous affectés au service de l'artillerie et reçoivent la désignation générale de *batteries* ; dans les bâtiments à plusieurs batteries, la plus basse est la *première batterie*, puis viennent successivement la deuxième et la troisième. On ne construit pas de navires de guerre ayant plus de trois batteries couvertes. Le pont qui recouvre la dernière batterie est désigné sous le nom de *pont des gaillards*, il est spécialement désigné à la manœuvre des voiles ; cependant on y place aussi une artillerie légère dans le système dit à *batterie barbette*, manœuvrée à l'air libre.

La muraille du bâtiment s'élève au-dessus du pont des gaillards d'une quantité dont la hauteur peut varier entre des limites très-étendues, de 0m,30 à 4m,80, par exemple ; elle est construite plus légèrement que les autres parties du navire et reçoit le nom de *parois des gaillards* ; elle est terminée en hauteur par une pièce à surface courbe qui recouvre les extrémités de la membrure, et est nommée le *plat bord* (*g g*, *fig.* 4).

Tracé des plans de navires. Les plans de navires représentent la surface extérieure de la membrure au moyen de ses projections sur trois plans rectangulaires, savoir : le *longitudinal* (Voy. BATEAU A VAPEUR, *Complément*), *fig.* 3419, parallèle au plan diamétral ; l'*horizontal fig.* 3420, parallèle au plan de flottaison, et le *vertical*, parallèle au plan des couples *fig.* 3421.

Pour exécuter le longitudinal, on commence par tracer une horizontale indéfinie représentant le dessus de quille ; sur cette droite on mesure une longueur égale à celle de la flottaison, et, par ses extrémités, on élève des *perpendiculaires* destinées à servir de repères pour toutes les mesures de longueur qu'il y a lieu de porter ultérieurement. Ces perpendiculaires passent par les points d'intersection de la flottaison avec les fonds de rablure de l'étrave et de l'étambot, que l'on considère comme les limites de la carène ; elles fixent la longueur maximum de la carène, que pour cette raison on désigne habituellement en ces termes : *longueur de perpendiculaires en perpendiculaires*. On continue le tracé en représentant les fonds de rablure de l'étrave et de l'étambot.

Les couples sont des plans verticaux perpendiculaires au diamétral ; ils se projettent sur ce plan suivant leurs traces perpendiculaires au dessus de quille.

Les *lignes d'eau* étant des plans horizontaux, leurs projections sur le plan longitudinal sont des droites parallèles à la quille ; elles sont réparties à distances égales depuis la flottaison jusqu'à la limite inférieure de la carène, qui peut être, soit le *dessus de quille*, soit le *trait inférieur de la rablure*, suivant que l'on représente la carène hors membres, ou hors bordages. Dans l'un ou l'autre cas, la *profondeur de carène* doit en effet être mesurée de la flottaison à l'une ou à l'autre de ces limites. La position de la flottaison est déterminée par sa distance à la face inférieure de la

CONSTRUCTION DES NAVIRES.

fausse quille, ou, en d'autres termes, par le *tirant d'eau*. En général, lorsqu'un navire est à flot, la quille n'est pas parallèle au plan de flottaison, et le tirant d'eau est variable avec le point de la longueur auquel il est mesuré; aussi les tirants d'eau sont-ils toujours pris aux perpendiculaires avant et arrière, et leur moyenne, ou *tirant d'eau moyen*, détermine la hauteur à laquelle est menée la flottaison *supposée parallèle à la quille*.

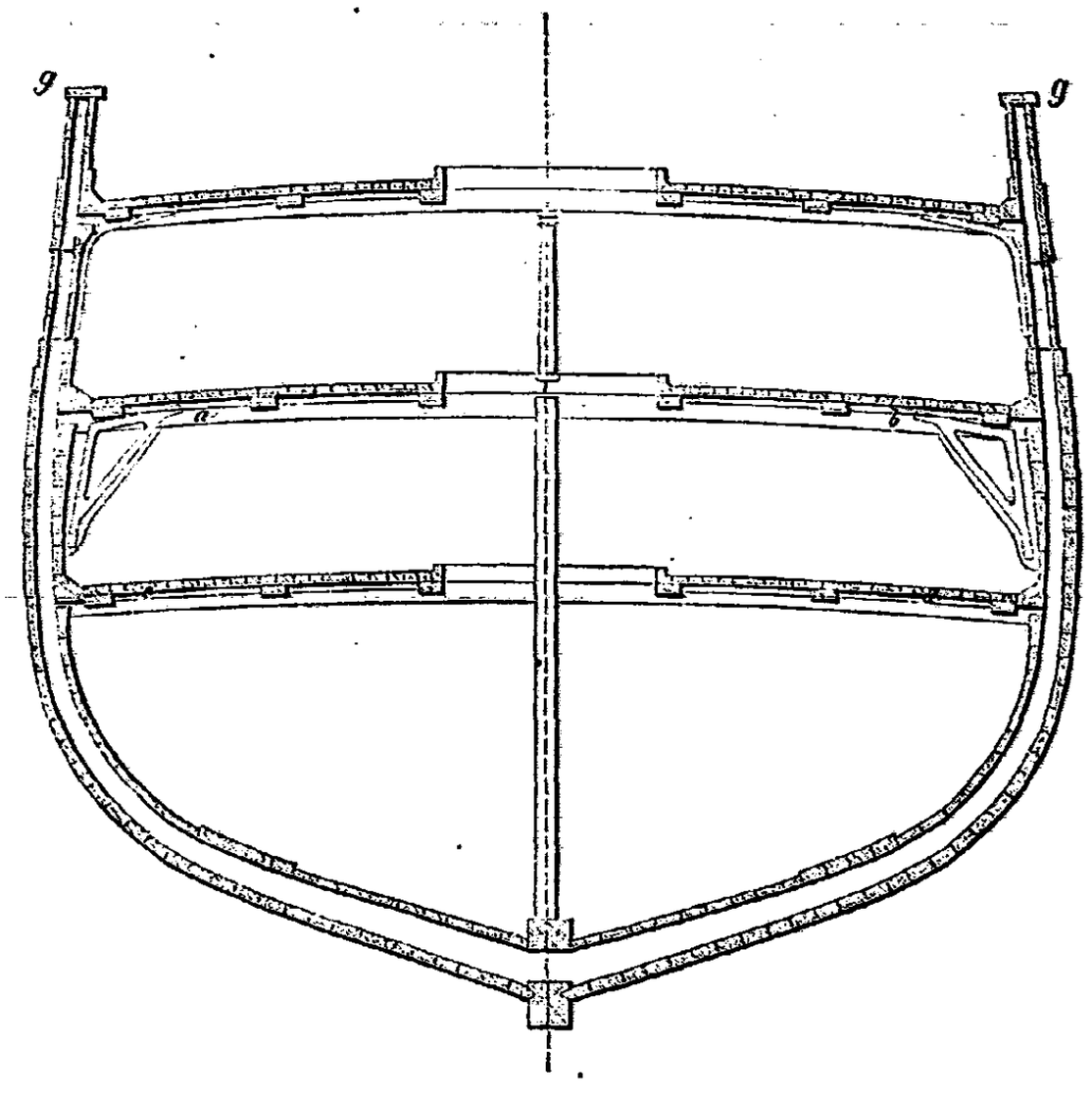


Fig. 4.

Nous n'entrerons pas ici dans plus de détails sur l'exécution des plans, qui sont une application directe des méthodes de projection.

Ils servent à guider le charpentier et sont l'œuvre de l'ingénieur qui les déduit des conditions spéciales à la construction qu'il se propose, de calculs et surtout des résultats d'expériences relatives : 1° à la *résistance des fluides;* (nous en traitons à RÉSISTANCE et à BATEAU); 2° à la *stabilité*, qui repose sur une théorie qui peut être formulée analytiquement, mais qui est trop compliquée pour que nous puissions la donner ici. Nous dirons seulement que cette dernière dépend surtout du rapport de la position de centre de gravité du navire et de celle du métacentre, du centre de gravité du volume d'eau déplacé, et enfin du moment d'inertie des masses qui composent le système flottant. (Voir le *Guide du Marin.*)

Détermination des dimensions principales de la carène. Les formes et les proportions des bâtiments de mer sont excessivement variables suivant l'usage auquel ils sont destinés. En général, le poids P du chargement est déterminé à l'avance; pour un navire de commerce, ce poids résulte principalement de celui des marchandises que l'on doit transporter; pour un navire de guerre, il résulte de l'ensemble : de l'artillerie, des munitions de guerre, des vivres, de la mâture, du gréement, et enfin de l'équipage; pour les navires à vapeur, à ces divers éléments viennent s'ajouter ceux qui sont relatifs à la machine et à l'approvisionnement de combustible. Dans tous les cas, ces différentes quantités sont connues, en sorte que si le poids P' de la coque du navire l'était également, la somme P + P' représenterait le déplacement total de la carène.

Le poids de la coque varie nécessairement avec ses formes et avec le système de sa construction; cependant on peut admettre comme un fait d'expérience, qu'il est d'environ 0,45 à 0,48 du déplacement total pour les navires du commerce de grandes dimensions; de 0,48 à 0,50 pour les grands bâtiments de guerre, et de 0,50 à 0,55 et même à 0,60 pour les navires de petites dimensions, soit de guerre, soit de commerce.

Le chargement d'un navire étant donné, on peut donc considérer le déplacement ou le volume de la carène comme déterminé, mais il reste à faire le choix de ses dimensions principales ainsi que de ses formes, en s'attachant à satisfaire aux conditions suivantes :

Assurer une stabilité suffisante, soit au point de vue statique, soit au point de vue dynamique;

Obtenir de belles marches, soit à la voile, soit à la vapeur, en atténuant, par un affinement convenable des extrémités, les résistances directes de la carène;

Opposer une grande résistance à la dérive;

Et enfin, rendre les évolutions à la voile, et principalement le virement de bord, prompts et faciles.

Ces diverses conditions ont d'ailleurs un importance plus ou moins considérable suivant le but que l'on se propose, et il en résulte des formes de carènes très-variées, très-dissemblables, suivant que telle ou telle qualité prédominante doit être recherchée.

Si on désigne par L la longueur de la carène, par *l*

CONSTRUCTION DES NAVIRES.

sa largeur, et par h sa profondeur; son volume V est égal au produit des trois dimensions, ou au parallélipipède circonscrit, multiplié par un certain coefficient de réduction R, et l'on peut écrire :

$$V = R \times L \times l \times h.$$

Pareillement, la surface S du maître-couple peut être représentée par le produit $l \times h$ multiplié par un coefficient R', et l'on aura :

$$S = R' \times l \times h.$$

Enfin, le volume de la carène peut être considéré comme égal au produit de la surface S du maître-couple, par la longueur L_1 ou au volume du cylindre circonscrit à ce maître-couple multiplié par un troisième coefficient de réduction R", ce qui donne :

$$V = R'' \times S \times L.$$

Ces coefficients R, R', R" servent habituellement à apprécier l'acuité plus ou moins grande des formes, soit du maître-couple, soit de la carène.

La profondeur de carène h est la conséquence de celle des rades, des ports ou des bassins dans lesquels le navire doit entrer; mais la surface S du maître-couple et la longueur L peuvent être prises arbitrairement. En général, il y aurait avantage à prendre S petit, afin d'atténuer la résistance directe, et en prenant en même temps une longueur suffisante, on parviendrait à avoir des extrémités aiguës très-propres à diviser la masse liquide; mais en opérant de la sorte on serait conduit à des carènes très-longues et très-étroites, qui pourraient être dépourvues de stabilité, et qui, lors même qu'elle ne seraient pas sujettes à ce défaut capital, présenteraient celui d'être tellement difficiles à manœuvrer, qu'elles ne sauraient être employées utilement à la navigation maritime : la longueur n'est donc pas entièrement arbitraire, et il convient de conserver entre cette dimension et la largeur un certain rapport λ compris entre des limites consacrées par l'expérience. Ce rapport λ étant connu, on l'introduira dans les relations précédentes, et l'on en déduira les quantités S, l et L. Il est évident d'ailleurs que, le rapport λ n'étant pas fixé d'une manière absolue, on conserve une certaine latitude dans le choix de la longueur et de la largeur; dans la plupart des cas il en sera de même pour la profondeur de carène h.

Formes de maître-couple. La longueur du bâtiment étant fixée, ainsi que la surface S du maître-couple, celui-ci est susceptible de recevoir des formes très-variées, suivant qu'il se rapproche plus ou moins du rectangle circonscrit, ou, en d'autres termes, suivant la valeur assignée au coefficient R' des relations précédentes. Si la profondeur de carène doit rester invariable, les modifications apportées aux formes du maître-couple entraînent des changements correspondants dans la largeur, changements qui seront admissibles pourvu que le rapport λ reste compris entre les limites voulues. Si, au contraire, c'est la largeur qui est fixée d'une manière définitive, les modifications apportées aux formes du maître-couple entraînent des changements dans la profondeur de carène, ou dans le tirant d'eau. Les formes spéciales du maître-couple ont d'ailleurs une influence notable sur celles de la carène et sur les qualités nautiques du bâtiment, et leur choix dépendra de la nature du service auquel le navire devra être affecté.

Supposons en premier lieu que le tirant d'eau reste constant; si l'on fait usage d'un maître-couple se rapprochant beaucoup du rectangle circonscrit (fig. 5 a, 1), on est conduit à une flottaison étroite, et à une carène qui présente de grandes capacités vers la partie inférieure; la hauteur métacentrique est peu considérable, et le moment de stabilité doit être assez faible, à moins que par une disposition particulière du chargement, on ne parvienne à abaisser beaucoup le centre de gravité; quant aux lignes d'eau, elles présentent des contours fortement accentués.

Avec un maître-couple plus affiné (a, 2, fig. 5), on peut conserver des varangues plates dans les fonds en augmentant un peu la largeur, et l'on est conduit de la sorte au type adopté par le célèbre Sané, pour les vaisseaux de ligne de l'ancienne flotte à voiles; les carènes déduites de cette espèce de maître-couple ont une bonne stabilité de forme, le centre de gravité est situé à très-peu près à la hauteur de la flottaison, et sa distance au centre de carène se trouve dans les conditions convenables au point de vue de l'amplitude et de la vivacité des roulis; l'arrimage se fait aisément et dans de bonnes conditions, enfin les formes générales de la carène assurent des évolutions promptes et faciles.

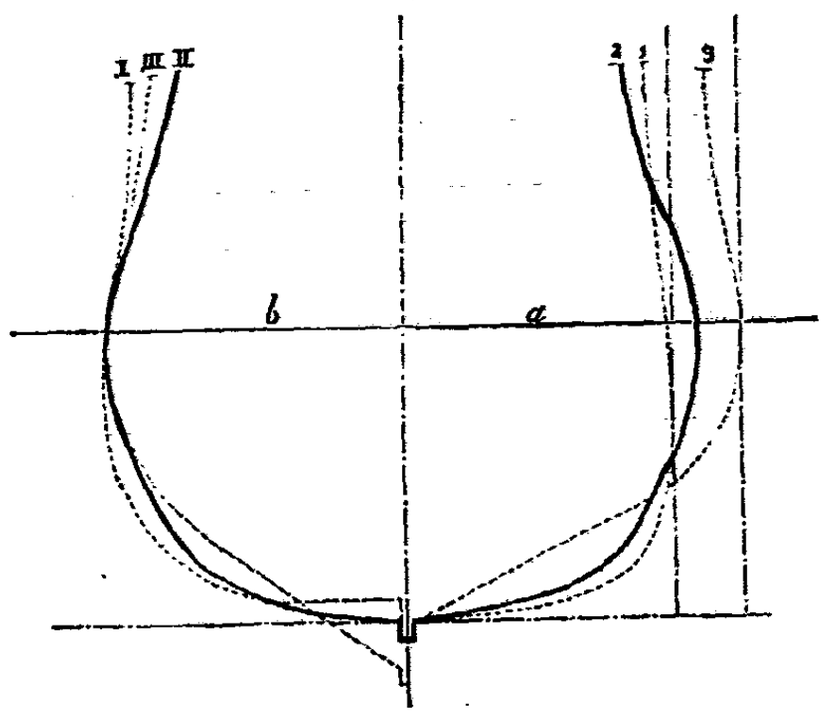


Fig. 5.

Si l'on adopte un maître-couple très-fin (a, 3, fig. 5), on est conduit à élargir notablement la flottaison; il en résulte une grande stabilité de forme ou une grande hauteur métacentrique, mais en même temps les poids placés dans la cale se trouvent plus rapprochés de la flottaison que dans les deux types que nous venons d'examiner, et il en résulte nécessairement une grande élévation du centre de gravité au-dessus du centre de carène; le moment de stabilité peut, il est vrai, rester très-suffisant pour équilibrer le moment de voilure, mais avec de semblables éléments, on doit redouter des roulis très-amples et très-vifs. En tout cas, les formes de la carène rendent difficile l'arrimage de la cale.

Lorsque l'on modifie les formes du maître-couple en conservant une largeur constante et en faisant varier le tirant d'eau (fig. 5, b, I, II, III), la hauteur métacentrique ne change pas, et les variations qu'éprouve le moment de stabilité proviennent uniquement de ceux survenus dans la position du centre de gravité; le maître-couple le plus plein donne le moindre tirant d'eau, ce qui est considéré en général comme un avantage; mais pour un navire à voiles cet avantage serait compensé par un accroissement dans la dérive. Avec un maître-couple fortement acculé, le tirant d'eau augmente et la dérive diminue; mais en même temps, par suite de la difficulté de faire l'arrimage

dans les fonds, il y a exhaussement du centre de gravité, et réduction de stabilité.

D'après ces considérations, on voit que les maîtres-couples *très-pleins* conviendraient à des navires pourvus d'une surface de voilure modérée, et dans lesquels on serait maître d'exécuter l'arrimage de la manière la plus avantageuse au point de vue de la stabilité, c'est-à-dire à des *navires de commerce;* et que les maîtres-couples d'une *acuité moyenne* sont les mieux appropriés aux navires de guerre chargés d'une puissante voilure, et dans lesquels la majeure partie des poids placés à bord occupe des positions déterminées, sans laisser la faculté de modifier à volonté la hauteur du centre de gravité. Les formes *très-fines* du maître-couple sont repoussées pour les grands navires, mais elles peuvent convenir pour des bâtiments légers, n'ayant qu'un faible chargement dans les hauts, et dans lesquels on est maître d'augmenter le tirant d'eau et d'accumuler dans les fonds les poids nécessaires pour assurer leur stabilité; dans ces conditions, on obtient de fins voiliers susceptibles des plus belles vitesses. (Voy. *Complément*, CLIPPERS.)

Nécessité des liaisons obliques. Si l'on considère un bâtiment à l'état lége, reposant sur une eau tranquille, et si on le suppose partagé, en tranches d'égale longueur et indépendantes les unes des autres, par des plans perpendiculaires au diamétral (fig. 6), chacune de ces tranches obéira individuellement à l'action des forces qui la sollicitent, c'est-à-dire de son poids et du déplacement de la portion immergée; aux extrémités avant et arrière, les poids étant notablement supérieurs aux déplacements, agissant à de grandes distances du centre, les tranches de ces parties du navire devront immerger jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli; dans la partie centrale, la poussée du liquide l'emportant sur le poids de la charpente, les tranches devront émerger. La forme primitive de la quille sera donc altérée, elle prendra une courbure plus ou moins prononcée nommée *arc*, dont la convexité sera dirigée vers la flottaison.

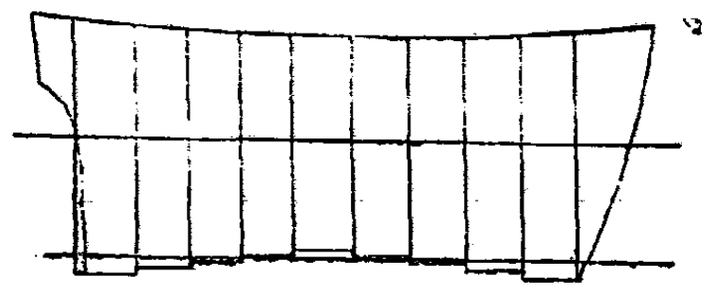


Fig. 6.

Lorsque toutes les parties du navire sont reliées entre elles comme dans les constructions ordinaires, les causes de déformation que nous venons d'indiquer ne cessent pas de subsister, et sans avoir des effets aussi complets que dans l'hypothèse où nous nous étions placés, elles produisent toujours un *arc* très-sensible. Cet arc est variable d'ailleurs avec l'état de chargement de navire; c'est au moment de la mise à l'eau, lorsque le bâtiment est complétement lége que les efforts qui tendent à le produire sont le plus considérables; aussi doit-on s'empresser de les combattre en équilibrant la poussée de la partie centrale, au moyen de lest placé soit dans la cale, soit dans les batteries; pour les vaisseaux et frégates la quantité de lest embarqué dans ce but s'élève à 5 et 600 tonneaux. A l'état d'armement complet, le déplacement est dépassé vers la partie du milieu, il est équilibré dans la partie moyenne et fortement dépassé aux extrémités; lorsque le navire est mal lié, il subit des déformations correspondantes : la quille devient concave dans la partie centrale, tandis qu'elle tombe à l'avant et à l'arrière; dans un navire solidement construit, ces déformations exceptionnelles ne sont pas sensibles, et se traduisent simplement par un arc minime. Quoi qu'il en soit, les liaisons de la charpente travaillent dans des directions variables suivant l'état du chargement et subissant des altérations successives qui vont toujours en augmentant. Dans les vaisseaux de l'ancienne flotte, lorsqu'ils étaient neufs et bien construits, l'arc s'élevait à environ 30 centim. à l'état de chargement complet; mais il augmentait rapidement, et atteignait souvent 60 centimètres après un certain temps de service.

Lorsque l'arc est fortement prononcé, il altère d'une manière fâcheuse les formes du navire, qui perd ses qualités de marche; mais en outre il entraîne la déliaison de la charpente, au point de rendre le calfatage impossible, et quand les choses en sont arrivées à cet état, le navire doit forcément être condamné. Depuis longtemps l'attention des constructeurs s'est portée sur les moyens de résister aux efforts qui tendent à arquer les bâtiments : du Hamel Dumonceau, Bouguer, Groiguard, Chapman, se sont occupés de cette importante question, et, quoique à des époques différentes, l'ont considérée à peu près au même point de vue; ils ont remarqué que lorsqu'un navire prend de l'arc, les couples et les bordage croisés primitivement à angle droit, de manière à former des éléments rectangulaires, changent de direction, en sorte que ces éléments se transforment en parallélogrammes. Ils proposèrent en conséquence de combattre cette déviation angulaire en interposant dans les rectangles élémentaires, des diagonales rigides, de former comme dans la charpente des toitures, des triangles dont la forme est invariable.

Du Hamel Dumonceau et les ingénieurs de son époque réalisèrent cette condition en dirigeant le vaigrage sous une inclinaison de 45° par rapport à la membrure, dans toute la partie comprise entre les sous-bauquières de la batterie, et les vaigres d'empature. Chapman établit ses diagonales dans le plan diamétral, à l'intérieur des quadrilatères formés par les épontilles, la carlingue, et une forte hiloire renversée placée sous les baux. Bouguer emploie une disposition semblable, avec cette différence que ses diagonales sont en fer et constituent de véritables *tirants*, tandis que celles de Chapman sont en bois et travaillent par compression. En 1846, Robert Sepping, constructeur anglais, produisit également un système de charpente, basé sur les considérations que nous venons d'indiquer; il supprimait le vaigrage de la cale depuis la sous-bauquière de la batterie jusqu'à la carlingue, et le remplaçait par un réseau de porques obliques, croisant la membrure sous des angles de 45°, et consolidés en outre par des séries d'entretoises horizontales. L'ensemble de ces porques constituait comme une deuxième charpente superposée à la première, et devait sans contredit lui donner une plus grande rigidité que les revêtements intérieurs ordinaires. L'expérience démontra en effet que les bâtiments construits dans le système de Robert Sepping étaient doués d'une solidité supérieure; mais ce résultat avantageux ne doit pas être attribué uniquement à l'effet des liaisons obliques, et il provenait également de perfectionnements d'un autre ordre apportés aux différentes parties de la charpente, et parmi lesquels il convient de citer particulièrement les remplissages des fonds, dont ce constructeur fut un des premiers à faire usage.

Les remplissages des fonds ne s'opposent pas aux déformations angulaires telles que nous les avons définies tout à l'heure, mais ils n'en résistent pas moins très-efficacement à l'arc; en effet, un navire qui se déforme peut être assimilé à un corps prismatique sollicité à la flexion et dont les fibres supérieures

s'allongent, tandis que les fibres inférieures sont comprimées; si l'on s'oppose à l'un ou l'autre de ces effets, ou à tous les deux à la fois, on empêche soit partiellement, soit complétement la flexion de se produire. Or il est évident que les remplissages des fonds résistent énergiquement à la compression, et qu'ainsi ils contribuent pour une forte part à la réduction de l'arc. Quoi qu'il en soit, le système *diagonal* de Robert Sepping a joui en Angleterre d'une certaine faveur et il en a été fait application sur un grand nombre de bâtiments de la marine militaire; il fut introduit en France, vers 1822, par M. Boucher, ancien inspecteur général du génie maritime, qui, profitant de l'accroissement de solidité résultant de l'emploi de porques obliques, réduisait l'échantillon de la membrure de la basse carène, et parvenait ainsi à construire des vaisseaux avec des bois n'ayant que l'échantillon ordinaire des frégates. Mais ce système présentait l'inconvénient d'augmenter notablement la main-d'œuvre et était sujet à plusieurs défauts, en sorte qu'il a bientôt été abandonné.

Vaigrage oblique et lattes en fer. Actuellement on dispose le vaigrage obliquement en lui donnant la direction convenable pour qu'il travaille par compression, et on le croise par des lattes en fer plat dirigées dans le sens de la traction. Ce mode de liaison a d'abord été employé pour les bâtiments à voiles, dont les formes ne permettaient pas de le disposer d'une manière bien efficace; mais il a pris une importance capitale dans la construction des bâtiments à vapeur qui exigeaient des moyens de consolidation exceptionnels à cause de leur grande longueur et des larges ouvertures qui interrompent leur ponts.

Les lattes placées sur vaigrage ont été primitivement fixées à la charpente, au moyen de chevilles en fer, que l'on était obligé de river sur membrures, afin d'éviter leur contact avec le doublage, contact qui aurait entraîné leur prompte oxydation; cette disposition occasionne des difficultés que l'on a évitées en faisant usage de chevilles en cuivre rivées sur bordé. Ces chevilles ne subissent aucune altération et ne provoquent pas d'oxydation exceptionnelle dans les lattes qui ne sont pas baignées par l'eau de mer; en outre, elles contribuent à la tenue du bordé de la carène. Actuellement on obtient de très-bons résultats en fixant les lattes au moyen de vis à bois, à bout perdu dans la membrure.

Les lattes en fer placées par-dessus le vaigrage ne travaillent pas d'une manière complétement satisfaisante; elles résistent par extension, et par suite dans la partie inférieure de la cale, où leur courbure est assez prononcée, elles peuvent se redresser entre les points qui fixent à la coque, et laisser ainsi un certain jeu aux déformations qui tendent à se produire. Pour être dans des conditions tout à fait avantageuses à leur mode d'action, les lattes devraient être placées sur la surface extérieure de la charpente; dans ce cas la traction qu'elles éprouveraient les appliquerait de plus en plus sur la membrure sans altérer leur forme primitive. Cette disposition a été quelquefois adoptée, mais elle présente certaines difficultés; ainsi elle exige que le parage soit exécuté extérieurement sur toute la hauteur occupée par les lattes, ce qui entraîne l'enlèvement de plusieurs lisses et de

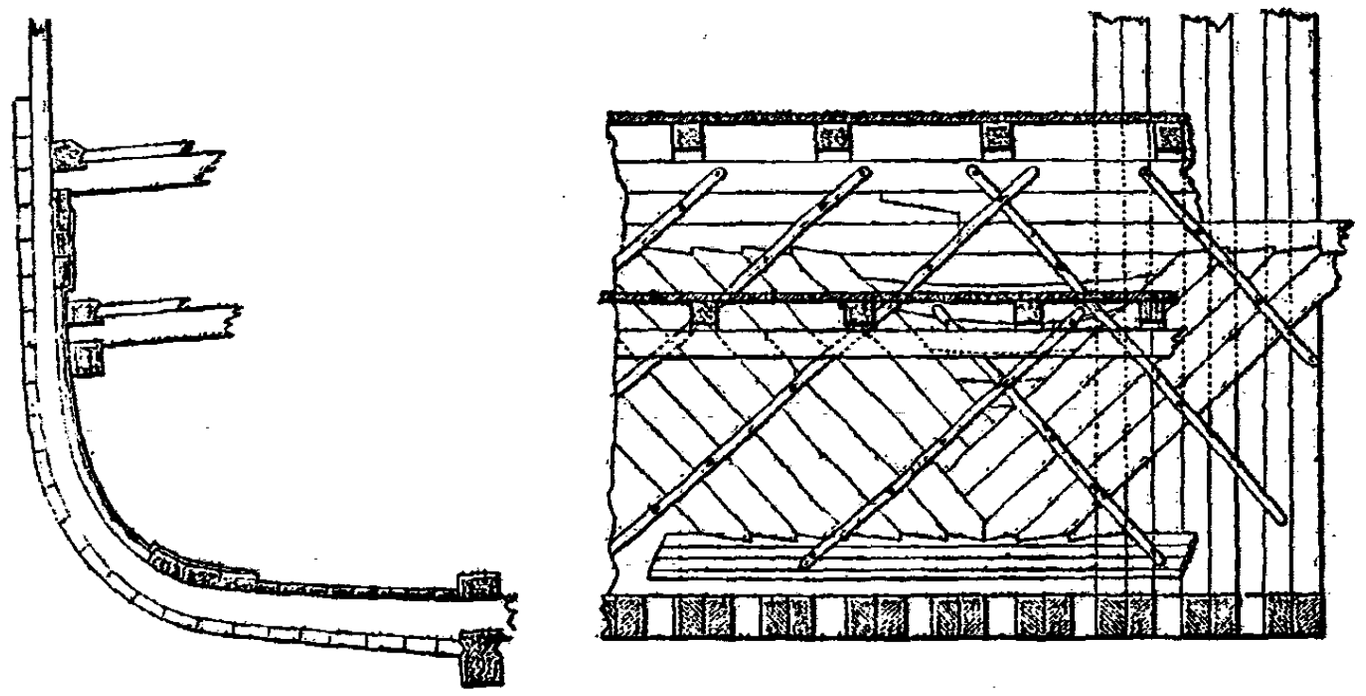


Fig. 7.

plusieurs rangées d'acores à la fois; pour les grands bâtiments il pourrait en résulter des déformations sensibles; pour les petits navires ce danger est moins à craindre, on peut se contenter de les acorer par les petits fonds, lorsque les revêtements intérieurs sont en place, et l'on peut alors leur appliquer des lattes extérieures, s'étendant depuis le plat bord jusqu'au bout de la varangue, ce qui est bien suffisant pour donner de bonnes liaisons. Ce système a été employé dans nos arsenaux pour plusieurs canonnières de première classe; M. Normand, constructeur au Havre, en fait également usage pour des navires de trois à six cents tonneaux.

De la voiture. On détermine la voilure d'un bâtiment dans le but de lui imprimer la plus grande vitesse possible: or la force impulsive étant proportionnelle à la surface S de la voilure, et la résistance

de la carène étant de son côté proportionnelle à la surface B^2 du maître-couple, ce sera le rapport de ces deux surfaces, ou $\frac{S}{B^2}$ qui donnera une idée de la vitesse, que des voilures données imprimeront à des bâtiments de même espèce. D'un autre côté on n'est pas maître de placer sur un navire déterminé une surface de voilure arbitraire, il faut que le moment de stabilité soit assez grand pour équilibrer le moment de la voilure, sans qu'il en résulte d'inclinaisons trop considérables. Cette condition limite à la fois la surface S, et la hauteur H de son centre de gravité.

Quant à la position du centre de voilure dans le sens de la longueur, elle doit être fixée de telle manière que, les voiles majeures étant établies par un temps moyen, le bâtiment se trouve sensiblement équilibré, qu'il ne soit ni mou ni ardent, et conserve une direction constante, sans que l'on ait besoin de recourir au gouvernail, ou de modifier l'état de la voilure, ce qui, dans l'un ou l'autre cas, serait toujours nuisible à la vitesse. Ce résultat dépendra des positions relatives du centre de voilure et du *centre de résistance* de la carène; mais comme celui-ci n'est pas connu, on se contente de mesurer la distance du centre de voilure, à la verticale passant par le milieu de la flottaison, et l'on admet que pour des voilures *bien balancées*, le rapport de cette distance à la longueur totale du navire doit rester compris entre des limites déterminées. Lors donc que la surface de la voilure et son moment d'inclinaison auront été convenablement calculés, il restera à assigner à son centre de gravité la position convenable dans le sens de la longueur; à cet effet on peut faire varier la surface des voiles afférentes à chaque mât, ou plutôt faire varier la position des mâts eux-mêmes en les reportant plus de l'avant, ou plus de l'arrière, suivant les conditions à remplir. (Voyez VOILURE.)

Proportions de la voilure pour les bâtiments à voiles. Les dimensions de la voilure sont déduites de celles des mâts et des vergues, qui ont été fixées pendant longtemps, pour les bâtiments de l'ancienne flotte, par un règlement ministériel daté de 1835. D'après ce règlement, la valeur de $\frac{S}{B^2}$ était : de 30 à 33 pour les vaisseaux, de 37 à 40 pour les frégates, de 42 à 45 pour les corvettes, et s'élevait jusqu'à 63 pour les navires de rang inférieur. Les voilures considérables des petits bâtiments paraîtraient devoir leur assurer de grandes vitesses, et en effet par beau temps et sur une mer unie, ils ont une marche supérieure et peuvent servir d'éclaireurs à une armée navale; mais par grosse mer ils perdent tous leurs avantages; la résistance qu'ils éprouvent par suite du choc des lames est beaucoup plus considérable que pour les grands navires, et c'est à peine si, avec leurs voilures exagérées, ils peuvent marcher de conserve avec les vaisseaux. La distance du centre de voilure en avant du milieu est comprise entre 0,040 et 0,066 de la longueur totale de la flottaison; ces limites sont assez écartées sans doute, mais l'expérience démontre qu'elles sont convenablement en rapport avec les besoins de la manœuvre.

Voilure des bâtiments du commerce. Les bâtiments de la marine marchande étant établis pour des services très-dissemblables, il en résulte nécessairement de grandes variétés dans les proportions de leurs voilures, et il est impossible de donner aucune règle uniforme sur la manière dont elles sont déterminées; il y a lieu d'observer cependant que, pouvant rentrer à leur port expéditeur, sans fret de retour, ils doivent être susceptibles de porter leur voilure à l'état lège, ou tout au moins, en n'embarquant qu'une quantité de lest modérée; cette condition conduit à des surfaces de voilures inférieures à celles qui résulteraient de leur stabilité en pleine charge; ces surfaces réduites sont d'ailleurs moins onéreuses que les surfaces plus développées, parce qu'elles exigent un équipage moins nombreux. Suivant la pratique des constructeurs français, la surface de voilures des navires de 600 tonneaux, les plus employés pour la navigation au long cours, est mesurée à raison de $0^{m.q.},80$ à $0^{m.q.},90$ par tonneau de déplacement; ce qui revient à 27 ou 30 fois la surface du maître-couple, proportion très-modérée eu égard à la grandeur de ces navires. Pour les petits bâtiments, des raisons d'économie, conduisent à employer des voilures plus réduites encore, aussi n'ont-ils que de médiocres vitesses par tous les temps.

Dans la marine marchande américaine, la mâture a été l'objet de soins tout particuliers, tant au point de vue des vitesses du bâtiment qu'à celui de la facilité de la manœuvre. Sur les clippers de grande dimension, la surface de la voilure atteint jusqu'à 42 fois celle du maître-couple, chiffre très-élevé, si on le compare à celui que nous indiquions tout à l'heure pour les navires français; ce résultat important provient de ce que ces navires ayant plus de longueur pour une même section transversale, leur moment de stabilité reçoit, par cela même, un accroissement correspondant. Sur les transports ordinaires de la marine américaine, les surfaces de voilures restent proportionnées sensiblement de la même manière que dans nos navires du commerce.

NAVIRES EN FER.

Premiers navires en fer. La première idée des bâtiments en fer est due à l'Angleterre et remonte déjà à une époque assez reculée; M. Grautham, dans son *Traité des bâtiments en fer*, cite un écrit de 1787 dans lequel il est fait mention d'un bateau en tôle, construit par M. Wilkinson, directeur des fonderies de Bradley, et employé sur un canal à transporter les produits de son usine. L'usage de semblables bateaux n'a pas tardé à se généraliser sur les canaux; mais le premier *navire à vapeur en fer* date d'une époque beaucoup plus récente : ce fut le *Aaron Manby*, construit par MM. Horsley et C^e^ du Straffordshire, et destiné à naviguer sur la Seine, entre Paris et Saint-Cloud; il arriva à Paris commandé par le capitaine Napier (devenu depuis le célèbre amiral Napier), et accomplit sa première traversée en juin 1822. Depuis lors les constructions en fer prirent d'abord une certaine importance, bien que limitées aux bateaux à vapeur de rivières, et ce n'est qu'en 1838 qu'il en a été fait application aux bâtiments marins. Les navires en fer se sont ensuite rapidement multipliés, surtout dans la marine à vapeur, à laquelle ils conviennent tout particulièrement, et paraissent appelés à acquérir une importance de plus en plus considérable.

Caractères propres aux bâtiments en fer. Le caractère particulier des bâtiments en fer consiste dans la disposition spéciale des revêtements extérieurs, dont les virures, au lieu d'être simplement juxtaposées et réunies par les couples, comme dans les bâtiments en bois, sont directement liées les unes aux autres le long de leurs arêtes longitudinales à l'aide de nombreux rivets. Constitué de la sorte, le bordé pourrait déterminer à lui seul les formes de la carène, si l'on voulait lui donner une épaisseur suffisante pour résister aux poussées extérieures, et la membrure ne serait pas indispensable; cependant il est nécessaire de la conserver afin d'augmenter la rigidité des murailles, et de répartir convenablement les pressions provenant soit des ponts, soit des machines qui reposent sur les fonds du navire.

CONSTRUCTION DE NAVIRES.

Poids de la coque. Dans les navires en fer on peut faire travailler utilement tous les matériaux employés, et les faire concourir à la solidité de l'ensemble de la construction. Le bordé, en quelque sorte d'une seule pièce, oppose une résistance considérable aux flexions longitudinales; les membrures sont très-résistantes, quoique d'un faible volume, et enfin les liaisons transversales s'exécutent avec la plus grande facilité : aussi les bâtiments en fer présentent-ils une rigidité inconnue dans les navires en bois, quoique leur poids de coque, comparé au déplacement, reste notablement inférieur à celui de ces derniers. Ce poids de coque lui-même varie d'ailleurs entre des limites assez étendues : il est compris entre 25 et 48 pour 100 du déplacement total, suivant l'échantillon des matériaux dont il est fait usage. Les navires les plus légers sont construits avec des tôles de faible épaisseur; ils peuvent avoir une solidité très-suffisante, pourvu qu'ils soient exécutés avec soin; mais les effets de l'oxydation y sont très-sensibles, et leur durée doit nécessairement en être affectée. Les navires plus pesants comportent des tôles plus épaisses; ils n'exigent pas une exécution aussi soignée, et résistent plus longtemps aux effets de l'oxydation. Cependant, pour obtenir de bons résultats, il n'est pas nécessaire d'exagéger l'échantillon des matériaux; il est bien préférable d'apporter un peu plus de précision dans les différents assemblages, et l'on peut alors facilement obtenir des coques très-solides, dont le poids ne dépasse pas 36 pour 100 de déplacement total. Ce poids de coque est très-faible relativement à celui des bâtiments en bois, et constituerait déjà un avantage très-marqué pour les bâtiments en fer; mais de plus, l'épaisseur du bordé étant réduite à quelques millimètres, et celle de la membrure étant également très-restreinte, il en résulte que, à déplacement égal, l'épaisseur de la muraille est beaucoup moindre, et la capacité de la cale notablement plus grande que celle d'un bâtiment en bois, et c'est là un nouvel avantage qui ne le cède pas au premier.

Avantages et inconvénients des bâtiments en fer. En résumé, les bâtiments en fer jouissent d'une très-grande solidité, que le constructeur est maître d'augmenter, en quelque sorte, à son gré; le poids de coque est moindre, et les capacités de la cale sont plus considérables que dans les navires en bois de même déplacement. Quant à leur durée, elle a d'abord été mise en question, et l'on redoutait qu'elle ne fût très-limitée par suite des effets de l'oxydation sur les tôles constamment en contact avec l'eau de mer; mais l'expérience a bientôt démontré que ces craintes étaient exagérées : l'oxydation s'opère lentement et également sur toute la surface de la tôle, et l'on peut, d'ailleurs, la prévenir, au moins en grande partie, en ayant soin de peindre au minium toutes les parties immergées de la carène, et d'entretenir cette peinture en bon état. Grâce à ces précautions, la durée des bâtiments en fer est en quelque sorte indéfinie, et des navires ayant plus de vingt ans d'existence font actuellement un excellent service, sans présenter aucun signe de détérioration ou de décrépitude : la longue durée de la coque doit donc être rangée au nombre des avantages propres aux navires en fer.

A côté de ces avantages considérables, on doit cependant signaler un défaut qui n'est pas sans gravité : ce défaut consiste dans le peu de résistance opposé par le bordé aux chocs extérieurs; ainsi les projectiles y produisent de tels dégâts que, pour cette seule raison, les navires en fer ordinaires, sont dans l'impossibilité de prendre part à un combat. Dans le cas d'un échouage sur une roche dure, les tôles du bordé éprouvent des déchirures larges et profondes, susceptibles de faire couler le navire en peu d'instants : sous ce rapport les navires en fer sont inférieurs aux navires en bois à fonds pleins, qui peuvent impunément perdre une partie de leur quille ou de leur bordé. Le seul moyen de remédier à ce grave défaut consiste à partager la cale en plusieurs compartiments par des *cloisons étanches*, s'étendant d'un bord à l'autre, dans toute la partie située au-dessous de la flottaison; ces compartiments sont indépendants, ou tout au moins ne communiquent que par des ouvertures de faibles dimensions que l'on peut fermer à volonté, en sorte que si une voie d'eau se déclare, on est maître de la circonscrire dans le compartiment où elle s'est produite, et le bâtiment continue à naviguer sans danger jusqu'à ce qu'il ait atteint un port où l'on puisse le réparer.

Membrure, quille et carlingues. La membrure est composé de *fers d'angle* ou *cornières* pliés et équerrés à chaud, suivant les gabarits et équerrages relevés à la manière ordinaire : les cornières étant fort longues, deux ou trois au plus suffisent pour former un couple de la plus grande dimension; on les réunit alors par des empâtures de 1 mètre à 1m,30, fortement rivées l'une sur l'autre; on peut également les faire simplement butter bout à bout, en les réunissant ensuite par des gardes ou éclisses en fer, qui jouent le même rôle que les croisements des empâtures.

Dans les fonds, les couples sont consolidés par une varangue consistant en une tôle verticale cloué sur le côté de la cornière; la hauteur de la varangue est plus ou moins considérable, suivant la grandeur du navire; mais dans tous les cas elle diminue progressivement, pour se réduire à rien à la naissance des façons de la carène. Dans les navires de grande dimension, la varangue est consolidée à la partie supérieure par une *cornière renversée*, placée à l'opposé de celle qui forme le couple; cette cornière est prolongée ensuite au delà de la varangue, et vient se river le long de la face verticale de la cornière du couple, en sorte que la section transversale de celui-ci affecte la forme d'un Z (*fig.* 8 *b*). Pour les petits bâtiments, la cornière renversée s'arrête à l'extrémité de la varangue, et dans la partie haute, la membrure est composée d'une cornière simple *a*.

Les varangues des couples sont exécutées dans deux systèmes différents; dans le premier elles croisent la quille à la manière ordinaire, tandis que dans le second elles sont séparées, ainsi que les couples, en deux branches égales, réunies après coup dans le plan diamétral.

Dans le premier cas (*fig.* 8, A) on emploie généralement des quilles pleines en fer forgé, ou composées de plusieurs épaisseurs de tôles jointives et réunies par des rivets; les couples ne font que poser sur la quille, leur jonction est opérée par les galbords pliés à peu près à angle droit, et dont un des côtés s'applique sur leur surface extérieure, et l'autre sur la face verticale de la quille. Dans ce système, les couples sont réunis en outre par des carlingues de différentes formes; la plus usitée actuellement est une *carlingue intercalaire*, *ab* (*fig.* 8, A), composée de plusieurs tôles verticales, intercalées à la file les unes des autres entre les varangues avec lesquelles elles sont reliées par des cornières verticales, *c d*; ces tôles dépassent les varangues à la partie supérieure, et leurs prolongements sont réunis à l'aide de deux fortes cornières longitudinales rivées l'une par l'autre, et rivées individuellement avec les cornières renversées des couples. Les carlingues intercalaires présentent une grande résistance à la compression et procurent une consolidation puissante sans empiéter sur les capacités de la cale.

Lorsque les varangues sont interrompues dans le plan diamétral, la quille, proprement dite, peut être complétement supprimée; elle est remplacée par une

CONSTRUCTION DE NAVIRES.

tôle dirigée dans le plan diamétral, qui joue à la fois le rôle de la quille et celui de la carlingue (*fig.* 8, B); cette tôle reçoit une hauteur au moins égale à celle des varangues qui viennent s'y fixer à l'aide de fers d'angle verticaux; des rivets placés dans ces fers

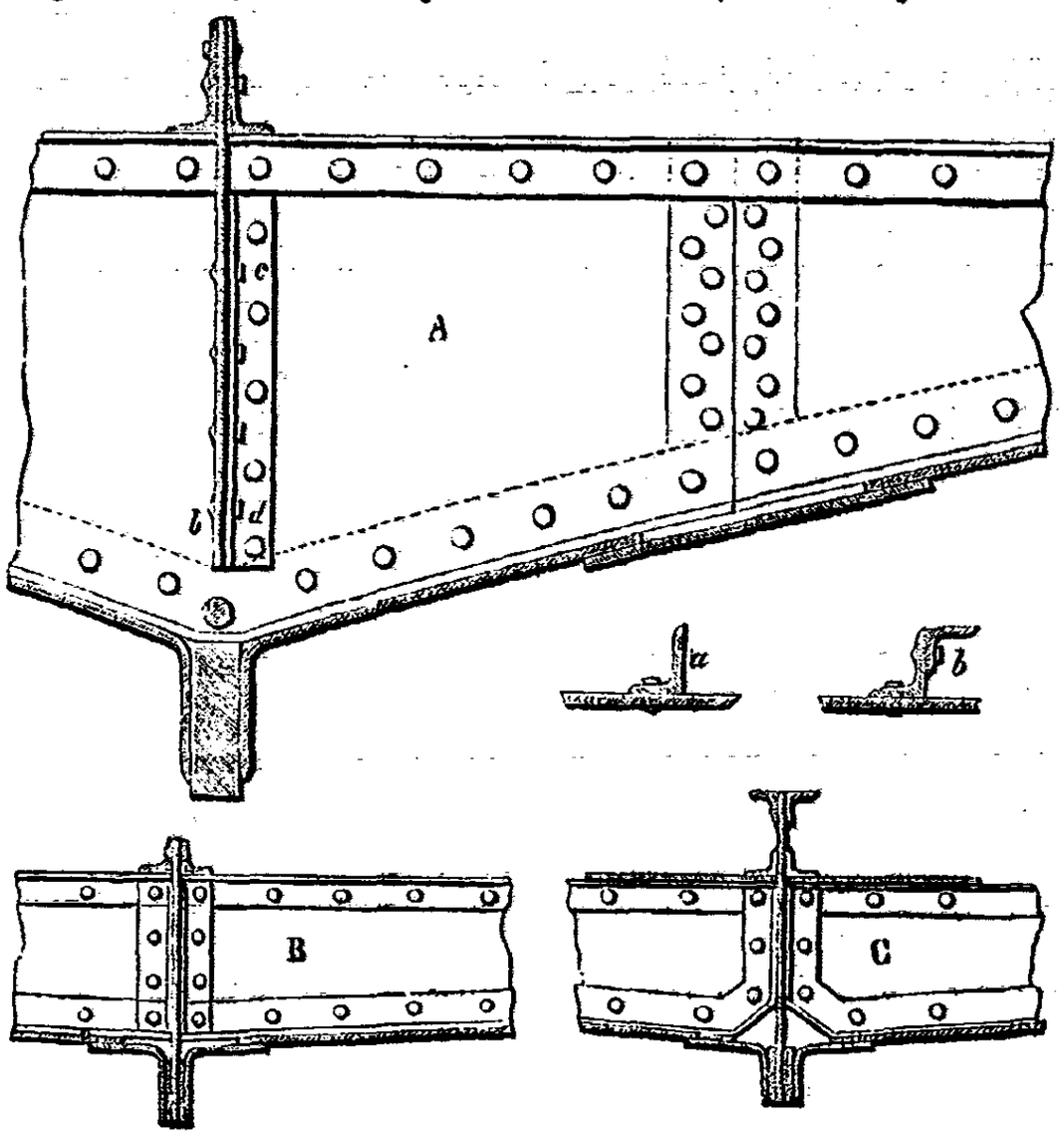


Fig. 8.

d'angle réunissent les deux moitiés de la varangue, en même temps qu'ils assujettissent et consolident la tôle centrale. Quelquefois la saillie extérieure de la quille est complétement supprimée, ce qui présente l'avantage de supprimer en même temps les galbords pliés, qui sont d'une exécution difficile et exigent des tôles d'une qualité supérieure. Le plus ordinairement, toutefois, on conserve une quille saillante formée par le prolongement de la tôle centrale, et, dans ce cas, il convient de la consolider par des tôles placées latéralement, afin qu'avec les galbords elle présente un ensemble assez rigide pour résister aux échouages. La carlingue, constituée ainsi que nous venons de l'expliquer, présente une grande hauteur et jouit d'une résistance considérable que l'on est maître, d'ailleurs, d'augmenter encore en la prolongeant au-dessus des varangues, et en la consolidant à l'aide de cornières adossées et rivées sur les couples : si ce prolongement reçoit une certaine étendue, on peut même ajouter à sa partie supérieure deux cornières renversées qui lui donnent encore un surcroît de solidité (*fig.* 59, C). Il est à remarquer que dans ce système on peut, sans inconvénient, abattre un onglet à l'angle inférieur de chaque demi-varangue, et établir ainsi une facile circulation pour les eaux de la cale, le long de la carlingue et du bordé.

Indépendamment de la carlingue centrale, on dispose souvent des carlingues latérales dans le but de consolider les fonds du navire; on en place deux de chaque bord : une à l'extrémité de la varangue, et l'autre à moitié-distance entre celle-là et le plan diamétral. Dans les petits navires, les carlingues latérales sont composées simplement de deux cornières adossées, rivées l'une sur l'autre suivant leur côté vertical, et rivées par leur côté horizontal sur les cornières renversées des couples. Dans les grands navires, ces carlingues sont dans le système *intercalaire*, tel que nous l'avons décrit pour la carlingue principale.

Des baux. La structure des baux varie avec les efforts qu'ils doivent supporter. Pour les ponts lourdement chargés, ils se composent d'une bande de tôle centrale, armée à ses arêtes supérieures et inférieures de deux cornières adossées (*fig.* 9, *a*); les cornières supérieures sont indispensables pour recevoir le bordé qui est toujours en bois et assujetti au moyen de vis mises par dessous les cornières; la tôle centrale est formée, autant que possible, d'une seule longueur; actuellement les usines métallurgiques fournissent sans difficulté des tôles préparées pour cet usage, même dans les plus fortes dimensions.

Pour les baux d'une importance moindre, on emploie très-avantageusement des fers préparés, présentant à l'arête inférieure un renflement ou boudin *b*, suffisant pour donner à cette partie la rigidité nécessaire; on se contente alors de placer deux cornières à la partie supérieure. On emploie aussi quelquefois des fers façonnés en forme de T (*o*), qui présentent par eux-mêmes les dispositions convenables pour l'établissement du bordé, et qui dispensent de tout travail d'assemblage; mais les fers de cette espèce sont toujours d'assez faibles dimensions et ne conviennent que pour de petits navires, ou en général pour des ponts peu chargés. Enfin, dans des cas exceptionnels, et pour de très-petits navires, les baux peuvent être formés par une cornière simple.

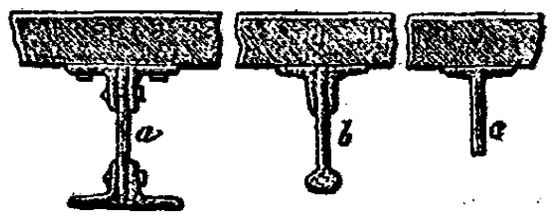


Fig. 9.

Liaison des baux avec la muraille. Lorsque l'on fait la distribution des baux, il convient de faire concorder leur écartement avec celui de la membrure, afin que le plan diamétral de chacun d'eux puisse toujours venir s'appliquer contre la face plane d'un couple. Les baux légers sont reliés à la muraille à l'aide d'une équerre en fer, rivée sur le bau lui-même et sur le couple (fig. 10, *a*); les baux à deux cornières peuvent être fixés de la même manière, cependant il est à la fois plus élégant et plus solide de remplacer

CONSTRUCTION DE NAVIRES.

l'équerre en tôle rapportée, par un élargissement pratiqué sur le bout du bau lui-même et qui remplit exactement le même objet que l'équerre qu'il remplace; ces baux sont en outre réunis par une virure de tôle placée à plat par-dessus, et nommée *tôle gouttière*, par analogie avec les virures des gouttières des bâtiments en bois, dont elle occupe la position; cette virure de gouttière est quelquefois prolongée entre les couples, jusqu'au bordé extérieur auquel elle est reliée par de petits bouts de cornières; d'autres fois on se contente de l'arrêter au contact des couples, avec lesquels on la relie encore à l'aide d'une cornière longitudinale, rivée sur les cornières renversées s'il en existe, ou sur de petits bouts de cornières renversées, disposés spécialement pour établir cette

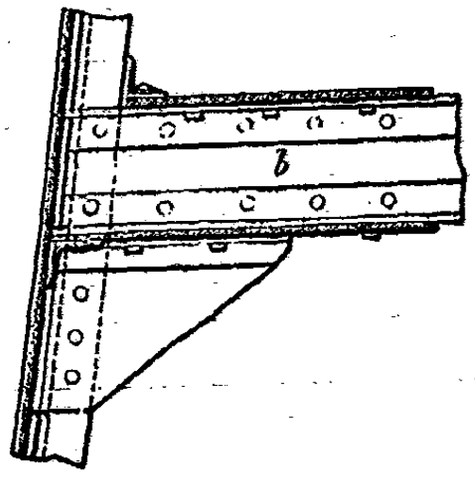


Fig. 11.

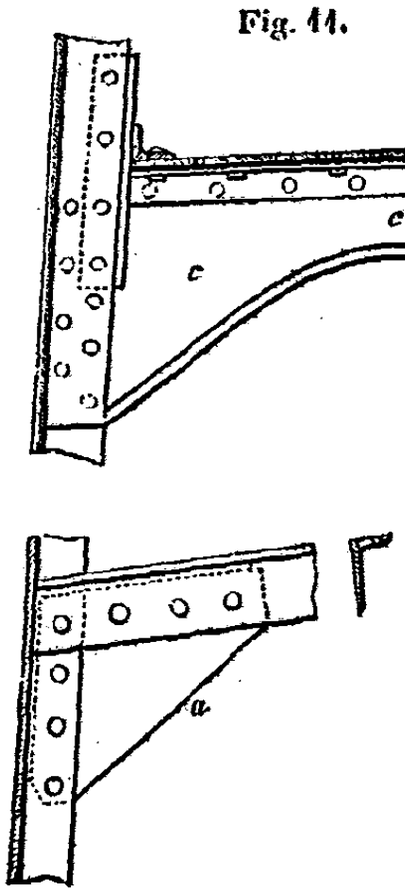


Fig. 10.

jonction (fig. 10, *c*). Pour les baux à quatre cornières, qui appartiennent aux ponts les plus lourdement chargés et à des navires qui fatiguent beaucoup, on multiplie les moyens de liaison; ils sont d'abord soutenus par une tôle formant *bauquière*, régnant sur toute la longueur du navire et réunie à la muraille par des bouts de cornière; à leur partie supérieure est fixée une virure de gouttière, et enfin sous chacun d'eux est placée une équerre en tôle clouée d'une part sur la face latérale d'une couple, et de l'autre sur la tôle bauquière ou plutôt sur la face inférieure du bau, par l'intermédiaire d'un bout de cornière horizontale (fig. 11, *b*). Les baux à quatre cornières peuvent d'ailleurs être réunis à la muraille à l'aide d'un élargissement pratiqué à l'extrémité de la tôle centrale; dans ce cas, les cornières inférieures suivent leur profil, et il serait bon que l'une d'elles formât la continuation de la cornière renversée du couple.

Il n'est pas fait usage de liaisons obliques dans les bâtiments en fer; la grande rigidité du bordé de carène les rend inutiles; cependant, et surtout dans les grands navires, on ne néglige aucun moyen d'augmenter les liaisons longitudinales: ainsi on renforce quelquefois la muraille au moyen de ceintures intérieures réparties de distance en distance dans la partie verticale, et composées chacune d'une virure de tôle rivée sur les cornières renversées des couples, et consolidée par des cornières aux arêtes supérieures et inférieures. Dans les fonds, les efforts de flexion sont combattus par les carlingues centrales et latérales; enfin, au nombre des liaisons longitudinales on doit encore compter les tôles bauquières et les gouttières, qui résistent très-efficacement à la flexion; quelquefois, dans le seul but d'augmenter cette résistance, on ajoute encore par-dessus les baux des bandes de tôle dirigées obliquement d'un bord à l'autre. Enfin, dans quelques grands navires, et toujours pour augmenter les résistances à la flexion, on a pris le parti de placer un bordé général en tôle, soit par-dessous les baux, soit par-dessus, sans préjudice toutefois du bordé ordinaire en bois qui est toujours conservé.

Du bordé; différentes espèces de joints. Le bordé extérieur est composé de feuilles de tôle, auxquelles on conserve le plus de longueur possible, tout en leur donnant une largeur modérée, afin qu'elles puissent suivre sans difficulté les façons de la carène; les abouts des pièces composant une même virure de bordé sont réunis deux à deux par une bande de tôle de même épaisseur, qui les recouvre l'une et l'autre de quantités égales, et rivée avec chacune d'elles par un ou deux rangs de rivets (fig. 12, *a*, *b*).

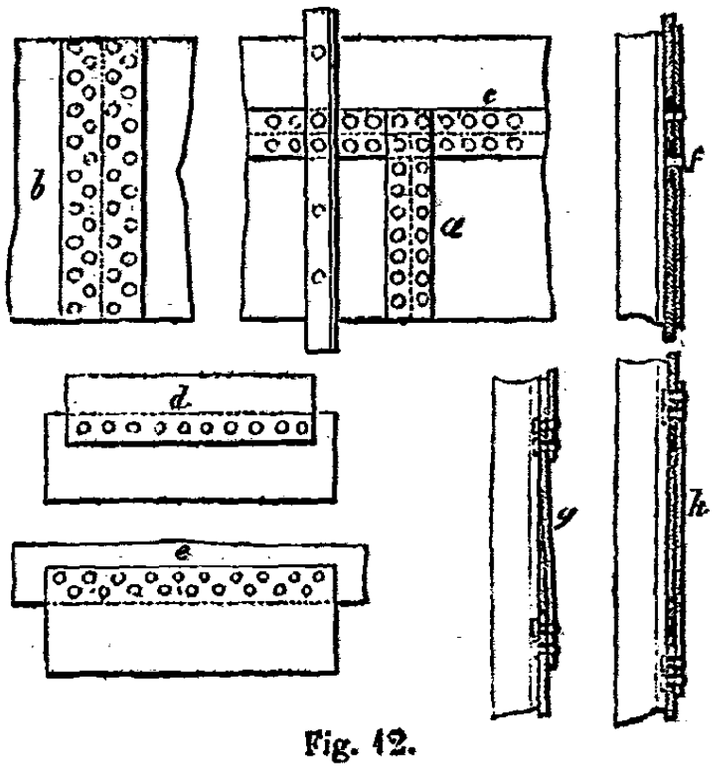


Fig. 12.

Les joints des virures consécutives sont formés de différentes manières: les tôles peuvent butter simplement arête contre arête, et dans ce cas elles sont réunies par une bande longitudinale *c*, placée intérieurement et rivée sur chacune d'elles, comme les bandes des joints verticaux. Ce système constitue le bordé à

franc bord; il donne à l'extérieur une surface lisse et continue, mais à l'intérieur les bandes de recouvrement forment des saillies qui empêchent le bordé de porter directement sur la membrure; les bandes seules sont en contact avec les couples, et entre ceux-ci et le bordé il reste des espaces vides, égaux à une épaisseur de tôle; pour fixer convenablement le bordé à la membrure, il est nécessaire d'interposer des cales dans ces vides (fig. 12, *f*), afin que les rivets de jonction ne fassent pas gondoler les tôles.

Les joints à franc bord, lorsqu'ils sont exécutés avec soin, présentent une grande résistance à la flexion longitudinale; aussi les emploie-t-on de préférence pour la partie haute, ou pour les œuvres mortes des bâtiments en fer.

Les virures de bordé peuvent également se recouvrir mutuellement de certaines quantités, à la manière des *bordés à clins* ordinaires (fig. 12, *d*, *e*), et être réunies d'ailleurs par une ou deux lignes de rivets; dans ce cas le bordé ne touche la membrure que par ses arêtes extrêmes, en laissant entre elle et lui des vides de largeur variable, *g*; par suite les cales interposées doivent être effilées en forme de coins, ce qui complique nécessairement leur confection. Les joints à clin présentent moins de résistance à la flexion que les joints à franc bord, mais ils exigent une quantité de rivets moitié moindres et sont par conséquent moitié moins coûteux; on peut sans inconvénient les employer pour la carène, où les tôles travaillent peu par flexion dans le sens de leur hauteur, et ne sont pas sollicitées à glisser les unes sur les autres.

Depuis quelques années il a été apporté à la disposition des clins une légère modification, qui facilite notablement la mise en place du bordé et supprime les cales effilées qui sont toujours d'une exécution difficile; les virures de deux en deux sont appliquées directement sur la membrure, et les virures intermédiaires sont à recouvrement sur les deux virures voisines (fig. 12, *h*); ces dernières ne touchent pas la membrures, dont elles sont éloignées d'une épaisseur de tôle : il y a donc encore lieu de faire usage de cales, mais elles sont d'épaisseur uniforme, comme pour les joints à franc bord, et de plus leur nombre est moitié moindre que dans le bordé à clin ordinaire, ce qui fait une notable économie de main-d'œuvre. C'est ce système de bordé auquel on donne actuellement la préférence; il est à la fois plus simple d'exécution et plus solide que le bordé à clin ordinaire.

Du rivetage. Les rivets du bordé ne doivent faire aucune saillie sur la carène; en conséquence le trou percé dans la tôle extérieure est fraisé en tronc de cône, le rivet est introduit par l'intérieur et refoulé dans cette ouverture de manière à affleurer exactement la surface extérieure; dans les parties où les les joints s'appliquent sur la membrure, il est même nécessaire de fraiser les rivets des deux côtés, en sorte qu'ils ne présentent aucune saillie ni à l'intérieur ni à l'extérieur; dans tous les cas, ces rivets sont refoulés ou rabattus à l'aide du marteau à main, comme les rivets de chaudières.

Le diamètre et l'espacement des rivets doivent être mis en rapport avec l'épaisseur des tôles : lorsqu'ils sont trop rapprochés, le bordé se trouve découpé le long de la couture et ne présente plus aucune résistance; s'ils sont trop éloignés, la charge qu'ils supportent devient excessive, tandis que les tôles n'étant plus convenablement appliquées l'une contre l'autre, dans l'espace compris entre deux rivets consécutifs, ne forment pas un joint étanche. Quel que soit, d'ailleurs, le mode de rivetage et l'espèce de joint employé, ce dernier est toujours complété par le *mattage*, opération qui consiste à tailler le bord de la tôle en biseau et à refouler son arête extérieure entre les deux surfaces en contact; mais, lorsque les rivets sont trop écartés, le mattage se fait mal, et l'inconvénient que nous venons de signaler ne cesse pas de subsister.

Dans la pratique, le diamètre des rivets est égal au double de l'épaisseur de la tôle, et leur écartement de centre en centre est de trois diamètres au moins et de quatre au plus. Pour les joints à un seul rang de rivets, on doit maintenir l'écartement à la limite inférieure; on se tient au contraire à la limite supérieure pour les joints à deux rangées.

Lorsque les surfaces lisses ne sont pas indispensables, on ne fait pas usage de rivets à tête fraisée, mais on leur conserve des têtes saillantes façonnées au marteau à main : on peut encore, dans ce cas, former les rivures à la *bouterolle*, en plaçant sur l'extrémité saillante du rivet qu'il s'agit de rabattre une sorte d'étampe, présentant la forme qu'on veut lui donner, et en la frappant à grands coups de masse, tandis que la tête est contre-tenue du côté opposé à l'aide d'un levier ou *abattage*. Ce système de rivure est très-économique, et de plus il présente l'avantage de refouler sur lui-même le corps du rivet en lui faisant remplir très-exactement les trous percés dans les tôles, quand même ces trous n'auraient pas une forme régulière, ou ne se correspondraient pas bien exactement. Le rivetage à la bouterolle donne des joints très-solides, et souvent assez étanches pour que le mattage soit superflu; il convient parfaitement à toutes les parties intérieures de la construction, telles que varangues, cornières renversées des couples, carlingues, bauquières, baux et cloisons étanches. Il existe des machines propres à exécuter le rivetage à la bouterolle; elles donnent un très-bon travail, mais leur usage n'est commode qu'autant qu'il s'applique à des pièces facilement manœuvrables (Voy. CHAUDRONNERIE), et ne convient par conséquent que pour un bien petit nombre de celles qui font partie de la construction du navire.

CONTRASTE SIMULTANÉ DES COULEURS. Avant d'établir les lois qui président à l'effet produit par les couleurs juxtaposées, il est bon de dire un mot de ces couleurs même, au point de vue physique, sans entrer dans de longs détails sur la théorie de la lumière, étant obligé de renvoyer aux traités spéciaux les personnes qui désireraient acquérir des connaissances plus étendues. (Voy. INTRODUCTION.)

On sait que la lumière blanche n'est pas homogène, et que si on laisse tomber un faisceau de lumière solaire sur un prisme de verre, les rayons correspondant aux diverses couleurs étant inégalement réfrangibles (différemment écartés, par leur passage à travers le prisme, de leur direction primitive), viendront donner sur un écran placé derrière le prisme une image diversement colorée, renfermant toutes les couleurs dont la réunion forme la lumière blanche.

On déduit de là que la couleur d'un corps est la sensation que produisent sur l'œil les rayons lumineux répondant à cette couleur et réfléchis par ce corps, pendant que les autres sont absorbés ou dispersés.

L'aspect du spectre indique clairement des couleurs fondamentales dont l'œil a une perception plus nette que des couleurs intermédiaires, de même que l'oreille distingue un son musical correspondant à des vibrations régulières, d'un bruit confus.

Ces couleurs fondamentales sont : Le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo et le violet.

Cette division en sept couleurs sur laquelle l'on a voulu, par une assimilation forcée, faire reposer l'analogie de l'harmonie des couleurs avec l'harmonie des sons, n'est pas fondée, et en écartant comme couleurs simples celles qui résultent évidemment du mélange des deux voisines, elles se réduisent à trois : le rouge, le jaune et le bleu.

Le jaune est plus lumineux que le rouge, et celui-ci plus que le bleu.

La réunion de plusieurs des couleurs du spectre ne forme pas une couleur nouvelle, mais bien une autre couleur du spectre, une autre vitesse de vibration. La réunion de toutes les couleurs donne de la lumière blanche si elles sont d'origine solaire, si elles sont lumineuses; du noir, du gris, s'il s'agit de substances colorantes.

Newton a donné le moyen ci-après de trouver la couleur résultante de la réunion de plusieurs couleurs du spectre au moyen d'une règle dont on n'a pu retrouver la démonstration théorique, qui n'a sans doute jamais existé, et qui paraît reposer sur une évaluation empirique des impressions de notre œil.

Si l'on partage un cercle en sept parties correspondantes aux sept couleurs principales du spectre solaire, ces arcs de grandeurs différentes sont :

60°	— 45′	— 34″	pour	le rouge;
34	— 10	— 38	—	l'orangé;
54	— 41	— 1	—	le jaune;
60	— 45	— 34	—	le vert;
54	— 41	— 1	—	le bleu;
34	— 10	— 38	—	l'indigo;
60	— 45	— 34	—	le violet.

On détermine les centres de gravité de ces arcs, et on imagine en chacun de ces points un poids proportionnel à l'intensité de la couleur correspondante qui doit entrer comme couleur élémentaire dans la teinte que l'on veut déterminer, puis, on cherche le centre de gravité de tous ces poids. On joint ce point au centre du cercle, et prolongeant le rayon jusqu'à la circonférence, celui des sept arcs que cette ligne coupe indique la couleur de la teinte. Suivant que l'intersection sera au milieu ou près d'une des extrémités de l'arc, la teinte sera simplement de la couleur de l'arc ou tirera vers une des couleurs voisines.

De la grandeur que Newton assigne aux arcs correspondants aux couleurs dans la loi remarquable énoncée ci-dessus, on doit conclure que la division du spectre en sept couleurs n'est pas celle que donne dans la pratique la division de la lumière en éléments d'égale valeur. On s'approchera sans doute de l'égale division en divisant les couleurs qui correspondent aux plus grands arcs par des couleurs intermédiaires, formées par la réunion en plus ou moins grande proportion des couleurs entre lesquelles elles sont comprises. Elles viennent rétablir l'égalité de division, ce qui donnerait le tableau suivant pour les couleurs franches :

Rouge, — rouge-orangé, — orangé, — orangé-jaune, — jaune, — jaune-vert, — vert, — vert-bleu, — bleu, — bleu-violet ou indigo, — violet, — violet-rouge.

C'est le point de départ de la composition du tableau dans lequel M. Chevreul a déterminé en quelque sorte mathématiquement les couleurs diverses et dont nous parlerons plus loin.

Passons maintenant à l'étude du *contraste*, c'est-à-dire de la différence et de l'opposition que l'artiste établit entre les nuances, les lumières ou les couleurs d'un tableau, qui n'est beau et agréable à la vue, que quand les couleurs sont appliquées avec goût et suivant des règles fixes et bien déterminées.

Comme on n'est pas encore arrivé à une application générale, ni même à une application particulière positive de règles bien déterminées, on croit généralement dans le monde que la peinture ou le coloris proprement dit est une portion du génie et des facultés données par la nature. Tous les artistes, peintres et coloristes, répètent sans cesse qu'il n'y a point de règles fixes pour le contraste, confondant la faculté d'apprécier à l'œil, par un long exercice, l'effet du

CONTRASTE DES COULEURS.

contraste des couleurs avec le phénomène lui-même. On doit dire au contraire que le mélange et l'emploi des couleurs pour imiter tel ou tel objet est astreint à une loi positive de l'art, qui apprend à voir le modèle, et à reproduire exactement toutes les modifications qu'il présente, ce que l'analyse des faits permet de plus aisément apprécier : ce sont là les deux points essentiels de la peinture représentative.

C'est M. *Chevreul* qui a découvert et publié le premier cette loi positive. Ce savant chimiste a expliqué avec une sévérité de raisonnement qui ne laisse plus rien à l'hypothèse, à la routine, tous les phénomènes dus au mélange et à la juxta-position des couleurs, pour imiter un objet déterminé.

Il a enfin démontré d'une manière rigoureuse qu'on parvient à imiter un objet coloré en le peignant autrement qu'on ne le voit. Par exemple, pour peindre deux zones contiguës qui paraissent chacune de couleur unie à l'œil, il faut faire du clair-obscur. Si le peintre produisait réellement deux zones de teinte unie, cette imitation présenterait à la vue des effets de clair-obscur. (Voy. *Complément*, ART INDUSTRIEL.)

Ainsi, suivant l'expression de M. Chevreul, le contraste simultané des couleurs est un phénomène qui se manifeste en nous toutes les fois que nous regardons en même temps deux objets différemment colorés, placés l'un à côté de l'autre. Il consiste en ce que la différence de couleur qui peut exister entre les deux objets est augmentée de telle sorte :

1° Que si l'un des objets est plus foncé que l'autre, celui-ci nous paraît plus clair et l'autre plus foncé qu'ils ne le sont réellement;

2° Que les couleurs des deux objets sont elles-mêmes modifiées dans leur nature optique; par exemple, si une feuille de papier bleu est placée à côté d'une feuille de papier jaune, ces deux feuilles loin de nous paraître tirer sur le vert, comme on pourrait le présumer, d'après ce qu'on sait de la production du vert par le mélange du bleu et du jaune, semblent prendre du *rouge*, de sorte que le bleu paraît *violet* et le jaune *orangé*.

Par conséquent, dans le contraste simultané des couleurs, la différence du clair et de l'obscur est augmentée, comme l'est la différence optique des couleurs.

Pour éviter les fausses appréciations qui résultent de la juxtaposition des couleurs, pour fournir une base pour leur définition pratique, M. Chevreul les a rangées dans une table chromatique circulaire qui sert à faire bien comprendre les définitions, et surtout à mieux connaître les couleurs et leurs modifications.

TABLE CHROMATIQUE CIRCULAIRE. Cette table est formée sur un cercle d'un diamètre arbitraire, et divisé en douze secteurs égaux. Ces secteurs représentent autant de *nuances* ou *types de couleurs* différentes modifiées chacune par une petite quantité d'une autre.

On conçoit, cependant, qu'on peut diviser le cercle en 24 ou 48 parties égales, et avoir ainsi un nombre de *nuances* double, quadruple; mais cette multitude de *nuances* serait inutile ou au moins superflue dans la pratique.

Si du centre du cercle on décrit six circonférences; on forme ainsi un cercle de noir pur, et trois zones séparées l'une de l'autre par le blanc pur, et divisées chacune en 12 parties égales.

Dans chaque partie de la zone qui limite le cercle, se trouve placée une nuance distincte qui tient le milieu entre le *clair* et *l'obscur*, ce qui veut dire que cette couleur est aussi éloignée du blanc que du noir. On peut au besoin ajouter à cette couleur, soit des quantités croissante de *blanc pur*, pour former une *dégradation* jusqu'à la lumière ou au blanc, soit une

couleur brune calcinée, afin de la rehausser et de former une gradation jusqu'au noir.

Chaque couleur, abaissée ainsi par le blanc, ou montée par le *brun*, se nomme *ton*, et l'ensemble de ces tons constitue une *gamme* de couleur.

Nous définirons ainsi les *gammes* de couleurs, savoir :

1° Les *gammes des couleurs primitives franches*, qui comprennent les couleurs que les artistes appellent *simples*, savoir : le *rouge*, le *jaune*, le *bleu*;

2° Les *gammes des couleurs primitives franches* dites *composées* ou *complexes* qui comprennent :

L'*orangé*, produit du mélange du rouge avec du jaune;

Le *vert*, produit du jaune avec du bleu;

Le *violet*, produit du bleu avec du rouge;

Et leurs nuances intermédiaires, le *rouge-orange*, l'*orangé-jaune*, le *jaune-vert*, le *vert-bleu*, le *bleu-violet*, le *violet-rouge*;

3° Enfin, les *gammes des couleurs* dites *rabattues*, *rompues*, *grises* ou *ternes*, qui sont le résultat du mélange des couleurs *franches* avec du *gris*, depuis le ton le plus clair jusqu'au ton le plus foncé.

Des tableaux reproduits à l'aide de la taille-douce ont fixé les tons possibles des diverses couleurs. Remarquons qu'il y a là une difficulté d'exécution, le mélange des *couleurs primitives simples* ne résultant pas du simple mélange des matières que les peintres et les teinturiers emploient comme couleur *rouge*, couleur *jaune* et couleur *bleue*. En effet, on ne connaît aucune matière qui présente réellement une couleur primitive, c'est-à-dire qui ne réfléchisse qu'une sorte de rayons colorés, soit le rouge pur, soit le jaune pur, ou le bleu pur; par suite, on ne peut parvenir à construire une table chromatique qu'en combinant certaines couleurs rouges, jaunes, bleues, brunes, et dans des proportions, quant à présent, difficiles, ou pour mieux dire, impossibles à déterminer d'une manière bien précise.

Nous sommes donc fondé à conclure que parties égales de deux couleurs mélangées ne donnent pas une gamme de couleur intermédiaire bien franche, et que parties égales de trois couleurs primitives mélangées ne donnent pas le noir pur comme les physiciens l'entendent, mais le plus souvent un gris ou une couleur terne.

On ne peut s'empêcher de reconnaître, avec M. Chevreul, que la plupart des matières colorantes *bleues*, *rouges* ou *jaunes* que nous connaissons, ne donnent par leurs mélanges binaires, que des violets, des verts, des orangés, inférieurs en éclat aux matières colorées qui sont naturellement d'un beau violet, d'un beau vert et d'un bel orangé; ce résultat s'explique facilement si l'on admet avec nous que les matières colorées qu'on mêle deux à deux, réfléchissent chacune au moins deux sortes de rayons colorés, et si l'on admet, avec les peintres et les teinturiers, que dès qu'il y a mélange de matières qui réfléchissent séparément du rouge, du jaune et du bleu, il y a production d'une certaine quantité de gris qui ternit l'éclat des matières mélangées. Enfin, il est encore certain, conformément à cette manière de voir, que les *violets*, les *verts* et les *orangés* qui résultent d'un mélange de matières colorées, sont d'autant plus brillants, que les matières mélangées étaient plus rapprochées l'une de l'autre par les couleurs respectives; par exemple, que le bleu et le rouge mélangés tiraient davantage chacun sur le violet, que le bleu et le jaune mélangés tiraient davantage chacun sur le vert; enfin, que le rouge et le jaune mélangés tiraient davantage chacun sur l'orangé. C'est par des tâtonnements qu'on peut arriver à espacer convenablement les nuances à intervalles égaux.

APPLICATION DE LA LOI DU CONTRASTE SIMULTANÉ DE COULEURS.

Dans la composition des modèles pour les tapisseries, les tapis, les châles, les impressions sur étoffes, etc., les couleurs ne sont pas nuancées ni fondues les unes dans les autres, ni modifiées par des rayons colorés provenant des objets voisins; l'exécution se réduit généralement au choix des couleurs contiguës et à l'observation des linéaments bien tracés qui les circonscrivent; mais ce choix est encore soumis à la loi du contraste simultané des couleurs.

Cette loi, une fois démontrée (pour employer le langage de son auteur), devient un moyen *à priori* d'assortir les objets colorés pour en tirer le meilleur parti possible, suivant le goût de la personne qui les assemble, d'apprécier si des yeux sont bien organisés pour voir et juger les couleurs, si des peintres ont copié exactement des objets de couleurs connues.

Nous allons donc essayer d'expliquer les règles fondamentales, d'après les divers arrangements que M. Chevreul donne comme l'expression de son goût particulier, et que nous regardons aussi comme des matériaux nécessaires et indispensables aux dessinateurs et aux fabricants de tapisseries, de tapis, d'impressions sur étoffes et de papiers peints (voyez DESSIN).

Couleurs d'intensités égales autant que possible, mises l'une à côté de l'autre, conformément aux règles du contraste simultané des couleurs.

MODIFICATIONS QU'ELLES ÉPROUVENT.

Rouge et orangé.	Tire sur le violet, moins jaune, plus foncé. Tire sur le jaune, plus clair.
Rouge et jaune.	Tire sur le violet, ou est moins jaune, plus foncé. Tire sur le vert, moins rouge, plus clair.
Rouge et vert.	Couleurs complémentaires paraissant plus brillantes.
Rouge et bleu.	Tire sur le jaune. Tire sur le vert.
Rouge et violet.	Tire sur le jaune. Tire sur l'indigo (ou bleu-verdâtre).
Orangé et jaune.	Tire sur le rouge. Tire sur le vert brillant, ou est moins rouge.
Orangé et vert.	Tire sur le rouge, moins jaune, plus brillant ou moins brun. Tire sur le bleu, moins jaune.
Orangé et bleu.	Couleurs complémentaires plus brillantes (1).
Orangé et violet.	Tire sur le jaune, ou est moins brun (2). Tire sur l'indigo ou (bleu-verdâtre).

(1) Les physiciens entendent par couleurs complémentaires, celles qui, mélangées dans une certaine proportion, reproduisent la lumière blanche.

Ainsi, ils disent :

Que le rouge est complémentaire du vert, *et vice versâ*.

Que l'orangé est complémentaire du bleu, *et vice versâ*.

Que le jaune est complémentaire du violet, *et vice versâ*.

Mais, d'après le langage des peintres et des teinturiers, le mélange de ces couleurs donne au contraire du gris ou du noir; et c'est dans cette dernière acception que nous entendons désigner deux couleurs complémentaires, dont les noms sont écrits sur la table aux extrémités d'un même diamètre.

(2) Pour comprendre qu'une couleur, en tirant sur une autre, devient plus foncée, ou moins brune, il est bon de rappeler que M. Chevreul classe les couleurs en deux groupes, suivant les différences qu'elles présentent quand on les considère sous le point de vue de leur éclat.

Le premier groupe comprend les couleurs lumineuses : rouge, orangé, jaune et vert.

Le deuxième groupe comprend les couleurs sombres : le bleu, le violet, qui, à hauteur égale de ton, n'ont pas l'éclat

Jaune et vert.	Tire sur l'orangé, brillant. Tire sur le bleu, plus foncé.
Jaune et bleu.	Tire sur l'orangé. Tire sur l'indigo.
Jaune et violet.	Couleurs complémentaires plus brillantes.
Vert et bleu.	Tire sur le jaune. Tire sur l'indigo.
Vert et violet.	Tire sur le jaune. Tire sur le rouge, plus brillant
Bleu et violet.	Tire sur le vert, moins foncé. Tire sur le rouge, plus brillant.
Noir et violet.	Paraissent plus différents que s'ils étaient vus isolément.
Rouge et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé. Paraît plus vert.
Orangé et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé Paraît plus orangé.
Jaune et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé. Paraît plus violet.
Vert et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé. Paraît plus rouge.
Bleu et blanc.	Paraît plus brillant. Paraît plus orangé.
Violet et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé. Paraît plus jaune.
Rouge et gris.	Paraît plus pur, moins orangé peut-être. Paraît plus verdâtre.
Orangé et gris.	Paraît plus pur, plus brillant, plus jaune peut-être. Paraît plus bleu.
Jaune et gris.	Paraît plus brillant, moins verdâtre. Paraît tirer sur le violâtre.
Vert et gris.	Paraît plus brillant, plus jaune peut-être. Paraît tirer sur le rougeâtre.
Bleu et gris.	Paraît plus brillant, plus verdâtre. Paraît tirer sur l'orangé.
Violet et gris.	Paraît plus franc, moins terne. Paraît tirer sur le jaune.
Rouge et noir.	Paraît plus clair ou moins brun, moins orangé. Paraît moins rouge.
Orangé et noir.	Paraît plus brillant et plus jaune, ou moins brun. Paraît moins roux ou plus bleu.
Jaune tirant sur le vert et noir.	Est plus clair, plus verdâtre peut-être(1). Est plus violâtre.
Vert et noir.	Tire faiblement sur le jaune. Paraît plus violâtre ou rougeâtre.
Bleu et noir.	Paraît plus clair, plus vert peut-être. S'éclaircit.
Violet et noir.	Est plus brillant, plus clair, plus rouge peut-être. S'éclaircit.

Première proposition. L'arrangement complémentaire est supérieur à tout autre dans l'harmonie de contraste.

---

des premières. Toutefois, il faut observer que les tons foncés et rabattus des gammes lumineuses peuvent, dans beaucoup de cas, être assimilés aux couleurs sombres; de même que les tons clairs du bleu et du violet, peuvent quelquefois être employés dans des assortiments de couleurs lumineuses.

(1) Il est des échantillons de jaune qui paraissent appauvris par leur juxtà-position avec le noir.

Les tons doivent être, autant que possible, à la même hauteur pour produire le plus bel effet.

L'arrangement complémentaire auquel le blanc s'associe le plus avantageusement est celui du bleu et de l'orangé ; et l'arrangement auquel il s'associe le moins heureusement est celui du jaune et du violet.

Deuxième proposition. Le rouge, le jaune et le bleu, c'est-à-dire les couleurs simples des artistes, associées deux à deux, vont mieux ensemble, comme harmonie de contraste, qu'un arrangement formé d'une de ces mêmes couleurs et d'une des couleurs binaires des artistes, dont la première peut être considérée comme un des éléments de la couleur binaire qui lui est juxtâposée.

EXEMPLES :

Rouge et jaune vont mieux que rouge et orangé.
Rouge et bleu — — rouge et violet.
Jaune et rouge — — jaune et orangé.
Jaune et bleu — — jaune et vert.
Bleu et rouge — — bleu et violet.
Bleu et jaune — — bleu et vert.

Troisième proposition. Les arrangements du rouge, du jaune ou du bleu, avec une des couleurs binaires des artistes, que l'on peut considérer comme contenant la première, sont d'autant meilleurs comme contraste, que la couleur simple est essentiellement plus lumineuse que la couleur binaire.

D'où il suit que dans cet arrangement il est avantageux que le ton du rouge, du jaune ou du bleu, soit au-dessous du ton de la couleur binaire.

EXEMPLES :

Rouge et violet vont mieux que bleu et violet.
Jaune et orangé — — rouge et orangé.
Jaune et vert — — bleu et vert.

Quatrième proposition. Lorsque deux couleurs vont mal, il y a toujours avantage à les séparer par du blanc.

Dans ce cas, on conçoit qu'il y a plus d'avantage à placer les couleurs sur un fond blanc, en les isolant, qu'en les juxtâ-posant.

Cinquième proposition. Le noir ne produit jamais un mauvais effet lorsqu'il est associé à deux couleurs lumineuses ; souvent même, alors, il est préférable au blanc, surtout dans l'arrangement où il sépare les couleurs l'une de l'autre.

EXEMPLES :

Le noir est préférable au blanc dans les arrangements des couleurs suivantes :

Rouge et orangé.
Rouge et jaune.
Orangé et jaune.
Orangé et vert.
Jaune et vert.

Le noir, avec tous ces arrangements binaires, produit des harmonies de contraste.

Sixième proposition. Le noir, en s'associant aux couleurs sombres, telles que le bleu et le violet, et aux tons rabattus des couleurs lumineuses, produit des harmonies d'analogues qui peuvent être d'un bon effet dans plusieurs cas.

L'harmonie d'analogue du noir, associé au bleu et au violet, est préférable à l'harmonie de contraste de l'arrangement blanc, bleu, violet, blanc, etc. ; celle-ci étant trop crue.

Septième proposition. Le noir ne s'associe point aussi heureusement à deux couleurs dont l'une est lumineuse et l'autre sombre, qu'il s'associe à deux couleurs lumineuses.

Dans le premier cas, l'association est d'autant moins agréable, que la couleur lumineuse est plus brillante.

EXEMPLES

Avec tous les arrangements suivants, le noir est inférieur au blanc :

Rouge et bleu.
Rouge et violet.
Orangé et bleu.
Orangé et violet.
Jaune et bleu.
Vert et bleu.
Vert et violet.

Enfin, avec l'arrangement *jaune et violet*, s'il n'est pas inférieur au blanc, il ne produit du moins, en s'y associant, qu'un effet médiocre.

Huitième proposition. Si le gris ne produit jamais précisément un mauvais effet en s'associant à deux couleurs lumineuses, dans la plupart des cas, cependant, ses assortiments sont fades, et il est inférieur au noir et au blanc.

Parmi les arrangements de deux couleurs lumineuses, il n'y a guère que celui du rouge et de l'orangé auquel le gris s'associe plus heureusement que le blanc.

Mais il lui est inférieur, ainsi qu'au noir, dans les arrangements rouge et vert, rouge et jaune, orangé et jaune, orangé et vert, jaune et vert.

Il est encore inférieur au blanc avec le jaune et le bleu.

Neuvième proposition. Le gris, en s'associant aux couleurs sombres, telles que le bleu et le violet, et aux tons rabattus des couleurs lumineuses, produit des harmonies d'analogues qui n'ont pas la vigueur de celles du noir ; si les couleurs ne vont pas bien ensemble, il a l'avantage de les séparer l'une de l'autre.

Dixième proposition. Lorsque le gris s'associe à deux couleurs dont l'une est lumineuse et l'autre sombre, il peut être plus avantageux que le blanc, si celui-ci produit un contraste de ton trop fort ; et, d'un autre côté, il peut être plus avantageux que le noir, si celui-ci a l'inconvénient de trop augmenter la proportion des couleurs sombres.

EXEMPLES :

Le gris s'associe plus heureusement que le noir avec :

Orangé et violet.
Vert et bleu.
Vert et violet.

Onzième proposition. Si, en principe, lorsque deux couleurs vont mal ensemble, il y a avantage à les séparer par du blanc, du noir ou du gris, il est important, pour l'effet, de prendre en considération : 1° la hauteur du ton des couleurs, 2° la proportion des couleurs sombres aux couleurs lumineuses, en comprenant dans les premières les tons bruns rabattus des gammes brillantes, et dans les couleurs lumineuses, les tons clairs des gammes bleue et violette.

Prise en considération de la hauteur du ton des couleurs.

EXEMPLES :

L'effet du blanc est d'autant moins bon avec le rouge et l'orangé, que le ton de ces couleurs est plus élevé, surtout dans l'arrangement blanc, rouge, orangé, blanc, etc., l'effet du blanc étant trop cru.

Au contraire, le noir s'allie très bien avec les tons normaux des mêmes couleurs, c'est-à-dire les tons les plus élevés sans mélange de noir.

Enfin, si le gris s'associe moins bien que le noir au rouge et à l'orangé, il a l'avantage de produire un effet moins cru que celui du blanc.

Prise en considération de la proportion des couleurs sombres aux couleurs lumineuses.

Toutes les fois que les couleurs diffèrent trop, soit par l'éclat du noir ou du blanc qu'on veut y associer, l'arrangement où chacune des deux couleurs est séparée de l'autre par le noir ou par le blanc, est préférable à celui dans lequel le noir ou le blanc sépare chaque couple de couleurs.

Ainsi, l'arrangement blanc, bleu, blanc, violet, blanc, etc., est préférable à l'arrangement blanc, bleu, violet, blanc, etc., parce que la répartition du brillant et du sombre est plus égale dans le premier que dans le second ; j'ajouterai que celui-ci a quelque chose de plus symétrique relativement à la position des deux couleurs, et je ferai remarquer que le principe de la symétrie a de l'influence sur le jugement que nous portons de beaucoup de choses, dans des cas où généralement on ne le reconnaît pas.

C'est encore conformément à cela, que l'arrangement noir, rouge, noir, orangé, noir, etc., est préférable à l'arrangement noir, rouge, orangé, etc.

Ces arrangements nous paraissent suffisants pour éclairer les peintres et les fabricants sur les diverses sensations que leur vue éprouve dans le travail des couleurs, et sur les avantages qu'ils pourraient retirer d'une étude plus approfondie de la loi du contraste simultané des couleurs (voir *La loi du contraste simultané des couleurs*, par M. Chevreul, 1 vol. in-8°, 1839).

Il est aisé, d'ailleurs, de démontrer par des exemples que les couleurs juxtà-posées ou les objets matériels qui nous les représentent n'ont point d'action mutuelle, soit physique, soit chimique, mais que le changement qu'elles éprouvent dans ce cas, n'est dû, réellement, qu'à la modification qui se passe en nous lorsque nous percevons la sensation simultanée de leur principe colorant. Il suffit, pour s'en convaincre, de placer sur la couleur modifiée un carton découpé qui la laisse voir exclusivement. La vue, ramenée ainsi à l'état normal, perçoit facilement l'homogénéité de la couleur juxtà-posée et son identité avec celle qu'on a isolée.

Il nous reste maintenant à indiquer quelques applications de ces principes à l'art de la peinture, aux tapisseries du commerce, à la décoration des appartements, à l'imprimerie, à l'arrangement des fleurs d'un parterre, aux vêtements, etc. Nous pensons ne pouvoir mieux faire que de rappeler les exemples parfaitement définis dans le *Magasin pittoresque*.

Supposons qu'un peintre veuille placer dans un tableau deux teintes plates qui se touchent, l'une rouge et l'autre bleue ; à mesure qu'il peindra, il modifiera naturellement les couleurs de sa palette, parce que le phénomène du contraste se manifestera à la délicatesse de son œil exercé ; mais si ensuite un tapissier veut imiter, comme cela se pratique aux Gobelins, le tableau qu'on lui donne en modèle, et qu'il ignore la loi des contrastes, il prendra seulement deux espèces de laines, l'une bleue et l'autre rouge, et il les assortira, séparément, avec les deux couleurs du tableau ; qu'arrivera-t-il ? C'est que la laine bleue et la laine rouge, étant juxtà posées, changeront de nuances dans les zônes voisines de la ligne de contact, et que le pauvre tapissier aura beau faire et se désoler, il ne produira jamais de teintes plates à moins que le hasard (ce qui est arrivé quelquefois) ou la science ne vienne à son secours.

Si, au contraire, le peintre a juxtà-posé deux teintes plates qui alors *contrasteront*, le tapissier se donnera beaucoup de mal pour imiter par une dégradation de laines colorées, ce qu'il obtiendrait sur-le-champ avec deux laines uniformes ; et, en résultat, il obtiendra des effets exagérés.

Le tapissier doit encore s'aider de la loi des contrastes lorsqu'il assortit des étoffes aux bois de diverses sortes dont il fabrique ses meubles. Ainsi, il pèchera s'il emploie des étoffes d'un rouge-jaune, telles qu'écarlate, couleur de feu, nacarat, avec l'acajou ; car alors la couleur rouge et brillante de ce bois est totalement éteinte,

et il prend l'aspect du noyer. Cependant, comme beaucoup de personnes préfèrent la couleur cramoisie à toute autre, même sur l'acajou, parce qu'elle résiste plus longtemps à l'action du soleil, on peut diminuer le mauvais effet de cet assortiment, au moyen d'une large bordure verte ou noire placée dans les parties où le cramoisi et l'acajou sont en contact; ou bien encore avec un galon de soie jaune, ou un galon d'or fixé avec des clous dorés.

M. Chevreul fait remarquer que des dessins noirs qui sont imprimés sur des fonds rouges, cramoisis ou amarantes, paraissent verts, parce que la couleur verte complémentaire du fond s'ajoute au noir. De même le noir, imprimé sur des étoffes vertes, perd toute sa vigueur. Aujourd'hui, où l'on étale sur les murs des affiches jaunes, roses, verdâtres et orangées, il n'est pas indifférent de savoir que, pour imprimer de manière à rendre le plus visible possible les caractères d'écriture sur du papier de couleur, la règle à suivre est que la couleur du fond soit complémentaire de celle de l'encre : sur papier jaune, par exemple, il faudrait une encre violette.

La loi des contrastes trouve encore de fréquentes applications dans la distribution des fleurs au milieu d'un parterre. Ainsi, l'aspect d'un jardin perd de ses charmes lorsque la vue n'est frappée que par du bleu ou par du blanc, ou qu'elle est éblouie par du jaune répandu avec profusion, ou bien encore lorsqu'une espèce de couleur présente des nuances voisines l'une de l'autre, mais différentes, ainsi que cela a lieu au printemps, en unissant la narcisse d'un jaune pâle à la doronic d'un jaune brillant; en automne, en unissant l'œillet-d'Inde à la rose-d'Inde et aux soleils.

La règle principale donnée par M. Chevreul, pour l'arrangement des fleurs, est de placer les bleues à côté des orangées, les violettes à côté des jaunes, et d'entourer les rouges et les roses de verdure ou de fleurs blanches. Ce n'est pas tout, on peut calculer les époques de l'année où fleuriront telles et telles espèces de fleurs, et disposer son parterre de manière que, dans la variété des couleurs qui apparaîtront à la floraison successive des arbustes, la loi des contrastes soit observée. En avril, le *jasmin* à fleur jaune, au feuillage vert, se trouve très bien à côté du *pêcher nain*, etc.

Il ne faut point dédaigner non plus la loi des contrastes simultanés dans les couleurs des vêtements. Un uniforme de drap de même couleur se porte moins longtemps que lorsque les couleurs sont variées. Par exemple, l'ancien pantalon bleu de l'armée, ne se mettant point l'été, conservait la vivacité de sa nuance plus longtemps que l'habit; lorsqu'on le reprenait dans l'hiver, il devait arriver, comme nous l'avons vu plus haut dans cet article, que le bleu pâli de l'habit usé pâlissait encore davantage à côté du bleu plus foncé du pantalon presque neuf, qui, à son tour se foncait encore plus. De même l'uniforme des dragons, vert et rouge, est très avantageux, en ce qu'il est composé de deux couleurs complémentaires, et que, lorsque l'habit et le pantalon ont passé un an, par exemple, dans les magasins, ils se ravivent par la juxtà position, et paraissent avoir la même fraîcheur qu'un habit vert et un pantalon rouge neufs, mais vus séparément.

Les dames savent profiter habilement de l'observation des effets du contraste. Par exemple, les voiles noirs portés sur les chapeaux verts paraissent rougeâtres; de même le rose sur la couleur de chair fait pâlir celle-ci d'une manière fort sensible; aussi sied-il généralement mieux aux brunes qu'aux blondes. Ces remarques sont importantes dans le choix des tapisseries d'un salon, ou dans celui de la couleur qui doit être appliquée au fond d'une loge dans les salles de spectacles. Chez une marchande de modes qui aura tapissé en rouge son magasin, les dames trouveront que leur visage a pâli, tandis que l'éclat de leur teint se rehaussera lorsqu'elles essaieront leurs chapeaux dans un boudoir tendu de vert. Il faut cependant, dans les différents détails de la toilette, faire grande attention aux reflets qui peuvent anéantir l'action des contrastes, et produire l'effet tout opposé. Ainsi un rideau vert bien éclairé projette autour de lui sa couleur, qui domine de beaucoup et éteint le rouge de la couleur complémentaire, à tel point que la teinte verte est la seule qui paraisse.

ROUGET DE LISLE.

COPAL (*angl.* copal, *all.* kopal). C'est l'une des résines les plus précieuses; elle provient de deux arbres, le *rhus copallinum* qui croît en Amérique, et l'*élæocarpus copalifer* originaire des Indes orientales. On trouve aussi en Guinée un troisième arbre produisant du copal; cet arbre croît sur les bords des rivières, dans le sable desquels les nègres recherchent le copal, qui s'y trouve disséminé en fragments roulés de grosseur et de couleur variables. Les morceaux de copal les plus purs sont presque incolores et transparents; généralement ils sont d'un jaune-brunâtre et même quelquefois d'un brun foncé et seulement translucides. D'après Ure, sa densité varie de 1,059 et 1,071. Sa dureté est plus grande que celle de toutes les autres résines, à l'exception du benjoin; il n'est pas rayé par l'ongle, et est par conséquent très propre à la confection des vernis; il n'a ni odeur ni saveur, et possède une cassure conchoïde. Chauffé vivement dans un matras, sur la lampe à esprit-de-vin, il commence par fondre, puis il distille une substance huileuse, tandis que le copal se fonce de plus en plus en couleur, et il reste à la fin un résidu de charbon.

Mis en digestion dans de l'alcool absolu, bouillant, le copal se gonfle et prend une consistance molle et élastique. Préalablement pulvérisé, puis séché à une douce chaleur, il se dissout dans de l'alcool à 96/100es. Il est beaucoup plus soluble dans l'éther, et la dissolution ainsi obtenue peut ensuite être étendue peu à peu d'alcool, sans que le copal se précipite. Du reste, les différentes sortes de copal se comportent envers l'éther d'une manière très différente; les unes s'y dissolvent très facilement, les autres avec la plus grande difficulté; aussi, lors de la préparation des vernis au copal, est-il bon d'essayer par l'éther chaque fragment isolé; on choisit ceux qui deviennent visqueux, en mettant de côté les autres pour la préparation des vernis gras au copal, où ils conviennent aussi bien.

L'huile de caoutchouc seule, même à la température de l'ébullition, n'a aucune action sur le copal; mais un mélange de parties égales d'huile de caoutchouc et d'alcool ayant une densité de 0,825 le dissout même à froid en donnant une liqueur limpide. Le camphre, dissous dans l'esprit-de-vin, augmente son pouvoir dissolvant à l'égard du copal. Les huiles de pétrole et de térébenthine n'ont que très peu d'action sur le copal brut. Par la fusion, le copal perd de sa dureté et prend facilement une teinte brunâtre; il devient alors beaucoup plus soluble dans tous les dissolvants.

D'après Unverdorben, le copal d'Afrique renferme cinq résines différentes, qui, isolément, ne sont d'aucun emploi dans les arts.

Le copal brut ou préalablement fondu sert à la confection des vernis. Une des meilleures recettes pour préparer le vernis de copal à l'esprit-de-vin, est la suivante due à *Bœttger* : On dissout 1 partie de camphre dans 12 p. d'éther, on y fait gonfler 4 p. de copal, puis on y ajoute 4 p. d'alcool absolu et 1/4 p. d'huile de térébenthine rectifiée.

Les vernis gras au copal se préparent en dissolvant du copal fondu dans de l'huile de lin bouillante; nous y reviendrons au mot VERNIS.

COQUE DU LEVANT (*angl.* cocculus indicus, *all.* kockelskœrner). Nom vulgaire donné aux fruits d'un arbre, le *menispermum cocculus*, qui croît sur la côte

de Malabar, à Ceylan et dans les îles voisines. Ces fruits sont brunâtres et un peu plus gros que des petits pois ; ils doivent leurs propriétés à un alcali végétal, la *picrotoxine*, dont ils renferment environ 1/50 de leur poids. On s'en sert en les jetant dans l'eau, pour plonger les poissons dans une sorte de torpeur, par suite de laquelle ils viennent à la surface et se laissent prendre aisément ; on dit que quelques brasseurs ont l'usage très blâmable de l'employer pour obtenir une bière très enivrante.

CORAIL (*angl.* coral, *all.* korallo). On donne le nom de corail aux têts calcaires de plusieurs genres de polypiers, qui affectent une forme arborescente. Ces têts sont fixés aux rochers par un pied conique placé à la base d'une tige portant plusieurs rameaux latéraux dans lesquels sont des cavités où se trouvent logés autant de polypes que l'on voit étendre leurs longs bras lorsqu'ils veulent saisir leur proie.

Les coraux rouges se pêchent dans la mer Méditerranée, surtout sur les côtes de l'Algérie, et forment à Marseille un article de commerce assez important. Huit hommes, excellents plongeurs, montent dans un canot, emportant avec eux une croix en bois à bras égaux et forts, armés chacun d'un filet très solide ; on attache un câble au point de croisement des bras, et à l'aide d'un poids placé au même point on fait descendre le tout au fond de la mer ; quatre hommes plongent en même temps et engagent les branches des coraux dans les filets ; on force alors sur le câble, et la croix en remontant arrache les coraux du fond sur lequel ils étaient fixés.

La pêche du corail est presque aussi dangereuse que celle des perles, par suite de la présence des requins ; on pourrait probablement y employer avec avantage la cloche de plongeur.

Les coraux rouges ont seuls de la valeur, et sont travaillés pour boucles d'oreilles, colliers et autres objets de parures.

CORDES. Voyez CABLES.

CORDES *pour tous les instruments de musique* (*angl.* catgut, *all.* darmseiten). La fabrication des cordes d'instruments n'est pas très ancienne en France, elle fut introduite par un ouvrier napolitain, *Nicolas Savaresse*, qui monta une fabrique à Lyon vers l'an 1766.

Les procédés de fabrication ont été longtemps considérés comme des secrets, et c'est par suite des prix que la Société d'encouragement a proposé pour le perfectionnement de cette industrie, qu'elle a pris une extension aussi grande et qu'il y a eu une amélioration dans les produits qui ont laissé de beaucoup en arrière ceux d'Italie ; néanmoins on tire encore des chanterelles de Naples, non pas parce qu'elles y sont mieux fabriquées, mais à cause de la grande quantité d'agneaux qu'on tue en Italie, et qui permet de faire des chanterelles à trois fils, tandis qu'en France on ne tue que de jeunes agneaux, et seulement pendant trois ou quatre mois de l'année.

On a longtemps attribué la supériorité des cordes de Naples aux secrets de fabrique, plus tard on l'a attribuée à la petite espèce de moutons qui permettait de faire les chanterelles à trois fils ; on pensait aussi que le climat sec et chaud y contribuait pour quelque chose ; il n'en est rien, et voici la véritable cause.

Les moutons d'Italie sont généralement très gros, les laines y sont grandes et grosses, par conséquent ont peu de valeur ; c'est pourquoi on fait peu d'élèves en castrat, parce que la laine ne saurait donner une indemnité suffisante ; tous les moutons sont donc tués dans la première année ; leurs intestins étant moins gros, il est possible de faire des chanterelles à trois fils (1).

(1) On entend par fil la grosseur d'un boyau, mais pour donner l'apparence des trois on refend quelquefois les gros boyaux en deux, afin de leur faire figurer un fil de plus. On peut reconnaître cette fraude en faisant tremper un bout de la corde dans une solution d'acide tartrique ou d'acide sulfureux ; les cordes détrempées, les boyaux se séparent et paraissent en forme de petits cylindres, ce qui n'a pas lieu s'ils ont été fendus

C'est à Pâques qu'on commence à tuer les agneaux en Italie, ils sont alors trop jeunes et n'ont pas encore mangé d'herbe, les intestins n'ont pas grande consistance ; c'est pourquoi les chanterelles qui sont faites avec cette première fabrication ne valent rien, elles sont cependant très belles et d'une transparence de cristal ; mais on peut les reconnaître parce qu'elles sont un peu grumeleuses ; ce n'est qu'au mois de juin que commence la bonne fabrication des chanterelles et elle se continue jusqu'aux mois de septembre et octobre. A cette époque, les intestins devenus plus gros, les chanterelles sont aussi plus grosses, à tel point qu'il n'est plus possible d'en faire ; la fabrication cesse avant la fin de l'année pour ne reprendre qu'à Pâques suivant.

Les chanterelles qui ont été faites depuis le mois de juin jusqu'au mois de septembre sont ordinairement parfaites en qualité ; elles sont un peu moins blanches et moins transparentes que celles du printemps ; elles sont généralement assez unies et pleines, ne présentant pas un aspect grumeleux comme celles du printemps.

Les chanterelles de Naples étaient de meilleure qualité autrefois qu'elles ne le sont aujourd'hui ; cela ne dépend pas des procédés de fabrique, non plus que des intestins, mais bien de la quantité considérable de grosses cordes qui se fabriquent en France et qu'on ne tire plus d'Italie. Autrefois les fabricants d'Italie préparaient les secondes et les troisièmes de violon, ainsi que les grosses cordes de harpe, pendant les trois premiers mois, époque à laquelle les intestins étaient encore trop faibles ; et disons dès à présent, que par cela même que les intestins ne valaient rien pour faire les chanterelles, ils n'en étaient que meilleurs pour la fabrication des grosses cordes. On comprend dès lors que la fabrication des cordes de Naples avait acquis une réputation justement méritée ; mais maintenant que les grosses cordes se fabriquent en France, les fabricants d'Italie sont obligés de ne faire que des chanterelles Nous disons qu'ils sont obligés, car ils payent les boyaux 50 fr. le 100, ce qui ne coûte en France que 3 fr., au plus 10 fr. dans quelques villes ; d'où il résulte qu'on a deux mauvaises chanterelles sur trois lorsqu'elles viennent d'Italie, et quelquefois les a-t-on même toutes mauvaises ; si on n'est pas suffisamment connu de la fabrique, ils vous vendent des cordes de la première fabrication.

Nous allons parler maintenant de la fabrication des cordes en général, et des causes qui font que l'intestin qui n'a pas la force nécessaire pour faire une bonne chanterelle, peut néanmoins donner de très bonnes secondes et troisièmes de violon, et pour bien comprendre ce fait, nous commencerons par examiner quelle est la tension que subit chaque corde sur l'instrument.

Lorsque la deuxième corde est au *la* de l'Opéra, elle éprouve une tension de 8 kilos ; la chanterelle mise à l'accord du *la* porte 7 kilos, 900, la troisième 7 kilos, 700, et enfin la quatrième 7 kilos, 750. D'après cela on voit que les cordes ne subissent pas une tension en raison de leur grosseur, car la deuxième ne porte qu'un demi kilo de plus que la chanterelle, et cependant elle a le double de masse, et la troisième, qui a encore moins de tension, a pourtant trois fois la masse de la chanterelle.

La chanterelle ayant trois fils, si les autres cordes sont faites avec les mêmes intestins, la seconde aura 5 ou 6 fils et la troisième 8 et 9, et par conséquent la seconde devra avoir deux fois la force de la chanterelle et la troisième trois fois, force qui devient superflue puisque la tension ne l'exige pas. Cet excès de force

n'est pas un défaut pour la qualité de la résistance, mais il est nuisible à la qualité du son ; car il n'est pas suffisant qu'une corde résiste à la tension voulue, c'est sans doute sa première qualité, mais il faut aussi qu'elle soit moelleuse et qu'elle vibre convenablement pour donner des sons agréables ; ces deux qualités, résistance et pureté de son, sont donc indispensables pour avoir une bonne corde. Encore une troisième qualité, c'est la justesse des quintes pour les instruments à doigts ; nous en parlerons plus bas.

Nous venons de dire qu'une tension de 7 kilos 1/2 était suffisante pour une chanterelle ; mais si elle ne pouvait résister que tout juste à cette puissance, elle serait susceptible de casser promptement à cause des variations hygrométriques. L'expérience a démontré qu'il fallait qu'une corde pût résister presque au double de sa tension ordinaire, pour se maintenir plusieurs jours sur un instrument dont on fait usage, et on conçoit sans peine que toutes les fois qu'on met la corde en vibration elle augmente de tension. On sera donc sûr d'avoir des chanterelles de bonne qualité si elles peuvent résister à une tension de 13 kilos ; mais si elles passent ce chiffre, elles perdent alors en qualité de son. Cela se comprend facilement, car toutes les fois qu'une chanterelle sera plus résistante qu'une autre de même grosseur, c'est qu'elle aura plus de densité et elle sera plus lourde, et par conséquent sa vibration plus difficile ; c'est là ce qui rend les bonnes chanterelles si rares pour la musique vocale, car lorsqu'il s'agit de jouer la contredanse les chanterelles ne sauraient jamais être assez résistantes. Il en est de même à l'égard de la seconde et de la troisième, comme elles ne doivent pas subir une tension plus forte que celle de la chanterelle, il faut qu'elles soient fabriquées avec des boyaux moins résistants : c'est ce qui avait lieu dans les fabriques de Naples en fabriquant celles-ci dans les premiers mois de l'année. Mais en France on a une grande supériorité pour la fabrication des grosses cordes, on y tue très peu d'agneaux et seulement lorsqu'ils sont très jeunes. Une fois la Saint-Jean arrivée les agneaux payent le même droit que les moutons, et alors on cesse d'en tuer ; mais ce n'est pas la seule cause qui empêche de tuer des agneaux, vu qu'en France on fait beaucoup d'élèves en castrat, la qualité des laines permettant d'en tirer un assez bon profit ; aussi tue-t-on des moutons toute l'année en France. Les boyaux y sont généralement assez gros et permettent de fabriquer des secondes (1) à trois fils, et on obtient par là les deux qualités : la résistance et le son. La grosseur d'un intestin n'en fait pas la force ; il y a autant de résistance dans un petit que dans un gros. Cela explique pourquoi les chanterelles à trois fils sont meilleures que celles à deux, et explique encore comment les deuxièmes à trois fils sont meilleures que celles à six.

Maintenant nous parlerons de la justesse des quintes, et c'est encore là une des plus grandes difficultés de fabrique.

Ce qu'on entend par boyaux comprend les trois intestins grêles, le duodénum, le jejunum et l'ilion ; ces trois intestins n'en font qu'un, mais qui n'est pas de la même grosseur dans toute sa longueur, le petit bout est du côté du duodénum et le gros du côté de l'ilion ; d'où il résulte qu'en faisant une corde à trois fils, elle sera toujours un peu plus grosse d'un côté que de l'autre, et c'est de cette inégalité de grosseur que résultent de mauvaises quintes. Cet inconvénient n'existe pas dans les instruments qui ne sont pas doigtés, comme la harpe, aussi ces cordes sont-elles plus faciles à fabriquer que celles de violon. En résumé, une corde doit avoir plusieurs qualités pour être parfaite.

La résistance, la qualité du son, la justesse des quintes pour les instruments doigtés, la transparence et la blancheur.

Nous allons maintenant indiquer comment on peut arriver à remplir toutes ces conditions par les moyens de fabrique.

La fabrication en France est bien supérieure à celle d'Italie, parce qu'on a cru longtemps que la supériorité de ces dernières dépendait des procédés de fabrication ; c'est pourquoi on s'est livré à de nombreuses expériences, et le plus mauvais fabricant de France aujourd'hui travaille mieux que le meilleur fabricant d'Italie, qui n'a aucun effort à faire pour obtenir de bons produits lorsqu'il est dans la saison favorable, tandis qu'en France il faut un homme très exercé, et surtout à Paris où l'on abat des moutons de tous les pays.

Les boyaux sont achetés des bouchers, et ce sont les ouvriers de la fabrique qui ouvrent eux-mêmes les moutons et retirent les boyaux tout chauds afin de les débarrasser des matières fécales. Tant que le boyau conserve la chaleur de l'animal les matières fécales sont sans action sur lui, mais une fois qu'il est froid elles réagissent sur les membranes (1), et non seulement elle les colorent plus ou moins fortement, mais encore elles les corrodent au point de n'avoir plus de résistance dans les places qui en sont imprégnées, c'est pourquoi il est de rigueur de vider les boyaux lorsqu'ils sont encore chauds ; lorsqu'ils sont vidés, l'ouvrier les met en liasse, et c'est dans cet état qu'ils sont apportés à la fabrique ; on les attache alors par paquets de 10, puis on les met tremper dans une rivière courante : 12 heures sont suffisantes. Lorsqu'on n'est pas à proximité d'une rivière, on les met tremper dans des cuviers à l'eau de puits, mais il est alors nécessaire de mettre un peu de carbonate de soude dans les eaux pour les adoucir ; la proportion est d'environ 2 gram. par litre. Après cette macération, les boyaux sont râclés sur une planche, un à un, à l'aide d'une canne faite avec du roseau ; ce râclage a pour but de séparer la membrane muqueuse et la péritoniale, séchées qu'elles sont par l'effort du râclage ; le boyau est alors réduit à 1/20e de son volume, car il ne reste que la membrane musculaire et une partie de la cellulaire. Les boyaux sont ensuite placés dans des terrines par 10, on y verse dessus environ 2 litres d'eau de potasse marquant 2° du pèse-sel (2) ; les boyaux sont ensuite pris un à un et passés sous le dé, de manière à extraire le restant de la membrane cellulaire, et tous les filaments qui n'auraient pas été entraînés par l'action du râclage. Dans cette opération les boyaux sont pris de gauche et passés dans une terrine à droite, qui contient également de l'eau de potasse, on répète cette opération trois fois, de 2 heures en 2 heures, et le même jour. Ces boyaux sont passés sous le dé une quatrième fois à sec. On entend par passer à sec lorsqu'on ne met pas d'eau de potasse dans la terrine de droite, puis on replace la terrine de droite à la gauche, et on repasse au dé une cinquième fois dans de l'eau de potasse marquant 3°, et enfin le lendemain et les jours suivants on continue de tirer à sec, puis à l'eau, matin et soir, ayant soin d'augmenter la force d'un degré à chaque passage jusqu'à ce qu'on ait atteint 16° du pèse-sel, ou environ 4° et 1/2 de l'aréomètre de Baumé ; les boyaux sont alors suffisamment net-

(1) Il y a plusieurs départements en France qui fournissent de très petits moutons, et principalement dans les environs de Lyon ; aussi dans cette ville n'y fabrique-t-on que des chanterelles à 3 fils.

(1) Les intestins sont composés de trois membranes très distinctes, la muqueuse, la musculaire et la péritoniale, et une quatrième qui n'est pas susceptible de se séparer, et qui se désigne sous le nom de cellulaire.

(2) Le pèse-sel dont nous voulons parler est construit de la même manière que l'aréomètre de Baumé, seulement chaque degré de l'aréomètre de Baumé est divisé en 10 dans le pèse-sel.

toyés pour être filés en cordes ; mais avant il faut les choisir, et c'est l'opération qui demande le plus de soins.

On met ensemble tous les boyaux fins susceptibles de faire des chanterelles à trois fils, ayant soin de mettre ensemble ceux qui sont inégaux de grosseur, et d'un autre côté ceux qui sont à peu près aussi gros d'un bout que de l'autre. On sépare ensuite les blancs de ceux de couleur, afin de laisser ces derniers pour faire des cordes rouges ou bleues, comme aussi on met de côté les plus gros boyaux pour être employés aux troisièmes de violon et aux grosses cordes de harpe, puis on met ces divers choix dans des terrines séparées et on les dispose au filage.

Les cordes se filent sur des métiers qui portent environ trois longueurs de violon, et l'on fait ordinairement trois cordes à la fois ; on a pour cela une roue à deux crochets.

Après avoir attaché les boyaux à une petite cheville, on la place sur un des crochets de la roue, et ensuite on passe les boyaux autour d'une cheville fixée à l'extrémité du métier, puis on coupe de longueur convenable, et après avoir fixé une petite cheville on la passe sur la deuxième broche de la roue, puis on tourne la roue environ 8 à 10 tours, et comme cette grande roue fait mouvoir les petites molettes qui reçoivent 30 fois plus de torsion que la grande roue, il en résulte que les cordes reçoivent une torsion de quelques centaines de tours.

La corde étant filée, on ôte les deux petites chevilles qu'on place dans les trous pratiqués sur le métier, et on recommence à filer une autre corde, jusqu'à ce que le métier soit entièrement garni des deux côtés.

On doit observer dans le filage, de placer les boyaux 1 gros bout et 1 petit bout. Quant au troisième fil on le choisit parmi ceux qui sont assez réguliers de grosseur ; le métier étant garni de cordes se porte à la chambre au soufre, et à la fin de la journée, lorsque le filage est terminé, on allume du soufre dans la chambre, ayant soin de mastiquer avec de la terre glaise les ouvertures de la porte. Ce soufrage a pour but de blanchir les cordes ; on emploie ordinairement la fleur de soufre, et la quantité qu'on en met à brûler n'a aucune influence sur le blanchiment. On évite d'en trop mettre par économie, attendu qu'il ne peut s'en brûler qu'en raison du volume de l'air contenu dans le soufroir ; si on en mettait trop l'excès du soufre serait liquéfié et en partie perdu. Le soufre en se brûlant se combine avec l'oxygène et donne lieu à la formation d'acide sulfureux, qui a la propriété de blanchir toutes les matières animales. La quantité de soufre qu'on peut employer est ordinairement de 25 gram. pour une chambre de 2 mètres cubes.

Lorsque les cordes ont passé la nuit on les retire du soufroir pour les faire un peu sécher, puis on les retord une deuxième fois en leur faisant subir une assez forte tension, ensuite on procède à l'étrichage ; ce travail se fait avec des cordes en crin qu'on enlace autour de chaque corde, de manière à former de petites masses d'environ 15 cordes pour chaque masse, puis l'ouvrier prend une de ces masses dans chaque main et après avoir mouillé, à l'aide d'une éponge, avec de l'eau de potasse il frotte les cordes d'un bout à l'autre environ 50 fois, mais en mouillant 2 ou 3 fois par intervalles ; ce travail a pour but de nettoyer et de dégraisser parfaitement la corde, on retire les cordes en crin, et avec une éponge on fait descendre les saletés jusque sur la tête du métier, puis on passe l'éponge mouillée sur toutes les cordes, et lorsque tout est fini on remet le métier au soufre ; le lendemain les métiers sont retirés et les cordes reçoivent encore un petit retordage, et lorsqu'elles sont parfaitement sèches on les coupe, puis on

CORDES D'INSTRUMENTS.

les roule une à une sur une petite forme cylindrique, et après les avoir attachées, une à une, on les met par paquets de 30, elles sont alors prêtes à livrer au commerce, mais avant on les enduit d'un peu d'huile d'olive de bonne qualité ; comme l'huile a l'inconvénient de rancir il est préférable de n'en pas mettre, néanmoins on peut empêcher l'huile de rancir en y ajoutant environ un centième de son poids d'essence de laurier.

Les chanterelles de violon ne se polissent pas ordinairement, mais toutes les autres cordes sont polies avant d'être coupées ; lorsqu'elles sont parfaitement sèches, on place le métier horizontalement sur deux tréteaux, et au moyen d'une bande de toile qu'on forme en plis, on place une corde dans chaque pli au nombre de 10 à 12, on y met un peu de pierre-ponce en poudre ou de verre pilé avec un peu d'huile d'olive, on serre le tout fortement dans la main et on frotte dans toute la longueur des cordes jusqu'à ce qu'elles soient parfaitement unies et après les avoir essuyées, on les coupe pour les ployer une à une et les mettre en paquet comme les chanterelles.

Quant aux cordes rouges ou bleues pour la harpe elles se filent de la même manière, seulement on teint les boyaux en rouge ou en bleu suivant les besoins. On choisit les plus tachés pour teindre en bleu.

Le bleu se prépare avec du tournesol de Hollande qu'on met tremper dans de l'eau de potasse portant un degré de l'aréomètre de Baumé, on filtre la couleur et on la met sur les boyaux qu'on veut teindre, ayant soin de remuer pour faire pénétrer la couleur ; il faut employer une teinte moins foncée pour les grosses cordes que pour les petites ; il faut aussi éviter d'approcher les cordes bleues du soufroir attendu qu'elles deviendraient rouges, tous les acides ayant la propriété de faire passer les couleurs végétales bleues au rouge (1) ; voilà pourquoi la plus grande partie des cordes bleues deviennent rouges, et surtout si on n'a pas soin de les isoler des cordes qui ont été soufrées.

Le rouge se prépare avec du marc de cochenille qu'on fait bouillir dans de l'eau de potasse marquant un degré de l'aréomètre de Baumé, on filtre et on teint avec les boyaux dont on veut faire les cordes rouges, ayant soin de faire une couleur d'autant plus légère que les cordes sont grosses, opération très facile en faisant la couleur très foncée ; on peut l'affaiblir à volonté avec de l'eau de potasse.

Les cordes rouges vont au soufre comme les blanches, et elles acquièrent par l'effet des acides un rouge plus vif et plus brillant.

Toutes les cordes en boyaux pour les instruments se vendent en paquets de 30, les grosses se mettent en demi-paquets de 15 ; leur prix varie suivant leur grosseur ; les prix les plus élevés sont ordinairement de 1 fr. par fil, ou pour mieux dire par grosseur de boyaux ; mais en général les bonnes chanterelles se vendent plutôt à raison de 1 fr. 50 c. par fil, tandis que les grosses cordes se livrent pour la plupart au-dessous de 1 fr., surtout en France où les troisièmes de violon s'y vendent à 4 et 5 fr. le paquet, quoique étant considérées comme ayant 8 et 9 fils, tandis qu'en Italie, les grosses cordes augmentent de valeur suivant leur nombre de fils dans la même proportion que les chanterelles.

Nous parlerons maintenant des moyens qui peuvent faire reconnaître à la vue les bonnes cordes.

Les chanterelles doivent être transparentes, parfaitement unies et assez régulières de grosseur ; elles ne doivent pas être trop blanches, car cela prouverait qu'elles ont été faites avec des agneaux trop jeunes, et lorsqu'on

(1) Lorsque les cordes bleues sont devenues rouges, on peut les ramener en les exposant à de la vapeur d'ammoniaque, opération qui peut se faire facilement dans un bocal ou dans une boîte fermée.

serre un paquet de chanterelles sous la main, elles doivent paraître élastiques et revenir promptement comme le ferait un ressort d'acier; il est possible de donner de la roideur aux cordes en employant dans leur fabrication des sels à base d'alumine, mais ces cordes se cassent lorsqu'on presse le paquet, la corde n'est pas moelleuse et ne revient pas facilement dans la même position cylindrique qu'elle avait; de plus, elle change de couleur lorsqu'on la comprime; c'est donc toujours un signe de bonne qualité lorsque les cordes ne changent pas de couleur et qu'elles reprennent de suite leur forme cylindrique.

Les grosses cordes, deuxième et troisième, doivent au contraire être très blanches, transparentes et très molles lorsqu'on comprime un paquet, mais elles ne doivent pas changer de couleur et doivent revenir promptement à leur état cylindrique; si elles présentaient trop de roideur cela indiquerait qu'elles ont été faites avec des boyaux trop résistants et dans ce cas elles auraient une mauvaise qualité de son par les raisons que nous avons expliquées plus haut.

Les cordes doivent se conserver dans des boîtes de fer-blanc qu'on ouvre le moins possible.

Les cordes recouvertes de cantine, autrement dit d'un fil de cuivre argenté, sont pour la plupart faites avec de la soie à l'intérieur; cette opération est connue de tous les passementiers; elle se fait à l'aide d'un tour à deux poupées; la corde étant tordue des deux bouts à la fois la cantine s'y place seule par l'effet de la torsion que reçoit la corde des deux côtés; ces cordes se vendent par douzaine suivant leur grosseur et leur longueur.

PH. SAVARESSE.

CORDONNET (MÉTIER A) (*angl.* braiding machine, *all.* schnurmaschine). On donne le nom de cordonnet, dit M. Christian, à une petite corde formée d'un noyau ou mèche qu'on enveloppe d'un tissu de fils croisés, et qui sert à faire des cordons de sonnettes, de rideaux, etc. C'est de cette manière aussi que sont recouverts les manches des fouets.

Il y a des métiers à plus ou moins de fils. Celui que nous allons décrire, et qui est représenté dans les figures 572, 573 et 574, est à huit fils, destinés à recouvrir une mèche composée de fils très souples, en nombre suffisant pour donner au cordonnet la grosseur voulue.

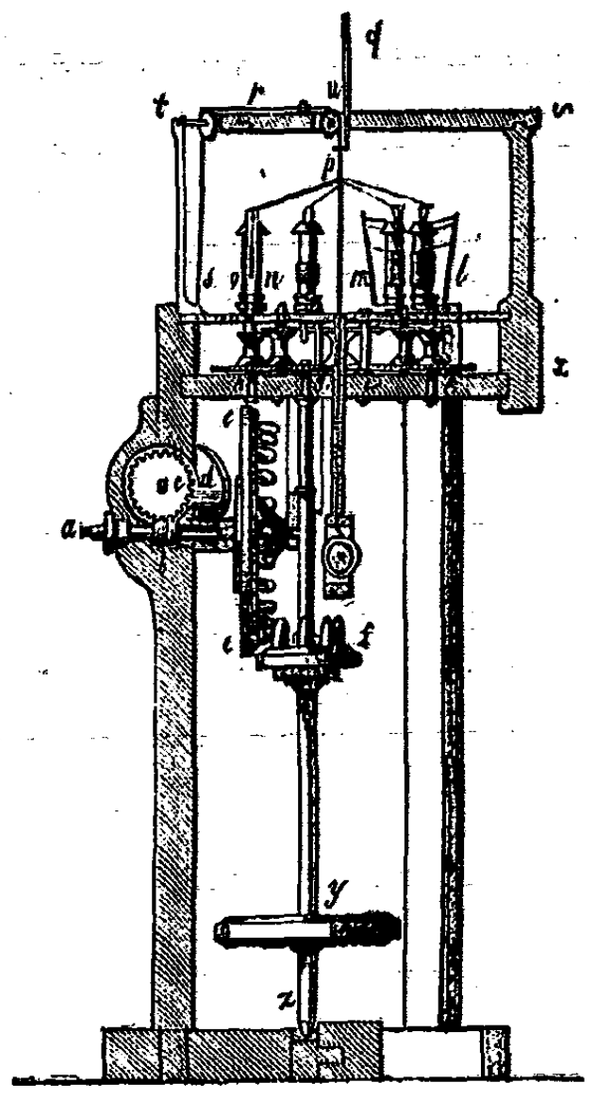
Le métier est monté sur un bâti dont les fig. 572 et 573 montrent le plan et l'élévation. Il est formé dans le bas de trois montants posés sur une base triangulaire, et qui supportent un plateau hexagone. Un arbre vertical en fer tourne dans une crapaudine *s*, logée dans la base du métier et dans un collet correspondant *g*, que porte la planche hexagone. Un volant régularise le mouvement qui est donné par une manivelle vissée à un arbre horizontal *a b*. Cet arbre porte à son autre extrémité une roue à mentonnets *e e*, qui engrène avec une autre roue de même forme, mais de plus petit diamètre, posée sur l'arbre vertical.

En même temps, au moyen d'une vis sans fin *o*, cet axe de la manivelle fait tourner la roue *c*. Celle-ci, au moyen de genoux de cardan, ou de joints brisés, communique son mouvement aux deux bobines de diamètres différents *a a*.

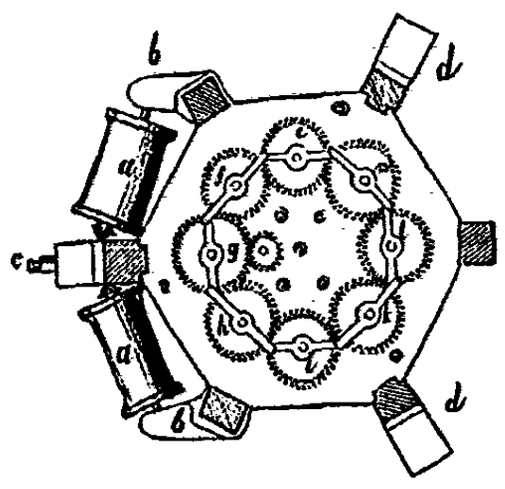
Le cordonnet, à mesure qu'il se forme, s'enroule sur l'une d'elles, ainsi qu'on le voit en *d* (fig. 572).

e, f, g, h, i, k, l, m sont des roues d'engrenage égales entre elles, et de nombre égal à celui des fils du métier. Elles sont rangées en cercle autour du centre de la machine, lequel est au point par où monte le cordonnet. Ces roues se communiquent successivement le mouvement qu'elles reçoivent de la roue *g*, qui le reçoit elle-même de la roue *n*, qui est à l'extrémité de l'arbre en fer vertical. Elles tournent librement sur des axes en fer, dont le bout supérieur va soutenir dans un plan parallèle à la planche *h, g, i, k*, les disques ovales dont une partie est vue en plan (fig. 573).

CORDONNET.



572.

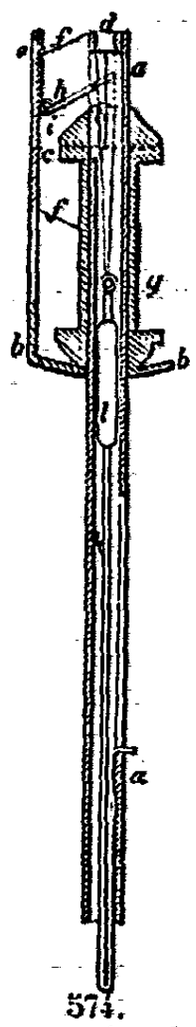


573.

Ces disques sont entre une couronne et un plateau en fonte, maintenus par des entretoises et qui sont découpés hexagonalement, de manière à laisser entre leurs contours et celui des disques un espace curviligne d'environ 13 millimètres.

n, m, l, sont les poupées au nombre de huit, qui portent et fournissent le fil destiné à former le tissu qui enveloppe la mèche qui est au centre de la machine. Ces poupées représentées sur une échelle du quart de leur grandeur naturelle (fig. 574), devant parcourir en sens inverse les espaces curvilignes dont nous venons de parler, et passer alternativement en dehors et en dedans

des disques ovales, tirent et lâchent le fil, dont la tension doit pourtant rester la même dans toutes les positions des poupées : c'est pourquoi elles sont construites d'une manière particulière. Sur une pièce de fer un peu oblongue, calibrée de manière à pouvoir parcourir librement les espaces curvilignes indiqués ci-dessus, est fixée en dessous une queue, et en dessus un tube en tôle de fer *a*, servant d'axe à une bobine *g*, qui porte le fil *f*. Dans l'intérieur de ce tube est un poids *l*, qui y monte et descend facilement, et porte à son extrémité supérieure un crochet. Le fil passe de la bobine en *f e f d*, puis par un trou de la détente *h*, vient traverser un anneau fixé au poids *l*, et de là, par le trou *d* correspondant au centre de la bobine, vient s'enrouler sur la mèche. La détente *h* qui tourne à charnières au-dessus de *i*, s'engage par l'autre extrémité dans les dents à crochet pratiquées sur le bout supérieur de la bobine, qu'elle empêche alors de tourner et de fournir du fil. Mais quand ce même fil est tiré en *f*, il soulève le poids *l*; le poids, en se soulevant, lève aussi la détente *h*; alors la bobine devient libre, et fournit du fil, qui est toujours maintenu au degré de tension nécessaire par le poids *l*.



574.

Les queues des poupées descendant en contrebas de la plaque de fonte sont engagées dans les espaces curvilignes dont nous avons parlé, et donnent aux poupées le mouvement de translation. Pour cela, le haut des axes des roues d'engrenage *e, f, g, h*.... est garni d'une pièce de fer qui dépasse de côté et d'autre dans deux plans différents au-dessus l'un de l'autre. Ces pièces de fer poussent les poupées dans leurs limites, et se les renvoient tour à tour, sans interruption, moitié dans un sens et moitié dans l'autre, d'où résulte le croisement des fils, et par conséquent la formation du tissu au point de leur réunion sur la mèche en *p*, autour duquel point les poupées circulent quand on vient à mettre la machine en mouvement.

Le cordonnet, ainsi fabriqué, va passer sur les poulies *u, u*, et s'enrouler sur une des bobines *a, a*, qui le tire avec une vitesse proportionnée à son diamètre et à la vitesse de la machine. Selon que le diamètre de ces bobines est plus ou moins fort, le tissu est plus ou moins serré sur la mèche.

CORNE (*angl.* et *all.* horn). La corne provient surtout des bœufs, vaches, buffles, chèvres et béliers. C'est une substance modérément dure, flexible, plus ou moins translucide, d'une couleur qui passe du blanc et du gris-jaunâtre au noir, qui se ramollit dans l'eau bouillante sans s'altérer, et qui peut alors se courber et se comprimer facilement, et même se souder sur elle-même. Ces propriétés permettent d'employer la corne à une foule d'ouvrages qui se font sur le tour, à la confection des tabatières, des peignes, etc. L'écaille de tortue possède des propriétés analogues ; on la distingue de la corne en ce qu'au lieu d'offrir une teinte uniforme, elle est couverte de taches plus ou moins colorées.

Le premier travail que l'on fait subir aux cornes consiste à les débarrasser de leur noyau intérieur, ce qui s'exécute en les faisant macérer plus ou moins longtemps dans l'eau froide, selon la saison, puis les frappant sur un morceau de bois, en les tenant par le petit bout : le noyau sort de lui-même. On coupe alors à la scie la pointe de chaque corne, ainsi que la gorge ou base, lorsque celle-ci présente quelques défectuosités ; la pointe est revendue en nature aux fabricants de pommes de cannes, de crosses de parapluies, etc. On ramollit ensuite les cornes, d'abord en les faisant macérer pendant plusieurs jours dans de l'eau froide, puis en les jetant dans une chaudière remplie d'eau bouillante, où on les laisse séjourner quelques heures. On les retire 2 par 2 de la chaudière, et on les enfile sur les deux branches d'une longue pince, au moyen de laquelle on les fait tourner rapidement au-dessus d'une flamme claire pour les chauffer bien également, et on les fend d'une extrémité à l'autre, pendant qu'elles sont chaudes, avec une serpette. Les cornes une fois fendues, on saisit les bords de la fente à l'aide de pinces plates, et on les étend en les tournant de temps à autre au-dessus d'une flamme claire. On met ensuite en presse entre des plaques de fer poli les plaques de corne, dont on a préalablement mouillé les deux bouts pour éviter leur déchirure, et on les laisse refroidir sous une pression peu considérable; lorsqu'elles sont suffisamment refroidies, on les retire de la presse, et on les met dans l'eau froide pendant quelques instants.

Les opérations qui précèdent constituent *l'aplatissage à blanc*. En cet état la corne conserve l'apparence extérieure qu'elle possédait dans son état naturel ; elle présente encore des veines blanches et opaques mélangées aux parties plus ou moins transparentes qui la constituaient alors, et elle peut servir à la fabrication des objets dont la transparence n'est pas une condition essentielle et qu'on ne destine pas à être colorés. C'est en général la seule opération que l'on fasse subir aux cornes de buffles.

L'aplatissage à vert, qui a pour but d'augmenter la transparence de la corne, ne peut s'exécuter que sur des cornes naturellement blanches ; on essaierait en vain d'appliquer cette opération aux cornes noires, en totalité ou en partie : la corne noire restera toujours opaque. On commence par faire chauffer la corne préparée à blanc au-dessus d'un feu de charbon de bois, puis au moyen d'outils de forme convenable, on gratte et on coupe les parties noircies par la fumée du bois, on enlève les parties trop épaisses, celles qui avoisinent les gerçures, jusqu'à la profondeur où celles-ci peuvent pénétrer, ainsi que les veines noires peu profondes, on coupe les bords sur lesquels se manifeste un commencement de fente, que l'aplatissage à vert pourrait faire continuer dans l'intérieur de la feuille; enfin, en un mot, on enlève tout ce qui pourrait empêcher la transparence de se manifester. Cette opération qui porte le nom de *dolage* étant terminée, on ramollit les cornes pendant un jour ou deux dans l'eau froide, puis, pendant quelques heures, dans de l'eau chaude à une température inférieure à 100°, en ayant soin de les maintenir aplaties, soit entre des pinces, soit de tout autre manière, pour les empêcher de reprendre leur forme primitive. Au sortir de l'eau chaude, on met les cornes en presse entre des plaques de fer inégalement chauffées, c'est-à-dire que les plaques les plus chaudes sont en contact de chaque côté avec la partie intérieure de deux cornes, et les plaques les moins chaudes avec les parties extérieures. Chaque corne est préalablement imbibée, avant la mise en presse, de suif fondu ou de graisse chaude, dont on jette aussi une certaine quantité entre les plaques de fer à mesure qu'on les serre. Lorsque la presse est entièrement remplie, on la serre fortement, mais graduellement, et on laisse refroidir le tout. Après un refroidissement complet, on desserre, on retire les cornes d'entre les plaques, et on a soin de les charger de poids pendant quelque temps pour les empêcher de gauchir. Si l'on a plusieurs pressées successives à faire, on retire les cornes avant leur refroidissement complet, et on les place entre des plaques froides où elles achèvent de se refroidir.

En cet état, la corne, dont l'extérieur est d'un brun

sale plus ou moins foncé, a acquis une transparence qui se manifeste lorsqu'on regarde le jour au travers, et qui devient complétement visible lorsqu'elle a été grattée et polie.

Pour fabriquer la *corne à lanterne*, on choisit les cornes les plus blanches et les plus belles, notamment celles des chèvres et des béliers. On les prépare comme nous l'avons décrit ci-dessus, et on refend ensuite les plaques de corne sur leur épaisseur, en 2 ou 3 feuilles, soit au moyen d'un ciseau d'acier, sur lequel on frappe à coups de marteau, soit à l'aide d'une scie circulaire horizontale très fine, qui est animée d'un mouvement de translation également horizontal. Les cornes d'animaux très jeunes, qui n'ont que 1 à 2 millimètres d'épaisseur ne sont pas refendues.

Pour polir les feuilles refendues comme il vient d'être dit, on place successivement dans une espèce de cadre métallique, de la dimension des feuilles à polir, des plaques de cuivre de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, bien polies des deux côtés, et les feuilles de corne à polir; les deux plaques extrêmes sont beaucoup plus épaisses que les autres, et le cadre peut contenir une douzaine de feuilles ainsi disposées entre les plaques de cuivre. Le cadre ainsi chargé est placé sous une presse entre des plaques de fer chaudes, et l'on serre fortement. Au lieu d'employer des plaques chaudes, il vaut mieux mettre la presse toute chargée dans l'eau bouillante, et ensuite dans l'eau froide. On obtient ainsi des feuilles parfaitement polies, sur lesquelles il suffit de passer un peu de blanc d'Espagne avec la paume de la main ou un tampon de laine, ce qui les fait sécher promptement.

Lorsqu'on veut avoir des feuilles de dimensions plus grandes que celles données naturellement par la corne de l'animal, il faut réunir ensemble plusieurs morceaux au moyen d'une opération qui prend le nom de soudure, bien qu'il ne faille pas, comme dans la soudure ordinaire des métaux, employer de corps intermédiaires. On fait ramollir dans l'eau bouillante les feuilles de corne maintenues entre des tasseaux de bois, afin qu'elles ne se courbent point, puis on les laisse refroidir avant de desserrer les tasseaux. On taille en biseau les parties qui doivent se joindre, en se servant d'un grattoir à tranchant vif, en ayant bien soin de ne pas toucher avec les doigts ou un corps gras, les biseaux ainsi préparés, qu'on superpose l'un sur l'autre, et qu'on maintient dans cette position en les entourant avec des fils serrés les uns contre les autres, jusqu'à ce que la jonction en soit entièrement recouverte, ou mieux encore, avec des bandes de papier qu'on colle en les croisant, procédé qui présente l'avantage de ne pas laisser d'empreinte sur la corne après la soudure. La forme des pièces exigeant différentes manières de les apprêter, on laisse en général ce soin à la sagacité de l'ouvrier soudeur, qui opère ordinairement à plat; pour cette opération on emploie des pinces plates en cuivre, de dimensions convenables, que l'on fait chauffer; quant à la température qu'elles doivent avoir, l'expérience seule de l'ouvrier peut l'indiquer. Les parties à réunir par la soudure sont alors placées entre les palettes chaudes de la pince, et on les serre dans un étau. On peut aussi, lorsque les dimensions de la feuille sont considérables, se servir d'une presse et de deux plaques de cuivre convenablement échauffées. On laisse refroidir le tout, on desserre, et l'on trempe la corne dans l'eau froide. On ragrée alors la soudure avec un grattoir à tranchant bien vif, en ayant soin de ne faire mouvoir d'abord cet outil que dans le sens de la feuille dont le biseau est en dessus, jusqu'à ce qu'on ait atteint la feuille de dessous; autrement on risquerait de décoller les deux parties. Lorsqu'elles sont bien de niveau, le grattoir peut être promené en tout sens. On adoucit alors la pièce avec de la pierre-ponce bien fine, et on termine le poli avec du tripoli de Venise bien broyé et lavé.

Pour produire sur la corne des taches qui lui donnent l'apparence de l'écaille, on la mouille par places avec des dissolutions métalliques dont la nature varie suivant la couleur des taches que l'on veut produire : pour le rouge on emploie une dissolution d'or dans l'eau régale; pour le noir on emploie une dissolution de nitrate d'argent; pour le brun une dissolution chaude de nitrate de mercure; le brun se produit aussi en appliquant par places sur la corne, une bouillie composée de litharge délayée avec une solution de potasse, puis chauffant pendant quelque temps. La couleur est plus ou moins foncée suivant la proportion de l'alcali, et le temps plus ou moins long que l'on laisse la bouillie sur la corne. Une dissolution d'indigo dans l'acide sulfurique, ainsi qu'une décoction de bois du Brésil, de safran, ou d'épine-vinette, peuvent également donner du brun. Après l'emploi de ces matières, on fait macérer la corne pendant 12 heures, dans une dissolution concentrée d'alun et de vinaigre.

En France, en Hollande et en Autriche, les fabricants de peignes et les tourneurs de corne utilisent les rognures et tournures de corne et d'écaille, pour en fabriquer, par pression, des boutons, des tabatières, etc. A cet effet, on remplit de rognures un moule en laiton, consolidé par un châssis en fer, que l'on place sous une presse entre deux plaques de fer fortement chauffées; le moule s'échauffe peu à peu, et à mesure que les rognures qu'il renferme se ramollissent, on les comprime, en serrant graduellement la presse, jusqu'à ce qu'elles se soient complétement soudées et aient pris exactement la forme du moule; on laisse ensuite ce dernier se refroidir spontanément ou on le plonge dans l'eau froide, on sépare les deux parties du moule et on en retire les rognures, qui se sont soudées en une masse compacte. On peut traiter ainsi, soit des rognures de corne, soit des rognures d'écaille, soit enfin un mélange des deux, ce qui a l'avantage de produire une matière moins fragile que l'écaille. Les rognures de corne exigent pour se souder une température plus élevée que celle d'écaille. On doit dans ce travail, tout comme dans la soudure, avoir bien soin de ne pas toucher la corne avec les doigts ou avec un corps gras, ce qui donnerait lieu à des solutions de continuité dans la soudure des fragments.

Pour faire un anneau en corne, pour des cordons de sonnette, etc., on découpe un morceau de corne sous la forme d'un fer à cheval et à peu près avec les dimensions qu'il doit avoir. On l'échauffe pour le ramollir, et on entaille les deux extrémités avec des emporte-pièces qui leur donnent la forme des deux parties d'un assemblage à queue d'aronde, et on le laisse refroidir sous presse; on le réchauffe de nouveau pour fermer l'assemblage, et lorsque la soudure est faite avec soin, il est impossible d'en déterminer la place.

Les manches des couteaux de table et des fourchettes, ou autres pièces analogues, se forment de deux parties que l'on ramollit à l'aide de la chaleur et où on pratique par pression au moyen de matières chauffées, dans l'une des feuillures latérales et sur l'autre des languettes correspondantes; on les réchauffe alors de nouveau et on les soude, par pression, entre deux étampes chauffées.

Les boutons de corne pour les tiroirs, qui doivent porter un axe métallique ou une vis, se font également en deux parties moulées séparément; le revers du bouton est percé d'un trou par lequel passe l'axe ou levier; cet axe se termine par un disque métallique que l'on introduit entre les deux faces du bouton, qui sont ensuite soudées comme il vient d'être dit; pour rendre la soudure plus intime, on a pratiqué dans la partie antérieure du bouton une rainure annulaire, dans laquelle s'engage une saillie correspondante ménagée sur la partie postérieure.

CORNUE (*angl.* retort, *all.* retorte). On donna d'abord ce nom à des appareils distillatoires, en verre, en grès, en terre cuite, en porcelaine, en platine, en fonte ou en fer, composés d'une *panse* et d'un long col latéral recourbé. Plus tard on appliqua indistinctement ce nom à tous les appareils distillatoires, quelle que fût leur forme, comme les cornues cylindriques, prismatiques, etc., employées pour la fabrication du *vinaigre de bois*, du *noir animal*, du *gaz d'éclairage*, etc. Nous donnerons à chacun de ces articles le dessin de ces diverses cornues, et nous parlerons de leur construction en décrivant l'élaboration des matières dont elles sont composées, ce qui nous dispense d'entrer ici dans des détails qui n'y seraient pas à leur place.

COTON (FILATURE DU) (*angl.* cotton manufacture, *all.* baumwollen-spinnerei). Le coton est un filament court, un duvet végétal qui enveloppe les semences du cotonnier, appelé *gossypium* par Linnée, et placé par lui dans l'ordre *polyandria* et la classe *monadelphia*; mais appartenant à la famille des *malvacées*. Le cotonnier croît presque spontanément dans tous les pays chauds, et il est originaire de l'Inde et de l'Amérique. On compte différentes espèces de cette plante; mais les caractères de leurs produits sont fort incertains, et il n'est guère de botaniste qui puisse se reconnaître parmi les différentes sortes de coton répandues dans le commerce. D'après Linnée, il y aurait seulement cinq espèces de cotonniers; d'un autre côté, Lamarck, dans son *Encyclopédie méthodique*, en reconnaît huit, et treize sont décrites par de Candolle. Au point de vue de la culture, on divise toutes les espèces de cotonniers en deux classes principales qui sont :

Première classe : cotonniers herbacés;
Deuxième — cotonniers arbustes ou arbres.

Voici maintenant les propriétés les plus saillantes qui caractérisent ces classes :

Première classe. Le cotonnier herbacé est une plante annuelle, qui se cultive dans l'Inde, la Chine, les États-Unis et plusieurs autres pays. Il s'élève ordinairement à une hauteur de 60 à 65 cent., et a l'appa-

Fig. 575.

rence de nos roses trémières (fig. 575). Veinées de de brun et d'un vert foncé, ses feuilles se divisent chacune en cinq lobes, quant à la fleur, elle est d'un jaune pâle, avec un large pistil à cinq pétales, marqués vers le fond d'une tache pourpre. Dès que la fleur est tombée, on voit paraître une enveloppe capsulaire, supportée par cinq feuilles vertes triangulaires, dont le limbe est profondément dentelé. La cosse, à peu près triangulaire, avec le bout terminé en pointe, se compose de trois compartiments et elle atteint les dimensions d'une grosse noix aveline. Lorsque la graine est parvenue à son degré de maturité, l'enveloppe ou cosse s'entr'ouvre, et trois flocons de duvet, d'un blanc de neige ou jaunâtre, sortent, comme autant de houppes, des trois compartiments renfermant les graines qui y adhèrent fortement, et ressemblent un peu, mais dans des proportions plus grandes, à des pepins de raisin.

Deuxième classe. Le cotonnier arbuste est une espèce vivace dans l'Inde, l'Égypte, qui atteint 3 à 4 mètres de hauteur; il diffère peu, pour la fleur et le fruit, du cotonnier herbacé, et il croît dans la plupart des contrées où l'on trouve ce dernier. Parmi les principales variétés du cotonnier arbuste, nous citerons le cotonnier indien, le cotonnier feuille de vigne, et le cotonnier religieux (*gossypium religiosum*) de Linnée, dont les fleurs sont blanches dans quelques variétés, auxquelles appartient probablement le coton blanc de Rome, cultivé dans le Jardin-des-Plantes de Paris. Le cotonnier arbre offre les mêmes caractères à peu près que le cotonnier arbuste, mais il s'élève beaucoup plus haut. On le trouve dans l'Inde, la Chine, l'Égypte, en Amérique et sur les côtes occidentales de l'Afrique.

Il est encore une autre espèce de cotonnier non exploité, qui peut atteindre une grande hauteur, et produit un coton soyeux et d'une blancheur éblouissante; mais la fibre de ce coton est si courte et si cassante, qu'on ne peut l'employer dans la filature. Je veux parler du cotonnier connu vulgairement sous le nom de cotonnier parasol; dont le nom latin est *bombax ceiba*.

Les filaments des différents cotons diffèrent en longueur, en flexibilité, en ténacité, en épaisseur suivant qu'ils proviennent des diverses espèces dont nous venons de parler. Deux propriétés influent surtout sur la valeur du coton en laine, ce sont la longueur et la finesse. De là, les grandes différences qu'on remarque dans le prix des cotons en laine. On en jugera par le tableau suivant qui indique les prix assignés il y a quelques années, en septembre 1858, à Liverpool, aux diverses sortes de coton :

	Prix par kilog.
Sea-Island, ou Géorgie long. . . .	2f,50 à 6f,20
Demerara et Berbice	1f,40 à 2f,20
Fernambouc.	1f,60 à 2f,00
Égypte	1f,50 à 2f,30
Nouvelle-Orléans	0f,90 à 1f,80
Bahia.	1f,50 à 1f,60
Upland, ou Géorgie court.	1f,00 à 1f,50
Indes occidentales	1f,40 à 2f,00
Surate.	0f,85 à 1f,40
Madras	0f,80 à 1f,20
Bengale	0f,70 à 1f,40

Le géorgie long ou *sea-island* qui est récolté dans les îles et sur les côtes de l'Amérique vers Charleston et Savannah est le roi des cotons connus, tant par sa longueur et sa finesse que par sa force, sa propreté et sa blancheur argentée, brillante. Certaines variétés de ce coton valent jusqu'à 8, 10, 12 et même 14f le kilog.

Examinés avec un bon microscope, les filaments du coton ressemblent plus ou moins à un ruban que l'on tordrait sur lui-même. Dans la partie plate de ce ruban, la transparence est parfaite, et l'on remarque, de chaque côté, une lisière semblable à un ourlet. La

largeur de ce ruban, dans le plus fin *sea-island* ou géorgie long, est de 1/140e de millimètre. Les fibres du coton de l'Inde sont très-courtes, les prix ci-dessus sont à peu près en raison de leur longueur dans les diverses espèces.

Dans un curieux travail sur la résistance des fibres du coton, M. Heilmann a trouvé que la force nécessaire pour rompre une fibre variait de 2 à 4 gr., suivant les espèces.

Cette fibre régulière, libre, blanche, régulière, est la matière la plus parfaite à laquelle les procédés de la filature aient pu s'appliquer, aussi est-elle la première que l'on ait pu réussir à filer entièrement à l'aide de machines.

Pour récolter le coton, on a soin de cueillir les cosses au fur et à mesure qu'elles sont ouvertes, afin que le coton ne s'échappe pas de leur intérieur, et l'on enlève à la fois le coton et les graines, en laissant la cosse sur l'arbre. Il est essentiel de choisir un beau temps pour faire cette opération, car la moindre humidité qui s'introduirait dans le coton pourrait le faire noircir par la suite. Une fois le coton récolté, on le laisse exposé au soleil pendant quelques jours, afin que les graines et le coton se dessèchent et rendent plus facile l'opération qui a pour but de séparer les fibres du duvet des graines huileuses.

Culture du cotonnier. — Selon M. G. Heuzé, le cotonnier herbacé ou annuel qui végète pendant sept mois environ, a besoin pour fleurir et mûrir ses graines d'une température qui s'élève jusqu'à 45 et 48° cent. L'époque des semis varie selon les climats, en Algérie ce sont les mois de mai et de juin, et l'on récolte en octobre. La germination demande de huit à dix jours. La floraison a lieu de quatre-vingts à cent jours après les semis; et la maturité des fruits, soixante-dix ou quatre-vints jours après la floraison. La maturité est compromise si la température s'abaisse, même momentanément, au-dessous de 16 à 17°.

Le cotonnier veut un terrain fertile, profond, de consistance moyenne, médiocrement humecté, argilo-calcaire ou calcaire siliceux. Cette culture épuise le sol et exige une fumure abondante, des amendements calcaires notamment.

Les semis se font par *paquets* avec la pioche; en *lignes* dans des rayons qu'on recouvre avec le râteau; ou à *la volée*, méthode qui n'est guère pratiquée que dans la basse Égypte. Les cotonniers doivent être isolés, de façon que toute leur surface extérieure ait de l'air et du soleil. Une dizaine de jours après que les graines ont levé, on donne un premier binage que l'on répète dès que la surface de la terre s'est durcie; puis on éclaircit les plants en laissant les mieux venus et en enlevant les autres de manière à produire l'espacement convenable. Quand les boutons à fleur ont paru, on donne encore un binage, que l'on répète dans certaines contrées avant l'épanouissement des fleurs. Un arrosage abondant est nécessaire, c'est assez dire que cette culture n'est possible avec avantage que dans les contrées où l'on peut établir un système d'irrigation; c'est la principale condition qui limite le nombre des points où la culture du coton est possible. C'est la pénurie des eaux dont dispose aujourd'hui l'agriculture en Algérie, qui a fait que malgré tous les encouragements la production du coton a bien de la peine à dépasser 150,000 kil. quand on évalue à 2,260 millions de kilog. la production du coton sur la surface du globe, dont les 9/10 de l'Amérique, de l'Inde et de l'Egypte. Ce dernier pays, sollicité à produire par la guerre civile d'Amérique, restera, grâce à son Nil, un pays de grande production, et l'ardeur du Fellah arabe à s'enrichir y a engendré des merveilles comparable à celles qu'avait fait admirer l'énergie du planteur du Sud des États-Unis.

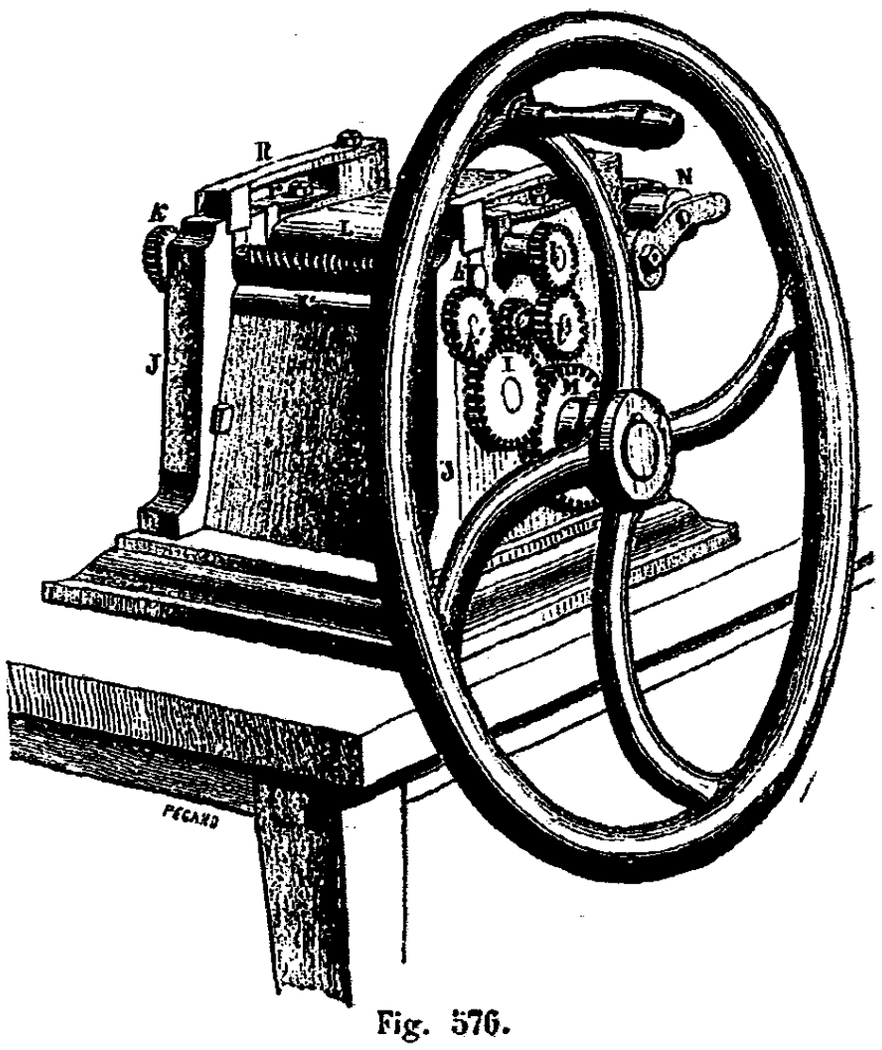


Fig. 576.

Des insectes de tout genre contrarient la culture du coton, comme de la plupart des graines qui germent dans les pays chauds et humides où les générations d'insectes se produisent avec une si effrayante fécondité; mais de plus le coton a une chenille particulière qui tous les mois donne une nouvelle génération d'insectes qui se multiplient pour vivre sur la plante.

Séparation de la graine et des filaments. — Après avoir sans doute été faite longtemps à la main de temps immémorial, cette séparation est obtenue dans toute l'Asie dont le coton nous est venu, dans les Indes et la Chine par un petit appareil appelé par les Anglais *roller-gin*, composé de deux cylindres tournant en sens contraire, suffsamment rapprochés pour attirer le coton sans laisser passer les graines entre eux. Avec son aide, un ouvrier peut préparer en moyenne dix ou quinze kil. par jour; c'est un appareil domestique. Dans les grandes plantations des États-Unis, on opère avec une machine bien plus puissante dite Saw-Gin, inventée par Élie Whitney, qui peut éplucher jusqu'à 3,000 kil. par jour en brisant quelques fibres, inconvénient qui ne compense pas les avantages de cette machine dans les grands centres de production, lorsque le coton est à son prix normal et peu élevé. Cette machine a été considérée par les Américains comme une des causes capitales du succès de l'industrie de la production du coton dans le Sud des États-Unis.

Les machines à rouleau (fig. 576) ont été beaucoup perfectionnées dans ces dernières années. La bonté des produits qu'elles fournissent et leur utilité pour propager la culture du coton dans de nouveaux pays, l'Al-

gérie et le Sénégal, par exemple, nous engage à donner la description de la machine de M. F. Durand, qui est devenue un petit ustensile propre à faire exécuter l'opération, avec une perfection rare, par les femmes et les enfants, à en faire un travail domestique, tandis que le Saw-Gin et même les machines Maccarthy à rouleaux sont essentiellement des machines d'usines, exigeant des moteurs et des installations coûteuses.

La difficulté que présentaient les machines à rouleaux d'attirer les graines en même temps que les fibres a été très-heureusement levée par l'emploi de cannelures hélicoïdales à l'un des rouleaux qui fait que la graine se dirige obliquement. C'est ce principe qui a permis de faire une machine aussi simple que la machine primitive de l'Indou et qui donne d'excellents résultats en produisant bien plus.

Pour travailler à l'aide de la petite machine de M. F. Durand (*fig.* 576), l'opérateur tourne la manivelle avec la main droite pendant qu'il présente directement avec la main gauche les touffes de coton aux cylindres égreneurs. Le rouleau supérieur cannelé en hélice a un diamètre de 13 millimètres et fait sept révolutions pour chaque tour du volant fixé sur l'arbre de la manivelle. Le rouleau inférieur est muni d'une feuille de parchemin assemblée par une de ses extrémités seulement, de telle sorte qu'enroulée par la rotation, elle est toujours entraînée et agit comme tablier pour attirer les fibres de coton. Il a 18 millimètres de diamètre et fait trois tours pendant que le supérieur en fait sept. Deux cylindres délivreurs sont placés en arrière des cylindres égreneurs contre lesquels ils sont pressés par des ressorts dont la bande peut être convenablement réglée; ils se touchent entre eux suivant une génératrice placée dans un même plan horizontal que la génératrice de contact des rouleaux. Ils ont l'un et l'autre 30 millimètres 1/2 de diamètre et font le même nombre de tours que le rouleau égreneur recouvert de parchemin.

Nous décrirons maintenant le Saw-Gin américain. La fig. 577 représente une coupe perpendiculaire à l'axe

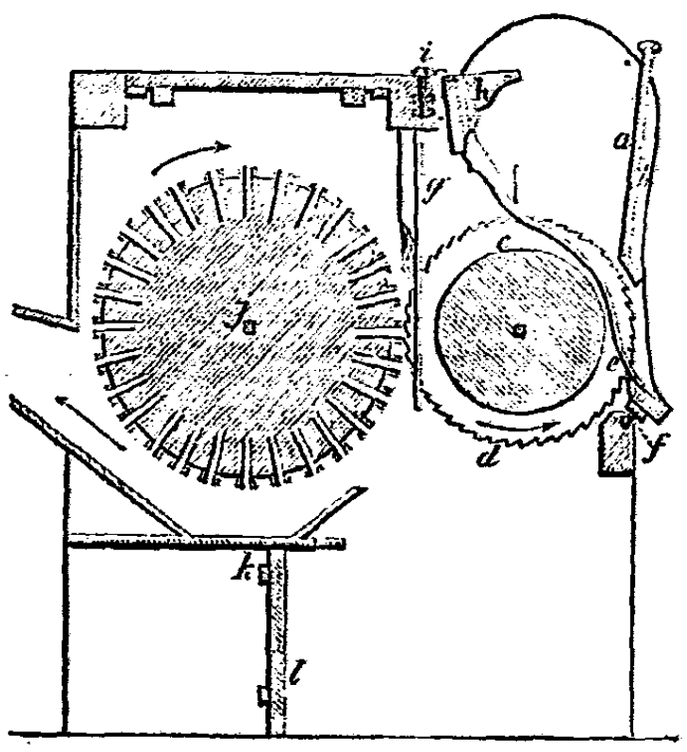


Fig. 577.

qui porte les scies qui possèdent un mouvement circulaire; il est clair que par la répétition d'éléments semblables à celui représenté en coupe, on peut faire croître à volonté la production d'un appareil de ce genre. *c* est le cylindre sur lequel sont adaptées des séries de scies *d*, *d*. Ce cylindre est d'environ $0^m,24$ de diamètre et tourne de manière que les dents des scies accrochent les fibres. Les scies circulaires parallèles fortement attachées à l'axe sont séparés entre elles par des barreaux *e* formant grille. Au-dessus du cylindre est une espèce de trémie, dans laquelle on jette le coton brut; ses fibres sont accrochées, tirées au travers de la grille et les graines séparées, roulent en bas de la grille inclinée pour s'échapper par l'extrémité inférieure. *f* est un cylindre brosse qui débarrasse les dents des scies des filaments de coton qui s'y sont attachés.

Quand le coton est débarrassé de toute parcelle de graine, on le soumet à une autre épuration qui consiste à le battre dans un tambour à ailettes, au centre duquel passe un courant d'air qui le purge de la poussière dont il est chargé. Puis, on le ramasse et on le porte à l'emballage, où on le convertit en ballots qu'on recouvre de toile à voile. Chaque ballot américain contient environ 170 kilogr.

DE LA FILATURE. L'art de réduire en fil les substances filamenteuses est connu de toute antiquité. Les conditions à remplir se réduisent :

1° A disposer les fibres parallèlement les unes à côté des autres;

2° A les réunir par une torsion suffisante, pour rendre le frottement des fibres les unes sur les autres assez considérable pour qu'elles rompent plutôt que de glisser.

Notions historiques. Disons d'abord quelques mots de la manière dont on est arrivé aux procédés si parfaits employés aujourd'hui, ce qui permettra de bien apprécier le but de chaque machine.

Le mode primitif de convertir le coton en fil, à l'effet d'être tissé en étoffe, consistait dans l'emploi de la quenouille et le fuseau, et ce mode est encore en usage dans l'Indoustan pour filer le coton.

La quenouille est un bâton de bois portant une poignée de coton en laine peu serrée autour de son sommet. La fileuse tient la quenouille entre le bras gauche et le corps; sa main gauche est plus rapprochée de la quenouille que la droite; les mains sont tenues à environ 5 centimètres l'une de l'autre, et tirent continuellement le coton de la quenouille, la main droite étendant et tordant autant de coton qu'il y en a entre elle et la main gauche, et en formant un fil fin qui est de nouveau tordu par un fuseau suspendu qu'on fait tourner constamment, et sur lequel le fil est ensuite envidé. Ce procédé était connu de toute antiquité; ce n'est, il paraît, que depuis le seizième siècle que le rouet est venu permettre à l'ouvrière de l'Europe de produire mieux et davantage (voy. ROUET, *Complément.*).

Il est curieux de connaître l'état de la manufacture du coton en Angleterre, au commencement du dernier siècle. La chaîne (ou les fils longitudinaux de l'étoffe) était composée de fil de lin, importé en écheveaux ou en paquets de l'Allemagne. C'était le tisserand qui l'achetait directement et la préparait pour le métier, en l'arrangeant en lignes parallèles. La trame (ou les fils transversaux de l'étoffe) était faite de coton, qui était également acheté par le tisserand.

Le coton était battu, épluché et nettoyé, et ensuite cardé ou brossé avec des brosses grossières en fil d'archal. Le cardage était fait avec des cardes à main d'environ 30 centimètres de long et de 13 de large, le cardeur en tenant une dans chaque main. Le coton, après avoir été épluché et nettoyé, était étendu sur l'une de ces cardes, et était brossé, ratissé ou peigné avec l'autre, jusqu'à ce que ses fibres fussent toutes disposées dans le même sens; il était alors enlevé en loquettes ou boudins sans consistance, d'environ 30 centimètres de long et de 2 centimètres de large. Ces loquettes étaient ensuite converties en un gros fil, de la manière suivante : après les avoir fixées par un bout à la broche d'un rouet à main, l'on tournait

avec la main droite le rouet qui faisait mouvoir la broche, et en même temps l'on étirait la loquette avec la gauche en imitant le travail que nous voyons exécuter aux cordiers. Le mouvement ainsi communiqué à la loquette étirée, la tordait en spirale. Lorsqu'elle était tordue, on la renvidait sur la broche et l'on en attachait une autre qui était étirée et tordue de la même manière. On formait ainsi un gros fil continu que l'on convertissait en trame à peu près, ainsi que nous allons le dire, comme les loquettes étaient converties en fils en gros.

Une première invention capitale, attribuée généralement à *Hargraves*, et par quelques-uns à *Highs*, ce fut celle de la *Jenny*. En filant au rouet à la main, le fil en gros était tenu ferme entre l'index et le pouce de la main gauche, à 15 centim. de distance de la broche; la roue, qui au moyen d'une lanière donnait le mouvement à la broche, était ensuite tournée par la main droite; et dans le même temps, la main gauche qui tenait le fil en gros, comme on vient de le dire, était retirée en arrière d'environ 0m,45; le fil en gros était ainsi allongé en trame, la torsion nécessaire était donnée au moyen de quelques tours de la roue, et enfin la trame était renvidée sur la broche. La *Jenny* (fig. 578) exécuta ces opérations sur plusieurs fils à

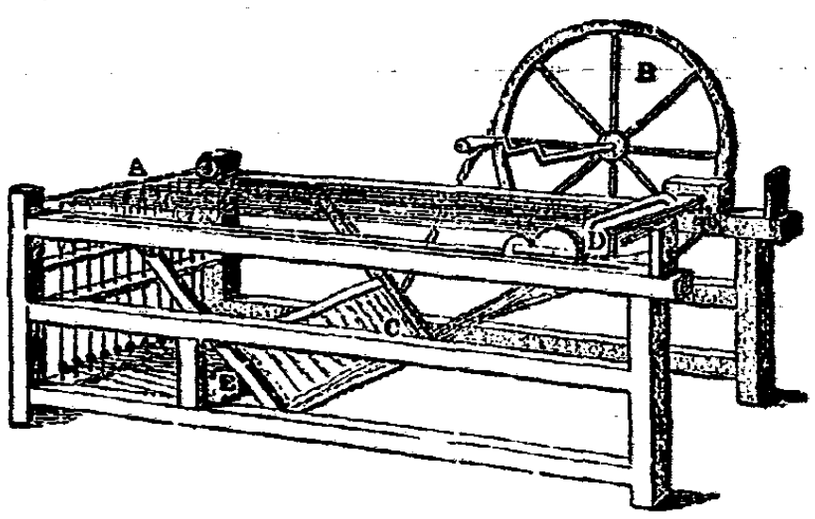


Fig. 578.

la fois en réunissant plusieurs bobines mues par une même manivelle et en produisant l'allongement de tous les fils par le mouvement d'une seule pièce.

Les fils en gros portés sur de petites broches, placées dans le cadre incliné C et maintenus par des brides en fil d'archal étaient dévidés par le mouvement de glissement du chariot D sur le bâti, D portant deux mâchoires en bois qui saisissaient les fils. Les broches placées en A tordaient le fil qui s'allongeait pendant le mouvement en arrière de D et l'enroulaient sur les bobines, pendant son mouvement en avant, par suite de la rotation communiquée à l'aide d'une manivelle tournée par l'ouvrier avec son autre main, du volant au rouleau E, et des cordes sans fin de celui-ci aux broches.

Cette machine était d'une importance capitale en ouvrant la voie aux combinaisons qui ont créée la filature automatique; mais la *Jenny* n'était applicable qu'à la filature des fils de trame, et ne donnait pas des fils assez résistants pour les fils de chaîne. C'est à Arkwright que revient l'honneur d'y être parvenu par l'invention du *Throstle* ou métier continu, dit aussi métier hydraulique, parce que la force nécessaire pour le faire agir exigeait l'emploi d'un moteur. C'est dans ce métier dont nous donnons plus loin la description, que se trouvent employés pour la première fois les cylindres-étireurs, organe tout nouveau et vraiment admirable sur lequel repose surtout la filature moderne par machines. Ces rouleaux cannelés agissant par doubles paires, la seconde possédant aux circonférences de contact une plus grande vitesse linéaire que la première, produisent l'étirage continu du fil qui passe entre eux.

De l'invention de la *Jenny* et du *Throstle*, de la combinaison des deux modes d'étirage qui sont appliqués dans ces machines, est née la *Mull-Jenny*, inventée en 1775, par *Samuel Crompton*, de Bolton-le-Moors, que nous décrirons plus loin en détail. Dans cette machine, la mèche passe entre des cylindres placés sur le derrière du métier et arrive aux broches qui sont placées en avant sur un chariot mobile. A mesure que les broches tournent, le chariot s'éloigne des cylindres, un peu plus vite qu'ils ne délivrent la mèche. La première paire de cylindres attire la mèche de la bobine; la seconde paire l'étend et l'allonge. Lorsqu'une certaine quantité de mèche a passé, les cylindres s'arrêtent et la serrent fortement, comme la pince le fait dans la *Jenny*; les broches continuent encore à tourner, et le chariot à reculer, en étendant la mèche à la finesse requise, et lui donnant la torsion nécessaire; le fil en fin est ensuite renvidé sur les broches, en faisant retourner le chariot à sa première position. Par cette extension graduelle de la mèche, elle peut être étirée beaucoup plus fine que sur la *Jenny*, que sur le métier hydraulique qui l'allonge d'une manière continue, et permet d'obtenir des numéros bien plus élevés qui ont permis la fabrication des mousselines et autres étoffes légères. Enfin le métier *Self-acting* est venu réaliser le mouvement automatique de la *Mull-Jenny*.

Passons maintenant à la description détaillée des procédés employés aujourd'hui.

1° ÉPURATION DU COTON. Le coton livré aux fabricants est sale et en masses compactes, ayant été longtemps comprimé; il est nécessaire de le nettoyer et de le démêler avec beaucoup de soin, avant de le soumettre à l'opération du cardage. On y parvient au moyen des appareils suivants:

Le *willow* a pour but d'ouvrir le coton et de faciliter sa répartition en étoupe. Avant cette machine, on employait à cet effet l'appareil, dit *panier de Normandie*. Il consistait en un cylindre incliné, à claire-voie, formé de deux disques en bois rélié par un treillage de même substance. Le coton était introduit par un orifice supérieur, et il rencontrait, en entrant dans le cylindre, des dents droites en fer dont était hérissé un arbre placé dans l'axe du cylindre, animé d'une vitesse de deux à trois cents tours par minute. Le coton se trouvait ainsi fouetté et entraîné dans la rotation des dents pendant un temps proportionnel à l'inclinaison du cylindre, par l'extrémité inférieure duquel il sortait. Cette machine avait de graves inconvénients : d'abord, elle dégageait beaucoup de poussière et de duvet, et ensuite le coton, n'éprouvant pas assez de résistance de la part du treillage pour s'y attacher, tournait avec l'arbre sans s'ouvrir d'une manière sensible.

On a donc substitué au panier de Normandie le *willow* carré, qui remplit parfaitemant le but que l'on se propose. Le plus perfectionné est celui de *Lilly*, dit *panier* conique, qui est construit comme le panier de Normandie, et aussi actif que le *willow* droit. Il a en outre l'avantage de ne pas répandre de poussière dans l'atelier et de ne présenter aucun danger dans la manipulation.

C'est ce *willow*, qui est employé de préférence en Angleterre dans les fabriques où l'on travaille les sales et grossiers cotons de l'Inde, ainsi que l'*upland* géorgie. Cette machine consiste en une toile sans fin, animée d'une petite vitesse, sur laquelle on dépose le coton, qui rencontre immédiatement deux cylindres cannelés, en fer, entre lesquels il passe; puis il entre

dans une chambre conique où il est arraché par les dents d'un tambour conique qui se meut avec une vitesse de cinq à six cents tours par minute. De ces premières dents, le coton est entraîné par d'autres, fixées à la surface du cône intérieur, qui l'ouvrent et l'abandonnent petit à petit, eu égard à la force centrifuge qui tend à l'éloigner sans cesse des cylindres cannelés, par suite de la double conicité de la chambre et du tambour. Lorsque le coton a été ainsi bien ouvert et travaillé dans tous les sens, il finit par tomber sur une toile sans fin qui l'emporte dehors, en le faisant passer sous un tambour creux dont la surface se compose d'une toile métallique très-fine, au travers de laquelle un ventilateur, communiquant avec l'intérieur, produit un appel d'air qui rejette hors de la chambre toutes les impuretés qui se trouvent dans l'espace où tombe le coton ouvert. Le *willow* de Lilly peut nettoyer dans un jour 3600^{k} ou 24 balles de coton.

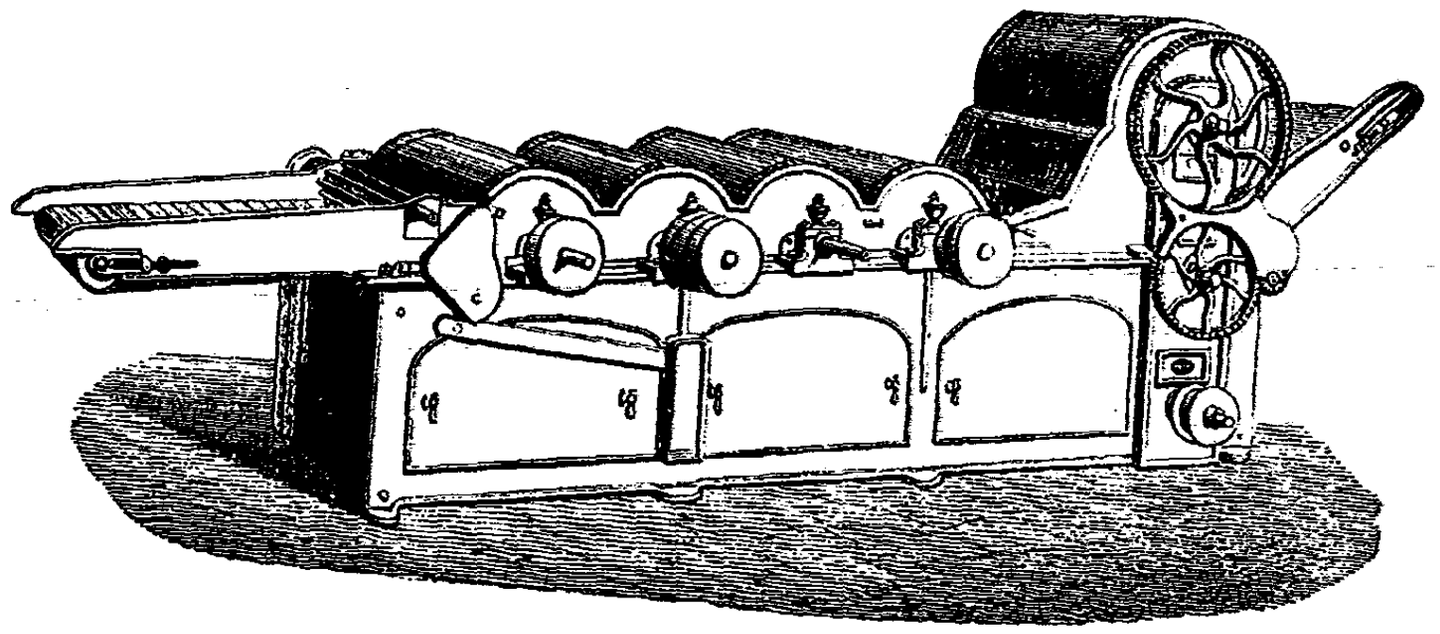


Fig. 579.

Après avoir été imparfaitement nettoyé par son passage dans le *willow*, le coton passe dans *l'ouvreuse* (*fig.* 579) et dans les batteurs qui terminent l'épuration. L'ouvreuse, qui est souvent la première machine à laquelle est soumis le coton, rétablit l'état floconneux des fibres que la longue compression dans les balles dont on a réduit le volume autant que possible, sous l'action de presses puissantes, a changé en masses compactes.

Le coton est placé sur la toile sans fin de gauche, formée de baguettes de bois réunies par des bandes de cuir que deux rouleaux, en tournant, font avancer. Par ce mouvement il vient s'engager dans les rouleaux alimenteurs, et enfin entre deux gros cylindres cannelés en fer qui tournent lentement et maintiennent le coton lorsque les frappeurs agiront sur lui.

Le frappeur placé à l'intérieur du cylindre prend différentes formes, suivant les constructeurs. Nous donnerons la suivante comme exemple. Sur l'axe sont placés trois ou quatre pièces ayant chacune trois ou quatre bras; les extrémités de ces bras supportent des lames d'acier dont la longueur égale la largeur de la machine; deux des bras plus courts que les autres portent des lames garnies de pointes d'acier. Le frappeur faisant environ 800 tours par minute, le coton maintenu par le cannelé est arraché et battu avec force, et les graines et impuretés lancés sur la grille demi-circulaire qui forme la partie inférieure; opération qui se répète deux ou trois fois.

Quant au coton, il est attiré par un courant d'air produit par l'aspiration d'un ventilateur, et vient s'appliquer sur un gros cylindre tournant dont la surface est formée par une tôle percée ou une toile métallique. De là il est conduit sur une dernière table sans fin et tombe dans le récipient qui lui est destiné. Nous allons compléter ci-après cette analyse.

Batteur-éplucheur. — Le batteur-éplucheur est sensiblement la même machine que l'ouvreuse que nous venons de décrire. Ces machines sont essentiellement destinées à remplacer le travail des bras, car on a d'abord employé, pour amener le coton à l'état de division, de légèreté convenable pour les opérations suivantes, des claies en jonc sur lesquelles on étalait le coton que les hommes armés de cannes élastiques battaient à force de bras. Cette opération, qu'on pratique encore aujourd'hui pour le crin, présentait plusieurs inconvénients, et l'on dut songer à remplacer le battage à bras par l'action des machines.

Nous décrirons avec quelques détails le batteur-éplucheur pour bien faire saisir le fonctionnement de ses divers organes, ce qui fera en même temps bien saisir le mode d'opérer du batteur-étaleur qui lui succède toujours.

La fig. 580 représente la section longitudinale d'un batteur-éplucheur. L'appareil a environ 5 mèt. 50 cent. de long, et 0^{m},915 en travers de la caisse, qui est faite en entier de fonte, doublée de planches, et forme une boîte bien close avec deux ouvertures, une pour introduire la laine de coton brute, l'autre pour reprendre la laine nettoyée. Ces portes sont fermées pendant le jeu de la machine, mais elles peuvent être ouvertes à volonté, pour en inspecter et réparer l'intérieur.

L'ouvrière pèse une quantité déterminée de coton et l'étend sur une longueur toujours la même de la toile sans fin, qui sert à l'introduction du coton; celle-ci se meut dans la direction des flèches *a*, *a*, jusqu'à l'extrémité de la partie gauche de la machine en passant et roulant continuellement autour de rouleaux *b* et *c*. Les cylindres cannelés *e*, *e*, introduisant immédiatement le coton dans la machine, sont appelés cylindres nourrisseurs. Le frappeur *f* tourne dans la direction de la flèche et sépare violemment les flocons à mesure qu'ils se présentent, de même qu'il rejette en bas toutes les particules pesantes sur la grille de fer *n*.

La laine de coton, retombant sur une seconde toile sans fin, repasse devant un second frappeur et de là se rend dans les espaces *x*, *w*, *w*, qui sont garnis dans le fond d'une grille serrée ou mieux est enroulé de suite sur des rouleaux.

Un ventilateur additionnel a été placé à la partie inférieure en *m*, pour aider l'action des frappeurs en soufflant le coton en avant dans l'auge oblongue *x*. L'ouverture de ce ventilateur est en *t*, et l'air entre vers son centre *q*; *u* et *v* sont les deux ouvertures au moyen desquelles on retire la laine du coton nettoyé. Le dernier van est supprimé dans quelques machines, les bras des frappeurs fournissant un courant d'air suffisant. Le premier frappeur donne environ 1280 coups de chacun de ses deux bras par minute; le second, 1300. Une machine semblable à celle que nous venons de décrire peut nettoyer facilement en un jour 272 kil. de coton. On ne saurait nier que l'introduction du ventilateur dans les batteurs n'ait sensiblement amélioré l'état sanitaire des ouvriers employés à ces opérations.

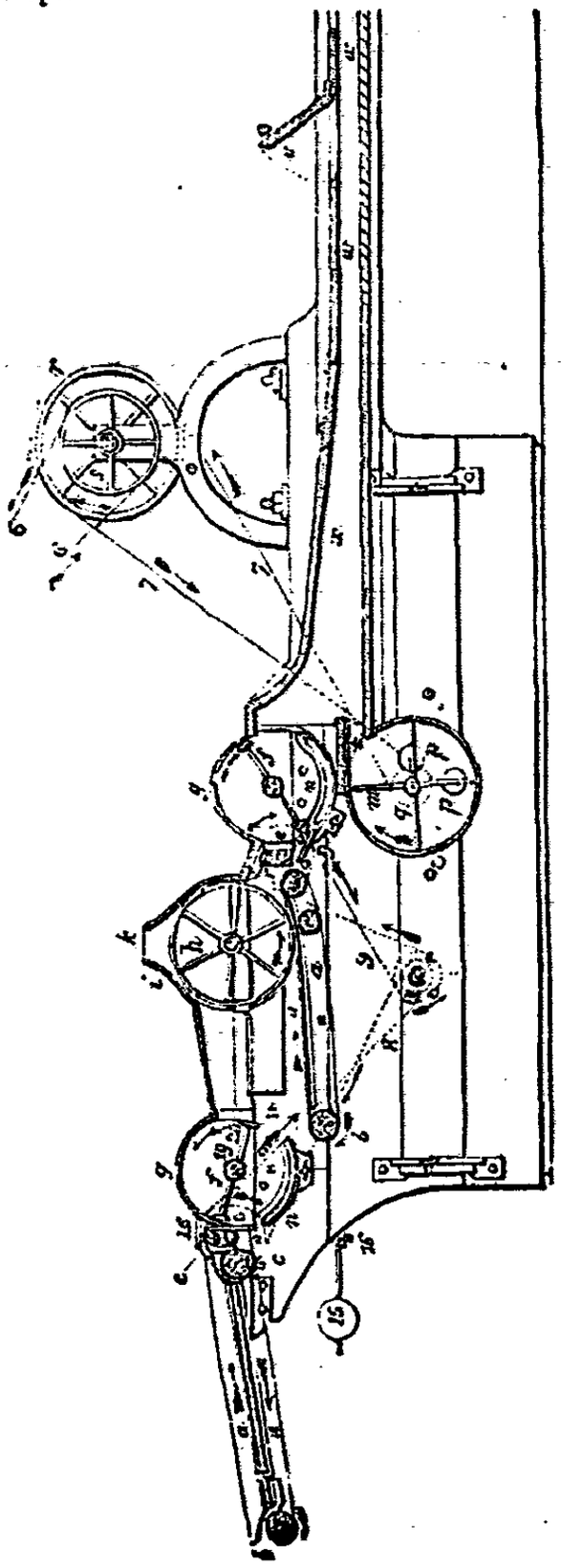


Fig. 580.

Batteur-étaleur. — Le batteur-étaleur diffère essentiellement du batteur-éplucheur ordinaire, en ce qu'au lieu de placer sur la toile sans fin une pesée, l'ouvrier y place trois des rouleaux sortis du travail du premier batteur et place les trois nappes de ces rouleaux les unes sur les autres, de manière à n'en former qu'une

seule nappe. C'est le commencement des doublages propres à remédier aux inégalités qui peuvent résulter du mauvais étalage des poids égaux du coton. Le coton sortant passe entre deux cylindres en fer qui le compriment en un ruban que reçoit un rouleau placé à l'extrémité antérieure de la machine, ce qui permet de

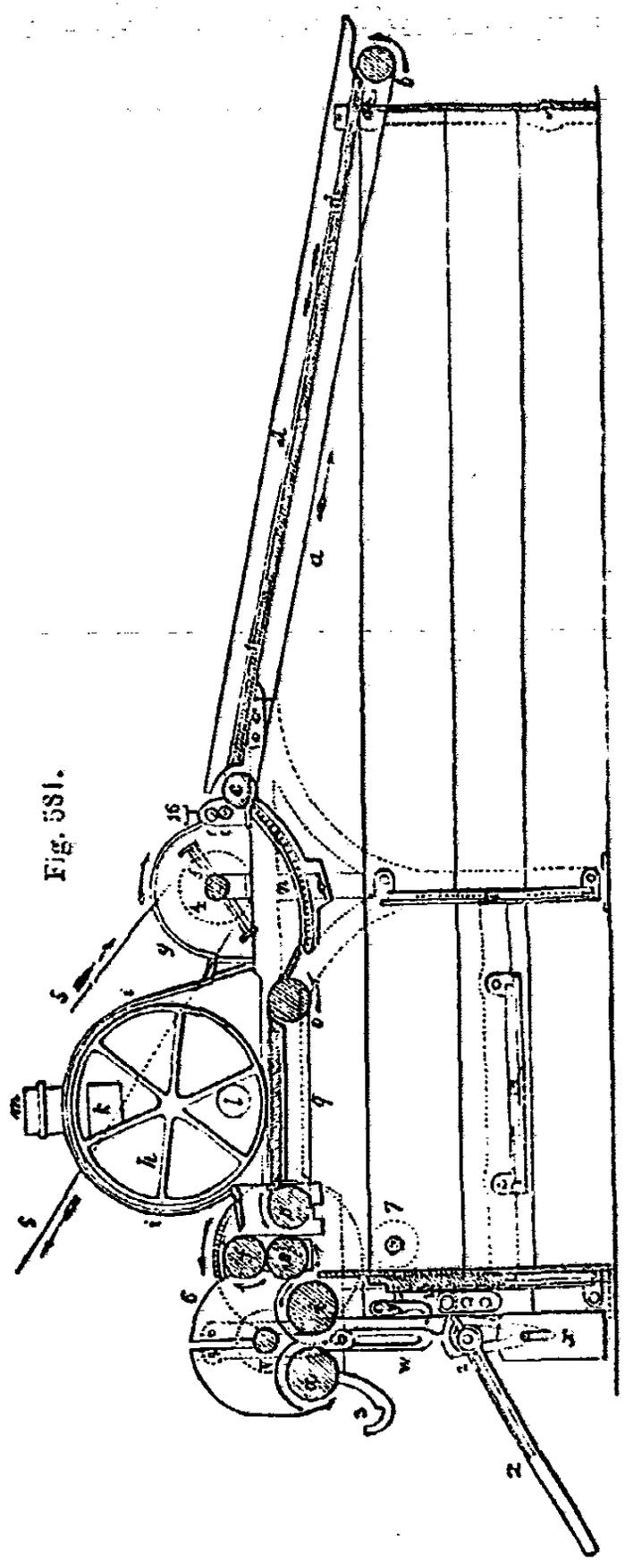


Fig. 581.

porter directement aux cardes le cylindre ainsi garni. Nous supposons que le batteur-étaleur n'est pas à table comme celui que représente la fig. 581; on emploie une semblable machine quand on commence seulement sur le batteur-étaleur la pesée et l'égale répartition du coton.

Nous entrerons dans quelques détails à cet égard. Le coton étant engagé entre les cannelés *e*, *e*, est soumis à l'action du frappeur. Une fois ouvert et aéré par celui-ci, le coton retombe sur la toile sans fin d'avant, dont la vitesse est à peu près moitié de celle de la toile d'arrière. Il passe alors sous un tambour métal-

lique, puis il arrive entre deux rouleaux en fer posés simplement l'un sur l'autre, et dont le poids suffit pour faire conserver au ruban la forme qu'il a prise sous le tambour métallique. De là, ce ruban vient s'enrouler sur un rouleau de bois, maintenu serré contre deux cylindres par des contre-poids. J'ai dit que les rouleaux alimentaires font huit tours par minute; et comme leur diamètre est de 0,038, ils donnent la valeur de huit fois leur circonférence, ou 0,955 de coton étendu sur la toile sans fin dans cet espace de temps. Sur chaque 2mm de coton, trois coups environ du bras du frappeur sont donc appliqués. Le second rouleau nourrisseur fonctionne en proportion moins vite; ainsi, pour chaque 2,4 coups du frappeur, il se présente seulement 2mm de laine de coton.

Le batteur-étaleur à table peut préparer, en douze heures, jusqu'à 1300 kil. de coton.

2° CARDAGE. Le cardage est l'opération qui suit le battage du coton. Le cardage est le premier moyen de transformation des fils tortillés irrégulièrement en fils droits et parallèles. C'est l'opération la plus importante et la plus délicate de la filature du coton. C'est d'elle que dépendent surtout la qualité et la beauté des fils, aucune des machines suivantes ne pourrait corriger les défectuosités qu'elle produirait ou laisserait passer. En sortant de la carde, le coton n'a plus besoin que d'être étiré et tordu pour former un fil.

La carde, considérée dans toute sa simplicité, se compose de deux peignes à dentures opposées et se mouvant en sens contraire, de telle façon que le fil se trouvant arrêté en son milieu par une dent du premier système, deux dents du second entraînent, de chaque côté, ses extrémités dans le sens de leur direction et les abandonnent, rendus ainsi parallèles, pour effectuer la même opération sur les fils qui suivent. La carde, décrite ainsi sommairement, n'a donc pour effet que de plier en deux tous les fils du coton, et de leur donner la même direction.

Un système de cardes consiste en un tambour de bois animé d'une vitesse assez considérable, et armé de dents crochues d'autant plus fines et plus serrées que la matière à travailler est elle-même plus délicate. Tout près de ce tambour, et à une distance que l'on détermine, comme dans les batteurs, sont deux cylindres cannelés, entre lesquels est entraîné le ruban de coton sortant du batteur-étaleur.

Emporté par les dents du tambour, le coton reste accroché à ces dernières; seulement, comme leur vitesse de rotation est assez considérable, la force centrifuge en éloigne tout ce qui n'y adhère pas immédiatement. Tangentiellement au tambour sont placées des plaques armées de dents crochues, égales à celles du tambour, mais dirigées en sens contraire. Ces plaques sont montées sur des pièces de bois, et constituent ainsi ce qu'on nomme les chapeaux de la carde; elles rencontrent le coton que la force centrifuge éloigne de la surface du gros tambour, et le peignent de la façon que nous venons de décrire.

Quelques cardes sont faites entièrement de cylindres. Le gros cylindre ou tambour est entouré d'une série de plus petits nommés hérissons. Les cardes de ce genre ne sont employées dans la filature de coton que pour préparer le coton grossier, mais sont les seules en usage pour la filature de la laine. Les cardes à cylindres, si essentielles à la continuité et à la promptitude du travail des filatures de coton, sont l'ingénieuse invention de Lewis Paul, de Northampton; mais c'est à sir Richard Arkwright que l'on doit les importantes améliorations qu'elles ont subies, et l'état de perfection où elles sont arrivées maintenant.

La carde complète se compose : 1° d'un cylindre alimentaire sur lequel est posé le rouleau de coton sorti du deuxième passage des batteurs; 2° de cylindres cannelés livrant la nappe de coton au gros cylindre armé d'aiguilles; 3° d'un petit cylindre également recouvert d'aiguilles ou dents détachant le coton du gros cylindre; 4° d'un peigne enlevant le coton du petit cylindre sur toute sa largeur, pour en former une nappe transparente; 5° d'un entonnoir réduisant cette nappe en ruban; 6° de deux rouleaux d'appel attirant à travers l'entonnoir ce ruban au dehors; 7° au-dessus du gros cylindre sont placées concentriquement seize douves ou chapeaux mobiles, lesquels sont garnis en dessous, c'est-à-dire sur le côté qui fait face au gros tambour, de plaques hérissées aussi de dents.

Le coton, enroulé sur un tambour à la sortie du batteur, régulièrement déroulé du rouleau, se trouve pincé et amené au gros cylindre par les cannelés. Les dents du cylindre s'en emparent et le dévorent peu à peu. Pour donner une idée du travail qui se fait en cet instant, et de l'extrême ténuité du coton ainsi absorbé, il suffit de savoir que — une longueur de 1 centimètre de coton livrée par le cannelé se trouve étendue sur une longueur de 3,545 centimètres. Le cannelé, en effet, ne développe que 11 centimètres en un tour, tandis que pendant ce temps le gros tambour développe 39,000 centimètres.

La vitesse, la puissance des cardes, constituent la partie capitale du travail de la filature. La pureté, la régularité de l'espèce de matière mousseuse et légère qui sort des cardes est le point de départ essentiel de toute bonne fabrication.

La fig. 582 représente une carde d'une excellente construction, que l'on peut appeler *briseuse* et *finisseuse*, ou carde double.

Les cardes simples, qui sont encore employées presque exclusivement dans la majeure partie des filatures, ont l'inconvénient d'exiger un second cardage de coton, parce que, afin de donner au ruban sortant une consistance suffisante pour l'étirage qu'elles doivent lui faire subir, elles traitent un peu trop de matière à la fois, pour que cette dernière soit douée en sortant de toutes les qualités qu'exigent les opérations subséquentes. Cependant, dans bien des filatures, il y a encore souvent deux séries de cardes, dont une grossière, appelée carde en gros, qui dispose le coton en une forte toison d'une grande épaisseur, laquelle vient s'enrouler autour d'un cylindre, et forme le ruban présenté à la seconde série de cardes, dont les dents sont plus fines de construction. Dans la fig. 582, les cylindres ont 120 centimètres de circonférence. *g* est un poids qui appuie sur l'axe du cylindre supérieur, et le fait appuyer sur le cylindre inférieur; *f*, est la grosse carde ou tambour; *g g g*, l'axe formé par le dessus plat des cardes; *h*, est le petit tambour du hérisson, que l'on a employé pour la première fois en France dans la filature d'Ourscamp. En *d*, il y a une porte qui permet au ouvrier d'avoir accès dans l'intérieur de la machine, pour retirer les ordures qui peuvent y être tombées.

On fixe les plaques de cardes sur le côté de la caisse en fer du châssis; une rangée de fortes pointes de fer fixent les extrémités, et des clous à tête fixent les grands côtés des plaques de cardes, qui se fabriquent en bandes de 12 ou 13 centimètres de largeur. Le garnissage du gros tambour consiste de même en une série de plaques fixées de la même manière que celles des chapeaux, les unes à la suite des autres; d'où il résulte que la denture n'est pas continue, ce qui, d'ailleurs, n'est pas indispensable. Le placage du petit tambour s'effectue, au contraire, au moyen d'un seul ruban enroulé en spirale sur sa surface. Une fois les plaques des cardes fixées, il est très-important de vérifier si elles portent bien tout entières sur le bois,

car, s'il en était autrement, certaines dents ne tarderaient pas à se relever et à occasionner des *boutons* dans le coton. Ces boutons consistent en de petits amas de coton enroulé sur lui-même, qui adhèrent au ruban par des portions de filaments libres et résistent à l'action de toutes les machines des opérations suivantes. L'aiguisage des cardes se fait en mettant leurs extrémités en contact avec un cylindre garni d'émeri et ayant un mouvement alternatif dans le sens de l'axe.

Le ruban est détaché du dernier hérisson au moyen du peigne *i*, denté en forme de scie, et qui reçoit de la tige *k* un mouvement de va-et-vient. On règle le peigne de manière à ce qu'il frise les dents du tambour sans les toucher. Les rubans spongieux de plusieurs cardes passent à travers un couloir conique *n*, puis sont comprimés entre des rouleaux, ce qui en réduit la largeur et leur donne une certaine solidité.

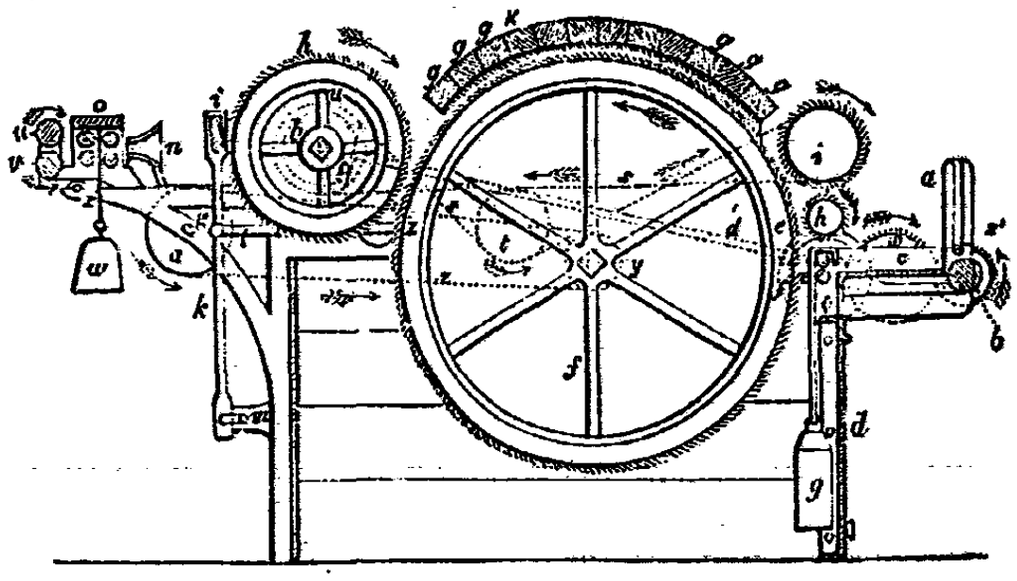


Fig. 582.

On ne saurait accorder aux cardes trop de soins et de surveillance. Les nappes enroulées qui proviennent du batteur-étaleur, et se placent derrière les cardes en gros, se déroulent rarement, sans interruption, en un ruban continu ; le plus souvent elles se séparent en deux parties, dont l'une continue à avancer, tandis que l'autre reste enroulée. Il s'ensuit que, si l'on ne se hâte pas de rétablir la régularité, le ruban sortant diminue d'épaisseur dans la même proportion que celui entrant, d'où résulte une cause d'irrégularité pour le fil qui en sera formé. On obvie à cet inconvénient en plaçant derrière les cardes des ouvrières spécialement chargées du renouvellement et de la surveillance des rouleaux alimentaires.

Au moment où il entre dans les cardes, le coton contient beaucoup d'impuretés, et il en laisse inévitablement une bonne partie aux chapeaux, où elles sont projetées par la force centrifuge, pendant le peignage qu'il subit dans l'intérieur de la machine. Or, ces impuretés, si on les y laissait séjourner trop longtemps, pourraient s'accumuler en assez grande quantité pour être entraînées jusque dans le petit tambour, et s'en aller avec le coton cardé dans les machines à réunir. On évite cet inconvénient en nettoyant souvent les chapeaux. Pour cela, on les enlève l'un après l'autre, puis on les dégarnit à la main de tout le coton qui est accroché après leurs dents. Il est aussi nécessaire de nettoyer de temps en temps les tambours. Pour effectuer cette opération, on arrête le mouvement de la carde, en faisant passer la courroie sur la poulie folle; on enlève le ruban d'arrière, puis tous les chapeaux. On promène alors d'une main sur le gros tambour un râteau fait avec une vieille plaque de carde montée sur un bâton, et de l'autre main on fait tourner le tambour. Le petit tambour se nettoie de la même manière. Nous verrons bientôt comment on est parvenu à effectuer ce nettoyage automatiquement

Dans la majeure partie des filatures, on emploie encore les cardes simples; mais avec elles, on est toujours obligé de carder une seconde fois le coton, parce que afin de donner au ruban sortant une consistance suffisante pour l'étirage qu'elles doivent lui faire subir, on leur fait traiter un peu trop de matière à la fois pour que celle-ci possède en sortant toutes les qualités que réclament les opérations suivantes. Dans les numéros élevés, où le prix de vente laisse de la latitude, les frais notables de ce deuxième cardage se supportent aisément, et d'ailleurs il est impossible de s'en dispenser. Pour les gros numéros, bien des filateurs trouvent le moyen d'éviter le second cardage, et peuvent ainsi baisser les prix de leurs cotons filés et les écouler, malgré leur infériorité, avant ceux qui ont subi le double cardage. Grâce à la carde double qui, travaillant sur une largeur double de coton, permet d'en diminuer de moitié la vitesse d'entrée, sans que la ténacité et l'épaisseur du ruban de sortie diminuent en rien, plusieurs filateurs peuvent lutter, sinon avec avantage, du moins sans éprouver de perte sensible, avec le mode économique de fabrication dont nous venons de parler.

Débourreuse Platt.— La figure 583 donne une coupe verticale de la carde débourreuse à chapeaux mobiles exposée par MM. Platt en 1862. La partie caractéristique du mécanisme consiste dans une chaîne sans fin articulée H dont chaque anneau forme un chapeau garni de rubans de cardes. Des rouleaux-guides à encoches pour recevoir les maillons de la chaîne la font cheminer avec la lenteur voulue.

La portion inférieure de la chaîne en contact avec la circonférence supérieure du gros tambour travaille comme à l'ordinaire, pendant que la partie opposée, qui a ses dents naturellement dirigées de bas en haut, rencontre le hérisson débourreur r à mouvement de rotation. Une fois nettoyées, l'extrémité des aiguilles rencontre une planche à émeri, qui avive leurs pointes. Afin que ce système fonctionne avec la précision voulue, il est maintenu et dirigé de chaque côté du bâti dans des rainures ou coulisses dans lesquelles viennent s'appuyer les côtés de la chaîne dans sa marche. Des vis de réglage V sont indispensables pour rajuster les surfaces qui doivent rester en contact lorsque l'usure ou toute autre cause vient à les déranger.

A la suite des chapeaux mobiles sont placés, comme à l'ordinaire, un plus ou moins grand nombre de hérissons cardeurs *h*, *h'*, puis le dépouilleur cylindrique P, le peigne détacheur *p*, et enfin les rouleaux d'appel R, qui dirigent le ruban dans un pot tournant. Cette carde n'est ordinairement employée que comme finisseuse, lorsque la substance a été cardée à une ou deux machines briseuses à hérissons, dont les rubans ont été réunis en un plus ou moins grand nombre, soit par exemple 40 à la sortie de la première pour être soumis à la seconde. Ces doublages de rubans ont généralement lieu à des machines spéciales, qui aujourd'hui sont toutes munies d'un casse-mèche à débrayage instantané. A cet effet, chacun des rubans ou mèches, en se rendant du pot au rouleau d'appel, passe dans une petite gouttière montée sur un bras articulé convenablement équilibré; le passage de la

mèche maintient l'articulation. Sa rupture permet à l'extrémité du bras articulé opposé à la gouttière de s'infléchir et d'introduire un crochet qu'il porte dans une espèce de came placée sur l'arbre d'embrayage et de disjoindre son manchon. La machine s'arrête aussitôt et la surveillante rétablit la continuité. Ces machines importantes, quoique accessoires, sont en outre munies d'un compteur, qui détermine la longueur du rouleau formé, afin que par un pesage l'on puisse dès le début se rendre compte du titre des rubans et de la régularité du travail.

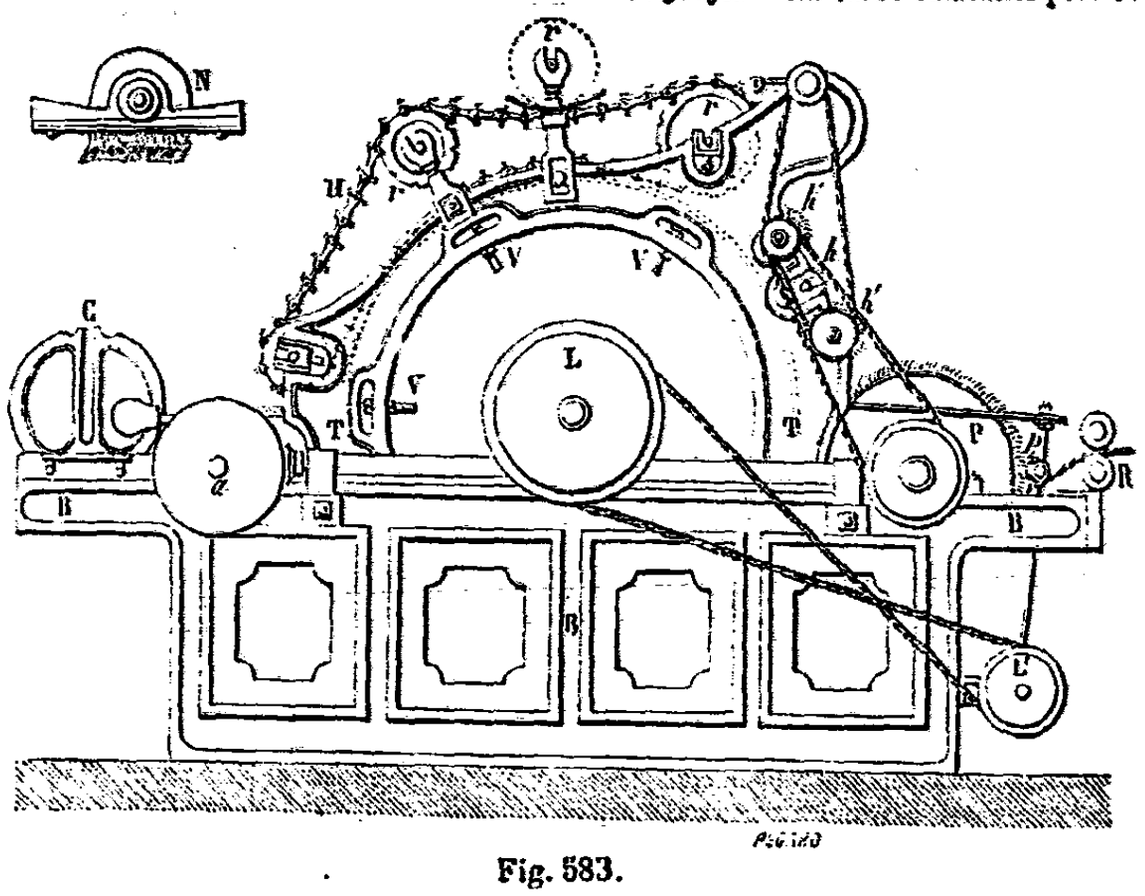


Fig. 583.

Le mode de nettoyage automatique dont il vient d'être parlé a été breveté au profit de M. Dannery de Rouen, en 1849, et fonctionne depuis lors. On peut citer encore des systèmes français actuellement en expérimentation pratique, et, entre autres, 1° celui à petits chapeaux cylindriques, à mouvement si lent de la part de ces chapeaux que c'est à peine si ce mouvement est saisissable; lorsque la partie de la circonférence de ces petits cylindres qui a travaillé a fait sa demi-révolution, elle rencontre une surface débourreuse douée d'une action de va-et-vient qui la nettoie; 2° l'ingénieux mécanisme débourreur, imaginé par M. Risler, et qui consiste à faire enlever les chapeaux et à les faire débourrer par un mécanisme Jacquard, qui sert ici comme simple transmission de mouvement.

Débourrage automatique du gros tambour.— L'on s'est principalement occupé du débourrage des chapeaux, parce qu'il doit avoir lieu d'une manière pour ainsi dire continue, que cette besogne est assujettissante et malsaine, et qu'elle a une grande importance sur le résultat. Le gros tambour s'encrasse moins et peut être débourré, en partie du moins, par un hérisson. Il suffit, pour le nettoyer complétement, de l'arrêter une ou deux fois par jour. Afin d'éviter cet arrêt et de maintenir la surface cardante de cet agent fondamental en parfait état, MM. Higgins ont combiné un mécanisme des plus simples, des plus ingénieux. Il consiste dans la disposition d'un cylindre hérisson cardeur à la circonférence inférieure du gros tambour. Ce hérisson a une double fonction, il doit agir comme travailleur et nettoyeur; à cet effet, son mouvement change alternativement de sens et de vitesse angulaire; lorsqu'elle est plus grande que celle du gros tambour, et s'effectue dans la direction voulue, le tambour se trouve entièrement débarrassé de ses fibres sur la surface en contact avec le hérisson qui est alors nettoyeur. Dans le cas contraire, lorsque la vitesse du petit cylindre est faible, c'est le gros tambour qui reprend les fibres en les travaillant. Ces changements de mouvements du hérisson sont obtenus par le déplacement automatique d'une courroie de commande, sur deux cônes disposés en sens inverse dont l'un est placé sur l'axe du hérisson.

Peignage.— La carde suffisante pour la fabrication commune et les filaments courts, mais qui, en principe, ne peut fonctionner sans accrocher des fils repliés et par suite ne peut produire du premier coup un parallélisme absolu auquel on ne peut arriver que plus ou moins complétement par de nombreux étirages ultérieurs, est remplacée avec grand avantage pour les cotons longue soie et pour obtenir des fils de qualité supérieure, par une autre machine, qui peigne successivement les deux moitiés des mèches suspendues entre deux mâchoires. Nous décrivons à l'article FEIGNEUSE (*Complément*) la machine ingénieuse à l'aide de laquelle Heilmann a réalisé cette opération, en même temps qu'il en démontrait tous les avantages.

3° ÉTIRAGE.— Le travail du banc à étirer succède à celui de la carde. La production des cardes étant très-peu considérable, le ruban qui en sort est d'une épaisseur très-petite par rapport à celui qui entre. Comme il doit servir à composer un ruban de même densité que celui dont il provient, pour passer des cardes en gros sur les cardes en fin, on est dans l'usage de placer plusieurs cardes de même espèce sur une seule ligne droite et de recevoir leurs rubans dans un même canal. Marchant les uns à côté des autres dans ce canal, ces rubans n'en font plus qu'un seul qui va s'enrouler sur une machine, dite machine à réunir, où il subit un léger étirage qui contribue à donner de la cohésion aux rubans constituants. L'étirage de la machine à réunir, comme tous les étirages de la filature en général, s'effectue au moyen de deux paires de cylindres cannelés, distants de centre en centre d'une longueur un peu plus grande que celle des fibres du coton, et dont le deuxième système est animé d'une vitesse plus grande que le premier par lequel entre le coton; enfin le ruban passe entre

deux rouleaux de pression qui rapprochent les filaments les uns des autres, et va s'enrouler sur un cylindre.

Rouleaux cannelés. — Décrivons d'une manière générale le principe de l'étirage, les doigts de fer dont l'invention a créé la filature automatique.

Supposons (fig. 584) que *a* et *b* représentent la section de deux rouleaux placés l'un sur l'autre, se touchant avec une pression réglée et tournant sur leurs axes; ces rouleaux prendront le ruban floconneux qui leur sera présenté en *a*; ils l'attireront entre eux et le rendront parfaitement compacte. La longueur du ruban qui aura passé dans un temps donné sera égale à l'espace parcouru dans le même temps par un point de la circonférence du rouleau, c'est-à-dire à la circonférence d'un des rouleaux multipliée par le nombre de ses révolutions. La même chose a lieu entre les deux autres rouleaux *c* et *d*, et les troisièmes *e* et *f*. Ainsi ledit ruban sort de la troisième paire de rouleaux, tel exactement qu'il est entré en *a*, pourvu que la rapidité de rotation de tous les rouleaux soit la même; mais si la rapidité de *c* et *d* est plus grande que celle de *a* et *b*, les deux premiers rouleaux donneront plus de longueur de ruban que les derniers n'en reçoivent et n'en transmettent. La conséquence ne peut donc être autre en ces circonstances qu'un étirage ou allongement régulier du ruban dans l'intervalle qui sépare *a* et *b*, et *c* et *d*, et un redressement des filaments qui glissent les uns sur les autres, pour prendre des directions droites et parallèles. L'étirage peut de même se répéter en donnant aux rouleaux *e* et *f* une rapidité plus grande que celle de *c* et *d*. Cette augmentation de vitesse peut être produite soit en agrandissant le diamètre, soit en augmentant le nombre de tours, soit enfin des deux manières à la fois. En général, la machine à étirer est faite de telle façon que l'allongement principal a lieu entre la deuxième et la troisième paire de rouleaux, tandis qu'il n'est que peu sensible et seulement préparatoire entre la première et la seconde. Les rouleaux *a* et *b*, *c* et *d* conservent toujours vis-à-vis les uns des autres la même position, mais ils peuvent être séparés plus ou moins, avec leur entourage, de la troisième paire *e* et *f*, selon la qualité du coton.

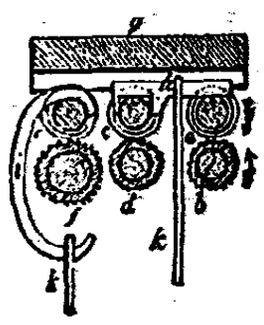


Fig. 584.

La distance du point central de *b* et *d*, ou sa ligne de contact avec le rouleau supérieur, est calculée de façon qu'elle excède la longueur des filaments de coton; ces filaments ne courent donc jamais le risque d'être déchirés par la seconde paire qui les tire lorsque la première les tient serrés. Entre *d* et *f*, où a lieu la plus grande extension, la distance doit être aussi petite que possible, afin que l'uniformité soit plus complète. Si les distances entre *d* et *f* sont très-grandes, le ruban qui passera deviendra trop mince et se cassera peut-être dans le milieu; ce qui nous prouve que plus la partie soumise à l'étirage est courte, et plus les rouleaux sont rapprochés les uns des autres, en les supposant cependant assez éloignés pour ne pas casser les fibres du coton, plus l'étirage se fait d'une manière égale.

Les rouleaux de dessous *b*, *d*, *f*, sont en fer; leurs surfaces sont formées de cannelures triangulaires parallèles à l'axe; ce qui fait qu'ils peuvent tendre et serrer davantage les filaments. Les rouleaux de dessus *a*, *c*, *e*, sont aussi de fer, mais leurs surfaces sont unies et recouvertes d'une double enveloppe, ce qui leur donne un certain degré de mollesse et d'élasticité. La première enveloppe se compose d'une toile de flanelle dont les extrémités sont cousues ou collées, et par-dessus on applique une couverture de cuir. Les rouleaux de dessus sont quelquefois appelés presseurs, parce qu'ils pressent au moyen de poids ceux qui sont dessous. Ces poids sont suspendus à de minces baguettes *k k'*, au moyen desquelles le premier opère sur le rouleau *e* seul, le dernier sur les deux rouleaux *e* et *a* simultanément. Pour cela, le premier poids est suspendu à une courbe *i*, dont l'extrémité crochue embrasse le rouleau *e*; le second a un coussinet de bronze *h*, qui appuie sur *a* et sur *c*. Cette pression force les cylindres presseurs à accompagner les cylindres cannelés dans leur rotation et empêche le coton de glisser entre eux, ce qui aurait pour conséquence de rendre l'étirage irrégulier. De plus, ces cylindres sont recouverts de chapeaux garnis intérieurement de peaux à poils courts ou de velours de laine, dont les fonctions sont d'arrêter tous les filaments de coton qui se détachent du ruban et s'enroulent sur les cylindres de pression. Afin de rendre ces chapeaux plus efficaces, on est dans l'usage de les frotter avec du blanc d'Espagne, ce qui ne laisse pas que de détériorer sensiblement la couverture de peau des cylindres. Il faut nettoyer les cylindres étireurs avec le plus grand soin. Au moins une fois par semaine, il faut les démonter pour frotter les cylindres cannelés et enlever l'huile de toutes les parties; il est aussi nécessaire de soulever, tous les jours, les chapeaux plusieurs fois, de les dégarnir de coton et de frotter les cylindres de pression.

Doublages. — L'étirage qui se produit par suite de l'augmentation de vitesse des couples de cylindres ne peut se prolonger longtemps sans que l'épaisseur du fil ne devienne tellement faible que ce dernier ne puisse plus résister et se rompe. Il faut donc prévenir cet inconvénient en doublant le coton, ce qui permet de recommencer l'étirage un nombre infini de fois. Le doublage se fait généralement de la manière suivante. On compose un banc d'étirage de six têtes, c'est-à-dire qu'il peut étirer six rubans à la fois. Chaque tête est formée de quatre à six couples de cylindres étireurs; ces quatre couples sont rapprochés deux par deux à la distance voulue par la longueur de la fibre du coton, c'est-à-dire le premier avec le second, le troisième avec le quatrième. La distance entre le deuxième et le troisième est d'environ 20 cent., afin que la manœuvre soit plus facile, et la vitesse du troisième ne dépasse que de très-peu celle du deuxième. Chaque laminoir n'étire, pour ainsi dire, que deux fois le coton qui le traverse. Les rubans sortants passent entre deux rouleaux d'appel et descendent dans un couloir qui les conduit à une machine à réunir. Les étirages sont combinés de telle sorte que la somme des rubans sortants présente la même épaisseur de ruban que chacun des rubans placés derrière. Le nombre des passages aux laminoirs est déterminé par le numéro du fil que l'on veut obtenir, numéro toujours en rapport avec la longueur des filaments du coton que l'on traite. Le doublage a, en effet, l'avantage d'influer puissamment sur l'homogénéité des fils; je veux parler de la compensation qu'il amène indubitablement entre les variations d'épaisseur qui se sont manifestées dans les rubans pendant le travail des cardes.

Un exemple fera facilement comprendre toute la valeur du procédé du doublage pour obtenir des fils parfaitement réguliers. Le premier laminoir réunit huit rubans de cardes en un seul qu'il étend et égalise, comme aussi il range les fibres constituantes en lignes parallèles. Le second et le troisième laminoir vont plus lentement; ils tirent du premier leur approvisionnement en rubans; et si l'on fait un quatrième, un cinquième, un sixième étirage (ce qui a quelquefois lieu

pour le filage en fin), les doublages se montent ensemble au produit $8 \times 4 \times 7 \times 6 \times 6 \times 6 = 48,384$. Dans le filage du gros fil, il suffit de trois doublages successifs, ce qui donne la réunion de 324 rubans dans le ruban final. Dans le filage en fin, le doublage des fils se monte quelquefois à soixante-dix mille fois pour parvenir à une parfaite uniformité dans le fil achevé. On peut se faire, d'après cela, une idée du rôle important du doublage dans la filature du coton.

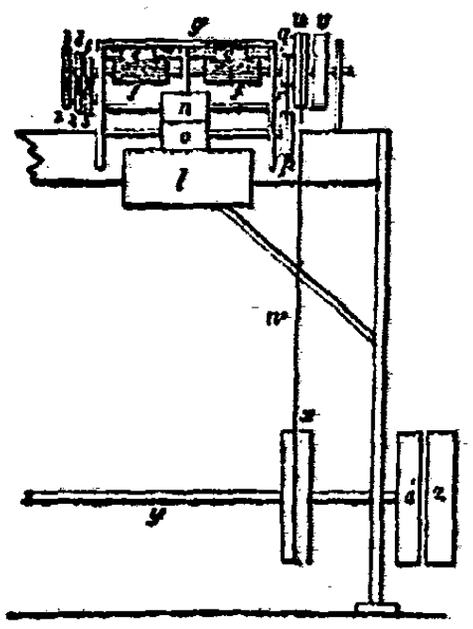


Fig. 585.

Banc d'étirage.— La forme du banc d'étirage, comme elle est vue en coupe dans la fig. 586, et par derrière dans la fig. 585, n'a besoin, après les détails ci-dessus, que de peu d'explications pour être comprise. *l*, *l*, sont les poids qui appuient sur le dessus des rouleaux, appuyant eux-mêmes sur ceux de dessous. Chaque rouleau cannelé est, ainsi que le représente le dessin au point *f*, pourvu à ses deux extrémités d'une partie mince et unie. La grosse poulie *u*, au moyen de laquelle toute la machine est mise en action, reçoit son mouvement par le moyen de la courroie *w*; *v* est la poulie folle. Les extrémités des rubans de carde, au nombre de six généralement, sont introduites sur le banc d'étirage au moyen de pots d'étain, placés en *e*, *e* (fig. 587). L'ouvrier a le plus grand soin de réunir les extrémités des rubans qui viennent à casser, après avoir arrêté la machine en glissant la courroie de communication

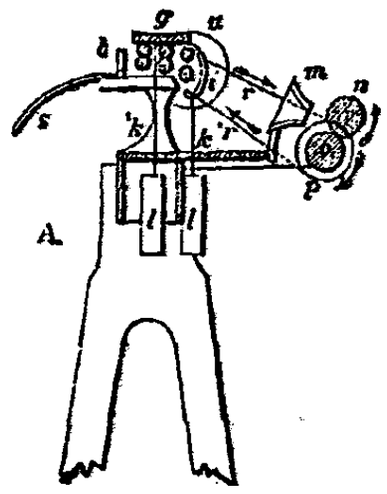


Fig. 586.

sur la poulie folle. Les rubans viennent se réunir dans un couloir *m*, et passent entre les rouleaux presseurs. On reçoit les rubans au sortir des cardes sur des rouleaux, et au sortir du banc d'étirage dans des boîtes carrées ayant un mouvement de va-et-vient.

Le produit des cardes était jadis reçu dans des cylindres de fer-blanc, et celui du dernier banc d'étirage, comme on le voit encore dans les filatures un peu anciennes, dans des lanternes tournantes (fig. 587), ingénieuse invention de Arkwright, qui était encore, il n'y a pas bien longtemps, la machine principale pour communiquer au ruban fourni par le banc d'étirage la torsion nécessaire pour lui donner quelque consistance, pour peu surtout que les préparations antérieures fussent imparfaites. Cette lanterne tournante constitue une machine assez curieuse pour que nous en expliquions le mode de fonctionnement. Le banc d'étirage, consistant en deux paires de rouleaux *a* et *b* entre lesquels le ruban est étiré; *c* sont les brosses pour nettoyer

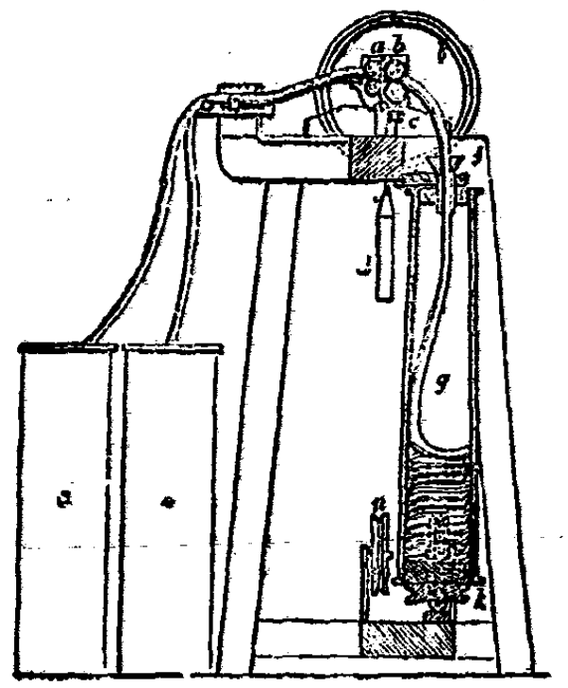


Fig. 587.

les rouleaux; *d* le poids qui donne la pression aux rouleaux cannelés. La vitesse de rotation de la surface de la seconde paire de rouleaux est 3, 4 ou 5 fois plus grande que celle de la première paire. Deux rubans étirés sont généralement réunis en un seul au moyen de cette machine, et ils viennent de deux pots *e*, *e*, fig. 587. Le ruban en sortant est étiré entre les rouleaux, comprimé en même temps, puis de là conduit dans la lanterne cylindrique ou conique *g*, terminée au sommet par le couloir *f*. Cette lanterne reçoit un mouvement de rotation qui entraîne le ruban qui vient s'y déposer, au moyen d'une corde passant sur une poulie *k*.

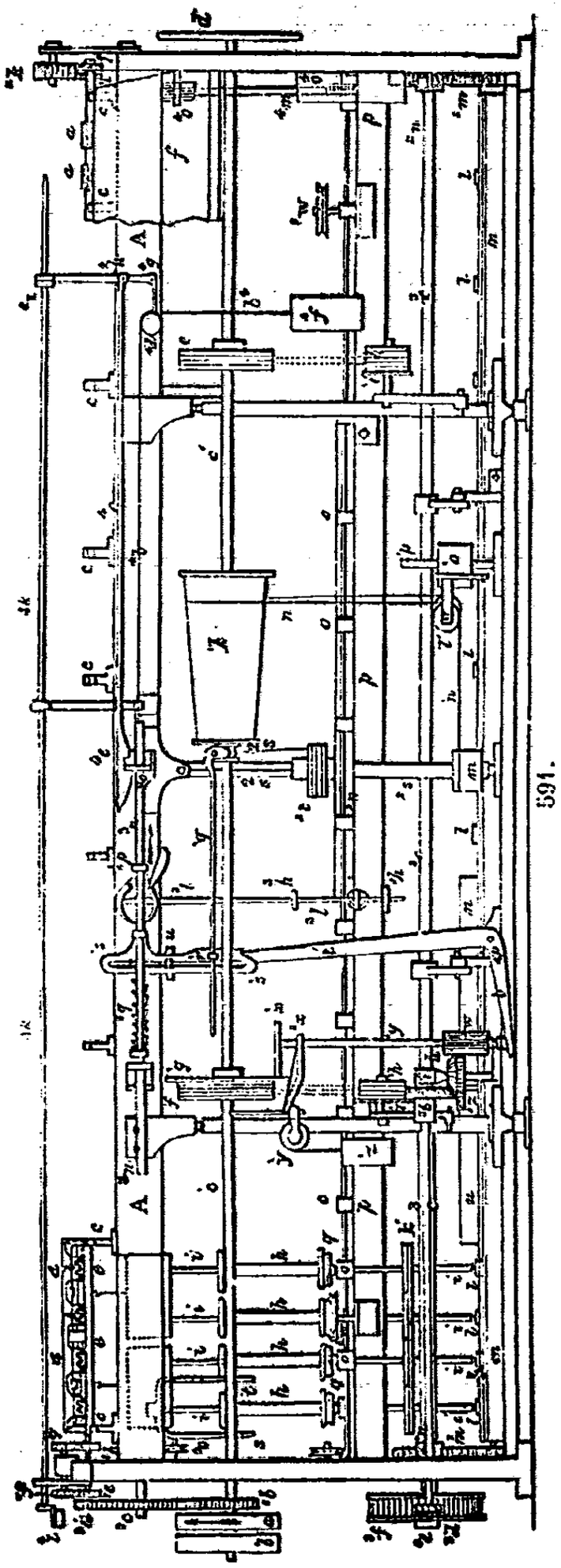
4° FILATURE. — *Banc à broches.* — Les opérations faites jusqu'ici sur des rubans de largeur et d'épaisseur relativement grandes, n'ont pour but que la disposition parallèle des fibres dans des rubans réguliers, sans chercher à en faire un fil.

Nous arrivons maintenant aux machines qui produisent les fils, par les organes desquels passent des longueurs incomparablement plus grandes que sur les précédentes, qui forment par suite la part la plus importante du matériel des filatures.

La première est le banc à broches, qui exécute un étirage à faible torsion et un renvidage sur bobines, avec une vitesse modérée des organes renvideurs, afin d'éviter la production de trop de duvet et les ruptures fréquentes qui résulteraient des vibrations et des changements de vitesse.

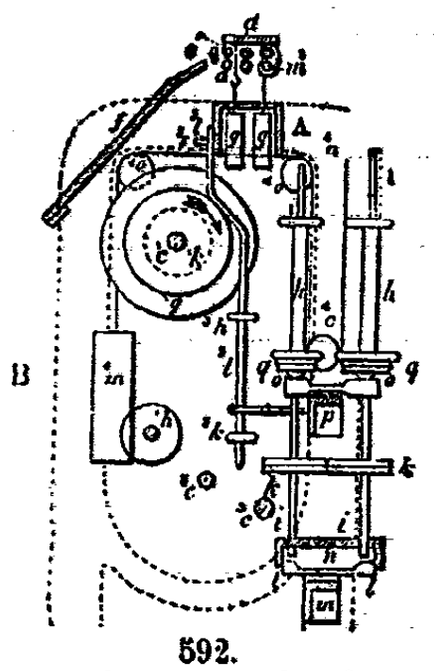
La fig. 594 représente une vue prise en arrière de cette machine ingénieuse, et la fig. 592 une section de quelques parties importantes, peu visibles dans la première figure. La fig. 604 est une perspective représentant cette machine avec le dernier degré de perfection qu'elle ait reçu. C'est par le derrière de la machine que le coton est introduit entre les cylindres étireurs. Les bobines, remplies de coton, sont placées

dans des rangs parallèles, ainsi que le représente la fig. 592. Le ruban de chaque pot ou les rubans réunis de deux pots contigus sont conduits en haut, le long de la planche inclinée *f*, entre les triples paires de cylindres étireurs, employés habituellement, et dont la première paire est indiquée par *aa*. Dans la



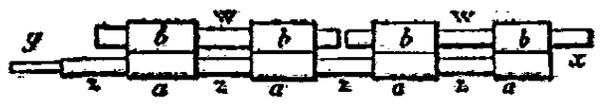
591.

fig. 591, afin de simplifier le dessin, on a omis la plupart de ces rouleaux, ainsi que les parties qui leur sont subordonnées. Lorsque les rubans ont subi le degré d'extension nécessaire, entre les cylindres, ils se dirigent vers les broches *i, i, i*, où ils sont tordus convenablement avant de s'enrouler sur les bobines *h, h, h*. Les rouleaux cannelés *a, a, a* sont faits de quatre pièces,



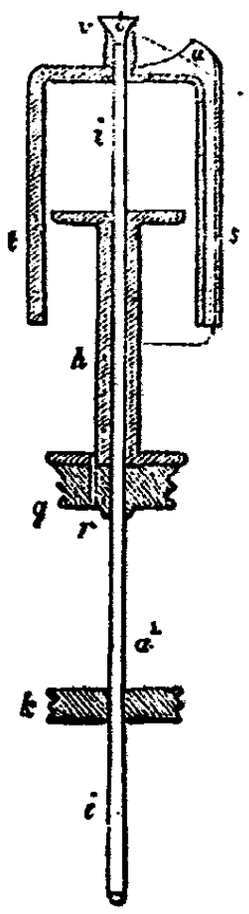
592.

ainsi qu'il est représenté dans la fig. 593. Quant à la broche, qui sert à répartir le coton sur la bobine en couches uniformes, elle se compose, ainsi qu'on peut le voir dans la fig. 594, de deux ailettes *t* et *s*, dont une creuse, et qui se font équilibre. L'axe des broches traverse l'axe des bobines dans toute sa longueur, de manière que l'on peut placer sur chacun d'eux une roue d'engrenage pour les mouvoir séparément. Les axes des broches tournent dans des crapaudines fixes de position, tandis que les bobines sont montées sur un appareil,



593.

décrivant un mouvement rectiligne alternatif vertical, qui permet à ces dernières de présenter d'une façon régulière aux extrémités des ailettes des surfaces nouvelles à couvrir, au fur et à mesure que le coton s'enroule. On conçoit facilement maintenant que si le nombre de tours des broches, dans un temps donné, est le même que celui des bobines, les vitesses angulaires étant égales, les mêmes points des broches restent dans les mêmes plans méridiens avec les mêmes points des bobines, et l'enroulement est nul. Il est encore évident que si, les broches restant fixes, les bobines tournent, il y aura enroulement du coton sur les bobines de toute la longueur parcourue par un point quelconque de leur circonférence. Quant au coton, il n'est pas tordu, car il n'a fait que se présenter tangentiellement à la surface cylindrique de la bobine, perpendiculairement aux génératrices. Supposons maintenant que les bobines restant fixes, les broches tournent. Il y a alors d'abord enroulement du coton sur les bobines, de toute la longueur de circonférence à la bobine correspondant à la longueur angulaire parcourue par l'extrémité de l'ailette; et ensuite, torsion du ruban en fil, parce qu'en entrant par l'axe, il a tourné sur lui-même de la même quantité que les broches. Si les broches et les bobines tournent en même temps et dans le même temps, il est facile de régler leurs vitesses de rotation, de telle sorte que la quantité de coton enroulée dans un temps donné soit constante pour une même circonférence de la bobine. Mais ce n'est plus sur une circonférence donnée qu'il faut enrouler le coton, mais bien sur des circonférences dont le diamètre augmente à chaque couche dé-



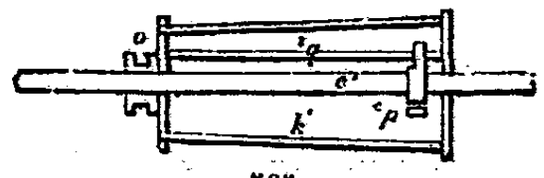
594.

posée sur la bobine. Si donc il est une vitesse de rotation convenable des broches et des bobines, peu considérable pour ne pas produire trop de duvet, pour enrouler d'une quantité constante sur une circonférence déterminée, il est aussi nécessaire qu'il y ait autant de vitesses de rotations différentes, pour continuer l'enroulement, que la bobine peut supporter de couches de coton.

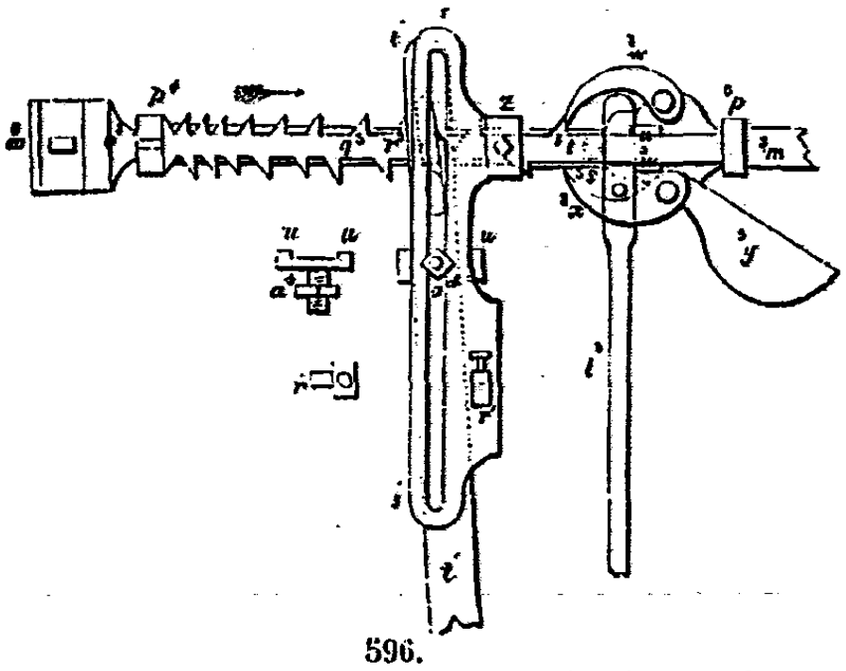
Supposons que les rouleaux d'étirage fournissent, en 10 secondes, 1m,14 de ruban, et que cette longueur reçoive 30 torsions. Les broches doivent en conséquence exécuter 30 révolutions en 10 secondes, et les bobines doivent tourner avec une telle célérité, qu'elles puissent dévider les 1m,14 en 10 secondes. La vitesse effective des bobines, dont la partie cylindrique a une circonférence de 0m,114, sera ainsi de 30 + 10 = 40 tours en 10 secondes. Lorsque par suite de l'enroulement du coton sur les bobines, celles-ci auront acquis un diamètre double de leur diamètre primitif, elles se couvriront à chaque tour d'une longueur de coton égale à 0,m228, conséquemment 1m,14 en 5 tours. Leur vitesse sera donc réduite à 30 + 5 = 35 tours en 10 secondes. En général, le nombre de révolutions que les bobines doivent faire de plus que les broches, diminue à mesure que leur diamètre s'agrandit par l'effet de l'enroulement du coton. La vitesse des bobines doit rester égale durant tout le temps de la descente ou de la montée sur la broche, et elle doit diminuer au moment où l'on change la direction de l'un ou l'autre de ces mouvements.

Les mouvements des cylindres étireurs, des broches et des bobines s'exécutent de la manière suivante. L'arbre c', fig. 591 et 592, s'étend sur toute la longueur de la machine. Il est monté sur une roue indépendante d', et mis en mouvement par une courroie de la poulie portant sur l'arbre du milieu, courroie qui fait agir la poulie a'. b' est la poulie folle sur laquelle la bande vient se placer quand le mouvement de la machine cesse. En dedans de la poulie a, mais de l'autre côté du châssis, l'arbre c' porte une roue dentée b^2 de 50 dents, laquelle au moyen de la roue c^2 intermédiaire fait agir la roue d^2 sur l'arbre prolongé à partir du cylindre cannelé le plus en arrière (fig. 591). Cette roue d^2 a habituellement 54 dents, mais elle peut être modifiée à volonté, selon que le coton doit recevoir plus ou moins de tors. Sur le même arbre, outre d^2, est fixé un pignon e^2 de 32 dents, qui agit sur une roue f^2 de 72 dents. De l'autre côté du châssis, un pignon g^2, qui a ordinairement de 24 à 28 dents, régularise l'étirage; il travaille sur une roue h^2 ayant 48 dents, et placée à l'extrémité du dernier cylindre cannelé a. L'autre extrémité du même rouleau porte un pignon i^2, pourvu de 26 dents, lequel, par le moyen de la grande roue k^2 intermédiaire, met en mouvement le pignon i'^2 de 22 dents monté sur le cylindre du milieu.

Quoique provenant de l'arbre c', le mouvement de rotation des bobines est indépendant de celui des broches, et il en diffère, car il diminue sans cesse. On parvient à ce résultat au moyen du tambour conique mobile, d'une poulie et d'un plateau de friction, dont les fig. 595 et 596 peuvent donner facilement une idée. Le plateau circulaire est monté sur l'arbre des broches, et une poulie montée sur un arbre vertical roule tangentiellement à ce tambour avec la faculté de monter et de descendre suivant la position du peigne. Il en résulte que la vitesse de rotation de cette poulie est d'autant plus grande que la distance de son point de contact au centre est plus considérable. La poulie de friction sert ainsi à régler la vitesse des crémaillères au moyen desquelles le chariot des bobines monte et descend. Le tambour, mu aussi par le peigne, présente des diamètres convenables à la rotation des bobines comme

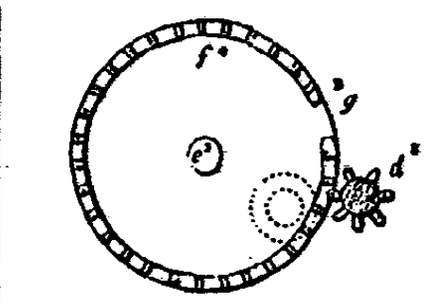


595.

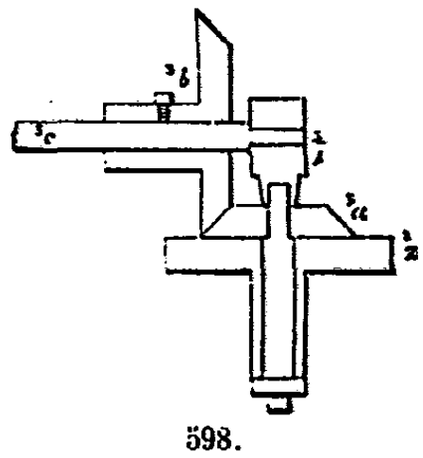


596.

dans le banc à broches à mouvement différentiel. Comme le temps employé à déposer une couche de coton sur les bobines augmente avec le diamètre de ces dernières, il faut que la vitesse d'élévation du chariot diminue proportionnellement à ce temps. Dans la figure 597, la roue f^3, au moyen de laquelle se transmet le mouvement rectiligne vertical alternatif, est indiquée avec son pignon d^3 qui engrène alternativement en dedans et en dehors. Ainsi, par le mouvement uniforme de d^3 et de ses dépendances, la roue f^3, avec son arbre e^3, tourne alternativement de droite à gauche. La fig. 598 représente le pignon conique a^3 et ses dépendances construits sur une plus grande échelle. Les fig. 599 et 600 achèveront de faire comprendre comment le tambour conique effectue son mouvement.



597.

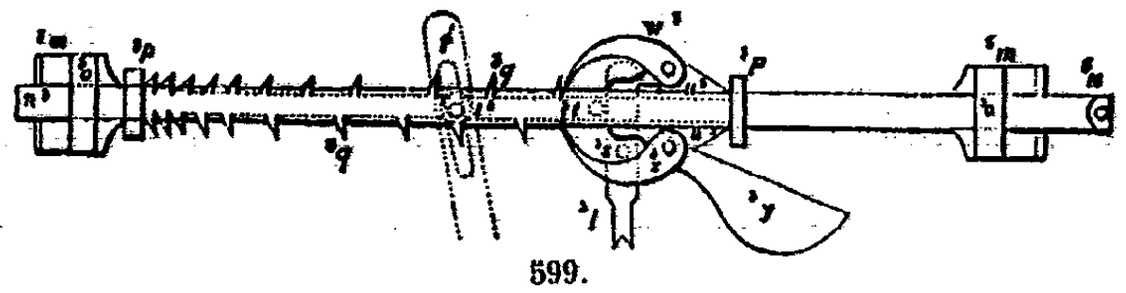


598.

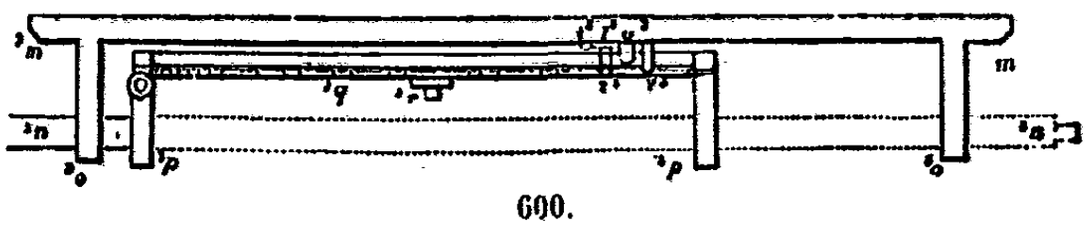
Quand on connaît le diamètre des bobines vides, et combien de tours elles doivent faire dans un temps donné pour dévider la tranche fournie par les cylindres cannelés et par les broches, il est facile de trouver le diamètre que le cône doit avoir pour produire ce nombre de tours. Ce diamètre est celui de la plus grande périphérie de la base. Dans la machine que nous venons de décrire, chaque broche peut dévider en 12 heures de 0k,270 à 0k,370 de coton de la finesse de 1 1/2, mesure anglaise. Une personne peut surveiller deux métiers, réunir les fils cassés et remplacer les bobines pleines

par des vides. Le déchet du coton consiste dans les parties provenant de la rupture des fils, et doit être reporté à la machine à battre.

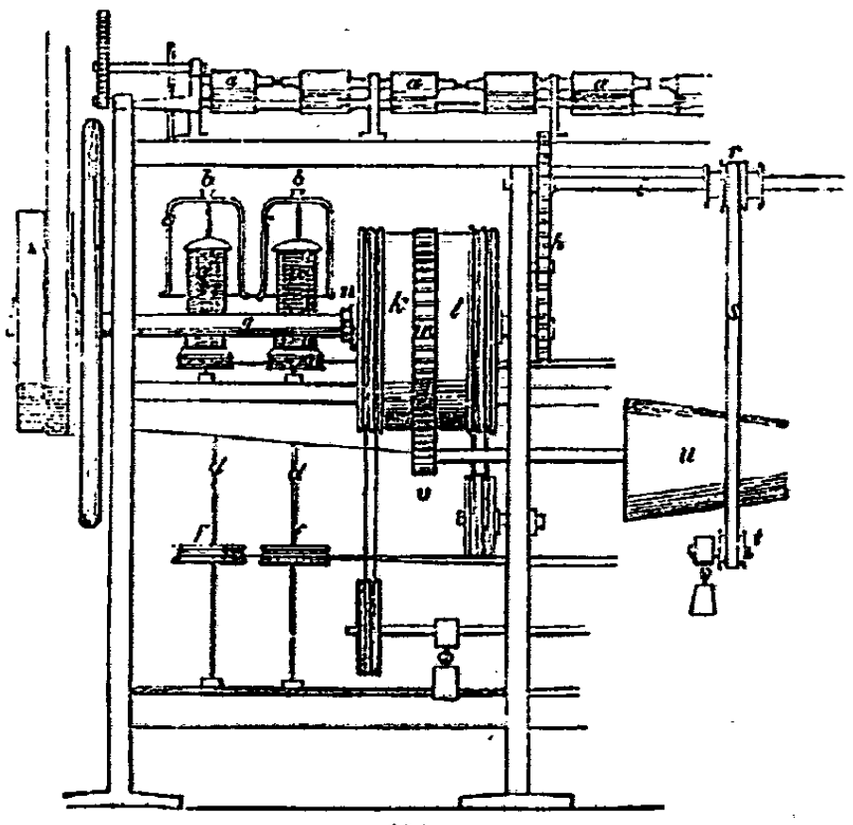
Le banc à broches en fin ne diffère pas absolument de la machine précédente ou banc à broches en gros. Celle-ci reçoit les rubans sortant du dernier laminoir; celle-là sert pour les numéros à partir de cinquante. Le tors que l'on donne au coton dans les bancs à broches est d'autant moindre que la grosseur du fil est plus considérable. Il en résulte que, dans le banc à broches en gros, la vitesse des broches est infiniment moindre que dans le banc à broches en fin. C'est pourquoi, afin de produire la même longueur de coton dans le même temps, sur le premier comme sur le second, on est obligé d'imprimer aux bobines une vitesse plus grande que celle des broches. Quant au tors que l'on donne au coton, il est en moyenne de 1 tour par centimètre pour le banc à broches en gros; de 1,5 pour le banc à broches intermédiaire, et de 2 tours pour celui en fin. Du reste, le banc à broches en fin n'existe que depuis quelques années; et jusqu'à cette époque, on n'employait que le métier en gros de 164 broches environ. Ce métier recevait le coton du banc à broches en gros ou du banc à broches intermédiaire; et il avait sur le métier en fin plusieurs avantages : d'abord il coûtait moins cher, et ensuite il produisait davantage. Il est vrai de dire aussi qu'il exigeait plus de main-d'œuvre et donnait un coton moins régulier.



599.

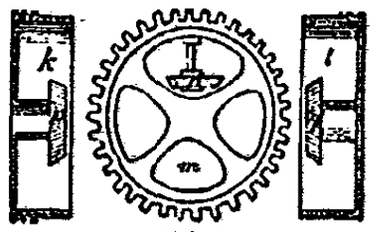


600.

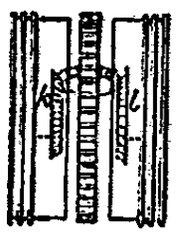


604.

La fig. 601 représente un banc à broches à mouvement différentiel, de l'invention de M. H. Houldsworth et tel qu'on le construit en Angleterre. *a*, *a*, *a* sont les cylindres étireurs. L'arbre principal *g*, au moyen d'un système de roues *h*, communique le mouvement à ces cylindres. Sur l'arbre *g* est monté un tambour-poulie cylindrique sur lequel passe une courroie pour faire mouvoir les broches *f* et *d*, ainsi que les bobines *e*, *e*. Ce tambour cylindrique est fait de deux pièces *k* et *l* et monté sur l'arbre avec une roue dentée *m*. On comprend facilement la disposition des trois parties qui composent ce tambour en jetant les yeux sur les fig. 602 et 603, où elles sont représentées séparément. Une partie du tambour est fixée avec sa poulie *l* à l'arbre *g*; mais l'autre partie avec sa poulie *k* et la roue dentée *m* glisse librement en tournant sur l'arbre *g*; et lorsque ces deux parties sont amenées en contact et retenues par un collet fixe *n*, ainsi qu'on le voit dans la fig. 601, elles forment deux poulies distinctes destinées, l'une à mettre en mouvement les broches, l'autre à faire agir les bobines. L'arbre principal *g* étant mis en mouvement, comme il a été dit plus haut, le système de roues *h*, qui en dépend, fait tourner l'arbre *i*, lequel est muni à son extrémité d'un pignon qu'on ne voit pas dans la figure, et qui met en mouvement toute la série des cylindres étireurs *a a a*. Sur l'arbre *i* est une poulie mobile *r*, portant une courroie *s*, qui vient s'enrouler en bas sur la poulie de tension *t*, tenue tendue par un poids. Cette courroie *s*, dans son mouvement de rotation, se trouve en contact avec le tambour conique *u*, et l'entraîne dans sa rotation; tandis que la poulie *r*, par un mécanisme qui n'est pas indiqué dans la figure, glisse le long de l'arbre *i*. Ce mouvement de la poulie *r* a pour but de faire passer progressivement la courroie *s* du plus petit diamètre du tambour au plus grand, afin que la vitesse de rotation diminue graduellement à mesure que les bobines s'emplissent par le dévidage des fils.



602.



603.

Théorie du banc à broches. — Insistons un peu sur les intéressantes questions que présente le banc à broches au point de vue théorique. Le développement que la bobine doit présenter dans l'unité de temps étant déterminé, le nombre des tours à lui imprimer doit toujours être en raison inverse de son diamètre. Ce diamètre augmentant successivement de l'épaisseur des couches de fil renvidées, c'est-à-dire du double de l'épaisseur du fil par chaque tour, il faut que la vitesse de la bobine diminue dans le rapport des rayons après et avant l'enroulement.

Pour que ces tours se déposent les uns à la suite des autres, il faut encore donner à l'axe de la bobine un mouvement vertical de va-et-vient, et puis que la

vitesse de la bobine varie, la vitesse de ce mouvement rectiligne alternatif devra varier également en raison de l'épaisseur de fil enroulé.

Ces deux conditions, auxquelles il paraît si difficile de satisfaire d'une manière absolue, sont admirablement remplies à l'aide de deux organes déjà décrits, dans le banc à broches à mouvement différentiel, savoir :

1° Le cône monté sur l'axe qui communique le mouvement rectiligne alternatif aux bobines et mené par une courroie qui passe sur une poulie montée sur l'arbre moteur. Cette poulie et la courroie qui passe sur le cône glissent sur cet axe poussées par un encliquetage qui avance d'une dent à chaque alternative du mouvement de haut en bas et de bas en haut de la bobine, c'est-à-dire par chaque tour d'enroulement. La vitesse du mouvement alternatif diminue ainsi avec l'épaisseur du fil enroulé; il est communiqué par le mouvement d'ascension et de descente d'une crémaillère engrenant avec une roue dentée.

2° Le mouvement, variable en raison des épaisseurs de fil, de l'arbre qui porte le cône dont nous venons de parler, vient s'ajouter à celui du moteur communiqué aux broches, pour former celui des bobines à l'aide d'un système à mouvement différentiel de la nature de celui représenté fig. 8. (Voy. DIFFÉRENTIEL.)

Il est facile de voir que l'emploi de ces organes fournit une solution mathématique du problème complexe qu'il s'agissait de résoudre. Entrons dans quelques détails.

Soit V la vitesse à la circonférence des cylindres d'étirage, ou la longueur de mèche fournie dans l'unité de temps, v la vitesse de rotation de l'ailette dans le même temps, ou le nombre de tours de tors donné à la longueur de mèche V, d le diamètre de la bobine à la première couche, $1/2\ m$ le diamètre de la mèche.

Les diamètres successifs de la bobine seront :

1re	couche	d.
2e	—	$d + m$.
3e	—	$d + 2\ m$.
4e	—	$d + 3\ m$.
...	...	...
ze	—	$d + (z - 1)\ m$.

Les rapports des vitesses des étirages et de la bobine pour différents diamètres, abstraction faite du mouvement de l'ailette, doivent être égaux à :

$$\frac{V}{\pi d}, \frac{V}{\pi (d+m)}, \frac{V}{\pi (d+2m)}, \frac{V}{\pi (d+3m)}, \ldots \frac{V}{\pi (d+(z-1)m)}.$$

Mais pour avoir la vitesse réelle de la bobine, il faut ajouter ou retrancher ces différentes valeurs de la vitesse constante de l'ailette, suivant que le renvidage se fait dans un sens ou dans l'autre.

Appelant u, u', u'' .... u^z les vitesses réelles de la bobine à ses différents diamètres, on devra avoir :

$$u = v \pm \frac{V}{\pi d}, \quad u' = v \pm \frac{V}{\pi (d+m)},$$

$$u'' = v \pm \frac{V}{\pi (d+2m)} \ldots u^z = v \pm \frac{V}{\pi (d+(z-1)m)};$$

d'où l'on voit que chacune de ces valeurs se compose de la constante v plus la longueur de mèche fournie dans l'unité de temps divisé par la circonférence de la bobine; et que ces vitesses forment entre elles une série croissante ou décroissante, suivant que la bobine

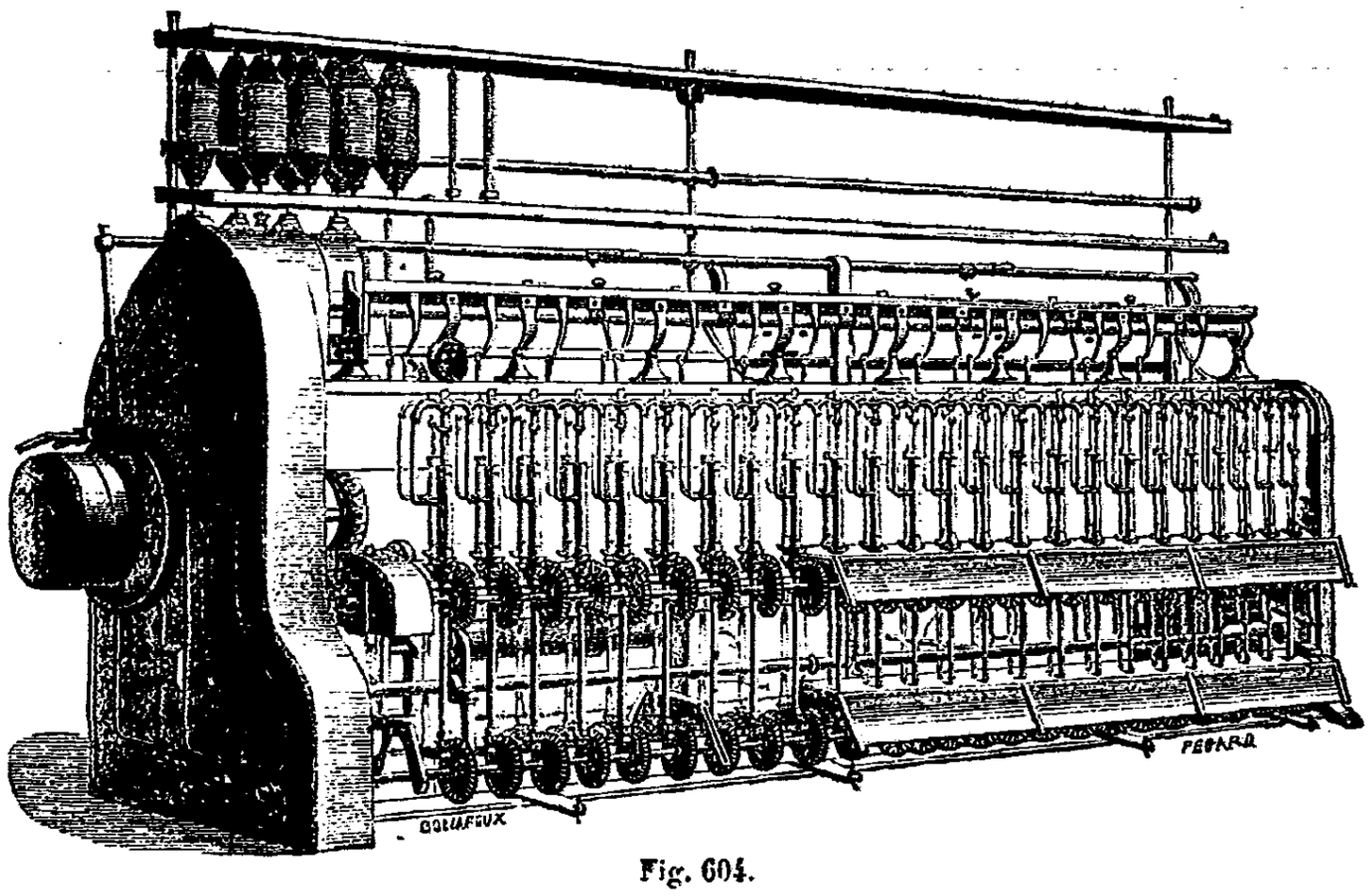


Fig. 604.

marche plus vite ou plus lentement que l'ailette; elle est décroissante dans le premier cas, et croissante dans le second.

Connaissant les vitesses de rotation de la bobine, il reste à déterminer les vitesses d'ascension.

Soient b, b', b'', b'''... b^z, les différentes vitesses verticales de la bobine correspondant aux mêmes diamètres que les vitesses u, u', u''..., etc.

On sait que pour la longueur de la mèche πd fournie par les cylindres étireurs, la vitesse verticale doit être $1/2m$ pour le diamètre d, par conséquent on aura la proportion $\pi d : 1/2m = V : b$, d'où

$$b = \frac{V m}{2 \pi d}.$$

On aura de même

$$b' = \frac{V m}{2\pi(d+m)},\quad b'' = \frac{V m}{2\pi(d+2m)},$$
$$b''' = \frac{V m}{2\pi(d+3m)} \ldots b^z = \frac{V m}{2\pi(d+(z-1)m)}.$$

Mais $\frac{V m}{2\pi}$ étant une quantité constante dans toutes ces valeurs, on a :

$$b : b' : b'' \ldots : b^z = \frac{1}{d} : \frac{1}{d+m} : \frac{1}{d+2m} \ldots \frac{1}{d+(z-1)m},$$

c'est-à-dire que les vitesses d'ascension de la bobine doivent être en raison inverse des diamètres de cette même bobine.

Il résulte de ce qui précède que si l'on fait mouvoir une roue différentielle à l'aide d'une courroie glissant sur un cône, le problème sera résolu.

En effet, soient $\frac{n}{D}$, $\frac{n}{D'}$, $\frac{n}{D''}$, etc., les rapports de vitesse des cylindres cannelés à celle des sections du cône, D, D', D''..., étant les diamètres successifs des sections du cône sur lequel marche la courroie, les vitesses réelles successives de la bobine seront :

$$u = v \pm \frac{2nV}{D},\ u' = v \pm \frac{2nV}{D'},\ u'' = v \pm \frac{2nV}{D''},\ \text{etc.}$$

Or, nous avons vu qu'on devait avoir :

$$u = v \pm \frac{V}{\pi d},\ u' = v \mp \frac{V}{\pi(d+m)},\ u'' = v \pm \frac{V}{\pi(d+2m)} \ldots;$$

d'où il suit que les diamètres successifs du cône doivent encore être proportionnels à ceux de la bobine.

La différence entre les diamètres de la bobine étant constante, celle entre les diamètres du cône le sera également, et par suite le peigne qui règle les mouvements de la courroie devra être partagé en autant de parties égales que la bobine pourra contenir de couches de coton.

Quant à la vitesse verticale de la bobine, elle est produite directement par le cône; elle est par suite proportionnelle à la vitesse de ce dernier, qui est en raison inverse de ses diamètres, par conséquent en raison inverse des diamètres de la bobine, comme cela doit avoir lieu.

Ce système ingénieux, et qui fait grand honneur à la science des constructeurs, n'est pas absolument nécessaire, et on a même essayé, sans succès toutefois, des broches qui n'exigent pas de mouvement différentiel pour l'enroulement du fil. (Voy. *Complément*, BROCHE.)

Rota-Frotteurs. — En Normandie les deux premiers bancs à broches, en gros et en moyen, sont remplacés par des *Rota-Frotteurs*. Cette machine, moins coûteuse que le banc à broches, peu applicable pour les numéros fins, rend de grands services pour les numéros ordinaires, soit en chaînes mécaniques n° 26 à 28 et au-dessus et les trames 30 à 34 que l'on file le plus dans les départements de l'ouest [1].

Cette machine se compose d'un étirage, d'un rouleau recouvert de cuir, face rugueuse en dehors, diamètre 25 centimètres, animé d'un mouvement lent, rotatoire sur son axe et de va-et-vient, dans le sens de sa longueur; d'un tablier en cuir, également face rugueuse en dehors, tendu sur deux rouleaux en cuivre qu'il recouvre, tournant, comme le rouleau qu'il supporte, sur ses deux axes, et animé d'un mouvement de va-et-vient dans le sens de la longueur. La mèche du comprimeur, après avoir été laminée dans l'étirage, est soumise à la pression du rouleau sur le tablier, s'y trouve roulée et foulée, et en ressort en mèche ronde et consistante.

Le frotteur en moyen reçoit quatre de ces mèches pour n'en faire qu'une en devant, et ces mèches, qui doivent leur régularité à ce doublage, sont placées ensuite derrière le banc à broches en fin, d'où elles sortent en n° 3, sur des bobines que l'on place derrière les métiers à filer.

5° MÉTIER EN FIN. La fig. 605 est une coupe verticale du métier continu, qui fut l'invention primitive de la filature de la chaîne par procédé mécanique, appelé *throstle* en anglais, dont nous avons déjà parlé au commencement de cet article. Cette machine est double, et possède de chaque côté de son chariot un rang de broches avec toutes leurs dépendances. Les bobines remplies de coton sont dressées en *a a*, sur deux rangs; *b*, *c*, *d*, sont les trois paires ordinaires de cylindres étireurs. Le mouvement de toute la machine provient de l'arbre d'un tambour horizontal qui fait tourner les broches, au moyen des courroies sans fin *x x*. Chaque broche est munie à son extrémité inférieure d'un barillet *w*, qui fait tourner une courroie particulière qui agit aussi sur le tambour *g*. Les vitesses de rotation des trois cylindres étireurs sont dans la proportion suivante : 1 : 1 1/2 : 8; et comme les diamètres sont les mêmes, c'est-à-dire de 25 mill., l'allongement du fil pendant le filage sera de 20 cent. Si, par exemple, le tour était de 4 1/2, le fil atteindrait le n° 36. La tension du fil, d'ailleurs, peut être modifiée en changeant les roues des cylindres étireurs. Supposons, en effet, que la roue à 18 dents des cylindres de derrière soit remplacée par une roue à 16 dents, l'allongement du fil ne s'élèvera plus dans ce cas qu'à 7 1/2 fois, et le numéro du fil sera de 32 = 7 1/2 × 4 1/2. Une jeune fille et une aide qui rattache les fils suffisent pour le service de 240 broches dans deux doubles *throstles*. Quant à la quantité de fil terminé dans une semaine de 69 heures, elle est d'environ 24 écheveaux pour chaque broche de torsion de 30, et ce fil est d'une qualité de filé très-propre aux chaînes de futaine et autres étoffes fortes, aussi bien qu'à la manufacture de bas et au fil à coudre. Le continu ne peut servir pour des fils très-fins, le fil deviendrait duveteux, se romprait souvent par suite de la grande vitesse qu'il faudrait donner à la broche qui ne peut tordre que pendant un temps égal à celui de l'étirage.

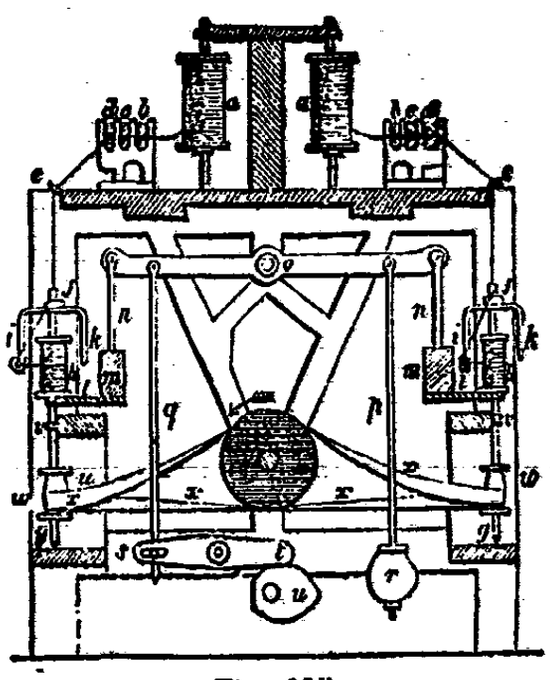


Fig. 605.

1. Le numérotage ou titrage du coton a été établi dans le système métrique ainsi qu'il suit :

Le n°	1	représente une longueur de	1,000m	pesant 500 gr.
—	2	—	2,000	— 500
—	3	—	3,000	— 500
—	10	—	10,000	— 500

et ainsi de suite.

COTON.

Le métier généralement adopté pour la filature en fin et surtout pour la filature du fil de trame est celui à travail intermittent, connu sous le nom de *mull-jenny*, inspiré évidemment par la *jenny*, décrite au commencement de cet article.

Fig. 606.

Le métier à travail continu, soit à broches horizontales, soit à broches verticales, quoique paraissant devoir être la conséquence des perfectionnements apportés dans la filature, se trouve, au contraire, antérieur au *mull-jenny*, qui l'a remplacé. Rien de plus simple à expliquer, car le *mull-jenny*, à nombre de broches égales, coûte moins cher d'acquisition, donne beaucoup plus de produit et exige moins de vitesse pour le tors, parce que ce dernier s'effectue non-seulement pendant la marche de la machine, mais encore quand elle est au bout de sa course. On peut voir, par la fig. 606, combien le rouet primitif à coton de l'Inde diffère de cet admirable système, dont le *waterframe* primitif d'Arkwright, représenté de face fig. 607, est, pour ainsi dire, le complément. Aussi

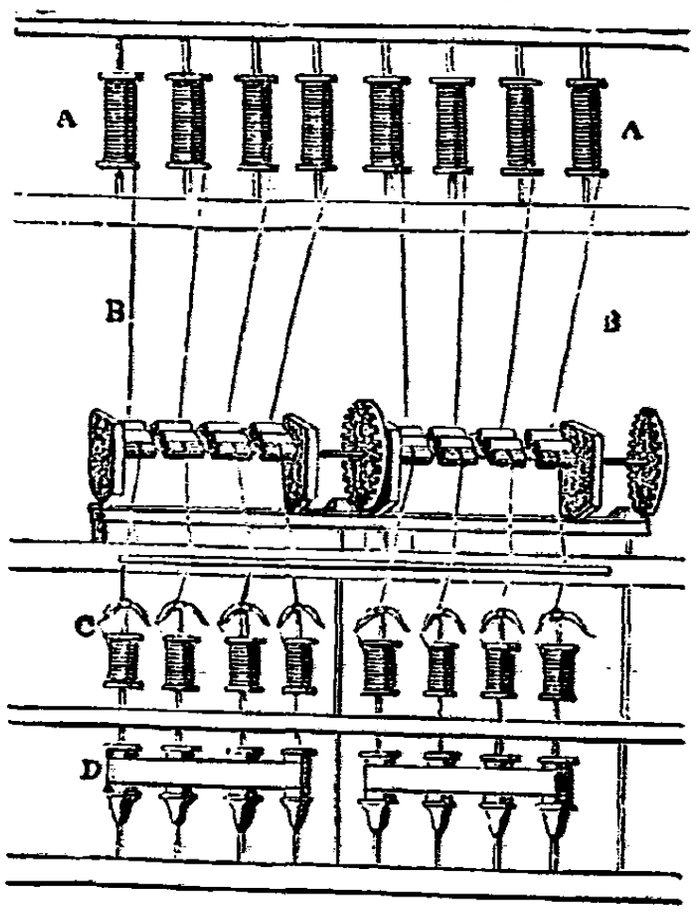


Fig. 607.

avec l'aide de ces doigts mécaniques, un ouvrier européen peut filer dans un jour plus de fils et d'une plus belle qualité, que 200 des fileurs indiens les plus diligents ne pourraient le faire avec leur appareil imparfait.

La fig. 608 est une section transversale d'un *mull-jenny*. Cette machine consiste en deux parties principales : l'une fixe, et l'autre mobile. Le châssis de la partie fixe consiste en deux montants droits, et deux ou plusieurs supports parallèles, sur lesquels est placé le rouleau-barre horizontal; *p*, *c d*, sont les trois rangs de cylindres de fer cannelés; *e*, *f*, *g*, les cylindres supérieurs couverts de cuir; *h*, les rouleaux de bois, garnis de flanelle. Les brochettes sur lesquelles sont montées les bobines contenant le coton se voient en *a*, *a*, *a*, disposées sur trois rangs, dans les intervalles *z*, *z*, *z*. Les fils provenant de ces bobines passent, avant de se diriger vers les cylindres étireurs, à travers des œillets situés aux extrémités des bras de métal *b*, puis à travers le guide *w*, et ils sont saisis par la paire de rouleaux de derrière. Le nombre de ces bobines est égal à celui des broches du *mull-jenny*, et deux fois aussi grand que le nombre des parties cannelées des cylindres, car deux fils sont traités à la fois par chaque partie cannelée.

Le chariot est formé de deux montants en fonte, et de plusieurs pièces semblables, telles que f^2, qui sont toutes attachées aux planches b^2, c^2, d^2. Ce chariot roule, au moyen de deux roues en fonte, sur le railway en fonte l^2, qui est fixé sur le plancher. Les broches (sans ailettes) sont placées verticalement sur le chariot, dans le châssis qui consiste en deux rails obliques a^2, x^2, maintenus entre eux par les barres transversales y^2, et qui peut être placé plus ou moins obliquement. z^3 sont des tambours montés sur un plan qui est à angle droit avec celui des broches. Ils ont en haut une double gorge pour laisser passer une corde, et ils communiquent aux broches le mouvement qu'ils reçoivent d'une grande roue qui n'est pas visible dans la figure. Un semblable tambour est affecté à chaque groupe de 24 broches; par conséquent un *mull* de 480 broches contient 20 tambours.

Une seule courroie ou corde sans fin, venant de la poulie k^3, donne le mouvement aux tambours c^3. Quand le chariot marche en s'éloignant des cylindres étireurs, avec une vitesse un peu plus grande que celle de la sortie du laminoir, d'où résulte un double étirage, les broches tournent et produisent le tors, sans enrouler ni dérouler le coton. Lorsque le chariot arrive au bout de sa course, il fait partir une détente, et son mouvement cesse ainsi que celui des cannelés. Le fileur, s'il trouve que la mèche n'est pas assez tordue, laisse faire plusieurs tours à la roue, puis rencide, c'est-à-dire ramène le chariot près des cylindres cannelés; les broches tournent et se recouvrent de coton sans le tordre. Arrivé à cette position, une autre détente rétablit les mouvements primitifs. Le premier effet s'obtient en inclinant suffisamment les broches; le second, en baissant les fils après avoir déroulé la partie de coton enroulée sur l'extrémité des broches. L'inclinaison nécessaire pour empêcher le coton, soit de s'enrouler, soit de se dérouler, quand le chariot s'éloigne des cylindres cannelés, est variable. Au premier abord, on croirait que ce plan devrait être à 45° avec celui des fils, mais, dans la pratique, il n'en est pas ainsi. Plus les fils sont fins, plus les broches sont inclinées et effilées, parce que le coton est beaucoup plus sujet à casser.

Quant à l'écartement des cylindres cannelés, il varie suivant la longueur des filaments; dans tous les cas, il est toujours le moindre possible, parce que l'on casse beaucoup. Comme la transmission du mouvement de rotation aux broches est totalement indépendante de celle du chariot et des cylindres cannelés, il en résulte que, lorsque le chariot est arrivé à

la fin de sa course, le tors peut se prolonger aussi longtemps qu'on le juge convenable.

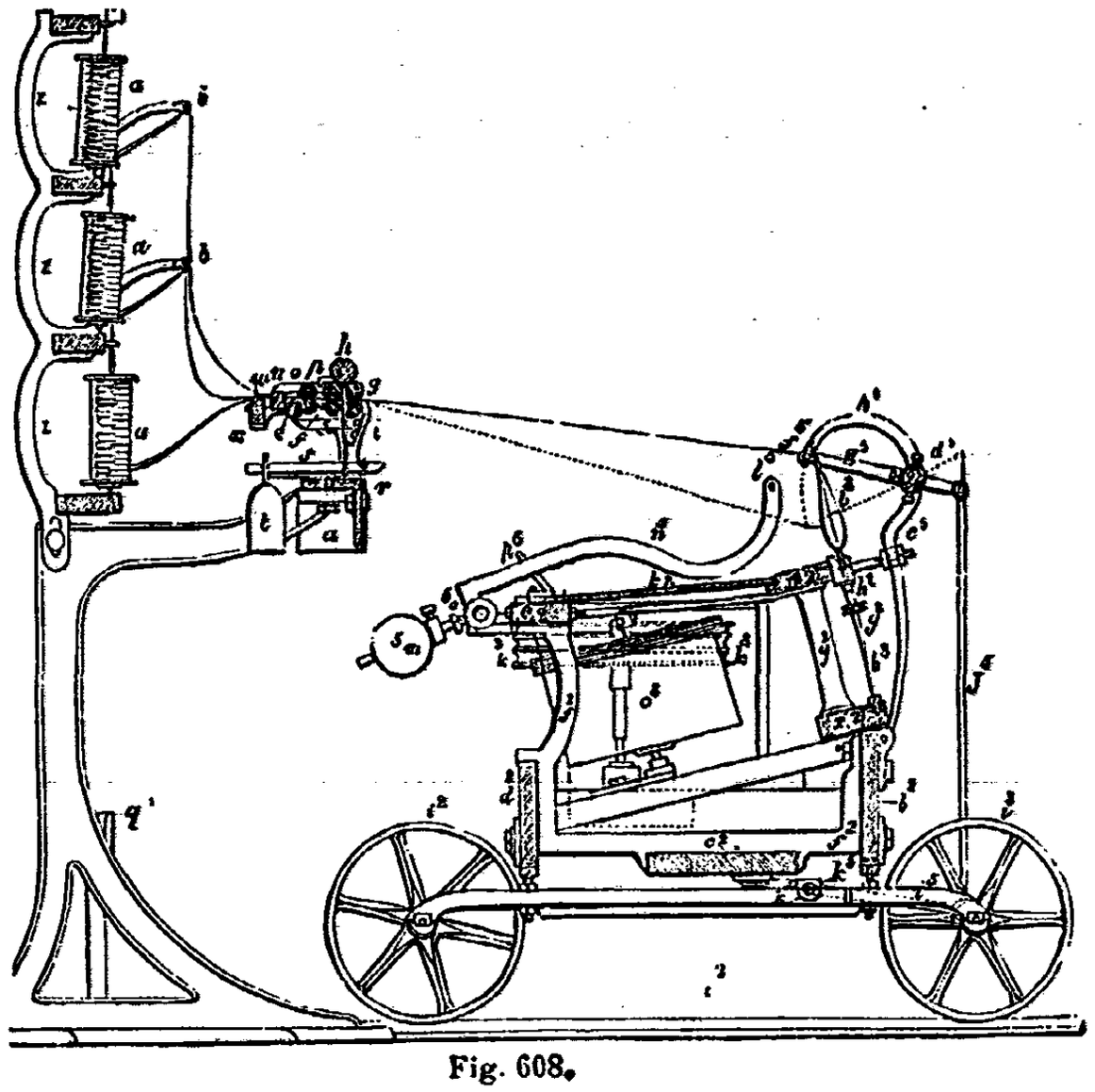


Fig. 608.

Un fileur suffit à surveiller deux *mulls* qui sont en face l'un de l'autre; le chariot de la première machine étant en train d'avancer et de filer, tandis que celui de l'autre finit sa torsion et est arrêté par le fileur.

La quantité de fil manufacturée par un *mull* dans un temps donné dépend directement du nombre de ses broches et du temps employé pour compléter chaque portée de la machine. Plusieurs autres circonstances ont une influence directe sur cette quantité, et particulièrement le degré d'habileté du fileur ainsi que la bonne organisation de la machine. On peut encore dire qu'une température de 18° C. et une atmosphère légèrement humide conviennent également aux opérations de la filature.

Self-acting. — Il restait à accomplir le progrès de faire mouvoir mécaniquement le mull-jenny, de donner à la machine l'habileté du fileur; c'était arriver à produire, presque par la seule action des forces naturelles, le fil le plus délicat. C'est ce qu'on a obtenu par l'invention du *self-acting*.

Voici comment il travaille : dès que la courroie de la transmission vient mettre en mouvement la poulie du métier, aussitôt l'étirage fonctionne; le chariot, monté sur ses roues à rainures, s'éloigne de l'étirage avec une lenteur mesurée. Pendant qu'il s'avance, les 1,000 broches dont se compose le *self-acting*, animées d'un mouvement de rotation de 6,000 tours par minute, tordent les 1,000 fils à mesure qu'ils sortent de l'étirage. Arrivé au bout de sa course, l'étirage s'arrête; les broches tournent encore quelques secondes et s'arrêtent à leur tour, comme obéissant à un signal mystérieux. Aussitôt ces broches *détournent* de quelques tours; un fil de fer tendu sur toute la longueur du métier, au-dessus des broches, dit *baguette*, s'abaisse sur les fils; le chariot revient sur lui-même, et, dans ce mouvement de rentrée, la broche ravide la longueur de fil tordue pendant sa marche; le fil de fer conduit le fil le long de la broche, comme guidé par une main invisible, et façonne la bobine peu à peu, couche par couche, spirale par spirale. Le chariot revenu à son point de départ, la baguette de fil de fer se relève, le fil remonte à la pointe de la broche, et tout remarche pour une nouvelle *aiguillée*. L'ouvrier placé devant cette énorme machine semble se reposer; la matière, docile, organisée, a travaillé seule : — rattacher de temps à autre quelques fils cassés, nettoyer son métier, remplacer par-ci par-là les bobines de banc à broches arrivées à leur fin, telles sont les uniques fonctions du fileur, si toutefois on peut continuer à donner ce nom au surveillant de ce métier. — Un homme, un jeune homme et deux enfants suffisent pour conduire deux métiers de 1,000 broches chacun.

La description détaillée du *self-acting* serait une œuvre laborieuse, et sa théorie, la discussion des meilleures dispositions possibles des diverses pièces qui le composent, du rôle qu'elles remplissent pour la solution du problème posé, exigerait un ouvrage entier comme celui que M. Stamm a consacré à cette machine compliquée. Nous empruntons au savant ouvrage de cet ingénieur l'indication de la disposition générale du *self-acting* de Parr Curtis, le plus répandu.

Un *self-acting* se compose essentiellement de broches, portées par un chariot d'étirage, et disposées, comme dans le mull-jenny, auxquelles le mouvement est communiqué au moyen d'un mécanisme placé au milieu, qui est dit la tête du métier. C'est donc celle-ci que nous avons d'abord à étudier.

La fig. 608 bis représente en élévation latérale des éléments de la disposition générale de la tête.

En AB est la coupe générale du chariot en son milieu. Soient C *l'arbre des broches*, porteur des appareils qui commandent directement les broches; D une poulie à gorge fixe sur cet arbre, E un tambour fou appelé *barillet*; F un second tambour fou appelé *virgule*; G une poulie folle à gorge; H l'arbre de la baguette; I un ressort qui sollicite le relèvement de la baguette.

Soient K une poulie folle placée à la partie antérieure de la têtière; L deux poulies folles placées à la partie postérieure; M une grande poulie à gorge fixée sur l'arbre horizontal N et appelée *rotant*; O une roue d'angle fixée sur l'arbre N; P une roue d'angle commandée par la roue O et folle sur l'arbre longitudinal Q, qui commande le premier rang des cylindres, et celui-ci les deux autres par des engrenages non représentés sur la figure; R une roue solidaire de la roue P; S, T deux roues intermédiaires commandées par la roue R; U une roue commandée par la roue T, et fixée sur un arbre V parallèle au porte-cylindres; X une poulie fixée à l'arbre V; Y une poulie fixée à un arbre Z parallèle à V.

Une corde A' passant sur les poulies X et Y et s'attachant au chariot mobile par ses deux extrémités au moyen des deux tendeurs B' et C', constitue un système qui, comme au mull-jenny, s'appelle *main-douce*, parce qu'il remplace la main du fileur qui, dans ces métiers, fait mouvoir le chariot.

Une corde sans fin passant sur les poulies M, L, G, D, K, L, M relie la poulie D, et par suite l'arbre C, à la poulie M et à l'arbre N.

Soient maintenant D' un pignon fixé sur l'arbre Z; E' un secteur denté commandé par D' et tournant autour de l'axe F'; G' un levier fixé au secteur, suivant un de ses rayons, portant un arbre fileté H' qui conduit un écrou I', portant un crochet J', qui s'éloigne ou se rapproche du centre de rotation F', quand on fait tourner la manivelle K'; L' chaîne attachée au crochet J' et allant s'enrouler autour du barillet E auquel elle s'attache après un bouton par sa deuxième extrémité. On voit en M' deux espèces de fusées, dont les gorges ont la forme d'une volute faisant quatre tours et présentant des rayons croissants puis décroissants. A chacune de ces fusées qui s'appellent *scroles* ou *escargots*, s'attache, au point du plus petit rayon, une corde. — Les deux cordes et les gorges sont disposées de telle façon que l'arbre N' des scroles tournant, l'une des cordes s'enroule et l'autre se déroule,

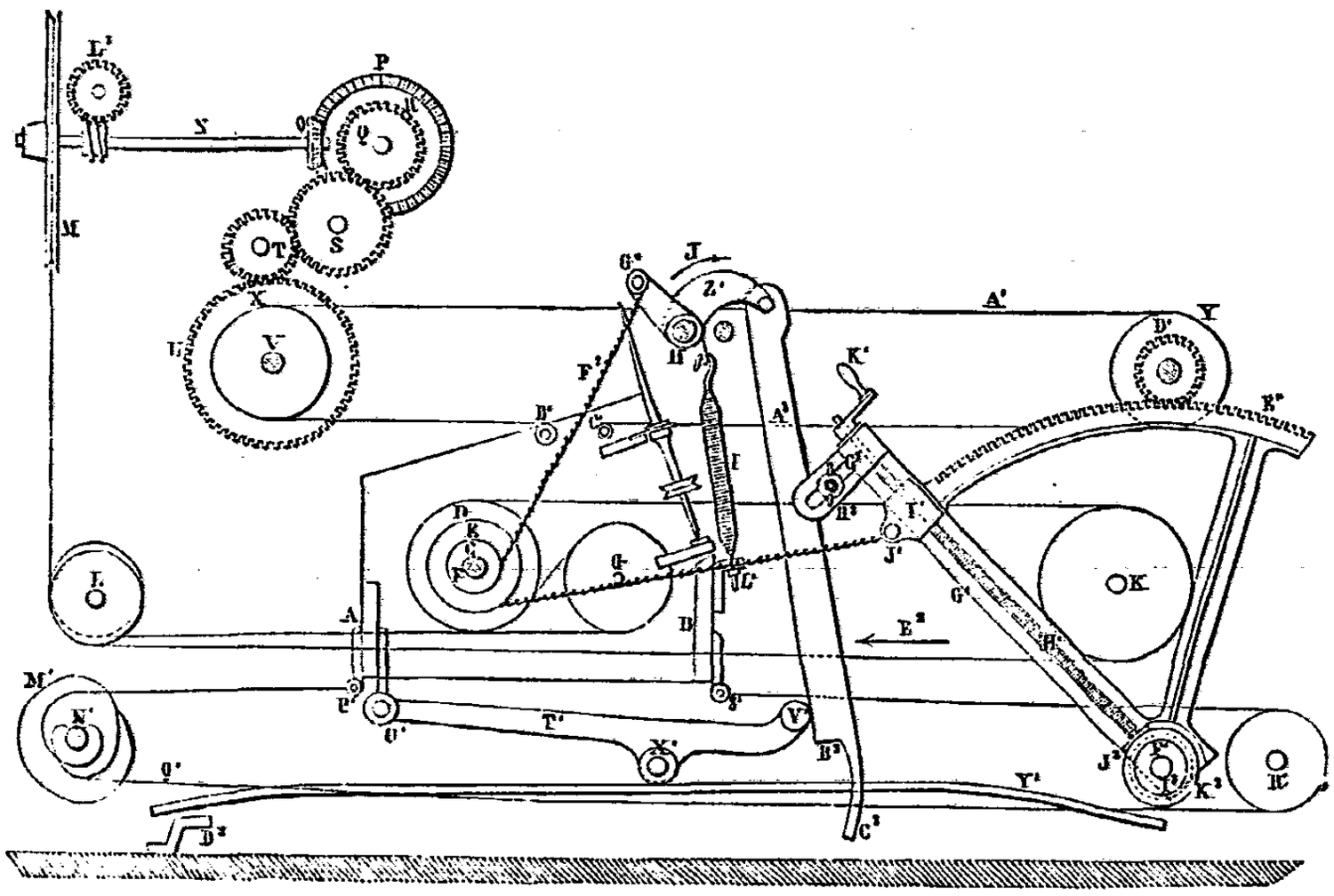


Fig. 608 *bis*.

et que les vitesses d'enroulement et de déroulement sont toujours égales quoique variables. L'une des cordes O' va s'attacher directement au chariot en un point P', après un tendeur. L'autre, Q', va d'abord passer sur une poulie folle R', puis revient s'attacher devant le chariot en un point S'. Le chariot se trouvant au bout de sa course, et par suite l'une des cordes de scroles se trouvant entièrement déroulée et l'autre entièrement enroulée, si l'arbre des scroles est mis en mouvement de rotation uniforme de manière à attirer le chariot, celui-ci revient vers le porte-cylindres avec une vitesse croissante jusqu'au milieu de sa course, et décroissante depuis ce milieu jusqu'au porte-cylindres.

T' est un levier disposé sous le chariot, s'articulant à un tourillon fixé au chariot en U', muni en avant d'un galet V', et, en dessous, d'un galet X', lequel, pendant les mouvements du chariot, roule sur une courbe Y' et le fait osciller.

Z' levier recourbé, appelé *pousse-baguette*, fixé sur la baguette et s'articulant à son extrémité à un levier à peu près vertical A^2, dont la partie inférieure porte une encoche B^2. L'extrémité inférieure C^2 de ce levier se prolonge à côté de la règle Y'. Ce levier A^2 est sollicité par un ressort dans le sens de la flèche E^2, et, dans la position où il est dans la figure, il s'appuie contre le galet V'. On l'appelle *levier de liaison*.

D^2 est un nez fixé par terre et disposé de manière à être rencontré par l'extrémité C^2 du levier de liaison avant l'arrivée du chariot au porte-cylindres.

F^2 est une chaînette dont une extrémité s'attache

à l'extrémité d'un levier G⁴ dit *baisse-baguette*, fixé sur les baguettes, et dont l'autre extrémité s'attache en un point de la virgule F.

Fonctionnement du métier. — Ayant décrit les divers organes, nous allons pouvoir expliquer comment leurs mouvements se succèdent pour obtenir les effets voulus, le caractère essentiel de ce métier étant de produire des effets divers au moyen d'embrayages et de débrayages successifs, le mouvement ou le repos des organes dont la réunion a pour but de satisfaire aux conditions de la filature.

Pendant la première période, l'arbre N est commandé par une poulie motrice montée sur lui; le volant M transmet le mouvement par sa corde à la poulie D, et par suite à l'axe C et aux broches; la roue P est, par un embrayage non figuré, rendue solidaire de l'arbre Q, et, par suite, les cylindres sont commandés. La roue T est engrenée avec la roue U, et, par suite, le tambour X tourne, sollicite la corde A' et fait sortir le chariot. En même temps l'arbre Z, qui tourne, commande la levée du secteur, qui, au début de la première période, se trouve avoir son levier abaissé; le barillet F est fixe, et, par un système à friction, tend à enrouler la chaîne L'; il n'en enroule évidemment que la quantité différentielle entre le mouvement du chariot et celui du point d'attache J'.

La baguette se trouve entièrement relevée, c'est-à-dire qu'elle a obéi à ses ressorts I, et qu'elle est arrêtée en ce moment contre un butoir qui limite son élévation.

La virgule est folle en ce moment, ainsi que les scroles qui ne tournent que par l'action du chariot sur leurs cordes.

Le levier de liaison est appuyé contre le galet V' et le levier de règle T' oscille sans effet.

A la fin de cette première période, c'est-à-dire lorsque le chariot arrive au bout de sa course, un système d'embrayage débraye la main-douce en séparant les roues T et U, en les dégrenant, et en même temps rend la poulie P folle sur l'arbre Q. Dès lors les cylindres et la main-douce sont arrêtés, la torsion seule continue, la *première évolution* est faite et la *deuxième période s'effectue.*

Quand une fois les broches ont fait le nombre de tours voulu pour la torsion du fil, un compteur L², monté sur l'arbre N, met une seconde fois en jeu un débrayage, qui fait que la torsion s'arrête et qui donne lieu à la rotation en sens contraire de l'arbre N, et, par suite, de la poulie M, de l'arbre D, de l'arbre C et des broches : le fil enroulé sur les broches pendant la torsion du fil se déroule et vient prendre la torsion moyenne de l'aiguillée; c'est la *seconde évolution.*

La virgule est un organe disposé de façon à être solidaire de l'arbre C, tant que celui-ci tourne en sens contraire à celui de la torsion. Il résulte de ce mouvement de détour que la virgule enroule la chaînette F², abaisse la baguette et effectue ainsi le dépointage à la troisième période. Par l'abaissement de la baguette, le levier de liaison s'élève, et lorsque son encoche B² arrive au-dessus du galet V', il passe sur celui-ci, en vertu de la force qui le sollicite dans la direction E². En même temps, et par l'action du passage de l'encoche B², un embrayage se produit, d'où résulte le mouvement des scroles et le débrayage de l'arbre N. C'est la *troisième évolution.*

Le barillet est disposé de manière à devenir solidaire de l'arbre C toutes les fois et tant que le chariot se meut vers les porte-cylindres. Dès lors, le chariot étant, dans la quatrième période, tiré par les scroles, — et le point d'attache de la chaîne L' en J', se mouvant dans le même sens mais moins vite, — il y a déroulement de cette dernière chaîne, rotation du barillet, rotation de l'arbre C des broches. Celui-ci, tournant de nouveau dans le même sens que celui de la torsion, est alors abandonné par la virgule, qui redevient folle. Lorsque le chariot s'approche du porte-cylindres, le tourillon H² du nez G² du secteur vient presser de haut en bas la chaîne qui va au barillet, et provoque par là une accélération de vitesse rotatoire dans le barillet.

Les oscillations du levier de règle, lesquelles sont commandées par la règle, se transmettent au levier de liaison, et, par suite, à la baguette. De la loi de rotation du barillet et de la loi d'oscillation de la baguette résulte la formation d'une couche de fil sur la broche. A chaque aiguillée, la règle et le point d'attache J' se déplacent suivant une certaine loi. Le mécanisme qui fait mouvoir I est assez complexe, mais peut être compris, en le supposant analogue à l'étoile du tour de Maudslay, produisant une progression d'une fraction de pas par chaque oscillation du secteur. Le déplacement de la règle se fait dans le sens vertical, de manière à varier les altitudes des couches de la bobine; les aiguillés successives donnant lieu à la formation de couches successives et concentriques dont l'ensemble constitue une canette.

La régularité de la canette, sa solidité pour qu'elle puisse passer immédiatement dans la navette du métier à tisser, est une des parties les plus délicates de la construction, à cause de la difficulté qui résulte de la variation de diamètre de la canette et de la complexité des organes dont les mouvements influent sur sa formation; aussi a-t-on réservé l'action de la main de l'ouvrier qui peut agir sur la manivelle pour agir sur le mouvement de J'.

La quatrième période se termine quand le chariot arrive au porte-cylindres. L'extrémité C² du levier de liaison venant buter contre la pièce D² est repoussée, et dès lors le levier de liaison étant rejeté en arrière, de façon que l'encoche B² se retire de dessus le galet V', alors les ressorts I agissent et opèrent la relevée de la baguette. En même temps, un mécanisme distributeur mis en jeu par l'arrivée du chariot près du porte-cylindres donne lieu au débrayage des scroles, à la remise en train de l'arbre N, à l'embrayage de la main-douce et de l'arbre Q qui commande les cylindres. C'est la *quatrième évolution* — Le chariot, en sortant, libère de nouveau le barillet, et la première période recommence.

Pour que le chariot soit arrêté avec douceur à la fin de la quatrième période, on dispose, derrière le porte-cylindres, des supports munis de tampons plus ou moins élastiques contre lesquels butte doucement le chariot et qu'on appelle sentinelles. Pour arrêter le chariot à la fin de la première période, il y a également des supports buttoirs; il y a également des encochements dont le but est de rendre le chariot parfaitement immobile pendant les deuxième et troisième périodes.

Les dispositions générales du métier *self-acting* qui viennent d'être analysées résument les principales qui ont été employées, et permettent d'apprécier le génie dépensé dans sa combinaison.

IMPORTANCE DE L'INDUSTRIE DU COTON. — (Rapport du jury de 1862.)

En 1859, la France a manufacturé 81,665,000 kilogrammes de coton (l'emploi de la matière première n'a pas dû varier sensiblement dans les années 1860 et 1861); l'industrie comptait en 1860 environ 6,250,000 broches de filatures, 75,000 métiers mécaniques et 198,000 métiers à bras. Le poids des produits a dû s'élever à 71,800,000 kilogrammes, et leur valeur à 504,000,000 de francs.

La part afférente à la façon manufacturière en 1860 peut être évaluée à la somme de 343,000,000 de francs.

COTON.

Le commerce d'exportation des tissus a donné pour trois années les résultats suivants :

	1859.	1860.	1861.
	kilog.	kilog.	kilog.
Tissus écrus et blancs.	3,610,000	5,594,200	5,858,000
Tissus imprimés et teints. . . .	3,164,800	2,838,100	5,736,900
Tissus tulles. . .	41,300	51,800	48,600
Tissus divers. .	1,860,900	1,860,800	1,553,800
	8,677,000	10,344,900	13,197,300

Comme en Angleterre, l'industrie cotonnière en France se trouve divisée en grands centres de fabrication qui ont chacun leurs produits spéciaux.

L'Alsace, région cotonnière de l'Est, dont Mulhouse est le centre, comptait en 1860 environ 1,600,000 broches de filature, 38,000 métiers mécaniques et 10,000 métiers à bras; ces derniers sont exclusivement consacrés à la fabrication des articles fins, des grandes largeurs, des tissus damassés et de couleur. Chaque jour, d'ailleurs, les procédés mécaniques tendent à se substituer au travail manuel. Le nombre des ouvriers employés dans la région de l'Est peut être évalué à 60,000 environ. La majeure partie de la production alsacienne en calicots est en 90 centimètres de large et en 60, 68 et 70 portées en chaîne; la portée étant de 40 fils, une pièce de 60 portées doit avoir 2,400 fils dans sa largeur; les 68 portées, 2,720 fils, et les 70 portées, 2,800 fils. Les sortes madapolams, les cretonnes, sont fabriquées avec divers numéros de filés; il se fait aussi, en Alsace, des croisés, brillantés, satins, piqués, damassés, pour le blanc, la teinture et l'impression.

Sainte-Marie-aux-Mines est aussi un centre important de production pour les tissus de coton pur et mélangé, mais jusqu'à présent on y compte peu de tissage mécanique; Bar-le-Duc compte environ 5,000 métiers, disséminés dans la campagne, qui produisent des cotonnettes de couleur et des articles à pantalons; Troyes fabrique de gros croisés de coton, connus sous le nom de finettes. Ces trois localités réunies peuvent être comprises dans la région industrielle de l'Est, et on peut évaluer l'importance de leur filature à 160,000 broches.

Le Nord possédait, en 1859, 1,170,704 broches de filature, dont 315,000 broches à retordre. La filature, dans cette région, ne produit guère que des numéros fins pour tulles et pour les articles de Tarare et de Saint-Quentin.

En Picardie, on peut évaluer le nombre des broches à 400,000, et Saint-Quentin et ses environs produisent en grande quantité des toiles de coton, cretonnes, percales, jaconas, nansouks, mousselines brochées pour rideaux, brillantés, piqués, devants de chemises plissés, etc. Les métiers à tisser mécaniques ne s'élevaient guère cependant dans ce rayon, en 1860, à plus de 1,100 ou 1,200, mais on peut y compter plus de 50,000 métiers à bras.

Amiens produit surtout des velours de coton; sa fabrication dans ce genre peut être évaluée à 130 ou 140,000 pièces par an, dont la valeur peut aller à 14,000,000 de fr. Amiens occupait, en 1860, pour sa fabrication de velours, de 15 à 16,000 métiers à bras et de 6 à 800 métiers mécaniques.

La Normandie est la contrée où l'industrie du coton a pris naissance en France, et où elle s'est le plus développée; elle doit compter aujourd'hui 2,500,000 broches de filature, et on peut évaluer sans exagération à 30,000 le nombre des métiers mécaniques qui produisent des tissus pour l'impression, des toiles de coton qui sont d'une grande consommation en écru, et des tissus mélangés.

Les articles connus sous le nom de rouennerie et les mouchoirs à carreaux ont été produits, jusqu'à ce jour, par le tissage à bras, et le nombre des métiers affectés à cette fabrication varie de 45 à 50,000.

Dans les départements de l'Orne et du Calvados, on compte encore de 25 à 30,000 métiers à bras employés au tissage des toiles en fils blanchis, des coutils rayés et à carreaux pour vêtements et literie, du linge de table et des satins et reps damassés pour ameublement.

Dans le centre manufacturier de Mayenne et de Laval, on ne compte guère que 40,000 broches de filature, 8,000 métiers à bras et 200 métiers mécaniques.

Chollet et ses environs possèdent 40,000 broches, Nantes 42,000 et le Beaujolais 60,000. A Roanne et dans son rayon se fabriquent de bonnes cotonnettes dont la valeur annuelle peut être estimée à 12,000,000 de francs. Tarare est le centre d'une production très-importante de mousselines claires, unies et façonnées, tarlatanes, gazes, broderies pour rideaux et pour robes; ces divers genres de fabrication occupent plus de 50,000 ouvriers et l'importance est de 25 millions par an.

Industrie anglaise. — En 1859, l'Angleterre a consommé 442,976,000 kilog. de coton; elle a produit 3,697,000,000 de mètres de tissus pesant au moins 320,000,000 de kilog., et représentant une valeur de 1,500,000,000 de fr. Sur ces 3,697,000,000 de mètres, l'exportation en a absorbé 2,343,000,000, et la consommation intérieure 1,354,000,000. Outre les tissus, la Grande-Bretagne exportait encore dans la même année 85,591,745 kil. de coton filé, 2,424,864 kilog de fil à coudre, et plus de 1,100,000 douzaines de paires de bas.

Cette énorme production n'occupait guère que 450 à 500,000 ouvriers, mais on peut estimer à quatre millions le nombre des personnes employées directement ou indirectement dans l'industrie du coton. M. Ellison, dans son *Hand-book of the cotton trade*, évalue ainsi le capital engagé dans les manufactures qui mettent en œuvre le coton dans la Grande-Bretagne :

32,000,000 broches de filature, à 29 fr.	928,000,000
325,000 métiers à tisser mécaniques à 600 fr.	195,000,000
Fabriques d'indienne, blanchisseries, teintureries	750,000,000
Capital de roulement.	800,000,000
Total, fr.	2,673,000,000

Ces chiffres, qui, en 1859, pouvaient paraître un peu exagérés, sont bien certainement au-dessous de la vérité aujourd'hui. Dès 1859, on comptait 2,600 manufactures de coton, et à cette époque le nombre des broches s'accroissait de 45,000 par semaine, ce qui faisait par année le chiffre énorme de 1,395,000 broches, c'est-à-dire plus de 3,000,000 de broches à ajouter aujourd'hui au chiffre de 1859, et l'augmentation des métiers mécaniques a toujours été proportionnée à celle des broches.

D'après les renseignements récents et positifs que nous avons obtenus de Manchester, les fabriques de coton, dans le Lancashire seul, sont maintenant au nombre de 2,884, avec 30,387,461 broches et 399,992 métiers mécaniques.

Voici, d'après le dictionnaire de Guillaumin, les chiffres qui se rapportent à 1851 et 1856; ils fournissent des comparaisons intéressantes avec ceux qui précèdent, et s'appliquent au monde entier.

	1851	1856
Angleterre	277,000,000	403,000,000
France	64,000,000	84,000,000
Russie (1849)	»	39,000,000
Autriche	30,000,000	37,000,000
Zollverein	48,000,000	35,000,000
Espagne	10,000,000	»
Portugal	»	21.000,000
Belgique	10,000,000	13,000,000
Hollande	»	16,000,000
Suisse	9,000,000	14,000,000
Italie (Toscane, Naples)	»	12,000,000
Piémont	»	6,000,000
Suède, Norwége, Danemark	»	6,000,000
Turquie, Grèce, le reste de l'Europe	»	10,000,000
États-Unis	110,000,000	139,000,000
	559,0000,00	835,000,000

En 1851, la masse des cotons annuellement fabriqués en Europe et aux États-Unis représentait 485 millions de kilog. de tissus, ayant, selon M. Mimerel, une valeur moyenne de plus de 6 fr. l'un, ce qui faisait plus de 3 milliards de francs. En 1856, 750 millions de kilog. de tissus auraient atteint à 6 fr. 4 milliards 500 millions!

En 1851, M. Mimerel estimait la valeur des matières premières à 800 millions de francs, et à 300 millions le loyer des capitaux. Il restait donc 1,900 millions pour salaires de toute nature. En France, où la production des tissus de coton s'élevait à 630 millions, la part des salaires directs et indirects était, d'après lui, de 378 millions.

En 1856, on ne peut évaluer la valeur des matières premières de toutes sortes à moins de 1 milliard 400 millions de francs. A cette date de l'apogée de l'industrie, la valeur déclarée de la production totale du Royaume-Uni seul était d'environ 1 milliard 600 millions de francs, dont 958,150,000 fr. restés pour les dépenses et bénéfices des manufacturiers. En France, la production de 75 millions de kilog. de fils et tissus représentait une valeur de 728 à 788 millions de francs, dont on doit défalquer d'abord 146 millions, coût du coton.

Il est impossible de supputer la masse totale du capital engagé dans la construction des manufactures, des machines, etc. Le prix de celles consacrées à la filature flotte entre 1 milliard 200 millions et 1 milliard 500 millions de francs, le coût moyen des broches étant de 25 à 31 fr. par broche, car il y a actuellement environ 50 millions de broches en activité en Europe et en Amérique. La moitié peut-être de la somme ci-dessus a été employée pour les établissements de tissage. A tout ce capital, on doit ajouter celui engagé dans l'achat, la vente, le transport, etc., de la matière première et des produits manufacturés. Un nombre considérable de navires, quelque chose comme 2 millions de tonneaux, sont employés à importer le coton brut des diverses régions de la terre dans la Grande-Bretagne, et à réexporter les articles manufacturés de ce pays et des autres contrées.

COUDRE (MACHINE A) ET A BRODER. La grande variété de machines à coudre que présentait l'Exposition de 1855, l'étendue des applications qui en ont été faites aux États-Unis d'Amérique, celle bien moindre cependant faite en Angleterre et en France, suffisent pour démontrer l'importance croissante de cette nouvelle branche d'industrie, et nous obligent à en rechercher la nature et l'origine, de manière à pouvoir comparer, avec quelque exactitude, le mérite de ces machines. Elles seront ici divisées en quatre classes, dont la première comprend les machines où l'aiguille est passée complétement au travers de l'étoffe, comme dans la couture à main, et les trois autres, celles où l'aiguille la perce seulement en s'y enfonçant un peu. Les machines de la deuxième classe travaillent avec un fil et produisent le *point de chaînette*; celles des troisième et quatrième classes travaillent avec deux fils et produisent : l'une le point spécialement nommé *point de navette*, et l'autre le *point double de chaînette*.

1re CLASSE. — *Machine à coudre dont l'aiguille passe complétement au travers de l'étoffe.*

Dans les premières applications mécaniques relatives à la fabrication d'objets divers, d'abord effectuées par des outils dirigés à la main et à l'œil, nous rencontrons des tentatives de combinaison d'organes mécaniques servant à imiter le genre d'outils et de mouvements qui y sont spécialement employés. C'est seulement après une longue expérience, que les outils et les procédés reçoivent les modifications propres à leur donner le caractère automatique. Conformément à ce principe, nous trouvons que, dans la première machine à coudre patentée en France par Thomas Stone et James Henderson en 1804, *comme étant appliquée à la confection des habillements* (*Brevets d'invention*, t. VIII, p. 66), une aiguille ordinaire, saisie par des pinces et poussée au travers de l'étoffe, est reçue, tirée par une seconde paire de pinces qui la fait repasser par-dessus le bord de cette étoffe, et ainsi de suite consécutivement en produisant un *point de surjet*. Ce procédé informe, qu'il n'est pas nécessaire de décrire plus au long, semble avoir été abandonné; cependant il a été reproduit sous une autre forme, lorsque M. Sénéchal s'est fait breveter en France en 1849 (*Brevets d'invention*, t. XVI, p. 122, nouvelle collection), pour une machine à *point de surjet* qui a été exposée au Palais de Cristal en 1851, et dans laquelle on se servait encore d'une aiguille ordinaire. Dans le texte de ce brevet, on lit : *la pince qui tient l'aiguille agit absolument comme une main naturelle*. Ajoutons qu'elle travaillait plus lentement. M. Rogers, de New-York, a reçu en Amérique une patente (20 juillet 1844) pour une machine à coudre avec *le point ordinaire*, qu'il appelle une amélioration de la machine brevetée par B.-W. Beau, 14 mars 1843 (*Journal of the Franklin institute*, t. IX, p. 475, et t. XVII, p. 433). Dans ces machines, les bords accouplés des étoffes étaient gaufrés en petits plis successifs, et l'aiguille poussée continuellement à travers ces plis.

M. Greenough, en 1842, s'est fait breveter en Amérique (*Journal of the Franklin institute*, t. XI, p. 400); de même M. Phélizon, en 1850, et M. Canonge, en 1852, ont été brevetés en France, pour des machines à coudre; mais les aiguilles de ces trois constructeurs avaient l'œil au milieu et une pointe à chaque extrémité, comme celles qui avaient été précédemment employées par Heilmann, dans son admirable machine à broder, exposée à Paris en 1834.

La difficulté de travailler mécaniquement avec une aiguille ordinaire est accrue par la nécessité de la retourner après chaque passage au travers de l'étoffe, afin d'en présenter la pointe à sa surface, ainsi que par la diminution continuelle de la distance qu'elle doit parcourir à chaque passée, et par la nécessité de suspendre le travail à courts intervalles, pour renfiler l'aiguille. De ces considérations, il résulte une lenteur, une incertitude de travail et une complication de mécanisme qui ont motivé l'abandon de tous les systèmes ci-dessus.

La machine Heilmann, applicable à la broderie, est restée dans l'industrie. Conduite au pantographe, l'aiguille y est à deux pointes et l'œil au milieu, ce qui en fait éviter le retournement; la lenteur du travail et la complication du mécanisme sont compensées par le nombre des aiguilles simultanément employées. Nous

avons décrit cette ingénieuse machine, qui était exposée, avec quelques modifications, par M. Houldsworth, de Manchester, consistant : 1° dans une grande simplification des pinces à aiguilles ; 2° dans de longues tringles de fer reposant sur les fils et les abaissant par leur poids ; à l'approche du chariot vers la fin de sa course, le soulèvement des tringles par la tension des fils avertit la servante de l'arrêter ; 3° dans un système de barres en bois parallèles, qui se rapprochent par suite du retour du chariot, de façon à empêcher les fils de s'emtrouiller. Cette machine requiert cinq servantes, à savoir : deux occupées à tirer les chariots, une à conduire le pantographe, et deux pour enfiler le fil dans les aiguilles de rechange employées à alimenter la machine.

M. Barbe-Schmitz, à Nancy (France), exposait une nouvelle machine à broder, qui peut broder les dessins à pois, à petites fleurs, etc., sur un tissu quelconque, comme la machine d'Heilmann, dont elle diffère cependant en ce qu'elle est entièrement automatique et requiert seulement pour la servir une seule personne avec un jeune garçon qui alimente les aiguilles. Cette machine, fort compliquée et qu'il nous serait impossible de décrire, est, selon l'exposant, la seconde seulement de celles qui ont été exécutées, et, par ce motif, elle offre quelques parties peu arrêtées, quoique en état de fonctionner avec certains ménagements. Mais les combinaisons en sont fort ingénieuses, et annoncent, de la part de l'inventeur, beaucoup d'habileté dans les moyens mécaniques.

2e CLASSE. — *Machine à coudre avec un fil, produisant un point de chainette.*

Pour éviter la difficulté du passage complet de l'aiguille en travers de l'étoffe, la seconde idée fut d'imiter un autre point, bien connu des brodeuses sous le nom de *point de chainette*. La première application de ce principe à la machine à coudre fut brevetée sous les noms de *Thimonnier* et *Ferrand*, en France (17 juillet 1830). On y trouve aussi un brevet d'additions sous les noms de *Thimonnier* et *Magnin* (5 août 1848). L'auteur la nomme *couso-brodeur*, ou *machine à coudre, à broder et faire des cordons au point de chainette*. En dessus de l'étoffe se trouve une aiguille à crochet, bien polie, attachée à une barre susceptible d'un mouvement de va-et-vient vertical ; en dessous de l'étoffe est une petite pièce capable de tourner concentriquement autour de l'aiguille dans sa position inférieure ; le fil de la bobine est passé au travers d'un œil de cette pièce. Lors de la descente de la barre, l'aiguille est poussée au travers de l'étoffe. La pièce inférieure dont il vient d'être parlé, tourne et enroule le fil autour de l'aiguille ; cette aiguille s'élève de suite, et, par le moyen de son crochet, entraine avec elle le fil sous la forme d'une boucle. Le crochet de l'aiguille est de nouveau poussé au travers de cette boucle ou maille, sur un point de l'étoffe, un peu en avant de son premier passage ; puis de nouveau retiré en soulevant une seconde boucle qui aussi passe à travers la première. En continuant l'opération, il en résulte une sorte de chaine, dont chaque maillon traverse le précédent, et qui, par cela même, unit entre elles les deux pièces de l'étoffe. Ce point de chainette est évidemment beaucoup mieux applicable à la mécanique que celui de la première classe, précédemment décrit ; car non-seulement l'aiguille n'est pas obligée de passer complétement au travers de l'étoffe, mais le fil, au lieu d'être d'une longueur limitée, peut être fourni par une bobine d'une grandeur quelconque. Cette machine a servi évidemment de type à toutes les machines à coudre modernes, quoique sa première construction fût trop compliquée pour la pratique usuelle, et, par ce motif, son application ne reçut aucune extension en France. L'ouvrière dirige l'étoffe à la main, dans la direction voulue, comme cela a lieu aujourd'hui, et le brevet indique que la machine peut fonctionner à raison de 200 points par minute, vitesse considérablement dépassée par les machines modernes qui donneraient, dit-on, jusqu'à 800 points dans le même temps.

M. Magnin a apporté diverses simplifications et additions à la machine originale de Thimonnier, et il s'est fait, entre autres, breveter pour un mouvement ingénieux, par lequel le point de broderie peut être exécuté sans tourner l'étoffe sur la table et en lui imprimant seulement une succession de mouvements parallèlement à elle-même, tout en changeant la direction du crochet au moyen d'un mécanisme à pédale. Cette machine fonctionne à raison de 300 points à la minute par une autre pédale à roue. Dans son état actuel, il faut avouer que, comme *couseuse*, elle est trop compliquée pour lutter contre les machines américaines ; mais, comme *brodeuse*, elle produit un bon travail. Elle opère avec une grande régularité et précision, et un degré de rapprochement des points, dont la délicatesse permet de l'appliquer aux tissus les plus fins

Dans l'année 1849, il a été accordé une patente américaine à MM. Charles Morey et J. Johnson, dans laquelle il paraît que l'aiguille à crochet était employée. Mais ce n'est pas la première des machines à coudre américaines, comme nous le verrons ci-après.

M. S.-A. Singer (États-Unis) a été breveté le 27 février 1854, en Amérique et en France, pour une machine à point de chainette, dans laquelle on a rejeté l'aiguille à crochet pour y substituer l'aiguille à un œil, voisine de la pointe, comme étant plus précise dans son action ; elle avait été proposée par M. Hunt, en 1834, pour une couseuse d'un genre différent. Le point est produit en combinant l'action de l'aiguille avec celle d'un crochet marchant horizontalement au-dessous de l'étoffe. La disposition de l'ensemble est faite avec une grande habileté et connaissance pratique du mécanisme en général. Elle doit être considérée comme la meilleure des machines qui ont aujourd'hui réussi à produire le point de chainette avec une rapidité et une sûreté d'exécution entièrement satisfaisantes pour l'usage ordinaire.

La principale objection qu'on puisse adresser à ce genre de point, est la facilité avec laquelle il peut être défilé en tirant le bout du fil du côté par où finit la chainette, quand il est cassé par usure ou par accident. Pour éviter cette difficulté, M. Singer a ajouté à sa machine un organe qui forme un nœud à chaque huit points. On y trouve aussi une disposition parfaite pour régulariser la tension du fil, au moyen d'un ressort mû par le porte-aiguille, ainsi que les distances entre les points au moyen d'un petit mécanisme à pied de biche, servant à faire avancer l'étoffe ; elle laisse, en même temps, à l'ouvrière la liberté d'en fixer la direction à volonté, en se levant pendant que l'aiguille est engagée dans l'étoffe ; en outre, elle offre un pivot pour tourner la pièce, et une vis de rappel permet de donner au point l'étendue voulue. Pour faire de la broderie avec sa machine M. Singer y applique un second fil, disposé de manière qu'il est embrassé par la chainette et lui donne une grande saillie ressemblant à la soutache. Selon la notice imprimée, l'inventeur de cette machine, qui peut faire de 300 à 500 points à la minute, dirige à New-York un grand atelier de construction dans lequel 150 ouvriers sont employés, et qui a déjà produit plus de 5,000 machines à coudre, et aujourd'hui de 40 à 50 par semaine.

M. Siegl, à Paris (France), présente une autre machine à point de chainette, qui ne diffère de celle de M. Singer, qu'en ce que le crochet inférieur à va-et-

vient est rotatif autour d'un axe horizontal, pour faciliter son introduction dans la boucle du fil de l'aiguille. (Voir plus loin.)

M. Latour (France) expose une machine très-compliquée pour coudre les doublures des chaussons, dans laquelle on se sert de la machine de Thimonnier, en y ajoutant un *mécanisme automoteur* pour guider l'ouvrage sous l'aiguille ; but que les premiers inventeurs des machines à coudre s'étaient donné beaucoup de mal à atteindre, et que l'expérience postérieure a démontré être plus désavantageux qu'utile ; ce dont on a pu s'assurer en comparant la machine de M. Latour avec celles des autres exposants pendant qu'elles fonctionnaient.

3e CLASSE. — *Machines à coudre avec deux fils produisant le point de navette.*

Cette classe de machines à coudre est essentiellement américaine, et il paraît que le point qu'elle produit n'était pas, jusqu'alors, employé dans la couture à main, mais fut inventé dans le but de faciliter l'emploi des organes mécaniques, et pour éviter les inconvénients du déraillement, qui est pour ainsi dire inséparable du *point de chaînette*.

Une aiguille verticale, percée près de la pointe, est alimentée par une bobine; l'aiguille descend, perce l'étoffe et forme, en dessous, une boucle avec le fil ; une petite navette placée en bas traverse la boucle avec un second fil par un va-et-vient horizontal; l'aiguille se relève alors, tire avec elle son propre fil, et serre la boucle en même temps que le fil de la navette; ce procédé est répété tout le long de la couture, et de là résulte, à l'endroit de l'étoffe, une série de points imitant le point arrière ou piqûre à la main. En dessus de l'étoffe, si c'est du lin, la couture montre le fil de navette parfaitement droit et retenu à de petits intervalles par les boucles du fil supérieur, qui cependant disparaissent lorsqu'on opère sur une étoffe de laine, où ils se logent dans l'épaisseur. Malgré les objections adressées à ce système, il est évident, par le grand nombre d'exposants de ce genre de machines à coudre, qu'il est, de tous, le plus apprécié et le plus répandu dans la pratique. En effet, les quatre principaux exposants de machines à point de chaînette, MM. Singer, Grover et Baker, Journaux le Blond et Siegl présentent, en outre de leurs constructions respectives, une machine à point de navette.

La première machine de ce genre fut inventée, en 1834, par Walter Hunt, en Amérique; elle est aussi la première des machines à coudre américaines, devancée cependant de quatre années par la machine française de Thimonnier, précédemment décrite. Elle était munie de l'aiguille percée près de la pointe et d'une navette. Mais l'inventeur, n'ayant pas réussi dans ses efforts pour la faire fonctionner d'une manière pratique, ne se fit pas breveter, et le projet resta dans l'oubli jusqu'en 1846, époque à laquelle Élias Howe fut patenté pour une machine ayant les mêmes organes, mais si bien combinés, qu'elle a obtenu un succès prodigieux dans ce pays où la main-d'œuvre est si chère. Elle est la première véritable machine à coudre pour l'usage général, et l'origine de cette nouvelle industrie, qui a reçu un accroissement si extraordinaire dans les États-Unis, et qui commence à se répandre en Europe.

La construction de cette machine a subi des simplifications essentielles et des changements dans les dispositions des parties travaillantes et du mécanisme qui produit les mouvements relatifs; ils ont varié selon le goût des divers cessionnaires du brevet de M. Howe, et des autres personnes qui ont tâché de l'imiter.

Dans ces catégories se trouvent les cinq machines qui suivent :

M. Seymour, à New-York (États-Unis). — Les couseuses inventées en Amérique par James Seymour, et exposées par M. Moore, propriétaire du brevet français, se distinguent par la simplicité du mécanisme et par leur bon marché. Le prix d'une couseuse Seymour est de 350 fr., et c'est pourquoi ces machines jouissent d'une faveur méritée en Amérique aussi bien qu'en France, où il en a été construit un grand nombre. Elles donnent 500 points par minute, en moyenne, et on prétend que chacune se prête également bien à tous les matériaux, tels que drap, cuir, soie, feutre et toile, ainsi qu'à l'ouatage.

M. Thomas, à Londres (Royaume-Uni), a fait l'acquisition de la patente que M. Howe avait obtenue en même temps en Amérique. M. Thomas s'est continuellement occupé du perfectionnement de sa machine, dont il se sert principalement pour la confection des corsets. Le mécanisme diffère de ceux des autres constructeurs de la machine de Howe, en ce qu'on y emploie une disposition très-simple de leviers mis en action par les rainures ondulées d'une roue plate. La construction de la navette est aussi améliorée. Quelques-uns de ces perfectionnements ont été dernièrement l'objet de patentes en Angleterre et en France.

M. Siegl, à Paris (France). — Dans toutes les machines de cette classe, lorsque le va-et-vient de la navette a lieu dans une coulisse rectiligne, il est nécessaire qu'elle s'applique avec précision sur le côté de cette coulisse qui avoisine l'aiguille, afin d'éviter que le fil ne s'engage dans leur intervalle. Une patente a été prise, en Amérique, le 29 mars 1853, par M. Thompson, pour l'emploi d'un aimant appliqué au côté extérieur de la coulisse, en vue d'assurer l'adhérence de la navette : une disposition semblable a été brevetée en France, 31 août 1854, en faveur de M. Siegl.

MM. Wheler et Wilson (États-Unis) exposent une élégante machine (patentée en Amérique, 12 novembre 1850), dans laquelle on a substitué à la navette un petit disque plat tournant, au moyen d'une roue à pédale, avec une vitesse constante dans un plan vertical. Ce disque porte, sur la plus grande partie de son contour, un bord saillant arrondi, ayant la forme d'un croissant, dont les cornes émoussées se détachent un peu du disque, afin qu'une d'elles puisse accrocher la boucle du fil que lui présente l'aiguille en descendant. La bobine circulaire et mince ressemble à celles employées dans les métiers à tulle, disposition qui permet d'y mettre cinq ou six fois autant de fil de soie que sur la bobine des navettes à coudre ordinaires. Elle repose, avec un grand jeu, au milieu du croissant, soutenue entre les disques et un petit support fixe, ce qui met la boucle, accrochée par la corne, en état de passer autour de la bobine, comme dans les métiers de Buron et de Pecqueur, à fabriquer les filets de pêche. Cette machine est, en apparence, la plus simple de toutes; mais la plus grande précision qu'elle réclame dans son exécution en a fait élever le prix.

M. Singer (États-Unis) a exposé, avec ses machines à point de chaînette, une machine à navette à laquelle, par des additions relatives à la régularisation de la tension du fil et à l'adoucissement du va-et-vient de la navette par l'emploi d'une bielle, il a apporté une telle perfection que, selon le catalogue américain, elle peut exécuter jusqu'à 800 points à la minute, sans craindre de rompre les fils.

MM. Grover et Baker, à Boston (États-Unis). — La navette n'est pas toujours conduite dans une coulisse rectiligne; ces messieurs, en effet, exposent, en outre de leur machine à point double de chaînette, une autre machine dans laquelle la navette est mue, en va-et-vient, suivant un arc de cercle. Les navettes des trois exposants ci-après sont à rotation continue.

M. Dard, à Troyes (France), présente une machine

importée d'Amérique et brevetée en France en 1850, qui se distingue particulièrement par la rotation continue de la navette dans un cercle horizontal à petit rayon; mais elle est seulement capable de faire des coutures droites, et, à cet effet, elle est pourvue d'un de ces appareils pour la direction automatique de l'étoffe que l'expérience a condamnés. Elle a d'ailleurs été remplacée nouvellement par d'autres machines plus parfaites.

M. Leduc, à Troyes (France), présente une couseuse dans laquelle une navette, ayant la forme d'un croissant, tourne dans un récipient circulaire et horizontal, qui l'embrasse : il y emploie ordinairement deux aiguilles à la fois, et par conséquent trois fils; ce qui, selon lui, produit une couture extrêmement solide. La machine diffère de toute autre en ce que la navette fonctionne en dessus de l'étoffe, et que les aiguilles, par suite, la percent de bas en haut. Bien que la construction et la disposition en soient fort ingénieuses, elle est, à cause de sa complication et de son prix élevé (1,000 francs), peu pratique.

4e CLASSE. — *Machines à coudre avec deux fils, qui produisent un double point de chainette.*

L'une des objections que l'on peut adresser aux machines que nous venons de décrire consiste en ce que la navette est limitée dans sa grandeur par la nécessité de traverser la boucle formée par le fil de l'aiguille. Il en résulte que la bobine portée par cette navette ne peut contenir qu'une petite quantité de ce fil, de sorte que la couture est suspendue de temps en temps pour changer de bobine; les meilleurs systèmes de navette permettent néanmoins de travailler pendant deux heures consécutives, mais le point produit par ce genre de machines offre, dit-on, l'inconvénient de s'user vite et de fatiguer le linge.

MM. Grover et Baker (États-Unis), se firent patenter en Amérique (1851) pour une machine à coudre, dans laquelle l'aiguille verticale est employée comme précédemment, sauf qu'au lieu d'une navette elle est accompagnée d'une seconde aiguille de forme circulaire, animée d'un va-et-vient rotatif dans un plan horizontal, et portant, au travers de son œil extrême, le fil sortant d'une bobine qui peut être d'une grandeur quelconque, comme celle qui sert à alimenter l'aiguille verticale. Le mouvement relatif de ces deux aiguilles est si compliqué, qu'il serait impossible d'en donner une idée compréhensible sans dessins. Il en résulte un double point de chaînette dans lequel les boucles successives du fil supérieur sont traversées et embrassées par ceux que forme le fil inférieur, de manière à unir solidement les deux pièces de drap. Le point de cette machine n'est pas facile à dérailler, et quoiqu'elle forme un cordon un peu saillant par l'entrelacement des boucles, qui est spécialement fâcheux pour les toiles de lin, cependant elle présente des combinaisons très-ingénieuses. Selon le catalogue officiel des objets exposés dans la section de l'Amérique, il paraît que l'usage de cette machine est très-répandu aux États-Unis, et que la production de MM. Grover et Baker, à New-York, est d'environ 50 machines par semaine.

M. Journaux le Blond, à Paris (France), s'est fait breveter en France, le 29 avril 1854, pour une machine à coudre dans laquelle, au lieu de l'aiguille circulaire ci-dessus, il se sert d'une aiguille qui se meut horizontalement dans un plan où elle subit latéralement un déplacement parallèle à elle-même et d'où il résulte que la ligne suivie par sa pointe est un petit rectangle au milieu duquel se trouve l'aiguille verticale en descendant. Cette machine produit un point qui est identique à celui de MM. Grover et Baker; mais il est déposé sur l'étoffe, sous une forme aplatie, au lieu du cordon en relief précédemment décrit. Ses machines d'ailleurs offrent plusieurs autres dispositions ingénieuses, comme, par exemple, d'employer un morceau de verre translucide pour maintenir et faire avancer l'ouvrage, au lieu de la pièce métallique ordinaire; ce qui permet de surveiller la régularité de la couture, au fur et à mesure de son avancement. On s'y sert aussi d'un cylindre, au lieu d'une table plane, contre lequel s'appliquent certains ouvrages, tels que les manches d'habits, etc. Cette dernière et utile disposition a été mise en usage par M. Howe et d'autres personnes en Amérique, et on peut la voir dans les machines de M. Thomas.

On ne saurait terminer ce rapport sans citer pour mémoire la machine à coudre de M. Avery, qui, quoiqu'elle ne soit pas exposée, fonctionne admirablement à Paris, dans le grand atelier construit par le gouvernement pour la confection des équipements militaires, rue Rochechouart, n° 54, et dont M. Dusautoy, tailleur, est le directeur. Cet atelier, en activité depuis trois mois seulement, contient 1,142 ouvrières et 300 ouvriers. Le drap dont se composent les habillements est découpé avec une rapidité et une précision étonnantes; quatorze pièces superposées sont coupées à la fois par une lame d'acier flexible, de l'invention de M. Dusautoy, montée sur deux grands tambours, à la manière des scies sans fin de MM. Perin et Delaporte, qu'on admire dans l'Annexe. La couture s'effectue au moyen de machines mues à la vapeur, dans toutes les parties qui se prêtent à cette méthode, et ensuite les habillements sont terminés par les procédés ordinaires. Parmi les couseuses de cet établissement, celles d'Avery sont les plus estimées, comme très-simples et faciles à entretenir; on en prépare de nouvelles, et l'on en verra bientôt à peu près 50 en fonction : on y trouve aussi 30 machines de MM. Grover et Baker, et une de M. Seymour.

M. Otis Avery, de Pensylvanie, s'est fait breveter en Amérique, 19 octobre 1852, et puis en France, pour sa couseuse. Le brevet français fut acquis par le ministère de la guerre. La couseuse d'Avery fonctionne avec deux aiguilles dont les yeux sont près de la pointe et qui marchent par va-et-vient, à peu près dans le plan vertical qui contient la ligne de la couture, mais en suivant des directions obliques, l'une au-dessus, l'autre au-dessous, de manière qu'en travaillant elles se croisent entre les deux étoffes. Ces mouvements leur sont communiqués avec une simplicité admirable, par une seule came, servant aussi à diriger la pièce qui avance l'étoffe. Il en résulte un double point de chaînette, qui diffère cependant de celui des autres machines déjà décrites, en ce que la chaînette se trouve entre les deux étoffes, et que la couture, par conséquent, ne présente qu'une piqûre ordinaire à chacun des côtés extérieurs.

(M. WILLIS, *Rapport du Jury de* 1855.)

MACHINES SINGER. — Après l'étude historique très-complète de M. Willis sur l'invention des machines à coudre, nous n'avons qu'à donner la description détaillée d'une de ces machines, et d'abord nous reprendrons en quelques mots les principes du fonctionnement de ces ingénieuses machines, puis nous décrirons en détail l'une de celles qui sont le plus employées dans la pratique.

Lorsqu'une aiguille portant l'œil près de la pointe fait traverser une étoffe par un fil, celui-ci formera boucle de l'autre côté de l'étoffe quand l'aiguille se retirera jusqu'à ce qu'une traction soit exercée sur le fil. C'est ce qu'avait bien compris un ingénieux inventeur de machines à broder, M. Lesueur, dont les travaux remontent à une époque bien antérieure à celle du succès des machines à coudre, et qui partant de ce principe qu'un fil conduit par une aiguille et devenant libre, laisse une boucle dont la longueur est

proportionnelle au chemin parcouru par l'aiguille avait fabriqué des broderies de haut relief en laine, qui adhéraient bien à l'étoffe par un effet de foutrage. Il eût inventé bien probablement la machine à coudre, s'il ne s'était contenté de cette solidité, insuffisante pour la couture et même pour les broderies sur étoffes minces, qui n'ont pas de propriétés feutrantes, qui n'adhèrent pas aux fils qui les traversent.

C'est sur la possibilité d'empêcher la boucle de se détruire après avoir été produite, en la traversant par un fil, qu'est fondé le genre de couture que donne la machine à coudre, dont l'aiguille ne saurait abandonner le mécanisme qui la porte, comme celle de l'ouvrière quitte sa main. Le mécanisme à piquer l'étoffe normalement à sa surface étant d'une grande légèreté et mû simplement à l'aide de la rotation d'un axe mis en mouvement par une pédale et une manivelle au moyen d'un excentrique de forme variable dans les diverses machines, peut produire un très-grand nombre de points à la minute ; c'est cette rapidité de la production qui a fait le grand succès de la machine à coudre.

Les principaux systèmes reposent sur l'emploi heureusement imaginé en Amérique d'un autre fil porté par une petite navette qui vient traverser la boucle du fil de l'aiguille par un mouvement de va-et-vient. C'est le système Singer, exploité à Paris par M. Caillebaut,

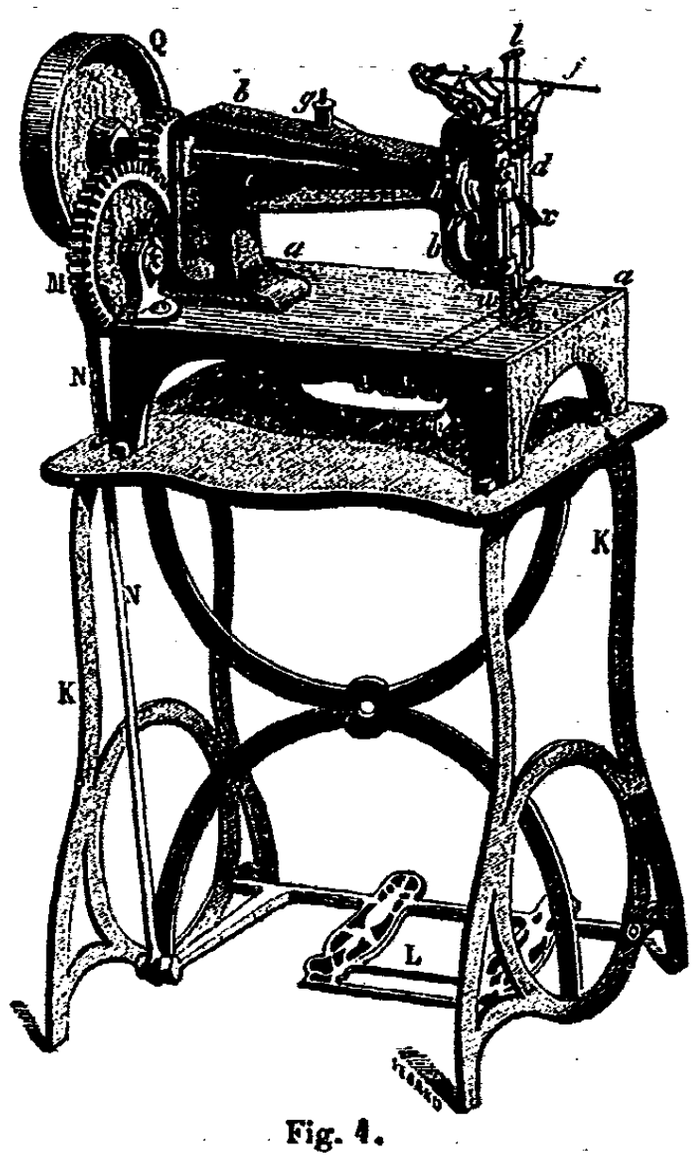


Fig. 1.

fig. 1, le plus simple de ce genre, que nous allons décrire.

L'aiguille est fixée à l'extrémité inférieure d'une pièce dite *porte-aiguille*, qui se meut le long d'une plaque verticale faisant fonction de glissière ; l'œil est placé près de la pointe et reçoit le fil, qui est fourni par une bobine disposée en haut du bâti. L'aiguille s'enfonce verticalement au travers de l'étoffe, et, au moment où elle commence à remonter, le fil qu'elle ramène forme une boucle ; c'est alors qu'une navette

à mouvement rectiligne horizontal traverse cette boucle et y laisse un second fil. Ensuite l'aiguille remonte tout à fait, la navette reprend sa position initiale, et les deux fils forment un croisement dont l'intersection se trouve au centre de l'étoffe, c'est-à-dire entre les deux surfaces qu'il s'agit de réunir ; ce qui se traduit extérieurement par une espèce de point-arrière.

Au-dessus du porte-aiguille et au sommet de la machine est une branche métallique horizontale, fonctionnant dans une charnière d'un bout, et d'autre part terminée, à son extrémité antérieure, par un anneau que traverse le fil de la bobine supérieure avant d'entrer dans l'œil de l'aiguille. Cette branche d'arrêt est pressée par un ressort fonctionnant en dessous et passe entre deux brides : l'une, attachée au porte-aiguille, en suit tous les mouvements, et l'autre, fixe, est adaptée au haut de la glissière dans laquelle se meut le porte-aiguille. Cette disposition a pour but d'assurer au fil de l'aiguille une tension constante nécessaire au serrage du point, et de permettre à la machine de fonctionner à une grande vitesse sans craindre de le rompre.

L'entraînement de l'étoffe, d'où doit résulter la succession régulière des points, est obtenu au moyen d'une *roue d'alimentation* qui entraîne le tissu et qui, mise en mouvement par le mécanisme même qui commande l'aiguille, opère sa rotation d'une manière intermittente. Une vis de rappel permet de changer la vitesse angulaire de cette rotation, de manière à régler à volonté l'écartement des points.

Enfin, une manivelle à volant, commandée par une pédale, met en mouvement tout le système et laisse à l'ouvrier l'usage de ses mains pour faire suivre à l'étoffe les directions variées que peut nécessiter la couture.

Passons en revue quelques organes particuliers de cette machine, dont le jeu ne se comprend pas à la seule inspection de la figure.

Aiguille et porte-aiguille. — c est l'arbre moteur de l'aiguille fixée dans le porte-aiguille *e*. Il porte un excentrique qui abaisse, suivant la loi voulue, le porte-aiguille qu'un ressort relève. Le tracé en est fait de manière à produire quatre mouvements : descente, ascension partielle, temps de repos et ascension finale de l'aiguille. On reconnaît dans cette solution l'emploi si bien entendu des excentriques, dans lequel excellent les inventeurs américains, qui forment le caractère dominant des machines opératrices dont ils ont doué l'industrie.

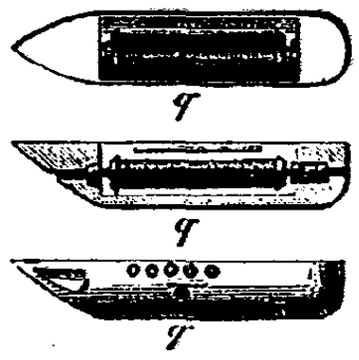


Fig. 2.

Navette. — *q*, *q*, est la navette, vue sous ses diverses faces, fig. 2, qui contient, dans un évidement intérieur, la bobine qui porte le second fil. Comme il est important qu'elle puisse être remplacée facilement lorsque son fil est épuisé, le tourillon de gauche, qui supporte l'axe autour duquel elle est mobile, porte sur un ressort en caoutchouc disposé dans le talon de la navette, en sorte qu'on n'a qu'à appuyer sur l'embase de gauche pour faire rentrer ce ressort, et le tourillon de droite se trouvant dégagé permet de sortir facilement la bobine.

Comme il est nécessaire que le fil ait une certaine tension pour que la bobine ne se déroule pas trop vite, on en fait passer le bout dans un ou plusieurs trous pratiqués sur le bord longitudinal de la navette, et enfin, au moment où il la quitte, il est maintenu contre sa paroi au moyen d'une barrette horizontale placée intérieurement et qui lui laisse un jeu suffisant. La navette est placée sur le flanc, et son ouverture pratiquée contre la paroi de la table qui porte la rainure *n* dans laquelle descend l'aiguille; elle se meut perpendiculairement à la direction de l'arbre *c* dans une coulisse où la conduit le chasse navette.

Ce chasse-navette *r* se meut (*fig.* 3) dans une glissière contiguë à la coulisse de la navette et chasse celle-ci tantôt de gauche à droite au moyen d'un doigt rectiligne qui pousse le talon, et tantôt de droite à gauche au moyen d'un doigt courbe qui saisit le bec.

Les choses sont combinées de telle sorte qu'au moment où la boucle a été formée par la descente de l'aiguille, la navette chassée par le talon s'introduit par le bec dans cette boucle, l'élargit de manière à y passer complétement en tirant une partie du fil non tendue qui est dans la rainure, et y déposant son fil termine sa course pendant que l'aiguille remonte et serre le point; chassée ensuite de droite à gauche par le doigt courbe du chasse-navette, elle revient à son point de départ pendant que l'aiguille traverse de nouveau l'étoffe et accomplit une partie de sa descente.

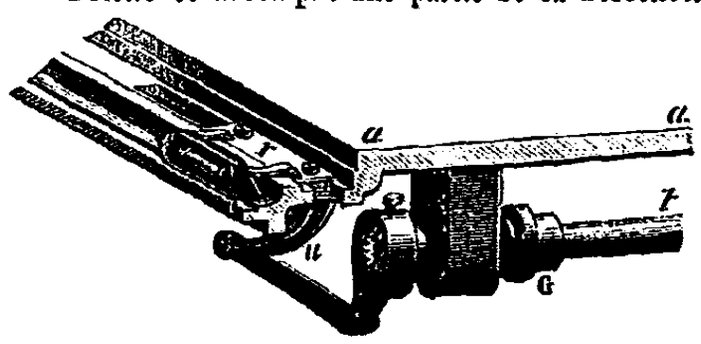


Fig. 3.

La fig. 3 est une vue de côté, prise en dessous, de la table de la machine, qui permet de voir comment se produit le mouvement de la navette.

t est l'arbre moteur, fig. 3, de la navette, placé sous la table *a* parallèlement à l'arbre *c*, et situé avec lui dans un même plan vertical.

u est un levier fixé sous le chasse-navette, auquel il transmet le mouvement de l'arbre *t* par l'intermédiaire d'une manivelle calée à l'extrémité de cet arbre.

Roue d'alimentation.—Pour que l'étoffe soit entraînée régulièrement chaque fois que l'aiguille a fait un point, on emploie un organe dit roue d'alimentation, qui placée verticalement apparaît sur partie de la table horizontale et qui porte sur partie de sa jante un rebord strié. C'est sur ce rebord que se place l'étoffe, qui y est maintenue par la pression d'un presse-étoffe à ressort *u*; grâce à cette pression et aux stries, elle chemine sans glissement avec la roue.

Le mouvement intermittent de la roue d'alimentation est obtenu au moyen d'une came montée sur l'arbre *t* qui vient agir sur une branche d'un levier qui entraîne une chape agissant sur une plaque fixée presque tangentiellement à la roue et l'entraîne par frottement plus tôt ou plus tard, selon la position d'un *bouton-écrou*. Un ressort ramène cette chape à sa place aussitôt que la came cesse d'agir.

Mouvements de la machine. — Les mouvements successifs des diverses parties de la machine peuvent se décomposer en sept temps, ainsi qu'il suit :

AIGUILLE. — *Quatre temps.*

1° Mouvement descendant;
2° Mouvement partiel d'ascension;

3° Temps en repos;
4° Mouvement final d'ascension.

NAVETTE. — *Deux temps.*

5° Mouvement en avant;
6° Mouvement en arrière.

ROUE D'ALIMENTATION. — *Un temps.*

7° Mouvement de rotation d'un très-petit angle.

Dans le temps n° 1, l'aiguille opère complétement sa descente, traverse l'étoffe, en entraînant le fil qui se déroule de la bobine supérieure.

Pendant le temps n° 2, durant lequel l'aiguille remonte de 4 millimètres environ, la boucle se forme.

Puis le temps n° 3 a lieu, et, sitôt qu'il commence, le doigt postérieur du chasse-navette doit toucher le talon de la navette, afin qu'elle soit prête à partir pour entrer dans la boucle.

La navette accomplit alors le temps n° 5, pour passer dans la boucle.

Quand les deux tiers de sa longueur y ont passé, le mouvement ascensionnel de l'aiguille (temps n° 4) commence déjà pour opérer le serrage du point, et il est à peine terminé, que l'aiguille redescend aussitôt.

Pendant qu'elle redescend (temps n° 4), la navette revient en place (temps n° 6), et ainsi de suite.

Le temps n° 7, qui concerne la roue d'alimentation, doit commencer lorsque l'aiguille est complétement sortie du tissu, et il doit être terminé au moment où la pointe de l'aiguille va y rentrer; autrement il y aurait rupture de l'aiguille.

On a dû bien comprendre, par ce qui précède, que le fil de l'aiguille forme dans l'étoffe une série de boucles verticales, dans lesquelles viennent passer inférieurement des boucles semblables, renversées, du fil de la navette, l'intersection des deux fils venant se placer vers le milieu des deux étoffes réunies par la couture. C'est ce qu'indique le croquis de la fig. 4 qui représente, en l'amplifiant, la couture non serrée.

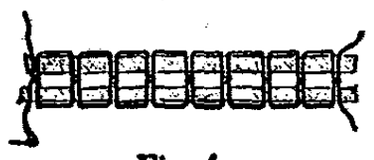


Fig. 4.

Avec cette machine, telle que la construit M. Caillebaut (de Paris), le nombre des points peut s'élever jusqu'à 8 ou 900 par minute.

La jacquard, adaptée à la roue d'alimentation, doit conduire à la solution de la fabrication automatique de la broderie en espaçant convenablement les points réunis par un même fil, et en employant au besoin plusieurs machines opérant simultanément. C'est là un intéressant problème à résoudre pour les nombreux constructeurs qui se sont consacrés, avec succès, dans ces dernières années, à la construction des machines à coudre, dont l'emploi croît avec une si admirable rapidité.

COUESRON, COIRON. Nom breton d'un chêne fossile, dont une espèce maintenant existante, identique, ou du moins paraissant telle, se rencontre encore en Bretagne, sur les lieux. Ce nom de couesron est donné à plusieurs essences de bois fossiles, telles que bouleau, frêne, aulne. Mais n'ayant été à même d'observer que du chêne, nous ne parlerons que de ce bois. Le couesron se trouve sur tout le littoral depuis le fond de la baie de Cancale jusque près de Saint-Malo, mais particulièrement à Mont-Dol, à Dol, dans les communes de Saint-Broladre, Cherweix, Du Vivier et autres. Cette matière qui n'est plus positivement du bois, mais qui en conserve cependant presque tous les caractères extérieurs, se trouve enfouie, soit dans les sables, maintenant solides, dits le *marais*, soit, en moins grande quantité, dans les lieux bas du *terrain* (on nomme ainsi

le sol plus anciennement consolidé), sur et entre les bancs de granit, maintenant fort élevés au-dessus du niveau de la mer, et au pied desquels elle venait battre, dans des temps qui ne sont pas très éloignés puisque la tradition en est demeurée parmi les habitants de ces pays. Quelquefois on le rencontre presque à fleur de terre et même souvent découvert par les courants d'eau pluviale. Les arbres sont couchés les uns près des autres, entiers avec leurs branches et leurs racines; ils sont absolument noirs, jusqu'au cœur des plus gros arbres. Les habitants s'en servent avec beaucoup d'avantage pour faire des pieux, des palissades et surtout des lattes pour les couvertures.

Le couesron est très lourd, très compacte, il se coupe difficilement parce qu'il est très dur et que sa ténacité est plus forte que celle d'aucun bois de fil connu. Nous disons bois de fil, les loupes étant une exception. Sa couleur, d'un beau *noir*, n'est point fugace, comme celle du chêne provenant des vieux pieux extraits des pilotis des anciennes constructions de ponts ou d'aqueducs, dont la teinte noire s'efface après quelques années lorsque le bois est ouvré et absolument sec. Le couesron garde invariablement sa couleur intense, et assurément l'industrie saurait tirer un parti très avantageux de cette matière, qu'elle pourrait se procurer à bas prix et qui est assez abondante pour suffire pendant longtemps encore à ses besoins.

Les acides nitrique, sulfurique, hydrochlorique, et l'acétate de fer très concentré n'ont eu aucune action sur la fibre ligneuse, seulement l'acide nitrique en jaunit un peu la couleur. Au feu cette matière brûle avec une flamme vive et brillante exhalant une odeur de tourbe tellement prononcée, que l'on s'abstient généralement de l'employer au chauffage. Le couesron n'est pas encore à l'état de houille; il paraît être à demi transformé. Le bois est encore liant, flexible, les couches ligneuses y sont très distinctes des couches médullaires. Il résiste à la hache et l'émousse promptement; cependant on en vient à bout. La scie le divise avec peine, parce qu'elle s'empâte; le rabot le plane, mais il faut souvent repasser le fer, la gouge du tourneur le broie, il ne vrillonne pas aisément, mais pourtant se coupe bien et nettement, il reçoit un poli admirable et le vernis prend dessus avec la plus grande facilité. Il se fend difficilement parce qu'il est très tenace, mais cependant il obéit à la force et se fend régulièrement en suivant la fibre ligneuse, comme le ferait le meilleur merrain.

Cette belle matière bien préférable à l'ébène qu'elle représente absolument à l'extérieur, a sur ce bois exotique un immense avantage; c'est sa ténacité, sa résistance, qui approche beaucoup de celle de la corne; on y passe de gros tarauds dans des trous assez rapprochés des extrémités, et les filets s'impriment jusqu'au fond sans occasionner aucune fente, effet qu'on est bien loin d'atteindre en employant l'ébène qui se fend avec la plus grande facilité. De plus le couesron est très flexible; employé pour filets dans la marqueterie, il ploierait comme la baleine, et l'emporterait sur elle par l'intensité de son noir de jais.

Il serait difficile de déterminer, dès à présent, tous les services que l'industrie pourrait retirer de cette matière; l'usage seul et le travail habituel les feraient surgir; par le peu d'essais que nous avons été à même d'en faire, et que nous nous proposons de poursuivre, nous pouvons affirmer que l'emploi du couesron serait une riche acquisition pour les ateliers d'ébénisterie, de tabletterie, de marqueterie et autres. PAULIN DESORMEAUX.

COULEURS MATÉRIELLES. Nous comprenons sous cette dénomination les couleurs toutes faites et propres à la peinture artistique et à plusieurs autres arts qui en dépendent (voy. IMPRIMERIE EN COULEURS. PAPIERS PEINTS, PEINTURE). Quant aux couleurs qui sont produites sur les objets eux-mêmes par l'action

immédiate des agents chimiques ou mécaniques et de la chaleur, nous les décrirons aux articles ÉMAUX, IMPRESSIONS SUR ÉTOFFES, PEINTURE SUR VERRE, PORCELAINE, TEINTURE.

Ainsi, nous examinerons les couleurs suivant leur nature optique, et le degré de solidité ou d'utilité qu'elles peuvent offrir à la peinture artistique et industrielle; nous comprendrons dans une même série les matières colorantes identiques qui sont connues et vendues sous des dénominations différentes.

1re division. — Couleurs plus ou moins solides qu'on peut et doit employer pour produire le meilleur effet possible.

BLANC. *Blanc de Krems* ou de Kremnitz, blanc de Hollande, blanc léger, blanc d'argent, blanc de plomb pur, le plus beau et le plus propre à la peinture à l'huile et aux vernis, à la gouache, à l'imprimerie en couleurs. (1)

Blanc de céruse français, blanc de plomb mélangé de sulfate de baryte, inférieur au blanc de Krems pour la peinture artistique, et très bon pour la peinture en bâtiments, la détrempe, le blanchiment des appartements et les papiers peints.

Blanc d'Espagne proprement dit, assez bon et plus économique que la céruse pour la détrempe, le blanchiment des appartements, les papiers peints communs, et, dans certains cas, pour l'imprimerie en couleurs.

Blanc de craie et de chaux éteinte, bon pour la détrempe, le blanchiment des appartements et la peinture à la fresque.

Blanc de kaolin (argile à porcelaine), dont nous proposons l'usage pour la peinture à la détrempe et les papiers peints.

JAUNE. Gomme gutte, qui n'est bonne que pour la peinture à l'aquarelle et la gouache.

Jaune de Naples, tel qu'on le fabrique dans ce pays, est le seul jaune clair qui soit bon dans tous les genres de peinture.

Ocre jaune clair, terre jaune, terre de montagne.

Ocre jaune foncé ou obscur, ocre de rue.

ROUGE. *Minium, rouge de saturne, mine-orange.*

Carmin et laques de cochenille (voyez LAQUE). Ces couleurs sont habituellement en usage dans la peinture à la gouache, à l'aquarelle, dans la fabrication des papiers peints, des fleurs artificielles, etc., mais elles ne sont pas solides.

Vermillon ou cinabre français, couleur magnifique et bonne pour toutes les espèces de peintures, l'imprimerie et les papiers peints.

Ocre rouge naturel, oxyde de fer naturel.

Ocre ou terre rouge foncé, rouge d'Inde ou de l'Inde, brun-rouge, rouge d'Angleterre, de Prusse, de montagne, oxyde rouge de fer, obtenu par la calcination de l'ocre jaune.

Laque rouge de garance. Voyez LAQUE. Excellente couleur et bonne à tous les genres de peinture. Toutefois, est d'un prix élevé.

BLEU. *Outremer* factice, clair et foncé, excellent et très solide dans tous les genres de peintures.

Bleu de Prusse, bleu de France, bleu français, bleu in-

(1) En lieu et place du blanc d'argent et de la céruse, nous conseillerons l'emploi du blanc de neige et du blanc de zinc, dont de nombreux rapports faits par les sociétés savantes et industrielles, des commissions et des architectes, ont démontré l'innocuité, l'inaltérabilité et la supériorité sur les couleurs à base de plomb. Comme complément de ces couleurs, il est indispensable d'employer les jaunes et verts à base de zinc au lieu des jaunes et verts à base de plomb, de cuivre et d'arsenic. On trouve actuellement dans le commerce toutes ces couleurs dont nous donnons la préparation au mot BLANC DE ZINC.

tense ; couleur très intense, mais sujette à verdir. On l'emploie cependant avec avantage en la mélangeant avec de l'outremer et du blanc.

BRUN. *Brun, noir de Prusse*, bleu de Prusse français calciné, terre de Sienne calcinée. Couleurs excellentes, très solides, et nécessaires pour *rehausser* ou *brunir* les couleurs dans tous les genres de peintures, les papiers peints.

NOIR. *Noir de vigne*, appelé noir d'Allemagne ou de Francfort, du nom du pays où on le fabrique.

Noirs d'os ou d'ivoire. Bons pour la peinture en bâtiments, les papiers peints et la fresque.

Noir de fumée ou de résine calcinée. Habituellement en usage pour l'imprimerie. Voyez ENCRE D'IMPRIMERIE.

Noir de café, pour la peinture artistique, excellent et très solide.

VERTS. *Terre verte de Vérone*, verdet ou vert-de-gris distillé et cristallisé ; acétate de cuivre en usage pour la peinture à la fresque.

Vert de Schweinfurth, vert métis.

Vert de Vienne ou de Brunswick, cendre verte artificielle. Cette couleur est éclatante et peu solide ; mais elle ne peut être remplacée par un autre vert aussi séduisant dans la fabrication des papiers peints, l'imprimerie en couleurs, etc.

2me *Division. — Couleurs plus ou moins superflues.*

JAUNE. Jaune de roi, jaune brillant (sulfure de cadmium).

Jaune indien, couleur végétale, très solide, mais d'un prix d'achat fort élevé.

Jaune d'antimoine.

Laque jaune de garance.

Jaune de mars, — orangé de mars, — rouge de mars, — violet de mars, qui ne sont que des oxydes de fer ou ocres artificielles, d'un prix élevé.

ROUGE. Vermillon de Chine,—vermillon de Hollande.

Laque ou rouge de Venise, qui n'est que du carmin brûlé dans une cuillère d'argent.

Laque rose de cochenille.

Laque de garance, dite de Smyrne, que l'on remplace par un mélange de laque rouge de cochenille avec du blanc.

Pourpre ou rouge de Cassius, qui n'est qu'un précipité d'or, d'ailleurs fort coûteux.

BLEU. Bleu d'outremer naturel, extrait du lapis-lazuli.

Bleu de cobalt, dit bleu Thénard.

Smalt, *couleur anglaise tirée du cobalt*. Ces couleurs sont solides, mais très coûteuses.

Indigo. Inutile. Voyez INDIGO.

Bleu minéral auquel on substitue le bleu de Prusse mélangé avec de l'outremer factice et du blanc.

BRUNS. Bruns de Van Dick, — sépia, — asphalte ou bitume de Judée, — momie qui est une espèce de bitume (voyez BITUME), terre d'ombre, — terre de Cassel,—terre d'Italie,—terre de Cologne. Ces diverses couleurs sont remplacées par le brun de Prusse et la terre de Sienne calcinée, qui valent infiniment mieux.

VERT. Vert de chrôme.

Vert de montagne, carbonate de cuivre naturel ou artificiel.

Vert de colbat, appelé aussi vert minéral, vert de Prusse.

3me *Division — Couleurs peu solides et habituellement en usage dans la fabrication des papiers peints, marbrés, maroquinés, des fleurs artificielles, des cartes à jouer, etc.* Voyez TEINTURE.

JAUNE. Jaune de carthame.

Jaune de terra-mérita ou de curcuma, appelé aussi safran des Indes.

Jaune de safran.

Stils de grains, décoctions concentrées soit de bois jaune ou de quercitron, soit de l'écorce d'aulne ou de noix, avec un mélange de craie ou de blanc brou de Troyes.

Stil de grain jaune d'Angleterre, extrait de la garance. On lui substitue ordinairement un composé fait avec l'oxyde de plomb et la graine de Perse ou d'Avignon ; ces stils de grains, cependant, sont plus solides que ceux faits avec de la craie. On y ajoute quelquefois des fécules colorantes, de la gaude, et d'autres décoctions jaunes qui sont très peu solides.

Pierre de fiel ou jaune doré ; la plus belle est, dit-on, extraite du fiel d'anguille.

Laque jaune, dite d'Anvers, extraite soit du bois jaune, de la graine de Perse ou d'Avignon, de la garance, du quercitron, soit de la gaude, avec mélange d'alumine et de craie. Voyez LAQUES.

ROUGE. Laque rouge ou rose, extraite du bois de Brésil, de Siam, de Nicaragua, etc. Voyez LAQUES.

BLEU. Cendres bleues naturelles, provenant des mines de cuivre.

VERT. Vert de Schéele, remplacé par le vert de Schwein furth qui vaut mieux.

Vert de vessie, ainsi appelé parce qu'on est dans l'habitude de le mettre dans des vessies. Il est fait avec le fruit d'un arbrisseau qu'on nomme ner prun ou bourg-épine.

VIOLET. Laque violette ou violet végétal, provenant d'une décoction de bois de Fernambouc ou de Sainte-Marthe. Voyez LAQUES.

4me *Division. — Couleurs nuisibles à la santé, qui changent et font changer toutes celles qu'on leur associe.*

JAUNE. Jaune de chrôme orangé ou chrômate orangé de plomb

Massicot ou protoxyde de plomb.

Jaune minéral, jaune de Paris, jaune de Vérone, jaune de Turner, jaune de Kasler, (oxy-chlorure de plomb).

Jaune d'iode, ou iodure de plomb.

Jaune d'or, orpin jaune, orpiment ou sulfure d'arsenic

ROUGE. Rouge pourpre ou chrômate de mercure.

Scarlet ou deuto-iodure de mercure (couleur anglaise).

Orpin rouge ou Réalgar, combinaison de soufre et d'arsenic.

VERT. Vert anglais, vert émeraude, vert tendre, deuto-arsénite de cuivre et sulfate de chaux.

D'après ces divisions, les peintres et généralement toutes les personnes qui s'occupent de peinture et des arts qui s'y rattachent, les amateurs eux-mêmes connaîtront les propriétés des couleurs qu'ils doivent employer préférablement.

Ainsi les artistes habiles et soucieux de la durée de leurs œuvres choisiront sans doute les meilleures couleurs, comprises dans la 1re division ; les artistes médiocres, peu jaloux de la conservation de leurs productions, les fabricants qui songent bien plus aux profits qu'à leur réputation et à la santé des consommateurs, ces personnes là donneront la préférence aux matières colorantes de la 3me et de la 4me division, parce qu'elles sont souvent plus séduisantes au premier coup d'œil et moins chères.

Quoi qu'il en soit, nous recommandons toujours l'emploi des matières colorantes de la 1re division, sans crainte d'essuyer les justes attaques de la critique. Du reste, nous nous sommes convaincus par la pratique et par les témoignages des savants et des artistes célèbres qu'avec ces couleurs, qui sont plus ou moins fixes et durables, on peut produire tous les effets désirables. Voyez CONTRASTE DES COULEURS.

Conséquemment à nos convictions, nous nous bornerons à expliquer ici les principes élémentaires de la fabrication des meilleures couleurs propres à tous les

COULEURS MATÉRIELLES.

genres de peinture, ainsi que les moyens de distinguer les bonnes d'avec les mauvaises.

Du reste, ce que nous avons dit précédemment, à l'article CONTRASTE, sur le choix et de l'emploi des couleurs, nous dispensera de rendre compte de toutes les raisons qui nous portent à rejeter une foule de couleurs que les peintres emploient journellement.

Nous ferons remarquer, toutefois, que beaucoup de peintres préfèrent avec raison certaines couleurs connues et préparées en Italie, en Angleterre et en Allemagne, parce qu'elles sont plus vives et plus brillantes.

En effet, les marchands de couleurs de ces pays ont la louable précaution de laver avec soin et de broyer parfaitement les couleurs qu'ils débitent (voy. BROYAGE); c'est là tout le secret pour augmenter l'éclat et la transparence des couleurs. Que les marchands français imitent donc cet exemple, et leurs couleurs seront aussi belles et aussi durables que celles qui viennent de l'étranger!

BLANC. *Le blanc de Krems* ou de Kremnitz, que l'on appelle aussi blanc d'argent, blanc d'écailles, blanc léger, est un carbonate de plomb pur (voyez CÉRUSE), désigné communément sous le nom de blanc de Hollande purifié, 1re qualité. Il est vendu sous la forme de petits cubes. Après lui on distingue le blanc de Venise, qui est formé d'un mélange, à parties égales, de carbonate de plomb et de sulfate de baryte bien blanc et pulvérisé très finement.

Le blanc que l'on fabrique en Allemagne, principalement près de Hambourg, est un carbonate de plomb de 3me qualité. Il est composé d'une partie de carbonate de plomb et de 2 p. de sulfate de baryte. On le vend aussi sous la forme de petits cubes.

Enfin la 4me et dernière qualité est le produit d'un mélange de 3 p. de sulfate de baryte et d'une partie de carbonate de plomb.

Le blanc de Hollande pur est doux au toucher, sans saveur, à cassure franche; il doit en outre happer un peu la langue.

Le blanc de céruse, que l'on fabrique en France par petits pains coniques, est un carbonate de plomb (voyez CÉRUSE) préparé par des procédés peu différents de ceux pratiqués en Hollande et en Allemagne. Il contient ordinairement une certaine quantité de sulfate de baryte, produit fort innocent du reste, et qui est nécessaire pour lui donner de l'opacité; quelquefois on le falsifie avec du sulfate de plomb ou de la craie.

« On reconnaît la craie, dit M. Dumas, par l'acide nitrique ou acétique qui dissout la craie et le carbonate de plomb. On précipite de la dissolution tout le plomb au moyen d'un sulfure alcalin, et enfin on précipite la chaux par un oxalate. Le sulfate de plomb et celui de baryte ne se dissolvant pas dans les acides, il est donc facile d'en reconnaître la présence et d'en constater la quantité. »

La céruse commune pour la détrempe est toujours mélangée d'une certaine quantité d'argile blanche, soit de terre de pipe, soit de blanc d'Espagne; on la vend aussi par petits pains coniques; on lui ajoute encore une petite quantité de charbon léger ou d'indigo pour lui ôter un reflet jaunâtre désagréable à la vue. Certains marchands peu scrupuleux font le mélange avec des craies lavées et sans corps ou avec du blanc de Troyes; ils en outrent même la quantité, ce qui rend les pains plus cassants: du reste, on peut facilement reconnaître cette sophistication en versant dans la céruse mêlée de craie un acide tel que le vinaigre. Il se fait alors une effervescence, qui n'a pas lieu, lorsque le mélange est fait avec de l'argile pure.

Le blanc d'Espagne, proprement dit, est une argile blanche pure, qu'il ne faut pas confondre avec le blanc de craie, connu vulgairement sous les noms de blanc de Troyes ou de Meudon, qui est un carbonate de chaux. On le trouve sous la forme de gros pains carrés de 5 à 10 kil. et sous celle de rouleaux de 250 à 350 gr.

Blanc de Bougival, terre marneuse très fine, inférieure aux blancs d'Espagne, que l'on vend sous la forme de pains carrés pour la peinture en bâtiment. On lui substitue souvent la craie lavée, mais l'emploi le fait reconnaître.

Voici, d'après Watin, comment on le prépare:

« Quand la marne est tirée, pour la purifier et lui ôter son gravier, on la fait délayer dans l'eau claire, mise dans un vaisseau net, et on la laisse rasseoir, ce qui se fait aisément sans aucune manipulation. On jette cette première eau ordinairement jaune et sale; on lave cette marne de nouveau jusqu'à ce que l'eau devienne blanche comme du lait, alors on la transvase, et encore mieux, on la passe à grande eau par un tamis de soie; là elle dépose. On vide l'eau sans agiter le fond, et on pétrit ce dépôt; lorsqu'il est en consistance de pâte, il sèche et durcit à l'air; le plus fin se durcit en petits bâtons, et les dernières portions du lavage, toujours plus grossières, se moulent à grosses masses de 500 à 625 grammes, qu'on laisse sécher et durcir à l'air et qui servent à la peinture. C'est ainsi qu'on peut nettoyer et laver toutes les terres nécessaires à la peinture. »

Moyen indiqué par Bouvier *pour purifier le blanc de plomb ou de céruse*: « Prenez, je suppose, 500 gr. plus ou moins de beau blanc de Krems, faites-lui subir, en petites parties, un premier broyage à l'eau, sans vous attacher à ce qu'il soit très fin; vous le releverez de dessus la pierre en bouillie de l'épaisseur d'une forte crême, et vous aurez soin que les premières broyées ne sèchent point, mais qu'elles se conservent un peu liquides, pour cela vous mettez chaque relevée de couleur dans un pot neuf bien vernissé ou dans un bol de faïence ou de terre de pipe.

« Quand tout votre blanc est broyé et qu'il est en bouillie assez épaisse, versez dessus cette bouillie la valeur d'un gobelet à boire de très bon vinaigre blanc distillé, vous remuerez et brouillerez le tout toutes les heures, et cela durant une journée; vous prendrez, pour le remuer, un tuyau de pipe neuf que l'acide du vinaigre n'attaquera pas. Si votre vinaigre est bon et bien distillé, il nettoiera toutes les petites particules étrangères qui peuvent se trouver dans le blanc, en sorte qu'il ne restera plus rien qui puisse le ternir. Cette couleur, ainsi préparée, donne un blanc très parfait, mais il faut avoir soin d'en extraire tout le vinaigre par des lavages réitérés jusqu'à ce que l'eau qui surnage sur le blanc (quand on la laisse reposer) n'ait plus aucune saveur d'acidité en la portant sur la langue. Le blanc ainsi relroyé à l'eau pure, au moins trois fois, est d'une qualité supérieure; employé aussi à l'eau de gomme pour peindre la gouache, il est léger, très subtil, et ne reluit point sur le papier comme il arrive au blanc de Krems qui n'a pas subi cette opération.

« Pour l'usage de la peinture à l'eau, il ne faut prendre que l'écume et la crême qui se forment dessus, après qu'on les a bien fouettées avec un petit balai de bois blanc pelé et sans écorce, comme pour battre les œufs à la neige. Ce blanc est encore excellent pour peindre la miniature; mais, pour ce dernier genre de peinture, on y mêle moitié d'alumine ou terre d'alun, ce qui le rend très léger. »

JAUNE. — *Gomme-gutte* ou *camboge*. Gomme résineuse qui découle en suc laiteux du camboge (*cambogia gutta*, Lin.), arbre des Indes; ce suc s'épaissit au soleil, et nous vient en masses opaques, solides, très-dures, d'un jaune-orangé, fragiles, brillantes dans leurs cassures. M. Bouvier dit (dans son *Manuel de peinture*, 2e édit., p. 8) « que l'on peut dépouiller la gomme-gutte de sa gomme naturelle et en tirer un jaune très-pur et très-vif qui se réduit en poudre, et dont plusieurs peintres de paysages font usage en Suisse, soit pour l'aqua-

COULEURS MATERIELLES.

relle, soit pour la gouache et pour la miniature. Il se pourrait que ce résidu, ainsi dépouillé de sa gomme, fut un beau jaune-jonquille, propre à être employé à l'huile; je l'ignore, ne l'ayant éprouvé qu'à l'eau. C'est un essai à faire, mais je suppose que ce ne peut être qu'une couleur propre à glacer, car elle n'a point de corps. »

« L'on met quelques grammes de gomme-gutte bien choisie dans un pot vernissé qui soit neuf et n'ait pas servi; l'on jette de l'eau filtrée dessus, et on la laisse fondre; chaque jour on rejette l'eau, en s'arrêtant lorsqu'on voit le sédiment jaune près de s'écouler avec l'eau jaune qu'on veut rejeter; on ajoute la nouvelle eau à la place de celle qu'on a enlevée, et assez pour qu'il y ait 10 à 12 centimètres au-dessus du jaune, on fait cette opération pendant au moins six semaines, après quoi l'on recueille le jaune qu'on fait sécher, et qui peut servir à rehausser, comme le jaune de Naples, tant il est gommé. »

La composition du véritable *jaune de Naples* n'est pas bien déterminée (voy. Mérimée, *Traité de la peinture à l'huile*, p. 110; MM. Pelouze, *Art de fabriquer les couleurs*; *Encyclopédie populaire*, 18.8; Montabert, *Histoire de la peinture*, vol. IX). Selon M. Bouvier, ce jaune est le seul jaune clair qui soit bon; il est indispensable surtout aux peintres de paysages et de fleurs, et l'on en tire aussi un bon parti pour tous les autres genres de peinture; mais il ne faut jamais s'en servir pour le mélanger dans les parties éclairées des chairs, l'ocre jaune vaut infiniment mieux; d'ailleurs, outre que le jaune de Naples verdit un peu, il attaque plusieurs autres couleurs par l'effet de l'arsenic qu'il renferme, il dénature surtout le blanc et les cinabres. Il faut le broyer avec beaucoup de propreté et surtout ne jamais le relever ni le triturer avec une spatule de fer, d'acier ou de tout autre métal, ce qui le ferait verdir sur-le-champ.

Les ocres jaunes, oxydes de fer naturels, terres naturelles, friables, colorées en jaune plus ou moins foncé qui tire sur l'orangé. Les ocres ne doivent pas être obscures parce qu'alors elles contiendraient des terres bitumineuses qui les feraient noircir. Ce sont des argiles colorées par de l'oxyde de fer, et que l'on purifie au moyen de lavages réitérés, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Le broiement des résidus sableux donne toujours ou presque toujours deux espèces de jaune : on les sépare si l'on peut.

On peut encore obtenir des ocres artificielles connues sous les noms de jaune de mars, orangé-mars, rouge-mars, violet-mars, soit en faisant rouiller du fer, soit en précipitant par des alcalis des dissolutions de ce métal, par exemple, par le sous-carbonate de soude ou de potasse, par du muriate, du nitrate, de l'acétate de fer, etc.; mais, comme le dit fort bien M. Mérimée dans son *Traité de la peinture à l'huile*, « la nature nous offre des ocres si belles, qui n'exigent qu'un lavage à exécuter, que ce n'est pas guère la peine d'en faire d'artificielles. »

Le jaune de chrôme (chrômate de plomb) d'un jaune éclatant et doré qui couvre bien, et s'emploie facilement et sans danger pour la miniature et la gouache. Il ne change pas sensiblement quand il est bien délayé dans l'eau gommée, mais c'est une couleur qui ne peut servir dans la peinture à l'huile, car elle change alors, et fait changer toutes celles qu'on lui associe. Cependant M. Bouvier dit *que l'on peut s'en servir* pour les rehauts de certaines étoffes jaunes et les brillants des dorures, pourvu qu'on l'emploie pur et à sec, c'est-à-dire sur un dessous tout à fait sec, en touchant son ouvrage franchement; il change alors beaucoup moins. M. Mérimée ajoute que lorsque cette couleur est mélangée avec l'alumine elle reste brillante beaucoup plus longtemps.

On peut aussi l'employer avec succès dans l'impression des images en couleurs, pour obtenir des orangés et des verts brillants, par des teintes superposées ou mélangées, avec le vermillon, le bleu de Prusse et l'outremer.

D'après M. Dumas, le jaune de chrôme est une couleur belle, solide, douée de toutes les qualités que le peintre peut désirer, et ce savant chimiste a raison si on a la précaution de broyer préalablement *le jaune de chrôme* avec un vernis résineux fixe ou avec une *dissolution de cire vierge*.

ROUGE. Le *minium* ou *rouge de saturne*, appelé à tort *mine-orange*, est un composé de peroxyde et de protoxyde de plomb. Il est d'un rouge assez éclatant, que l'on ravive encore chimiquement en faisant digérer à plusieurs reprises le minium brut avec de l'acétate de plomb.

La mine-orange, au contraire, se prépare en faisant calciner de la belle céruse : elle offre une teinte plus claire et plus brillante que le *minium*.

Ces deux couleurs sont souvent mélangées avec du colcothar (oxyde rouge de fer), ou de la brique pilée; mais on s'en aperçoit facilement en chauffant ces couleurs au rouge dans une cuiller de fer. Le minium devient d'un jaune homogène s'il est pur, et la brique ou le colcothar conservent leur couleur primitive. On analyse au besoin le minium par l'acide hydrochlorique concentré, le plomb et le fer se dissolvent, et la brique reste. On évapore la dissolution à siccité, et on reprend par l'alcool, qui ne dissout que le chlorure de fer. Cette couleur ne vaut rien pour la peinture à l'huile, car elle noircit beaucoup, et fait également noircir les cinabres.

Cinabre ou vermillon français (deuto-sulfure de mercure, voyez CINABRE) d'une couleur *rouge-violet* très vive. Il se vend en poudre très fine et produit des teintes lumineuses en le mêlant de blanc et d'ocre jaune clair, etc.

Le cinabre est souvent falsifié par du minium, du colcothar, de la brique pilée, du sang-dragon, de l'orpin rouge ou réalgar (sulfure d'arsenic). M. Dumas dit qu'on peut reconnaître la présence des trois premières substances par la distillation. Cependant le minium réagit sur le sulfure de mercure et en décompose une partie. Le sang-dragon étant soluble dans l'alcool, on peut le séparer en faisant bouillir le cinabre avec de l'alcool. Le réalgar est plus difficile à reconnaître. On s'assure de la présence de ce corps par l'odeur de la vapeur arsenicale qui se dégage en grillant le cinabre. Pour le doser, il faut traiter le mélange au creuset par du carbonate de soude et un excès de nitre.

Le carmin de cochenille est un précipité obtenu de la teinture de cochenille par l'alun, et le nitro-muriate d'étain. (Voyez CARMIN). C'est une couleur d'un rouge-violet éclatant, mais peu solide : elle est cependant d'un usage habituel dans la peinture à l'aquarelle, à la gouache, et le lavis des plans; on s'en sert même dans les manufactures de papiers peints, de fleurs artificielles, etc.

La *laque rouge de cochenille* est formée avec le résidu du carmin précipité, par l'alumine ou terre d'alun pure ou mélangée de craie (voyez CARMIN). Cette couleur d'un cramoisi plus ou moins foncé est moins opaque que le carmin; elle se vend dans le commerce en poudre et sous la forme de tablettes ou de petits trochisques.

On falsifie ordinairement le carmin avec de la craie et du vermillon, mais on aperçoit cette falsification en dissolvant le carmin dans l'ammoniaque liquide qui a peu d'action sur le vermillon.

La belle laque rouge de garance, telle qu'on la fabrique à Berlin, à Munich et à Florence, est d'une couleur rouge-cramoisi foncé, et elle est d'une solidité bien éprouvée dans tous les genres de peinture artistique;

mais elle coûte fort cher, ce qui fait qu'on l'emploie peu ou point dans la peinture industrielle.

Cependant madame Gobert est parvenue à fabriquer en France une laque rouge de garance semblable à la plus belle laque de Florence ou de Berlin, et à un prix plus bas quoique encore très élevé; mais la manière d'obtenir cette belle et solide couleur n'a pas été encore rendue publique.

Toutefois, les fabricants connaissant la juste préférence des artistes pour cette couleur, en profitent pour vendre sous son nom des laques d'une qualité inférieure dont l'éclat est dû seulement à la teinture de cochenille. Voici, selon M. Bourgeois, les moyens de constater si les rouges de la *garance*, vendus sous ce nom dans le commerce, sont véritablement extraits de cette substance.

« L'on porphyrise à sec une quantité quelconque de rouge de garance, et pour reconnaître d'abord si cette couleur est falsifiée avec une laque du Brésil, *on* en jette une pincée dans un demi-verre d'eau claire et chaude; il arrive alors que l'eau reste teinte de la couleur de cette laque. Si l'on soupçonne, dans ces garances, un mélange de carmin ou de laque carminée, il suffit encore de jeter une pincée de ces rouges dans une petite quantité d'*ammoniaque* liquide ou de potasse caustique, auquel cas le principe colorant de la cochenille reste en dissolution dans ces alcalis. Enfin, pour constater l'état des rouges de garance et la quantité relative du principe colorant qu'ils contiennent, l'on prépare d'abord une eau acidulée, en mêlant ensemble quinze à vingt parties d'eau filtrée et une d'acide sulfurique, puis l'on prend une quantité fixe de garance porphyrisée que l'on jette dans l'eau acidulée; un verre de cette eau suffit pour 45 grammes de rouge. Dans cette expérience, l'acide se colore de la petite quantité du principe fauve qu'avait retenu le principe rouge, qui dans ce cas change lui-même de nuance en offrant celle de la garance naturelle; mais au moyen de plusieurs lavages successifs, destinés à enlever l'acide, il reprend une partie de sa couleur, que l'on achève de développer par quelques gouttes d'ammoniac. Puis enfin on lave encore, et l'on met sécher le résidu qui est le principe colorant pur de la garance, alors insoluble dans les acides, et dont la quantité, par rapport à celle de la couleur mise en expérience, peut ainsi se déterminer, de même que celle d'autres laques de garance soumises à la même vérification. »

BLEU. L'*outremer factice*, inventé par Guimet il y a quelques années, est la seule couleur bleue qui réunisse toutes les qualités que les peintres recherchent, c'est-à-dire la beauté, l'intensité, la solidité, et le bon marché. Ce bleu ne s'altère jamais et n'attaque aucune autre couleur, seulement il prend une grande intensité. On fabrique aussi à Nuremberg, à Cologne, Düsseldorf, les *outremers factices, qui égalent ceux* de M. Guimet et que les fabricants français préfèrent même souvent pour peinture à l'huile parce qu'ils sont d'un prix d'achat moins élevé. En effet, on vend en Allemagne des outremers factices depuis 2 fr. jusqu'à 100 fr. et plus le kilogr. Cependant deux chimistes français, MM. Féran et Courtial, ont trouvé depuis longtemps la manière de faire des outremers factices propres à la fabrication des papiers peints, de l'imprimerie en couleurs, etc., mais ils n'ont point publié leurs procédés. Nous donnerons, à l'article OUTREMER, les procédés employés à *Nuremberg* pour la préparation de l'outremer factice, procédés qui viennent d'être publiés par M. *Prückner*.

Le bleu de Prusse, quoique inférieur au bleu d'outremer sous le rapport de la fixité, ne laisse pas que d'avoir sur lui, à volume égal, l'avantage d'une bien plus grande quantité de principes colorants. Malheureusement tous les alcalis attaquent et font disparaître le bleu de Prusse; c'est pourquoi il faut éviter de le combiner avec des couleurs qui en contiennent. Quoi qu'il en soit, le bleu de Prusse mêlé de blanc et d'outremer, et auquel on ajoute un peu de vermillon ou de laque, pour éviter qu'il ne pousse au vert, ce qui est son principal défaut; ce bleu de Prusse ainsi modifié est une couleur très précieuse pour la peinture à la gouache, les papiers peints, l'imprimerie en couleurs, voire même pour la peinture, parce qu'il fait des verts charmants, lorsqu'il est mêlé soit avec l'ocre jaune, soit avec le jaune de chrôme ou le jaune de Naples, etc. (voyez PRUSSIATES).

BRUN. *Le brun de Prusse, couleur de bistre*, a été inventé par M. Tœffer, peintre. Il a tous les avantages réunis de l'asphalte, de la momie, de la terre de Sienne non calcinée, sans en avoir les inconvénients. On peut le faire soi-même en calcinant du bon bleu de Prusse français médiocrement obscur, mais de toute autre fabrique que de celle d'Angleterre, car avec ce dernier on ne peut y réussir.

Nous donnons le procédé tel qu'il est décrit et pratiqué par Bouvier (*Manuel de la peinture*, 2e édition, page 190) :

Mettez sur un feu assez vif une cuillère de fer, faites la rougir, jettez-y quelques morceaux de bleu de Prusse, de la grosseur d'une noisette à peu près; bientôt chaque morceau éclatera de lui-même, et se dégradera par écailles à mesure qu'il s'échauffera, jusqu'à devenir rouge lui-même. Retirez la cuillère du feu et faites-la refroidir; si vous la laissiez plus longtemps sur le feu vous n'auriez pas la teinte désirée. Quand vous concasserez la couleur, il s'y trouvera des parties noirâtres et d'autres brun-jaunâtre; c'est précisément ce qu'il faut. Broyez le tout ensemble, il en résultera un brun couleur de bistre ou d'asphalte fort transparent. Il est parfait pour faire une multitude de glacés ou de préparations, soit qu'on l'emploie seul, soit qu'on y mélange d'autres couleurs transparentes pour approcher davantage du ton que l'on veut obtenir.

Ce brun se marie et s'étend avec une merveilleuse facilité. Il ne couvre pas plus que l'asphalte; il est d'une solidité et d'une fixité à toute épreuve; il a le grand avantage de sécher plus promptement que toutes les autres couleurs transparentes et légères.

L'opération de brûler ne réussit pas toujours également; cela dépend des différentes qualités de bleu, et aussi du degré de chaleur qu'on donne et même de l'état actuel de l'atmosphère. Il ne faut pas pour cela se rebuter, quoique les diverses teintes qu'on obtient soient plus rousses, plus verdâtres ou plus noirâtres qu'on ne le voudrait; ces essais ne sont pas perdus, l'on peut toujours en faire usage dans beaucoup de cas; mais comme la teinte la plus désirable est celle de l'asphalte, il n'y a qu'à recommencer, avec différents bleus et en différents temps, jusqu'à ce qu'on obtienne ce qu'on désire.

On aura attention de brûler cette couleur à feu découvert, sans quoi l'on n'obtiendrait que du noir.

Terre de Sienne naturelle (espèce d'ocre assez dure) Couleur jaune-brun foncé, mais en la calcinant elle prend une couleur rouge-brun orangé. Or, c'est dans ce dernier état seulement qu'on peut et doit l'employer dans la peinture à l'huile, l'imprimerie en couleurs, encore il ne faut pas s'en servir avec le blanc, parce qu'elle tend à noircir, et que, d'ailleurs, elle ne couvre pas du tout; elle foisonne tellement aussi que, pour peu qu'on en mette dans un mélange, elle absorbe par sa couleur toutes celles qu'on lui associe.

Voici comment on la calcine;

Mettez de la terre de Sienne naturelle dans une cuillère de fer, après l'avoir rompue en morceaux dont les plus gros ne doivent guère dépasser la grosseur d'un gros pois; faites rougir le tout sur un feu vif jusqu'à ce que

la couleur elle-même soit devenue rouge vif comme la cuiller; versez-la dans une assiette propre, et l'opération sera faite.

La terre de Sienne sert essentiellement à monter ou brunir les couleurs avec lesquelles elle est mélangée.

VERT. Le *vert de Schweinfurth* est une combinaison d'arsenic et d'acétate de cuivre. Aussi, quand on pense que cette couleur est un poison violent et qu'on peut compromettre sa santé en la préparant et en l'employant, on ne devrait pas sans doute l'adopter; cependant nous ne possédons aucune couleur verte aussi vive et aussi brillante ; cette couleur, d'ailleurs, est nécessaire pour composer une table chromatique, et voilà pourquoi nous décrivons sa fabrication, tout en gémissant que la chimie moderne n'ait point encore découvert une couleur aussi séduisante, plus solide et surtout moins dangereuse.

« Prenez 9 à 10 kilog. d'arsenic blanc en poudre, 14 seaux d'eau de rivière que vous faites bouillir dans un vase de cuivre. Lorsque l'eau bouillonne, jetez-y l'arsenic et faites bouillir fortement pendant trois quarts d'heure jusqu'à ce que l'arsenic soit bien fondu, versez bien vite dans le liquide environ 10 kilog. de verdet raffiné; ôtez promptement la chaudière de dessus le feu, et versez le liquide dans un tonneau en bois, puis ajoutez au mélange environ 500 grammes de potasse. Couvrez ensuite le tonneau, et au bout d'une heure ou de deux heures, versez le produit sur une toile et laissez sécher

Pour composer un autre vert de Schweinfurth, il ne faut pas employer de potasse ; seulement, enlevez promptement le mélange de dessus le feu, remuez et mettez sur toile, en ajoutant après le verdet la quantité de spath en poudre que vous voudrez. » (*Extrait d'une note remise par M. Wingens, fabricant de couleurs*).

On peut encore employer les procédés dus à MM. Braconnot et Liebig, et qui sont publiés dans le Traité de la peinture, par Mérimée. Mais le procédé donné par M. Wingens nous paraît le plus simple. (Voy. VERT ÉMERAUDE, *Complément*). ROUGET DE LISLE.

COUPEROSES. Voyez SULFATES

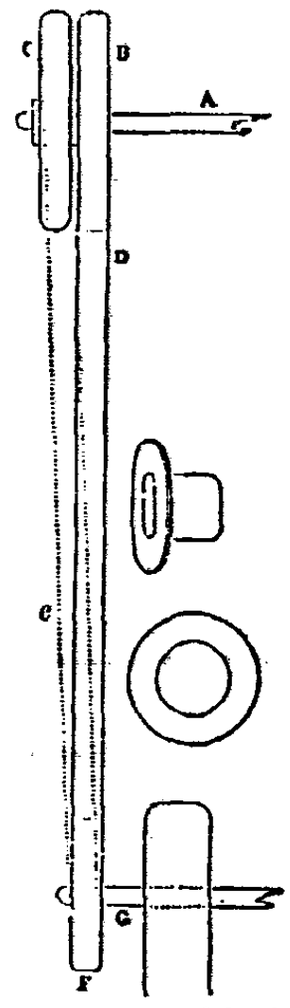
COURROIE (mécanique). Dès que dans une machine quelconque la transmission de la force du moteur aux divers agents passe une certaine limite, il convient d'employer les courroies plates, sur roues et poulies à jantes plates, légèrement convexes. Cette limite peut être ainsi déterminée. Toutes les fois qu'il s'agit d'une force inférieure à celle de deux hommes, les cordes engagées dans des poulies à gorge ronde ou angulaire doivent être préférées. Passé cette force la courroie plate paraît devoir être employée, jusqu'à ce que, arrivée à certaines limites de force et de vitesse, qui ne sont pas encore bien exactement déterminées, elle doit, elle-même, faire place aux engrenages.

On voit souvent, pour les petites machines, employer des courroies plates au lieu de cordes en chanvre ou en boyau ; mais comme leur emploi est moins facile, moins usuel que celui des cordes, l'usage n'en a pas prévalu. L'épissure d'une corde sans fin est une opération promptement faite ; il n'en est pas ainsi de la suture et du raccord des petites courroies; cependant elles ont l'avantage d'être plus élastiques que les cordes et moins hygrométriques. Quand la résistance à surmonter n'est pas considérable, il faut préférer les cordes engagées dans des poulies à rainures angulaires ; la corde qui ne touche pas au fond est pressée dans l'angle, et est bien moins sujette à glisser sous une pression égale. Or, il est important de ne tendre les cordes et courroies que le moins possible ; on dépense alors beaucoup moins de force motrice pour produire le même résultat. En général, dans le travail, le défaut dominant dans presque tous les ateliers, est l'emploi de trop grosses cordes ou de trop fortes courroies, relativement à l'effet à produire, et aussi de donner une trop grande tension à ces cordes ou courroies.

Nous n'en dirons pas davantage sur cet objet, dont l'étude sera complétée dans un autre article (voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE); notre intention est seulement de populariser et de répandre l'emploi des courroies mortes sur les poulies folles, parce qu'il y a sécurité et économie à employer ce mode.

Dans tous les ateliers où un moteur commun à plusieurs fonctions mécaniques, fait mouvoir, au moyen d'un arbre de couche isolé, ou commandant d'autres arbres, un nombre plus ou moins grand de tours, d'alézoirs, de meules ; ou même lorsque le moteur, bien que consacré à un seul travail, ne peut être suspendu sur-le-champ à volonté, il faut que l'ouvrier puisse arrêter le mouvement de rotation lorsque cela lui convient, ou lorsque les besoins de la fabrication le commandent, ainsi que cela a lieu pour les tours, pour les meules d'aiguiserie, pour les cardes, etc., etc. Plusieurs moyens de suspendre ce mouvement de rotation, et de lui rendre son action à volonté, sont depuis longtemps employés. Le plus généralement adopté est celui de la poulie folle, placée ordinairement à la gauche de la poulie vive. Lorsqu'il s'agit de suspendre le travail on fait passer la courroie de la poulie vive sur la poulie folle, qui n'engrenant point sur l'arbre du tour, ou de tout autre appareil, roule librement, sans rien entraîner dans son mouvement. Pendant ce temps, le tour arrêté, on peut le réparer, y monter des pièces, faire les changements qui sont à faire, et lorsque tout est préparé et qu'il s'agit de remettre la machine en mouvement, on ramène la courroie sur la poulie vive; la poulie folle, livrée à elle-même, s'arrête, et le tour recommence à marcher.

Durant tout le temps que le mouvement du tour est suspendu, la courroie tourne toujours sur le tambour de l'arbre de couche et sur la poulie folle, ce qui n'est pas sans inconvénient, d'abord parce qu'elle s'use inutilement pendant tout le temps que dure la réparation à faire à la machine, ou l'opération quelconque qui a nécessité la suspension du mouvement, et ensuite parce qu'il est dangereux pour l'ouvrier qui fait les réparations ou changements, d'avoir toujours près de lui cette courroie en mouvement, qui peut s'emparer d'une partie du vêtement, ou même d'une main ou d'un doigt, qu'elle broie sur la poulie folle.



609. 610.

Pour parer à ces divers inconvénients, on a imaginé de supprimer les poulies folles, placées à la gauche des poulies vives, et de les remplacer par une roue folle placée sur un mandrin adhérant à la roue vive montée sur l'arbre de couche. Par ce simple changement, lorsqu'on fait passer la courroie de la roue vive sur la roue folle, le mouvement cesse aussitôt, la courroie ne marche plus et le tour s'arrête, comme dans le premier cas ; mais cette courroie morte ne présente plus aucun danger, et la

611.

courroie ne s'usera plus, en se déplaçant inutilement.

Les fig. 609, 610 et 611, feront de suite comprendre cette explication : fig. 609, A, l'arbre de couche ; — B, la roue vive ; — C, la roue folle ; — D, la courroie ; — *e*, lignes ponctuées indiquant la courroie lorsqu'elle est passée sur la roue folle ; — F, la poulie ; — G, l'arbre de tour. — Fig. 610, le mandrin en fer sur lequel tourne la roue folle. — Fig. 611, disque en fer ou en cuivre placé entre les deux roues.

Une ingénieuse disposition due à M. Herland, dite *monte-courroie*, est venue rendre facile le placement de la courroie qu'on laisse reposer sur l'arbre, sur la poulie motrice supérieure par l'action d'un plan incliné enroulé en spirale. Une griffe vient amener la courroie à la position convenable. P. D.

COURS D'EAU. L'importance des cours d'eau en tant que voies de transport n'a pas besoin d'être énoncée ; tout ce que nous avons dit à l'article *canal* s'applique également aux cours d'eau naturels, avec cette différence toutefois que le courant doit être compté comme une résistance à la remonte et une impulsion à la descente ; que dans ce cas, comme dit *Pascal*, les *rivières sont des chemins qui marchent*.

L'utilisation des cours d'eau pour les irrigations, d'une si grande importance pour la création des pâturages, surtout dans les pays méridionaux doit principalement être étudiée au point de vue de l'agriculture ; les travaux de dérivation, les manœuvres d'eau ont la plus grande analogie avec ceux des canaux de navigation et n'en diffèrent le plus souvent qu'en ce que la condition à remplir n'étant plus de laisser passer des bateaux, mais bien de fournir un passage à un volume d'eau voulu, les sections des canaux d'irrigation sont en général bien moindres que celles des canaux de navigation.

Au point de vue mécanique, les cours d'eau ont un autre genre d'utilité d'une extrême importance, celui d'être d'immenses réservoirs de force motrice. Quant à la manière de les utiliser, nous prendrons pour exemple une des dispositions prises par le grand Vauban, dans une de nos places de guerre (et il a fait des travaux analogues dans la plupart des places fortes qu'il a fortifiées), non seulement pour augmenter la valeur des fortifications qu'il élevait en rendant possibles des inondations artificielles, mais encore pour assurer la mouture des grains en temps de siége, et la prospérité de l'industrie des habitants en temps de paix.

Nous empruntons des éléments de cet exemple à M. Poncelet.

La Moselle, à Metz, fournit même dans les plus grandes sécheresses, au moins 10^{mc} par seconde, pesant 10,000 kilogr. La vitesse de ce fleuve est moyennement de $0^{m},80$ par seconde ; le travail de cette masse d'eau représenté (comme on sait) par $\frac{MV^2}{2}$ serait donc $\frac{10,000}{2 \times g} \times 0,8^2 = 326$ kilogrammètres ($g = 9,81$), ou en divisant par 75, 4 1/2 chevaux-vapeur environ ; travail théorique peu important dont on pourrait tirer parti, au moins en grande partie au moyen d'organes convenables, de roues de moulin par exemple

Mais si on force les eaux à s'élever au-dessus de leur niveau naturel, comme on l'a fait à Metz, on pourra les utiliser en profitant de la chute mesurée à partir du niveau supérieur de ce barrage, pour les faire agir par leur poids ou de toute autre manière. A Metz, le barrage fait élever ce niveau de $2^{m},50$, le travail disponible correspondant aux 10^{mc}, celui qu'ils pourront fournir par leur descente de cette hauteur sera égal au poids multiplié par la hauteur $10,000^{k} \times 2^{m},5 = 25,000^{km} = 333$ 1/2 chevaux-vapeur, quantité près de soixante-dix-sept fois plus grande que celle qu'on obtiendrait en utilisant seulement la vitesse de l'eau.

COURS D'EAU.

Cet exemple fait clairement comprendre la nécessité des barrages pour utiliser les cours d'eau.

La hauteur de ces barrages est limitée : 1° par les niveaux entre lesquels est limitée la concession dont on dispose et qui ne permet pas de passer la limite du niveau inférieur de l'usine située en amont ; 2° la difficulté de construire et d'entretenir des berges artificielles qui ne rendent pas marécageux les terrains voisins du cours d'eau, par suite des infiltrations ; 3° la diminution qui pourrait résulter de la production des sources qui alimentent le cours d'eau, si les eaux ne pouvaient s'écouler avec une pente suffisante.

Les barrages s'appliquent avec le plus grand avantage aux petits cours d'eau, et également bien, comme nous venons de le voir, aux grands cours d'eau, qui, n'ayant pas une vitesse trop considérable, permettent sans de trop grandes dépenses l'établissement de barrages et constructions diverses en lit de rivière. Il est inconcevable sous ce rapport qu'on n'ait songé que dans ces dernières années à utiliser l'immense force motrice fournie par les eaux de la Seine (qui n'a que 0,60 à 0,65 de vitesse moyenne), passant à travers une ville si importante, comme ville de fabrique, que Paris, et où la force motrice, par suite de l'éloignement des mines de houille, a tant de valeur.

Utilisation de la force motrice des eaux de la Seine. Pour employer la force motrice des eaux de la Seine, il faudrait par un barrage les forcer à remonter à un niveau supérieur à leur hauteur naturelle. La position de ce barrage est clairement indiquée à la fin de la longue ligne de quais qui bordent la rivière des deux côtés pendant son passage à travers la ville, et dont elle ne peut atteindre le niveau dans les plus grandes crues. On peut admettre qu'un barrage de 2^{m}, qui ne fera pas gonfler les eaux dans la partie supérieure à la ville de 1^{m}, est largement admissible. Le conseil des ponts et chaussées, chargé de la réception des études faites pour le projet d'établissement d'un canal de Rouen à Paris, avait adopté divers barrages proposés en lit de rivière de 2^{m} de hauteur au-dessus de l'étiage comme ne pouvant présenter d'inconvénients ; il admettait (voir l'ouvrage de M. Flachat), qu'avec des crues de 4^{m} le regonflement à l'amont ne serait que 0,44 réduits à 0,25 dans les crues de 6 à 8^{m}. Disons de suite que l'écoulement qui aura lieu par les canaux latéraux dont nous allons parler, rendrait encore moindre cette différence de niveau.

A l'étiage, la Seine débite environ 150^{mc} par seconde (la moyenne des basses eaux est 111^{mc}) ; à la hauteur moyenne donnée par M. Arago (Annuaire de 1834) le débit est de 246^{m}. Le travail correspondant à ce volume d'eau élevé de 2^{m} est donc $150,000 \times 2 = 300,000$ kilogrammètres $= 4000$ chevaux-vapeur. Il serait de 6570 chevaux pour le débit moyen de 246^{mc}

Avec des appareils perfectionnés utilisant 75 p. 100 de la force théorique, la force utilisée serait de 3000 chevaux-vapeur, c'est-à-dire au prix de 500 fr. par force de cheval, prix bien inférieur à celui auquel elle revient quand on l'obtient au moyen d'une machine à vapeur à Paris, cette force perdue vaudrait donc 1,500,000 fr. de loyer annuel.

Nous ne pouvons prétendre donner dans cet aperçu une étude complète de cette intéressante question, nous avons seulement voulu prouver son importance et établir les conditions auxquelles il paraît facile de satisfaire. Ajoutons seulement qu'à l'extrémité de Paris, à l'endroit où devait être établi le barrage, s'étend la vaste plaine de Grenelle, dans laquelle se trouvent déjà beaucoup de fabriques ; qu'il serait facile d'y creuser un lit artificiel dans lequel refluerait les eaux de la Seine qui rejoindraient le bras principal en aval du barrage par des canaux transversaux recevant les roues hydrauliques ou turbines destinées à utiliser la force motrice. Ces organes devraient être disposés de telle sorte qu'ils

dussent, lors des crues de la Seine, utiliser toute la force motrice fournie par l'augmentation du volume d'eau pour compenser la diminution de la chute ; enfin, dans les crues extraordinaires des canaux transversaux devraient être disposés pour compenser amplement la réduction de section résultant du barrage.

L'important résultat de rendre disponible à Paris une force motrice considérable, à un prix modéré, en quantité presque égale au travail des machines à vapeur actuellement existantes est un de ces immenses progrès qu'une administration municipale éclairée ne doit pas tarder longtemps à réaliser. Les exemples abondent de toutes parts pour prouver les avantages et la possibilité de l'exécution d'un pareil travail.

Disons encore ce qui est presque évident en soi, qu'une semblable disposition ne change rien à la navigation puisque les mêmes quantités d'eau passent toujours en lit de rivière, et qu'il suffit qu'un sas d'écluse soit placé dans le barrage, pour faire passer les bateaux d'un côté à l'autre.

Projet d'Arago. Arago, auquel revient l'honneur d'avoir appelé le premier l'attention sur cette question, avait proposé au conseil municipal d'organiser une abondante distribution d'eau dans Paris, au moyen de pompes mises en mouvement par des turbines placées au Pont-Neuf. C'est à la suite de cette étude qu'on a fait du petit bras de la Seine un sas de navigation.

Il nous semble que le savant secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences avait pris, contre son habitude, la question d'un point de vue trop spécial. Certes, c'est quelque chose que de doter la ville de Paris d'une abondante distribution d'eau et de compléter ainsi les beaux travaux que M. Girard et la municipalité de Paris, sous l'administration de M. de Chabrol, ont accompli en amenant à Paris pour cet emploi les eaux de l'Ourcq ; mais est-il besoin pour cela d'une force motrice de 3000 chevaux? N'y a-t-il pas là de quoi faire plus que de distribuer de l'eau plus abondamment dans quelques quartiers ; ne peut-on encore singulièrement aider au développement de la production industrielle de la capitale.

Ne connaissant pas les projets rédigés pour l'établissement des turbines au Pont-Neuf, nous ne ferons pas d'observation à ce sujet ; nous ne doutons pas que la science de MM. Arago et Fourneyron n'eût triomphé des difficultés de la question, mais à première vue elles paraissent énormes. Dans un endroit où le lit de la rivière est rétréci par de nombreuses piles, disposer des turbines, des pompes, des barrages de diverses natures, etc., paraît une entreprise bien audacieuse, quand on pense aux crues énormes de la Seine et à la rapidité que prennent alors ses eaux. CH. LABOULAYE.

COUSSINETS. Ce sont dans les machines les pièces sur lesquelles s'appuient les tourillons d'arbres animés d'un mouvement circulaire continu, ou circulaire alternatif, pièces qui doivent être disposées de manière à embrasser exactement ces tourillons, et à pouvoir se rapprocher les unes des autres, pour remédier au jeu que produit nécessairement l'usé qui résulte des frottements. Ce sont donc des boîtes à frottement, d'ordinaire en deux pièces, quelquefois composées de trois, quatre, ou d'un plus grand nombre de parties, et que l'on graisse continuellement pour diminuer la résistance et pour empêcher le *grippement*, juxtà-position intime du tourillon et du coussinet, dont l'effet infaillible est d'amener la prompte destruction des surfaces en contact.

Les coussinets sont toujours par paire ; il ne faut donc pas les confondre avec les *bagues*, pièces de métal continues qui entourent un tourillon cylindrique et qui ne permettent pas de remédier à l'usé, avec les *collets* qui sont coniques intérieurement, où tourne un tourillon conique et à l'usé desquels on remédie en faisant marcher ce collet ou l'arbre parallèlement à l'axe de rotation ; enfin avec les *crapaudines*, espèces de gobelets dans le fond desquels on place un *grain* ou disque d'acier, et qui sont destinés à soutenir par son extrémité un arbre vertical, dont la partie inférieure porte alors le nom de pivot.

Les tourillons sont toujours en fer ou en fonte. On a essayé différentes matières pour les coussinets. D'ordinaire ils sont moins durs que les tourillons, et ce sont eux par conséquent qui supportent tout l'usé résultant du frottement. On les remplace facilement quand ils sont diminués par l'usage, et comme l'arbre se conserve de diamètre, on peut faire d'avance les coussinets de recharge pour lesquels on prévoit un usé rapide.

On emploie souvent pour les coussinets un métal fusible composé d'*étain*, de *plomb*, d'*antimoine* ou de *zinc*. En général, les compositions dans lesquelles entre le plomb font avec l'huile beaucoup de cambouis ; le métal à coussinets des marchands fait beaucoup de boue pour les grandes pressions, il corrode sans que le rond souffre, mais quand l'arbre avance en même temps qu'il tourne, il s'use avec beaucoup plus de rapidité.

Le métal le plus généralement employé pour les coussinets est le bronze, alliage composé en moyenne de 20 p. 100 d'étain et de 80 p. 100 de cuivre ; il contient quelquefois un peu de zinc ; c'est un métal dur et cassant qui résiste bien au frottement, mais qu'on doit avoir soin de graisser continuellement. Sans cette précaution, il s'échauffe rapidement et grippe. C'est l'intermédiaire entre le métal des canons, qui contient 10 p. 100 d'étain, et le métal des cloches qui en contient 25, et qui peut aussi fournir de forts bons coussinets. La composition du bronze à coussinets varie suivant les divers ateliers, mais ne s'éloigne pas beaucoup des proportions que nous avons indiquées ; il se fond facilement, se travaille mieux que le fer au burin, mais moins bien à la lime, qui glisse dessus et ne l'attaque que quand elle est neuve et qu'elle n'a pas encore limé du fer.

On fait aussi d'excellents coussinets en fonte grise ; cette matière conserve bien l'huile, coûte beaucoup moins cher que le bronze, ne s'échauffe pas aussi facilement et s'use à peine, elle convient également pour les tourillons en fer et les tourillons en fonte.

Les coussinets en *gayac*, en *amandier* sont d'un prix peu élevé, conservent très bien les corps lubréfiants, ne grippent pas, mais chose remarquable, ils attaquent sensiblement le fer, aussi ne doit-on les employer que pour des mouvements continus de rotation ; si on les employait pour des mouvements alternatifs, on ovaliserait les tourillons. On les emploie souvent pour supporter les arbres de roues hydrauliques. Le cormier, bois très dur, d'un tissu serré et uniforme, est aussi très bon pour coussinets.

Quelquefois on emploie une composition d'étain, d'antimoine et de zinc qu'on fond autour de l'arbre une fois qu'on l'a mis en place, on est alors dispensé d'un grand travail d'ajustage, et on obtient des coussinets très durs, s'attaquant peu, que l'on a pas besoin d'aléser ; ils ne sont pas disposés d'ordinaire de manière à pouvoir être resserrés, et on les remplace quand ils prennent trop de jeu.

On peut aussi employer pour coussinets des matières plus dures que les tourillons eux-mêmes. Ces coussinets sont de très longue durée, conservent bien les graisses et usent peu les arbres ; ils sont d'ordinaire en *acier* ou en *fonte blanche*. Le principal obstacle à leur emploi est la difficulté de leur construction ; l'acier surtout se dérange à la trempe, et il est difficile de faire coïncider exactement le coussinet avec le tourillon. On doit rejeter un coussinet d'acier lorsqu'après la trempe il présente la moindre fissure, la moindre

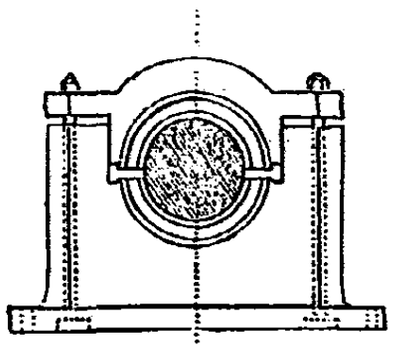
COUSSINETS.

crique, parce que ce serait pour l'arbre une cause de détérioration très rapide.

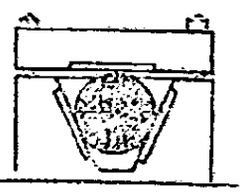
Les coussinets en fonte blanche ne présentent pas cet inconvénient, mais leur dureté les rend très difficiles à travailler, ils sont inattaquables à la lime; une fois mis en place, on ne peut pas les retoucher, si le tourillon ne coïncide pas exactement avec eux. Quand la machine marche, le tourillon s'use jusqu'à ce qu'il se soit incrusté dans le coussinet, tandis que lorsque l'on emploie le bronze l'arbre reste intact, et c'est le coussinet qui s'use et prend la forme convenable.

Ces diverses considérations font rejeter l'acier et la fonte blanche de la fabrication des coussinets. On devra cependant les employer toutes les fois que cela sera possible, l'usé produit par le frottement des tourillons sur les coussinets étant d'ordinaire fort peu de chose, quand les diverses pièces sont bien ajustées et que les coussinets sont graissés avec soin. Du reste, nous avons vu souvent le graissage être opéré par la machine elle-même, au moyen d'un petit système très simple qui, tous les 5 ou 6 tours de l'arbre, faisait tomber d'un réservoir supérieur une ou deux gouttes d'huile dans le coussinet.

Quand le tourillon exerce successivement une pression sur tous les points du coussinet, ce qui arrive toutes les fois que les forces appliquées à l'arbre ne sont pas continuellement appliquées dans le même sens (cas qui se présente dans les mouvements alternatifs, et même dans beaucoup de mouvements circulaires continus), le coussinet s'use sur toute la circonférence et ne tend plus à s'ovaliser, mais alors à devenir un cercle d'un diamètre plus grand. Le mode de serrage indiqué dans la fig. 612 n'est plus suffisant, puisque, comme nous l'avons dit, il ne remédie à l'usé que dans un sens. On est obligé alors d'avoir recours à trois coussinets qui sont placés autour de l'arbre, dont on peut les rapprocher par des vis de rappel; la disposition devient compliquée et exige beaucoup plus d'ajustage. Il est cependant des cas où il faut y avoir recours. On emploie aussi quelquefois soit des tourillons et des collets coniques, ce qui n'est applicable que pour des arbres de faible diamètre, soit des coussinets formés de plaques d'acier trempé (fig. 613), disposition vicieuse parce qu'elle ne conserve pas la graisse.



612.



613.

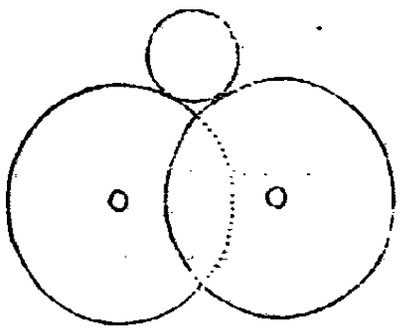
On pratique d'ordinaire, pour le graissage des coussinets, un trou dans le chapeau à la suite d'un petit godet venu de fonte avec ce chapeau; ce trou se prolonge dans le coussinet, et de sa partie inférieure partent deux ou quatre *pattes d'araignées*, espèces de rigoles en diagonale, pratiquées au burin dans la partie intérieure du coussinet et qui, constamment remplies de l'huile qui arrive du petit godet, la distribuent également sur toute la surface du tourillon. On remplit le petit godet d'huile une ou deux fois par jour.

Les coussinets doivent être ajustés très exactement sur le chapeau et sur le corps du support; ils ne doivent éprouver aucun ballottement. On fait souvent leur partie extérieure en prisme à base carrée, et on pratique dans le corps du support une partie creuse exactement pareille; mais quand les coussinets sont gros, on perd beaucoup de bronze dans les angles. On les fait alors hexagonaux ou octogonaux, mais toutes ces formes sont difficiles et longues à exécuter, surtout quand on ne possède pas de machines à raboter pour abréger le travail et qu'il faut faire tout au burin et à la lime.

Il est beaucoup plus simple de faire les coussinets cylindriques à l'extérieur, on alèse alors le trou du support. Le coussinet se fond d'une seule pièce, on l'alèse intérieurement, puis on place à ses deux extrémités des pièces de bois sur lesquelles on détermine exactement le centre du trou, qu'on marque avec un coup de pointeau; on place alors la pièce sur le tour en faisant entrer les pointes dans les centres ainsi déterminés, et on tourne la partie extérieure au milieu de laquelle on a eu soin de ménager, en la fondant, une partie circulaire rentrante, qu'il n'est pas nécessaire de tourner et dans laquelle sont placés deux petits pitons cylindriques saillants, venus de fonte avec le coussinet, et qu'on arrondit à la lime; on perce ensuite à la main dans le corps et dans le chapeau du support deux trous du diamètre des petits pitons situés, ainsi que ces derniers, bien vis-à-vis l'un de l'autre, et dans lesquels ces pitons s'ajustent quand le coussinet est en place. De cette manière, le coussinet ne peut pas tourner dans la partie alésée du support; on le sépare alors en deux soit à la scie, soit au bédane, on lime les surfaces coupées et on met en place les deux parties en intercalant entre elles des cales en bois. Ce procédé est de tous ceux qu'on emploie pour ajuster un coussinet dans un support, le plus simple et le plus expéditif.

On a employé quelquefois des coussinets à galets; le tourillon, au lieu de porter directement sur une partie alésée sur laquelle il éprouve un frottement de glissement ou frottement direct, est supporté par deux ou trois galets sur lesquels il ne glisse pas, mais qu'il fait tourner sur eux-mêmes. Le frottement de glissement n'a lieu que sur les axes des galets, au pourtour du tourillon, il n'y a qu'un frottement de roulement; les galets sont d'ordinaire beaucoup plus gros que le tourillon, en sorte que le chemin parcouru par les surfaces qui frottent directement les unes sur les autres est considérablement réduit; il y a donc moins de travail absorbé en pure perte par le frottement, moins d'usé, puisqu'on réduit la vitesse des surfaces frottantes et en outre une consommation moins considérable du corps gras lubréfiant.

D'ordinaire on n'emploie ces coussinets à galets que quand l'arbre pèse toujours dans le même sens, on met alors deux galets en dessous, rapprochés le plus possible afin que la pesanteur de l'arbre ne tende pas à les écarter et à fatiguer les essieux (fig. 614). D'autres



614.

fois, on ne met qu'un seul galet en-dessous et deux petits au-dessus (fig. 615); le grand galet, qui supporte la pression, tourne lentement, tandis que les petits, qui ne servent qu'à maintenir l'arbre, ont sans inconvénient un mouvement plus rapide; enfin, dans une application des coussinets à galets faite depuis peu, dans

quelques voitures, on n'a employé qu'un seul galet, l'arbre étant maintenu par deux brides fixes dans les points où il ne porte pas.

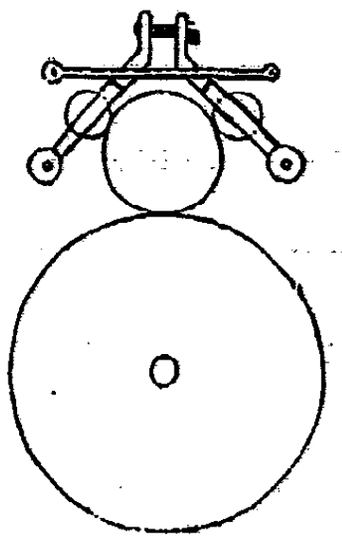


Fig. 615.

On a fait une heureuse application de la disposition indiquée fig. 614, pour supporter les cloches; on n'a employé pour soutenir leurs tourillons, qui, comme on le sait, ont un mouvement circulaire alternatif, que deux secteurs des cercles, la circonférence entière devenant inutile; on est parvenu à réduire ainsi de beaucoup l'effort nécessaire pour maintenir leur mouvement oscillatoire. La même disposition a été aussi employée pour supporter des tourillons de roues hydrauliques.

On se demande pourquoi cette disposition économique sous le point de vue de la force motrice dépensée n'est pas employée plus généralement. C'est qu'en industrie il ne faut se servir que de dispositions simples, d'une construction et d'un ajustage faciles, et qui, surtout, ne puissent jamais se déranger. Or, ce n'est pas le cas des coussinets à galets; leur disposition est compliquée : il faut trouver deux ou trois points d'appui, faire coïncider très-exactement le tourillon avec les galets, et soigner l'entretien de trois ou quatre coussinets au lieu d'un seul. D'un autre côté, si on se rend compte des frottements et du travail absorbé par les coussinets ordinaires, on verra qu'ils ne consomment qu'une fraction extrêmement faible de la puissance de la machine, et que, bien entretenus, ils peuvent avoir une durée indéfinie. Il ne faut donc pas sacrifier des avantages aussi réels, aussi positifs, à une économie que rend illusoire le moindre dérangement d'un coussinet à galets. DUBIED.

La disposition de support sans glissement faite depuis quatre cents ans à la grosse cloche de la cathédrale de Metz, est représentée fig. 616.

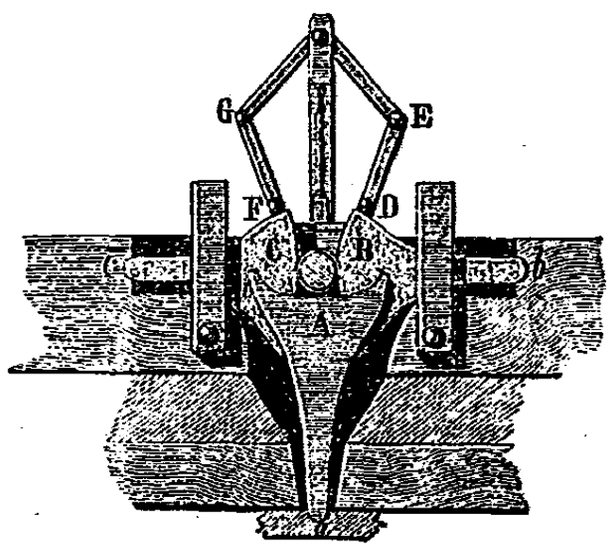


Fig. 616.

Le frottement de glissement disparaîtrait entièrement si, au lieu d'être maintenus par des tourillons, les galets étaient libres, système employé dans les travaux de construction, mais inapplicable dans une partie de machine. Une semblable disposition ne paraît pas impossible théoriquement à réaliser dans le système tour, et conduit à une solution théorique du problème, importante à consigner ici, car elle a été souvent tentée depuis le développement des chemins de fer.

Le guide du tour devant être une surface cylindrique entourant une surface semblable, son fonctionnement sera encore assuré, si, au lieu de mettre en contact les deux surfaces, on grandit d'une longueur, partout égale, l'intervalle qui les sépare et si on y place un nombre suffisant de petits cylindres ayant cette longueur pour diamètre.

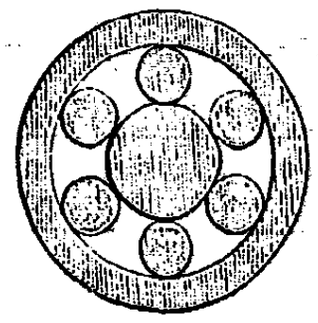


Fig. 617.

De semblables cylindres étant libres, n'étant pas guidés par des coussinets, avanceront en tournant en même temps que l'axe, et il ne se produira pas de frottement de glissement.

Cette idée théorique vraie n'a pas reçu encore d'applications pratiques importantes, par la difficulté de conserver le parallélisme des rouleaux écartés sans faire naître des résistances nuisibles, et vu l'impossibilité de les mettre en contact à cause des glissements qui se produiraient entre les rouleaux consécutifs. (Voy. ROULEAUX, *Complément.*)

COUTELLERIE (*angl.* cutlery, *all.* messerschmiedarbeit). On ne connaît pas plus l'origine de la coutellerie, dit M. Leplay dans son excellent rapport sur l'Exposition universelle de 1851, que celle de la plupart des arts utiles ayant pour objet de pourvoir aux besoins essentiels des populations. Liée vraisemblablement à la découverte de l'acier, cette origine se perd dans la nuit des temps. Au moyen âge, cet art s'était déjà constitué régulièrement dans presque toutes les villes de l'Europe, à la faveur de l'organisation méthodique qui avait été imprimée à l'industrie : les couteliers étaient alors représentés dans les corporations d'arts et métiers, et ils y occupaient ordinairement une position influente. Dès cette époque aussi, sauf pour ce qui concerne la nature et l'origine des aciers élaborés, l'art était constitué à peu près sur les mêmes bases où il subsiste encore, pour quelques spécialités restreintes, dans plusieurs villes de l'Angleterre et du continent.

Peu à peu, cependant, on reconnut qu'il y avait avantage, non pas à disséminer les ateliers à proximité des divers groupes de consommateurs, selon l'antique organisation des corporations urbaines, mais à les concentrer dans certains districts ruraux, où les ouvriers pouvaient subsister à bas prix et se trouvaient rapprochés des principales sources de matières premières, savoir : des forges produisant les aciers, des forêts ou des mines de houille fournissant le combustible, des carrières où s'exploitent les meules destinées à l'aiguisage, etc. Par suite de cette transformation, qui s'est opérée en grande partie dans le cours du dernier siècle et qui semble devoir être prochainement accomplie, les couteliers établis dans les villes se trouvent placés dans une situation fort différente de celle qu'ils y occupaient autrefois; ils ne prennent plus part à la fabrication que pour *monter* les lames, c'est-à-dire adapter les manches aux lames produites dans les fabriques, ou pour exécuter les travaux d'entretien réclamés par leur clientèle. Sauf dans quelques cas exceptionnels, qui tendent à disparaître, les couteliers de Londres, de Paris et des capitales du continent ne forgent plus que des lames de commande et ne montent même que les articles qui

s'écartent des modèles de fabrication courante. Il est vraisemblable qu'on n'y rencontrerait plus aujourd'hui un seul ouvrier fabriquant des ciseaux. Les couteliers des villes ne sont plus, à vrai dire, que des intermédiaires entre les producteurs et les consommateurs : les plus habiles se bornent, soit à inventer les modèles, qu'ils font ensuite exécuter dans les fabriques, soit seulement à imprimer une direction intelligente aux fabricants ruraux, en les initiant incessamment au sentiment des besoins nouveaux ou des nouvelles convenances créées par le progrès de la civilisation.

L'un des caractères distinctifs de l'activité qui se manifeste dans toutes les régions de l'Europe est la tendance qui excite chaque nation à pourvoir par sa propre industrie aux besoins principaux des populations. Le mouvement de concentration qu'on vient de signaler, en ce qui concerne la coutellerie, a donc, en général, donné naissance, dans les principaux États au moins, à un groupe de fabriques agglomérées. C'est ainsi que se sont progressivement développées, en Angleterre la fabrique de Sheffield, en Prusse celle de Solingen, en Autriche celle de Steyer, en France celles de Nogent, de Thiers et de Châtellerault, en Russie celle de Worsma, près de Nijni-Novogorod, en Suède celle d'Eskilstuna, etc. Toutefois, dès le milieu du siècle dernier, et surtout depuis le rétablissement de la paix générale, ce développement des groupes nationaux d'ateliers de coutellerie a été contre-balancé dans plusieurs États par diverses influences, au premier rang desquelles figurent la suppression graduelle des entraves commerciales, le progrès des moyens de communication, une tendance générale pour le comfort et l'uniformité de goût qui ne peut toujours être satisfaite par les fabriques éloignées de la zone manufacturière de l'Occident; enfin, et surtout, les progrès immenses réalisés sous le rapport de la qualité ou du bon marché par certaines fabriques établies dans les conditions les plus favorables. C'est ainsi, par exemple, que les fabriques de Sheffield et de Solingen ont pris un développement considérable, et sont parvenues à fournir à presque tous les peuples la majeure partie de leur approvisionnement. De leur côté, les fabriques d'Autriche et de France, tout en se tenant en mesure de suffire à la consommation intérieure, ont profité des ressources qu'elles trouvent, soit dans la richesse minérale du pays, soit dans le génie national, pour exploiter certaines branches du commerce d'exploitation, parfois même pour prendre l'initiative du progrès en ce qui concerne le goût ou la perfection du travail.

Telle est la situation générale des ateliers consacrés en Europe à l'art de la coutellerie; quelques détails d'une nature plus spéciale suffiront maintenant pour en achever le tableau.

Description de l'ensemble des procédés de fabrication.— Une série de traités spéciaux pourrait seule se prêter à la description des manipulations nombreuses et variées qu'entraîne la fabrication de chaque article de coutellerie. Il existe cependant, au milieu de cette complication et de cette diversité, des traits généraux qui caractérisent assez généralement toutes les subdivisions de l'art pour qu'on y puisse rattacher l'appréciation des éléments de succès propres aux principales fabriques de l'Europe.

La fabrication de la coutellerie implique quatre groupes principaux d'opérations, comprenant elles-mêmes beaucoup de manipulations secondaires, savoir :

Le forgeage, parfois suivi d'un travail à la lime, donnant la première forme au tranchant d'acier;

La trempe et le recuit, donnant à l'acier la dureté, qui est la qualité essentielle du tranchant;

L'émoulage, l'aiguisage et le polissage, opérations qui donnent à la lame la forme définitive, la qualité tranchante et le poli;

Enfin le montage ou l'assemblage, opérations par lesquelles on adapte aux lames les manches et les divers appendices qui constituent chaque article.

Le forgeage et le travail à la lime sont, dans la plupart des cas, des opérations manuelles dont le succès dépend surtout de la dextérité et de l'intelligence de l'ouvrier. La principale condition de succès est d'employer l'acier brut, c'est-à-dire la matière première de la fabrication, sous la forme qui simplifie le plus possible le travail du marteau : ce travail est lui-même conduit de la manière qui convient le mieux pour diminuer le travail de la lime. En général, dans la suite de manipulations qu'exécutent les couteliers, l'art consiste surtout, d'une part, à employer à chaque échelon de la fabrication une matière dont l'élaboration soit avancée autant que possible, de l'autre, à livrer le produit qui se prête mieux aux élaborations subséquentes. Cette convenance, qui se révèle dans la production de chaque article, pour une vingtaine de manipulations successives, fait éclore chaque jour, on le conçoit aisément, des combinaisons nouvelles, qui perfectionnent l'art de la coutellerie, et qui tendent incessamment à réduire le prix de ses produits. Plusieurs fabricants ingénieux de Nogent, de Solingen et de Sheffield emploient les ressources de la mécanique pour atteindre le but qu'on vient d'indiquer, et surtout pour réduire le travail manuel dans les branches de fabrication, celle des ciseaux et des couteaux fermants, par exemple, qui absorbent le plus de main-d'œuvre. Dans les méthodes ordinaires et dans tous les centres importants de fabrication, le matériel nécessaire pour le forgeage et le travail à la lime est fort simple : il comprend une petite forge alimentée par un soufflet de cuir, mû à bras d'homme; une enclume avec ses appendices, ses coquilles et ses étampes; une série de marteaux, un étau et un assortiment de limes; il peut être réuni dans la plus modeste habitation, alors même que les travaux de la forge et de la lime sont pratiqués par le même ouvrier. Jusqu'à ce jour, la première subdivision du travail de la coutellerie reste donc, en Angleterre comme sur le continent, une industrie essentiellement domestique, exercée par l'ouvrier dans son ménage avec le concours d'apprentis ou d'aides, choisis ordinairement parmi ses enfants.

Le personnel d'une forge où l'on ne fabrique que de petits objets se compose d'un seul ouvrier, qui met le soufflet en action tout en chauffant l'acier. Pour le forgeage des plus grosses pièces, et, par exemple, des lames de couteaux de table, le maître, ayant seulement à régler le feu et à chauffer la barre d'acier, est assisté pour le dégrossissage de cette pièce par un aide qui manœuvre le soufflet.

Les différences qu'on remarque d'une fabrique à l'autre, dans cette première branche du travail de la coutellerie, se rattachent surtout aux divisions plus ou moins multipliées établies dans les travaux qu'on vient de mentionner : tantôt, en effet, ceux-ci sont tous exécutés successivement par le même ouvrier, qui alors se suffit à lui-même; tantôt ils sont confiés à plusieurs ouvriers, qui, pour concourir à un but, doivent être placés sous la direction d'un fabricant. Une autre différence essentielle se trouve dans le caractère domestique ou manufacturier de la fabrication, selon que les ouvriers sont établis dans leur propre ménage ou travaillent dans de grands ateliers avec le concours de machines et de moteurs inanimés. Ainsi qu'on l'a déjà indiqué, la fabrication dans de grands ateliers, à l'aide de machines, commence seulement à prendre naissance, soit en Angleterre, soit sur le continent; la fabrication domestique est encore partout

dominante, avec cette différence qu'en France et en Autriche les mêmes ouvriers exécutent toute la série des travaux, tandis qu'en Prusse et en Angleterre les fabricants, recherchant surtout les avantages qui dérivent de la division du travail, y font intervenir successivement des catégories distinctes d'ouvriers.

Smith de Sheffield a imaginé, en 1827, de fabriquer au laminoir des couteaux entièrement en acier. Pour faire concevoir son procédé, supposons que l'on développe les deux cylindres et qu'on les grave de telle sorte qu'ils présentent chacun sur leur pourtour, dans un plan normal à leur axe, les deux parties d'un moule de couteau y compris la lame, l'embase et la soie. Si on présente entre ces cylindres une vergette d'acier chauffée au rouge, on obtiendra après le passage une suite de couteaux placés les uns au bout des autres. On peut également graver sur les cylindres une série de moules de couteaux parallèles à leur axe, et y passer une large barre méplate d'acier que l'on y présenterait de côté; les couteaux se trouveraient alors accolés suivant leur longueur. Dans tous les cas, on sépare chaque couteau à la cisaille, et on les termine comme à l'ordinaire.

La trempe et le recuit, formant la seconde subdivision du travail de la coutellerie, sont souvent exécutés par le même ouvrier qui a fait le forgeage; parfois, au contraire, ils sont confiés à un ouvrier spécial. Ces opérations, qui ont une influence décisive sur la qualité des tranchants, ne peuvent être convenablement pratiquées que par des ouvriers intelligents.

Les objets à tremper sont d'abord chauffés au rouge plus ou moins vif, tantôt dans le même foyer qui a servi pour le forgeage, tantôt dans un foyer spécial, tantôt enfin dans divers appareils ou bains métalliques à température constante, et avec des précautions ayant pour but de conserver intacte la qualité aciéreuse à la surface de la lame. On les refroidit ensuite brusquement en les plongeant, soit dans de l'eau pure ou aiguisée de diverses substances acides ou salines, soit dans divers bains essentiellement formés de corps gras. Ces manipulations offrent une multitude de nuances qui se transmettent traditionnellement dans chaque contrée, souvent dans chaque famille, et qui se rattachent à la manière de composer le bain ou d'immerger l'objet à tremper. L'opération s'exécute ordinairement sur chaque pièce isolée; cependant pour de très-petites lames, et surtout pour les ressorts de couteaux fermants, elle a lieu souvent sur un paquet de pièces saisies dans une pince. Pour quelques articles spéciaux et dans certaines méthode de travail, la trempe, par exception, n'est donnée que lorsque l'objet a été façonné à la meule.

Les pièces trempées ont ordinairement plus de dureté qu'il ne convient pour l'usage auquel on les destine, et par cela même elles ont une aigreur et une fragilité qui les rendraient impropres à cet usage; souvent aussi il arrive que la pièce, déformée par la trempe, ne peut être redressée au marteau que si on lui rend un peu de malléabilité. On restitue à l'acier la qualité qu'il doit avoir par le *recuit*, c'est-à-dire par une opération dans laquelle on porte lentement la pièce à une température assez élevée, mais toujours inférieure au rouge naissant. Les méthodes ingénieuses employées pour régler la température du recuit varient selon les fabriques et la nature des objets; elles sont pour la plupart fondées sur l'observation des couleurs que prend la surface de l'acier quand on le chauffe à des températures graduellement croissantes: le soin qu'on apporte à cette opération aussi bien qu'à la trempe est un sûr indice de la perfection à laquelle l'art est parvenu.

L'émoulage, l'aiguisage et le polissage, qui forment le troisième groupe de manipulations, s'exécutent au moyen d'une série de meules de diverses grandeurs, auxquelles on imprime un mouvement de rotation rapide et sur la circonférence desquelles l'ouvrier presse l'objet à façonner. Dans les opérations qui ont pour objet d'entamer fortement le métal, on agit ordinairement sur ce dernier au moyen du grès quartzeux à grains fins, qui forme la matière même de la meule; dans celles, au contraire, où il faut achever la pièce dégrossie et lui donner le poli, on agit au moyen de poudres dures plus ou moins ténues appliquées sur du bois, sur des métaux mous ou sur des peaux diversement préparées, avec intervention de corps gras favorisant l'adhérence des poudres et leur action sur le métal. Dans les centres de fabrication où la coutellerie a le caractère d'une industrie domestique, ce troisième groupe d'opération s'exécute par la force de l'homme; dans ce cas, des ouvriers spéciaux, presque toujours des aveugles ou des idiots impropres à tout autre travail, impriment le mouvement aux grosses meules; souvent, au contraire, les petites meules qui servent à donner le poli sont mises en action par le pied de l'ouvrier même qui exécute l'opération principale. Dans quelques ateliers domestiques, et par exemple en France, on emploie, pour donner le mouvement aux meules, des chevaux attelés à un manége ou des chiens marchant à l'intérieur d'une roue. Dans les principaux groupes de fabriques on imprime le mouvement aux diverses catégories de meules au moyen de moteurs inanimés, l'eau ou la vapeur. L'introduction progressive de cette classe de moteurs dans cette branche du travail est une des circonstances qui ont le plus influé depuis un siècle sur la distribution géographique des ateliers; c'est à l'emploi de ces moteurs économiques, à la plus grande part dans la fabrication pour terminer la forme, attribuée au procédé de l'émoulage, économique dans les mains d'ouvriers expérimentés, qu'il faut surtout attribuer la prospérité des fabriques de Sheffield et de Solingen.

Le montage et l'assemblage terminent cette série de manipulations: tantôt, comme dans la fabrication des ciseaux, ils se réduisent à une révision du travail qui a dû être fait avant le polissage; tantôt, comme dans la fabrication des couteaux fermants et même des couteaux de table, ils comprennent des opérations multipliées et donnent lieu, en main-d'œuvre et en matières, à une dépense plus considérable que toutes les autres opérations. Le travail y est organisé, dans les diverses fabriques, sur des bases fort différentes: tantôt l'art du monteur comprend la fabrication des manches; tantôt, au contraire, cette fabrication est confiée à une série d'autres ouvriers qui pratiquent successivement sur les diverses sortes de matières premières le sciage, le travail de la râpe, le polissage, le ciselage, etc.

Les soies des couteaux sont plates ou carrées. Les soies plates sont placées dans des manches formés de deux parties et y sont fixées au moyen de plusieurs rivets qui les traversent. Les soies carrées pénètrent dans un trou percé dans le manche, qui est alors d'une seule pièce, et y sont consolidées, soit en coulant dans l'intervalle du plomb fondu, soit au moyen d'un mastic fait avec un mélange de poix noire et de brique pilée. On donne quelquefois à la soie une longueur telle qu'elle traverse tout le manche, à l'extrémité duquel on la soude à une garniture en argent ou en cuivre doré que l'on fixe sur le manche.

Quant aux matières employées pour la fabrication des manches, elles sont moins variées qu'on ne pourrait le penser au premier aperçu. Il en existe peu, en effet, qui satisfassent convenablement aux diverses conditions de beauté, de propreté, de durée et d'économie que réclament les consommateurs. Au premier rang figurent les métaux précieux et l'ivoire, puis les

cornes d'animaux et les bois denses. L'Exposition de Londres a présenté plusieurs essais intéressants de nouvelles matières, la gutta-percha par exemple : mais ces tentatives indiquent combien est restreint le cercle dans lequel les fabricants doivent se tenir.

Le matériel nécessaire au monteur est assez compliqué; il n'exige cependant qu'un petit emplacement, et peut être mis en action en même temps que le matériel du forgeage, du limage, de la trempe et du recuit dans l'habitation même de l'ouvrier. Il comprend des fleurets et quelquefois un tour pour le perçage des manches; des meules servant à polir le manche et la garde, et à retoucher quelques parties de la lame et des ressorts; enfin, beaucoup d'outils et de matières servant à la fabrication des manches et des viroles et à leur assemblage avec la lame. Sur le continent et à Londres, le tour et les meules du monteur sont mis en mouvement par l'ouvrier lui-même, rarement par un aide; à Sheffield, grâce à une combinaison d'ateliers juxtaposés, ils reçoivent ce mouvement d'une machine à vapeur. L'introduction de petites machines-outils, d'une combinaison assez simple, pour exécuter des pièces qui doivent être toujours de même forme, a été une des causes principales du bon marché des objets de coutellerie d'un usage habituel.

L'affûtage (*angl.* grinding, *all.* vorschleifen) s'opère, comme il a été dit, sur des meules de grandeur variable, suivant la nature des objets à affûter. On emploie des meules d'un grand diamètre pour les pièces composées de faces planes, tandis qu'elles doivent être d'un très-faible diamètre pour les lames de rasoirs dont les faces sont concaves. La meule est ordinairement placée dans une cuve en tôle renfermant assez d'eau pour être toujours mouillée à sa circonférence, afin d'empêcher l'acier de s'échauffer au point de se détremper en partie.

L'affilage (*angl.* glazing, *all.* feinschleifen) se fait au moyen de meules en bois, quelquefois garnies à leur circonférence de cuir ou d'un anneau métallique formé d'un alliage d'étain et de plomb, et que l'on recouvre d'un mélange de suif et d'émeri de plus en plus fin.

Enfin, on donne le poli avec du rouge d'Angleterre ou colcothar, très-fin et fortement calciné, sur des meules en bois recouvertes de peau de buffle. La vitesse de ces meules est beaucoup moindre que celle des meules qui servent à l'affûtage et à l'affilage.

CRAIE (*angl.* chalk, *all.* kreide). Chaux carbonatée blanche, terreuse, très friable, dont la densité varie de 2, 4 à 2, 6. Elle se trouve en couches dans le terrain crétacé et renferme souvent des lits de silex en rognons. Elle renferme aussi quelquefois un peu de silice et d'oxyde de fer. Purifiée par une ou plusieurs lévigations successives, elle porte le nom de *blanc de Troyes*, *blanc de Meudon*. Ses nombreux emplois, sur lesquels nous reviendrons dans le courant de cet ouvrage, sont trop connus pour nous y arrêter ici.

CRAYONS (*angl.* pencils, *all.* bleistifte). On donne ce nom à de petites baguettes de plombagine ou graphite, que l'on renferme ordinairement dans des cylindres en bois, et qui servent à écrire et à dessiner.

Les meilleurs crayons de plombagine anglais se préparent, en débitant à la scie, en parallélipipèdes très minces, des masses de graphite très pur, préalablement chauffé en vases clos à une forte chaleur rouge. Ces crayons sont habituellement enchâssés dans des baguettes en bois de cèdre; depuis quelque temps on en taille beaucoup en petits cylindres assez courts qui se fixent dans des porte-crayons métalliques. Ces porte-crayons se composent d'un fil métallique dont l'extrémité repousse le crayon, retenu par le bout refendu du tube dont nous allons parler, qui fait ressort. Ce fil est soudé à une vis qui se termine par une baguette glissant dans un diaphragme placé dans l'intérieur du cylindre qui forme le corps du porte-crayon. Le crayon lui-même est recouvert sur la plus grande partie de sa longueur par un tube creux s'assemblant à vis sur un autre tube cylindrique qui pénètre à frottement dans le corps du porte-crayon et se termine par un écrou qui embrasse la vis dont nous avons parlé. Lorsqu'on veut écrire, on fait tourner l'une des parties du porte-crayon, l'autre restant fixe, et on fait ainsi avancer dans l'écrou la vis qui porte le fil métallique jusqu'à ce que la pointe du crayon vienne légèrement dépasser le tube qui l'enveloppe.

En 1795, notre compatriote *Conté* inventa un procédé très ingénieux pour fabriquer artificiellement des crayons de mine de plomb d'excellente qualité, lequel fut encore perfectionné par son gendre, M. *Humblot-Conté*.

Ce procédé consiste à mélanger le graphite pulvérisé, ou toute autre matière colorante convenable, avec de l'argile très pure complétement exempte de chaux et de sable; puis à chauffer le tout en vases clos à une chaleur rouge. L'argile a la propriété de se durcir, par l'action de la chaleur, en acquérant plus ou moins de compacité suivant que la température a été poussée plus ou moins loin, ce qui permet d'obtenir des crayons offrant tous les degrés de dureté et de mollesse désirables. L'argile est préparée par lévigation, puis séchée. On réduit le graphite en poudre ténue, dans un mortier en fonte, puis on le tasse dans un creuset que l'on recouvre de son couvercle et que l'on porte à une forte chaleur rouge cerise. Cette calcination a pour but de donner au graphite beaucoup de brillant et une grande mollesse. Le mélange de l'argile et du graphite se fait ordinairement à sec. La calcination du mélange doit s'opérer à une température d'autant plus basse, qu'il y a plus d'argile et que l'on veut obtenir des crayons plus mous. Les proportions les plus employées pour les crayons communs, sont de 2 ou 3 parties de graphite pour 1 partie d'argile; en les faisant varier, on peut obtenir des crayons présentant tous les degrés de dureté et toutes les nuances de couleurs désirables, avantage immense qu'offre ce mode de fabrication sur celui des crayons anglais, pour lesquels on doit se contenter d'employer le graphite tel que nous l'offre la nature. Les crayons de mine de plomb fabriqués par le procédé Conté ont en outre l'avantage pour le dessin, tout en étant aussi noirs, de présenter à un bien plus faible degré ce reflet métalloïde qui produit un effet si désagréable à l'œil. Néanmoins on peut leur donner ce brillant, en diminuant la proportion d'argile, et en donnant une dureté suffisante aux crayons par une forte calcination.

On s'assure que le graphite est assez finement pulvérisé, en y incorporant un peu d'argile, en prenant une faible quantité que l'on sèche et que l'on calcine, puis que l'on coupe avec un couteau, et examinant si la tranche présente un aspect parfaitement uniforme sans aucun point brillant; si l'on apercevait de petites paillettes de graphite, il faudrait encore continuer longtemps le broyage. Lorsque le graphite a enfin acquis un degré de ténuité suffisant, on y ajoute le reste de l'argile, et l'on incorpore le tout sur une table à molette en y ajoutant un peu d'eau, jusqu'à ce qu'on ait obtenu une bouillie claire parfaitement homogène, que l'on coule dans des moules ou rainures parallèles pratiquées dans des planches, préalablement bouillies dans de l'huile afin de détruire leur propriété hygrométrique, et que l'on recouvre ensuite avec d'autres planches en bois également bouillies dans de l'huile, que l'on serre contre les premières au moyen de machines à vis. L'air pénétrant peu à peu par les extrémités des rainures dessèche graduellement les crayons, qui se détachent à mesure des rainures par suite du retrait qu'ils éprouvent; on achève la dessicca-

CRAYONS.

tion à l'étuve, puis on sépare les planches, et on secoue les crayons sur une toile tendue sur un châssis.

Quelquefois on plante verticalement, sur le fond d'une caisse en tôle, une série de petites tiges en fer poli, de dimensions un peu plus fortes que celles des crayons que l'on veut obtenir, et on coule dans l'intervalle qu'elles laissent entre elles un alliage de plomb, étain, bismuth et antimoine, assez fusible. On retire ensuite les tiges de fer et on obtient ainsi une série de moules métalliques que l'on remplit avec la bouillie de graphite, puis que l'on fait sécher comme ci-dessus. Le retrait qu'éprouvent les crayons par la dessiccation permet de les retirer aisément; on les sèche ensuite à l'étuve.

Les crayons desséchés à l'étuve sont placés verticalement dans des creusets, dont on remplit ensuite les vides, en y saupoudrant du charbon pulvérisé, du sable fin ou des cendres de bois tamisées; on recouvre les creusets de leurs couvercles que l'on lute, et on les chauffe dans un fourneau, à une température déterminée par le degré de dureté que l'on veut obtenir, et que l'on règle à l'aide d'un pyromètre de Wedgwood. Cette température atteinte, on laisse les creusets se refroidir très lentement avant d'en retirer les mines.

Avant de renfermer dans des baguettes de bois, les mines destinées au tracé linéaire, on les chauffe légèrement et on les trempe dans de la cire fondue, opération qui leur donne une certaine douceur, et tend à diminuer l'usure de la pointe.

En ajoutant au mélange d'argile et de graphite, une certaine proportion de noir de fumée, on peut obtenir des crayons aussi noirs qu'on peut le désirer et qui sont surtout employés pour le dessin d'après nature.

Conté et Humblot ont découvert qu'on peut augmenter la dureté des crayons sans altérer leur qualité, en trempant les mines desséchées dans des dissolutions salines à divers degrés de concentration, puis les calcinant comme à l'ordinaire; ils recommandent de préférence le sulfate de soude.

On prépare, d'après Conté, les crayons les plus durs employés pour le dessin linéaire, avec un alliage composé de plomb, d'un peu d'antimoine et d'une très faible quantité de mercure.

Le travail de l'insertion de la mine de plomb dans un cylindre de bois est trop simple pour qu'il soit nécessaire d'en parler longuement. Il consiste à former ce cylindre de deux parties que l'on colle ensemble; dans la plus épaisse de ces parties se loge la mine de plomb, dans une rainure pratiquée en son milieu. Ce travail très simple se fait le plus souvent dans les campagnes, à un prix de revient extrêmement modique. Les laborieuses populations de la Bohême, qui produisent cette immense quantité de jouets d'enfants en bois, connus sous le nom de jouets de Nuremberg, fabriquent des quantités énormes de crayons communs. De grandes fabriques se sont montées dans ces contrées, parmi lesquelles se distingue celle si considérable de Faber.

On s'est proposé d'obtenir ce travail par procédé mécanique. Une machine montée par M. Roger, mécanicien, pour M. Desprez-Guyot, a résolu le problème complétement, et la production est rapide et économique.

Donnons-en une idée en quelques mots.

Les planches de cèdre sont refendues par des scies à l'épaisseur voulue, et d'une longueur correspondante à celle de 6 crayons. Des fraises de forme convenable enlèvent le bois sur toute la largeur de la planche, de manière à former des surfaces cylindriques. Une fraise placée de l'autre côté enlève sur les 2 planches la place que doivent occuper les mines; celles-ci, de forme circulaire, fabriquées de la longueur d'un crayon, sont répandues sur la planche au moyen d'une trémie et viennent se ranger dans les entailles. Auparavant les planches sont enduites de colle-forte destinée à les assembler, puis passent à travers une filière-presse qui les comprime. Au sortir de cette presse, les planches réunies rencontrent des couteaux qui divisent les crayons, en refendant les petites épaisseurs de bois qui les réunissent; enfin une scie n'opérant qu'à intervalles réguliers vient couper transversalement les crayons terminés à la longueur voulue.

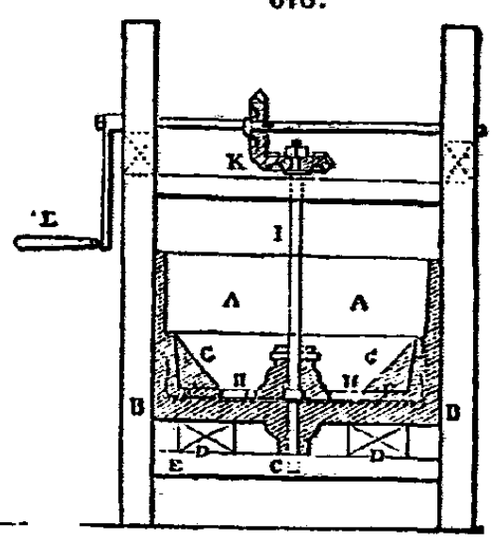
Il est aisé de comprendre qu'en répétant cette machine élémentaire un certain nombre de fois, il est facile d'obtenir à très bas prix, et par un procédé presque entièrement automatique, une production réellement illimitée.

Crayons à dessin, crayons au pastel (*angl.* crayons. *all.* pastellstifte). On donne ce nom à des crayons cylindriques ou carrés, courts et tendres, diversement colorés, dont on se sert pour dessiner.

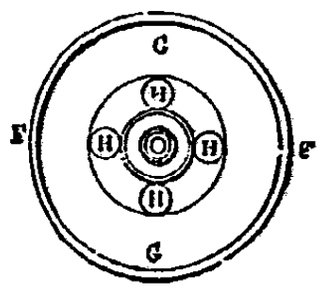
Les crayons noirs se font en mélangeant du noir de fumée très fin avec deux tiers environ d'argile, puis passant la pâte à la filière ou la comprimant dans des moules ayant la forme d'une pyramide quadrangulaire tronquée; on les cuit ensuite en vase clos, sans aucune préparation préliminaire, dans ce dernier cas, et après les avoir roulés sur un drap pour les lisser, dans le premier cas.

Le fourneau dans lequel s'opère la cuisson est représenté en coupe et en élévation dans les fig. 616 et 617. La partie essentielle de ce fourneau consiste en six tubes A, A, dont le diamètre dépend du degré de conductibilité pour la chaleur du mélange dont les crayons sont composés, et dans lesquels on introduit les crayons à cuire. On place en même temps dans ces tubes des tiges de fer carrées, qui les dépassent et servent à fixer à leurs extrémités deux plaques circulaires C D, percées de trous correspondants, et traversées en outre par un axe central suspendu sur des coussinets, de telle sorte que l'on puisse faire tourner tout l'ensemble du système, comme dans les tourne-broches usités dans nos cuisines, de manière à produire une cuisson aussi égale que possible.

618.



616. 617.



619.

Les crayons rouges, dits de *sanguine*, se préparent en débitant à la scie la sanguine (fer oxydé rouge compacte), si la dimension des morceaux le permet, ce qui est souvent difficile, ou en mêlant cette substance broyée à l'eau avec une certaine quantité de mucilage de gomme arabique, auquel on ajoute quelquefois un peu d'eau de savon.

Les crayons blancs s'obtiennent par le sciage de morceaux de craie blanche et de bonne qualité.

Les crayons au pastel sont ordinairement cylindriques; on les fabrique avec un mélange de terre de pipe bien fine et de matières colorantes convenables, que l'on moule et que l'on fait ensuite sécher. Les frères *Joël*, à Paris, qui sont renommés pour leurs pastels, les préparent avec un mélange de : 12 parties de terre de pipe, 12 p. de matière colorante (comme le bleu de Prusse, l'orpiment, la céruse, le vermillon, etc.) en poudre, 6 p. de gomme laque, 4 p. d'esprit-de-vin et 2 p. de térébenthine. L'argile, préalablement purifiée par lévigation et séchée, est reduite en poudre impalpable, puis mélangée avec la gomme-laque dissoute dans l'esprit-de-vin, la térébenthine et enfin la matière colorante. On remplit de ce mélange un cylindre creux en cuivre, de 5 centimètres de long sur 4 de diamètre, et fermé à l'un des bouts par une plaque percée de trous circulaires, dont le diamètre dépend de celui des crayons que l'on veut fabriquer. On chasse ensuite la pâte à travers les trous avec un piston, que l'on force à entrer dans le cylindre au moyen d'une forte presse, et on obtient ainsi des crayons passés à la filière, qu'il ne reste plus qu'à couper de longueur convenable et à sécher à une douce chaleur. Comme la qualité des crayons dépend entièrement de la finesse de leur pâte, il est très avantageux de broyer mécaniquement les couleurs et l'argile, ce qui se fait souvent au moyen du moulin représenté fig. 618 et 619 : la meule est en fonte et percée de trous H, par lesquels la couleur que l'on verse à l'état de bouillie liquide dans la cuve conique G, s'introduit au centre de la meule et sort, par l'effet de la force centrifuge, à la circonférence pour repasser de nouveau par les mêmes trous, jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment broyée. L'axe I de la meule est mis en mouvement par la manivelle L, au moyen d'un système de roues d'angles K.

CRÉOSOTE. C'est le plus important des cinq composés découverts par Reichenbach dans le goudron, et il doit son nom à la propriété anti-septique extrêmement développée qu'il possède. Des autres composés : la *paraffine*, l'*eupione*, le *picamar* et le *pittacall*, la première offre seule aussi de l'intérêt. On peut extraire la créosote soit du goudron végétal, soit de l'acide pyroligneux brut. Voici comment on opère pour la retirer du goudron végétal.

On distille le goudron en commençant seulement à recueillir le produit qui passe à la distillation, lorsqu'il a atteint une réaction fortement acide, et s'arrêtant dès que le goudron a pris la consistance de la poix et qu'il commence à se former dans l'allonge des nuages blanchâtres de paraffine. Le produit recueilli se sépare en trois couches de densités différentes ; la première et la dernière sont huileuses, et la couche intermédiaire est aqueuse. On décante les deux couches supérieures avec un syphon, et la dernière sert seule à la préparation de la créosote.

On sature cette liqueur huileuse avec du carbonate de potasse, on laisse déposer, puis après avoir décanté la masse huileuse qui surnage, on la soumet à la distillation. On rejette les premiers produits qui passent à la distillation et qui sont plus légers que l'eau : ils contiennent peu de créosote; on recueille l'huile pesante qui passe ensuite, on l'agite à plusieurs reprises avec de l'acide phosphorique étendu, pour séparer une petite quantité d'ammoniaque qu'elle renferme, puis on décante et on agite à plusieurs reprises avec de l'eau pure, en laissant reposer et décantant chaque fois, jusqu'à ce que la liqueur n'ait plus aucune réaction acide, enfin on la distille avec de l'eau et un peu d'acide sulfurique. Le produit ainsi obtenu est tout à fait incolore, et se compose de créosote renfermant encore un peu d'eupione. Pour le purifier, on y ajoute une dissolution de potasse d'une densité de 1,12, qui dissout la créosote tandis que l'eupione vient surnager à la surface, et peut être alors séparée par décantation ; on laisse ensuite reposer pendant quelque temps au contact de l'air la dissolution alcaline de créosote, qui se noircit alors par la décomposition de quelques matières étrangères qu'elle renfermait encore, puis, on sature l'alcali par de l'acide sulfurique; on décante la créosote qui s'est séparée du sulfate de potasse et on la distille de nouveau. On répète à plusieurs reprises ce traitement successif par la potasse et l'acide sulfurique, jusqu'à ce que la créosote ne brunisse plus au contact de l'air.

Pour retirer la créosote de l'acide pyro-ligneux, on sature ce dernier à la température de 75° avec du sulfate de soude effleuri ; il se forme à la surface de l'acide une couche huileuse que l'on décante et qu'on laisse reposer quelques jours, pendant lesquels il se sépare encore un peu d'acide pyro-ligneux ; on la sature ensuite à chaud avec du carbonate de potasse, puis on la distille avec de l'eau, et on purifie la créosote impure qui passe à la distillation, comme nous l'avons dit ci-dessus, avec de l'acide phosphorique, etc...

La créosote ainsi obtenue est un liquide oléagineux, d'une saveur brûlante et amère, qui possède une odeur particulière qui se rapproche de celle de la viande fortement fumée; sa pesanteur spécifique à 20° est de 1,037; elle n'a aucune réaction alcaline ou acide. Un froid de 27° au-dessous de zéro ne la congèle pas ; elle est assez volatile et bout sous la pression atmosphérique à la température de 203° ; enflammée au moyen d'une mèche de lampe, elle brûle avec une flamme fuligineuse.

En agitant à 15° de la créosote avec de l'eau, on obtient deux combinaisons de densité différente renfermant pour 1 partie de créosote, 10 et 400 p. d'eau. Elle se mélange en toutes proportions avec l'alcool, l'éther, le sulfure de carbone et les huiles volatiles. Elle dissout facilement l'iode et le phosphore, ainsi que le soufre à chaud, mais par le refroidissement ce dernier se sépare à l'état cristallin. Elle forme avec les alcalis et plusieurs autres bases des combinaisons que l'on ne peut guère regarder comme de véritables sels. Elle dissout nombre de résines, toutes les huiles et beaucoup de matières colorantes, même l'indigo. Elle coagule l'albumine; mêlée à de l'oxyde rouge de mercure, elle se convertit en une masse résineuse, tandis que le mercure est réduit à l'état métallique. Les acides sulfurique et nitrique concentrés la décomposent. Sa composition est représentée par la formule atomique $C^{18}\,H^{16}\,O^{2}$, qui correspond à deux volumes de vapeur.

La créosote est surtout remarquable par la propriété qu'elle possède de préserver complétement de la putréfaction les substances organiques. On plonge, pendant un quart d'heure environ, les substances à conserver dans une dissolution aqueuse de créosote très étendue, puis on les laisse égoutter et on les fait sécher à l'air libre. C'est sans contredit à la créosote qu'elle contient qu'on doit attribuer les propriétés anti-septiques de la fumée. On ne peut expliquer cette propriété par la coagulation de l'albumine, car celle-ci seule, et coagulée sans créosote, éprouve assez rapidement la fermentation putride. La créosote agit aussi très énergiquement sur l'économie vitale, et prise à l'intérieur elle joue le rôle d'un poison très violent. Placée sur la peau elle cause un picotement douloureux, et peut même l'altérer profondément lorsqu'elle est pure.

La créosote est très employée en médecine, surtout contre les maux de dents ; il faut avoir soin, dans ce dernier cas, de ne pas l'appliquer sur les gencives qu'elle dépouillerait au vif. Quoique ce soit un médicament précieux dans beaucoup de circonstances, ses propriétés médicales ont généralement été beaucoup trop exaltées.

CRÊPE (*angl.* crape, *all.* krepp, flor). Le crêpe est un tissu particulier qui se fait avec de la soie brute non décreusée. Teint en noir il est principalement employé pour toilettes de deuil. Le crêpe blanc sert à faire des voiles. Le crêpe a été inventé à Bologne. Actuellement il se fabrique surtout à Lyon en France, et à Norwich en Angleterre.

CREUSET (*angl.* crucibles, *all.* schmelztiegel). Les creusets sont des vases généralement destinés à contenir les corps auxquels on veut faire supporter une température élevée. On fait souvent des creusets métalliques, mais ici nous ne parlerons que des creusets argileux. Les creusets se divisent, suivant l'usage auquel on les destine, en des classes assez variées. La plus distincte est celle des creusets dits de plombagine, dont la pâte contient du graphite ; ils sont très bons, en ce sens, qu'ils supportent de très hautes températures sans se fondre, qu'ils ne cassent pas au feu, et enfin qu'ils résistent à l'action de beaucoup de corps. Comme le prix de revient de ces creusets est encore assez élevé, on remplace souvent le graphite par du coke grossièrement pulvérisé (voyez ACIER).

Parmi les creusets purement argileux, il en est qu'on peut rendre imperméables, tels sont ceux de porcelaine. Ces creusets cassent facilement au feu. Il en est d'autres, et c'est le plus grand nombre, pour lesquels on ne recherche pas cette qualité ; ceux-ci sont poreux, à pâte grossière, et résistent fort bien en général au changement de température.

Les creusets poreux se laissent pénétrer par l'air, ce qui importe peu, mais ils ont le grand inconvénient de se laisser aisément traverser par tous les sels en fusion. Ainsi le nitre et le sel marin en fusion passent au travers, mais il n'en est pas de même des métaux ou des produits qui ne fondent pas au feu. Dans ces derniers cas on emploie de préférence ces creusets, puisque ce sont ceux qui supportent les plus grands coups de feu et les changements de température les plus brusques, sans être fondus ou cassés. Les célèbres *creusets de Hesse* offrent le type des creusets poreux. D'après M. Berthier ils se composent de :

Silice.	0,709
Alumine.	0,248
Oxyde de fer.	0,033
Magnésie.	traces
	0,995

On les obtient au moyen d'une argile très alumineuse que l'on trouve aux environs d'Almerode, et à laquelle on mêle beaucoup de sable quarzeux. Ils sont très réfractaires et supportent bien des changements brusques de température ; mais la forte proportion de silice qu'ils renferment, fait qu'ils s'attaquent aisément par la litharge et les autres oxydes métalliques très fusibles. D'un autre côté, leur grain très grossier rend leur emploi peu commode dans beaucoup d'opérations où l'on tient à recueillir exactement les produits. Ils sont sonores, peu épais, évasés sous la forme triangulaire par le haut, et assez solides pour supporter facilement le transport. Les petits creusets de Hesse, chauffés au rouge, peuvent être jetés dans l'eau froide sans casser.

Les creusets de Beaufay, à Paris, contiennent, d'après M. Berthier :

Silice.	0,646
Alumine.	0,344
Oxyde de fer.	0,010
	1,000

Ils sont fabriqués avec un mélange d'argile crue d'Andennes, près Namur, simplement mélangée de ciment de la même argile sans addition de sable. On les endnit avant la cuisson d'une couche mince d'argile, pure et crue, qui rend leur surface plus lisse et plus unie. Ces creusets sont surtout remarquables, en ce que leur pâte étant très dense, ils peuvent néanmoins supporter des changements brusques de température. Leur composition indique, au reste, qu'ils sont très réfractaires, et l'expérience montre qu'ils le sont même plus que ceux de Hesse. Moins riches en silice que ces derniers, ils résistent mieux à l'action corrosive de la litharge en fusion.

La pâte des creusets est toujours formée d'un mélange d'argile crue et de ciment. Quelquefois le ciment est du coke grossièrement pulvérisé ou du sable ; mais le plus ordinairement il se compose d'argile cuite au rouge, puis pulvérisée. Le mélange se fait habituellement dans les proportions de 1 partie d'argile crue pour 3 p. d'argile calcinée, et s'opère soit à l'aide d'un moulin, soit le plus souvent en le faisant marcher. Le ciment a pour but de diminuer le retrait de la pâte, et de l'empêcher de se fendre tant pendant la dessiccation et la cuisson que lorsque les creusets éprouvent des changements brusques de température, ce qui est une des propriétés des pâtes poreuses.

Les petits creusets se fabriquent par moulage, de la même manière que ceux employés à la fabrication de l'ACIER *fondu* (voyez ce mot) ; les grands creusets, au contraire, tels que ceux de *verrerie* (voyez VERRE) se fabriquent à la main avec ou sans moule. Enfin on peut aussi couler les creusets dans des moules en plâtre par le procédé indiqué par M. Cameron. Pour cela on délaie de l'argile crue dans de l'eau, de manière à former une bouillie claire qu'on passe au travers d'un tamis de soie ; on laisse déposer pendant quelques heures, on décante l'eau surnageante, on ajoute alors au résidu 7 parties de sable ou de ciment fin pour 17 d'argile. La bouillie argileuse étant ainsi préparée, on en remplit les moules de plâtre, préalablement parfaitement desséchés ; au bout d'une demi-heure on décante la portion liquide ; on laisse un peu sécher la couche qui s'est attachée au moule, puis on emplit et on décante une seconde fois, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on ait obtenu une épaisseur convenable. Si les moules sont faits de deux pièces, on les sépare pour enlever les creusets dès que ceux-ci ont pris une consistance suffisante. On fait ensuite sécher complétement les moules avant de s'en servir de nouveau. Enfin on forme quelquefois avec la pâte argileuse des cylindres pleins, qu'on fore ensuite, lorsqu'ils ont pris assez de consistance, à l'aide d'une mèche ou d'une cuillère de forme convenable.

Lorsque les creusets ont été séchés autant que possible par l'exposition à l'air, on les fait cuire dans un four à poteries ; on évite en général de les chauffer au point de vitrifier un peu leur surface, parce qu'ils deviennent alors plus cassants ; il suffit qu'ils aient pris assez de consistance pour supporter les transports quand on ne les emploie pas sur les lieux. Ils achèvent de se cuire dans l'opération même à laquelle ils sont destinés.

Les creusets compactes peuvent être réfractaires et imperméables, mais ils sont toujours sujets à se casser lorsqu'on les laisse refroidir. On les prépare soit au moyen d'un ciment très fin d'argile apyre, quand on veut qu'ils soient réfractaires, soit en se servant d'une argile un peu fusible et poussant la cuisson jusqu'au point où la terre éprouve un commencement de vitrification.

Creusets brasqués. Comme toutes les substances oxydées agissent chimiquement sur les creusets, et qu'en outre un grand nombre de métaux et de leurs composés adhèrent fortement à leurs parois et sont même susceptibles de les traverser par voie de capillarité, on a imaginé depuis longtemps de remplacer ces creusets, dans la plupart des essais docimastiques, par des creusets formés en forant une cavité dans des morceaux de

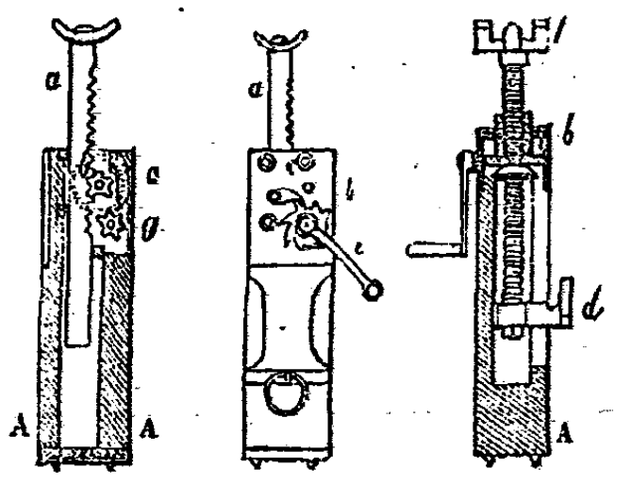
charbon bien sains qu'on plaçait dans des creusets en terre, et qui ne présentaient pas les mêmes inconvénients. La difficulté de se procurer des morceaux de charbon entièrement exempts de fissures a fait ensuite remplacer les creusets de charbon par des *creusets brasqués ;* ce sont des creusets de terre dont les parois intérieures sont garnies d'une couche de charbon. On peut les considérer comme des creusets de charbon munis extérieurement d'une enveloppe d'argile réfractaire ; ils sont solides, toujours exempts de gerçures, faciles à préparer, et ils jouissent des mêmes propriétés que les creusets de charbon massif sans en avoir les inconvénients.

Pour brasquer les creusets, on se sert de charbon de bois trié, on le pile, on le passe au tamis de soie, et l'on humecte la poussière avec de l'eau, en l'agitant avec une spatule et la pétrissant entre les doigts jusqu'à ce qu'elle ait acquis assez de consistance pour se pelotonner, sans cependant être assez humide pour adhérer à la main. On mouille le creuset à brasquer en le plongeant dans l'eau et le retirant presque aussitôt ; on y met l'épaisseur de 1 à 2 centimètres de brasque, puis on tasse très fortement cette brasque, en tenant le creuset de la main gauche, appuyé sur un sol résistant, et frappant la brasque de la main droite avec un pilon en bois, d'abord à petits coups, puis à coups redoublés, jusqu'à ce que la poudre de charbon ait acquis toute la consistance qu'elle est susceptible de prendre. Sur cette couche ainsi tassée on en met une autre, que l'on tasse de la même manière, et ainsi de suite jusqu'à ce que le creuset soit entièrement rempli, en ayant grand soin de rendre la brasque aussi dure que possible, surtout près des parois du creuset. Pour que les différentes couches de brasque adhèrent entre elles, et ne forment qu'une masse homogène, il est nécessaire de rayer en divers sens la surface de chaque couche tassée, avec la pointe d'un couteau, avant de mettre par dessus une nouvelle couche de charbon. Quand le creuset est entièrement rempli, on creuse dans la masse de brasque une cavité conique, de même forme à peu près que le creuset, avec un couteau pointu à lame mince, en commençant par le centre, puis élargissant et approfondissant successivement et symétriquement la cavité. Celle-ci étant achevée, on en polit les parois en les frottant fortement avec un tube de verre arrondi, que l'on tient bien serré dans la main droite. Cette précaution est nécessaire, pour que les grenailles métalliques qui se produisent dans les essais ne soient pas retenues par les aspérités de la brasque, et puissent se réunir en un seul culot, en obéissant librement à l'action de la pesanteur. Lorsqu'un creuset brasqué est bien préparé, les parois de la cavité sont lisses et luisantes comme si elles avaient été dressées au tour. Ordinairement, on laisse au fond des creusets 10^{mm} environ d'épaisseur de brasque et 3 à 4^{mm} sur les parois ; mais dans certains cas, comme par exemple lorsque la matière que l'on a à fondre est susceptible de s'infiltrer dans le charbon et d'agir sur les creusets de terre comme fondant, on donne à la brasque une beaucoup plus grande épaisseur, surtout sur les parois.

Lorsque les creusets brasqués sont préparés avec soin, on peut les conserver pendant longtemps avant de s'en servir, surtout si on les place dans un lieu humide et si on a soin de les couvrir.

CRIC (*angl.* jack, *all.* wagenwinde). Le cric est une machine dont on se sert pour élever des poids considérables.

Les fig. 620 et 621 représentent le cric simple ordinaire, le plus répandu ; il consiste en une pièce de bois d'environ 75 centimètres de long, sur 25 centimètres de largeur et 15 cent. d'épaisseur ; il présente dans sa longueur une entaille carrée dans laquelle est adaptée une barre de fer *a*, dentelée en forme de crémaillère, terminée par une double griffe en croissant à son extrémité supérieure ; un petit pignon s'engage dans les dents de cette barre de fer, et est supporté par des bandes de fer qui sont solidement fixées par des vis à chaque côté de la pièce de bois. Une extrémité de l'axe du pignon sort à travers la pièce de bois, et porte une manivelle qui fait tourner le pignon, et par suite, monter et descendre la crémaillère *a*. La griffe placée au bout de la crémaillère soulève alors le poids sous lequel on l'a placée. Afin d'empêcher le poids du fardeau de faire retomber le pignon, la manivelle est retenue par un rochet adapté sur la partie extérieure du bloc de bois dans lequel est la crémaillère.



620. 621. 622.

Quand on a besoin d'une plus grande puissance que celle que peut produire ce cric ordinaire, on fait usage d'une combinaison de roues dentées, comme on le voit dans la fig. 620 : A A, est le bloc en bois, que l'on fait dans ce cas assez large pour recevoir la roue dentée *c*, qui est fixée au pignon *b*, lequel engrène dans les dents de la crémaillère.

g est un second pignon composé de 6 dents qui agissent sur la roue *b*, et l'axe de ce pignon sort par le côté du bloc de manière à ce que la manivelle puisse y être fixée. Le bloc A A, est partagé en deux ; et l'entaille pour placer la roue *g*, ainsi que le pignon *c*, est pratiquée dans une des moitiés du bloc ; l'autre moitié est unie et supporte les autres pivots de la roue et des pignons. Ces deux moitiés sont jointes ensemble par de forts liens ou frettes, attachées à l'extérieur. La crémaillère porte souvent à sa partie inférieure une griffe recourbée, qui se projette de côté par une ouverture ou une entaille pratiquée dans la moitié de la face du bloc. Cette griffe peut être placée sous une pierre posée presqu'à la surface du terrain, et qui, par conséquent, ne peut recevoir d'action de la part de la griffe, placée en haut de la crémaillère. Pour empêcher le fer de descendre quand il est chargé d'un poids, le petit rochet *o* s'engage dans ses dents, mais s'en dégage en montant ; quand il ne faut plus retenir le poids on peut le faire tourner à la main.

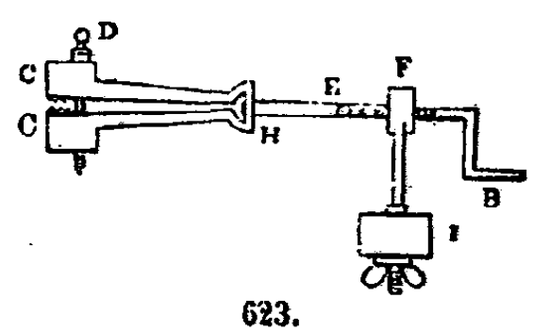
La fig. 622 représente un cric à vis. Le bloc de bois A A est percé dans presque toute sa hauteur, et dans une assez grande largeur pour permettre à la vis de se mouvoir en haut et en bas sans toucher. La vis passe au travers d'un écrou *b* qui est fixé dans le haut du bloc A ; en faisant tourner la vis, on la fait monter dans l'écrou, et on élève la griffe *f*. Cette griffe est fixée au haut de la vis par un collet arrondi qui permet à la vis de tourner sans faire tourner la griffe *f*. La griffe inférieure *d* est adaptée comme dans le cric précédent au bas de la vis. Quatre pointes courtes, mais solides, fixées au bas de la pièce de bois AA, servent à l'empêcher de glisser lorsqu'elle s'appuie sur un sol résistant. La vis est terminée en bas par une tige carrée sur

laquelle est montée une roue dentée qui engrène avec une vis sans fin, mue par une manivelle qui met tout le système en mouvement ; la roue dentée n'étant pas calée sur l'axe carré de la vis n'en suit pas le mouvement ascendant ou descendant.

On donne aussi le nom de *cric à vis* à un appareil destiné à assujettir fortement, au moyen d'une chaîne qui les entoure, les ballots chargés sur une voiture. Deux forts écrous sont adaptés au moyen de crochets, aux chaînons extrêmes, qu'il s'agit de réunir pour serrer convenablement la chaîne sur les ballots. On fait entrer dans ces deux écrous les extrémités de deux vis, réunies par une pièce de fer carrée, qui forme ainsi le milieu de l'appareil. L'une de ces vis a son pas à droite, l'autre l'a à gauche. En faisant tourner la pièce de fer carrée, au moyen d'un petit levier dont le bout s'insère dans des trous qui y sont pratiqués, on rapproche les deux écrous l'un de l'autre, et l'on serre d'autant la chaîne qui enveloppe les ballots.

CRIN (*angl.* hair, *all.* haar). Les crins que l'on trouve dans le commerce sont plats ou frisés ; ces derniers, qui sont très courts, sont tordus de manière à former une corde que l'on fait bouillir dans de l'eau, pour leur donner une forme tortillée et une certaine élasticité ; on s'en sert pour bourrer des matelas, etc. Les crins longs sont tissés et servent à la fabrication des tamis, de la crinoline, à recouvrir des meubles, etc. Dans ce dernier cas on teint souvent le crin de la manière suivante : on prend 20^{k} de crin de la queue d'un cheval, de 0^{m},60 à 0^{m},70 de longueur, et on les laisse macérer pendant 12 heures dans de l'eau de chaux. On prépare une teinture de 12^{k} de bois de campêche, par une ébullition de 3 heures de temps ; on retire le feu, on ajoute au bain 625 grammes de sulfate de fer, et après avoir agité pour effectuer le mélange, on y plonge le crin préalablement bien lavé à l'eau courante au sortir du lait de chaux. Au bout de 24 heures, l'opération est terminée.

Le métier à tisser le crin diffère des métiers ordinaires par le temple et la navette. Au lieu de temple on se sert de deux pinces à vis en fer pour tenir l'étoffe également et légèrement tendue. Ces pinces dont l'une est représentée fig. 623, consistent en deux mâchoires C, C,



623.

garnies de dents sur leur surface intérieure, que l'on serre au moyen d'une vis D. La pince est montée en H sur une vis E, qui se termine par une manivelle B et passe dans un écrou F placé à l'extrémité d'un boulon à vis qui traverse le montant latéral I du métier. Au moyen de ces deux mouvements rectangulaires, il est facile de donner aux pinces telle position que l'on désire. La chaîne du tissu se fait en fil noir, la trame seule est en crin. Pour introduire le crin entre les fils de la chaîne, on se sert d'une navette particulière, qui se compose d'une longue règle en bois de buis ou tout autre bois dur, dont la longueur est de près de 1^{m}, la largeur 20 à 30^{mm} et l'épaisseur 4^{mm}, et qui se termine à l'une de ses extrémités par un fuseau en acier et un crochet. L'ouvrier passe d'abord la navette entre les fils et en la retirant y laisse un crin qu'un enfant a accroché à l'extrémité de la navette. Les crins sont placés en botte près de l'enfant, dans un baquet plein d'eau, ce qui leur donne la flexibilité nécessaire Chaque fois que l'on a passé un crin, on frappe deux fois de suite le battant. La chaîne est enduite comme à l'ordinaire avec un parement d'amidon. Enfin on donne à l'étoffe de crin le lustre nécessaire par le calandrage.

CRISTAL. Voyez VERRE.

CRISTALLISATION. Quand un liquide est saturé de substances solubles, si l'on diminue la quantité du liquide soit par évaporation au moyen de la chaleur, soit par évaporation spontanée, à l'air libre comme dans les marais salants, le corps dissous se dépose, en proportion de l'eau évaporée au-delà du point de saturation, l'eau seule disparaissant à l'état de vapeur (bien entendu que nous ne parlons ici que des corps solides dissous dans l'eau).

Pendant cette action d'évaporation et surtout quand on laisse refroidir le liquide dont le point de saturation s'est élevé par l'effet de la chaleur, les corps dissous se déposent lentement et cristallisent.

C'est sur ce procédé que reposent les épurations de tous les produits chimiques de la nature des sels. Si la dissolution contient plusieurs substances inégalement solubles, celles-ci se déposant à des époques différentes seront ainsi séparées. Toutefois, les cristaux obtenus par une première cristallisation, sont toujours imprégnés des eaux-mères tant à la surface qu'entre les lamelles cristallines, indépendamment de quelques cristaux de substances plus solubles qui ont pu se déposer. En redissolvant ces cristaux dans une faible proportion d'eau pure, pour obtenir une nouvelle cristallisation, l'eau-mère très soluble et répartie dans une plus grande masse, ne pourra plus avoir d'effet sensible, et les substances plus solubles resteront dans les nouvelles eaux-mères. Par plusieurs cristallisations successives, on peut obtenir des produits parfaitement purs, bien que provenant de matériaux dans lesquels ils étaient mélangés avec un grand nombre d'autres substances.

CROISEMENT DES RACES ET DES ESPÈCES (amélioration des animaux domestiques). On appelle *croisement* l'accouplement de deux individus appartenant à des *espèces* ou à des *races* différentes. Le premier de ces croisements ne peut avoir lieu qu'entre des espèces ayant entre elles de très grandes ressemblances : ainsi on fait reproduire ensemble l'âne avec la jument, le canard de Barbarie avec la cane ordinaire, etc. Ce croisement donne naissance à des produits infécondes appelés *mulets*.

Nous nous occuperons surtout du *croisement* des races ou du *métissage*, car ces mots sont considérés comme synonymes, bien que quelques auteurs aient cru devoir réserver le mot métissage pour désigner le croisement des races ovines.

Des deux races que l'on croise, l'une est appelée *race croisante*, c'est la race *régénératrice*, celle qu'on introduit dans le pays ; et l'autre, *race croisée*, race à *régénérer*, c'est celle que l'on veut améliorer. Chacune de ces deux races est dite *pur sang*, *race pure*, *animaux de pure race*, par opposition aux produits qui résultent de leur mélange et qui reçoivent les noms de *demi-sang*, de *trois quarts de sang*, selon le nombre de fois que les types sont entrés dans le croisement. Le *demi-sang* provient de deux reproducteurs pur sang : le poulain issu d'une jument normande et d'un cheval de course est un demi-sang ; le *trois quarts de sang* est le fruit d'un individu *pur sang* et d'un *demi-sang* : une pouliche anglo-normande demi-sang, saillie par un étalon pur sang, donnerait un trois quarts de sang. En suivant toujours le croisement dans le même sens, on obtiendrait des *sept huitièmes*, des *quinze seizièmes de sang*, etc. Les mots *croisés*, *métis* sont souvent employés pour désigner les produits d'un croisement, d'un métissage. Quand on veut indiquer le degré de sang que contiennent les produits, on dit *premier croisé*, ou *premier métis*, *deuxième croisé* ou *deuxième métis*, etc. : le

deuxième métis ou deuxième croisé correspond au trois quarts de sang. Ces dénominations ne font connaître que le degré de croisement. On ajoute les noms des races pour indiquer la nature des produits : le demi-sang *dishley merinos* est le produit du croisement de la race Dishley avec la race mérine.

Dans les croisements plus avancés, on répète le nom de la race qui est entrée le plus souvent dans la génération. Ainsi on dirait *métis anglo-normand trois quarts de sang anglais* pour désigner un poulain issu d'une jument anglo-normande demi-sang et d'un cheval pur sang anglais. De même, un *trois quarts de sang*, ou *deuxième croisé*, ou *deuxième métis mérinos*, est un produit qui a un quart de sang de la race indigène et trois quarts de la race mérine. Le trois quarts de sang correspond au *quarteron* mulâtre, qui n'a qu'un quart de sang de la race nègre.

Quand on a obtenu les modifications que l'on désire dans le croisement des races, il arrive qu'on fait reproduire les métis par eux-mêmes. Il faut bien distinguer les produits ainsi obtenus par l'accouplement des métis entre eux, et portés à la deuxième, à la troisième génération des produits du deuxième, du troisième croisement. On néglige trop souvent de faire cette distinction. Aussi est-il très difficile d'apprécier, d'après les narrations publiées, les résultats obtenus par les innombrables croisements qui s'opèrent en France et d'en déduire des règles capables de guider le praticien.

UTILITÉ, AVANTAGES DES CROISEMENTS. Etant admis, et bien reconnu du reste, que les qualités comme les défauts se transmettent par la génération, on comprend aisément que le croisement des races doit être d'un grand secours pour l'amélioration des animaux. Beaucoup de personnes croient même que ce moyen seul peut communiquer à nos bœufs, à nos chevaux, toutes les qualités qui distinguent les races bovines, chevalines étrangères les plus perfectionnées : on a essayé de l'appliquer dans toutes nos provinces, et pour produire toutes les améliorations qu'on aurait voulu réaliser.

D'un autre côté, rien ne paraît d'une application plus aisée que ce moyen d'amélioration, puisqu'il suffit, pour le pratiquer, de rechercher quelques bons reproducteurs et d'*en croiser les animaux du pays*. Sans aucune étude préparatoire, chacun a cru pouvoir y avoir recours. Souvent on a échoué; c'était inévitable.

Le croisement des races peut rendre de grands services, et son emploi n'exige pas ces connaissances variées et profondes sur les sciences naturelles que nécessite l'amélioration d'une race par le régime, par les appareillements, le dressage, etc.; mais encore est-il nécessaire de savoir dans quels cas il peut être utile et d'après quelles règles il faut le pratiquer.

Le croisement sera utile pour modifier les caractères qui ne dépendent pas directement de la nourriture ni du climat, et pour produire des améliorations qui tiennent aux formes de certaines régions ou à quelques qualités particulières : ainsi il suffit de bien diriger un croisement pendant deux, trois, quatre générations, pour relever la croupe avalée de nos chevaux communs, pour corriger le chanfrein busqué de notre race normande, pour élargir la poitrine de nos bœufs et de nos porcs, pour communiquer au chien ordinaire l'aptitude à chasser, pour adoucir la laine de nos anciennes races ovines, pour accroître les qualités lactifères de nos vaches, pour changer la couleur des cocons du ver à soie, etc.; tandis que, en ne cherchant à produire ces modifications que par le régime, par le dressage et les appareillements entre mâles et femelles de la même race, on n'obtiendrait des résultats sensibles que par des travaux séculaires et des combinaisons souvent difficiles. Et encore combien d'essais resteraient infructueux! et, dans tous les cas, combien faudrait-il de connaissances et d'active persévérance pour les mener à bonne fin!

Mais ce serait en vain qu'on compterait sur le croisement pour élever la taille, augmenter le poids des animaux. En croisant une petite race avec une race plus forte, on n'a jamais obtenu que des produits inférieurs à la race indigène pure. Les races sont toujours, par leur taille, en rapport avec les ressources alimentaires des contrées où elles se trouvent; on ne saurait les agrandir sans augmenter ces ressources. Et d'ailleurs, les produits d'un mâle de forte race avec une femelle plus petite sont souvent mal conformés, et toujours d'un entretien plus dispendieux : ils ne trouvent pas, pendant le jeune âge, un lait assez abondant dans le pis de la mère, ni plus tard, assez d'herbe dans les pâturages.

Sans un régime meilleur, il n'est donc pas possible de développer la taille des animaux. Et ce moyen seul a produit des résultats avantageux sur les chevaux comme sur les bœufs, dans le Bourbonnais et la Bretagne, comme dans la Lorraine et le Nivernais; partout enfin où on a pu le mettre en usage, soit à cause de la fécondité naturelle du sol, soit par suite de l'emploi de la chaux ou de la pratique du marnage.

Cependant la distribution d'une nourriture plus copieuse ne saurait produire de grands résultats qu'après un temps assez long, car les races anciennes ont des caractères fixes, sont difficiles à changer. Le croisement peut alors être utile pour hâter le développement du corps; mais il ne saurait être qu'un moyen secondaire : c'est quand, par des améliorations, on s'est mis à même de mieux nourrir le cheptel, qu'on peut croiser, avec avantage, une petite race par une plus grande, en ayant soin toutefois d'éviter les fortes disproportions de taille entre les deux races, ainsi que nous le recommanderons en parlant des règles du croisement.

Le croisement peut encore être utile pour détruire certaines dispositions aux maladies fort anciennes sur les animaux du pays, et quelquefois incurables par les moyens ordinaires de la médecine. Ces dispositions *tiennent à la constitution, à la forme des organes*, et l'influence d'un sang étranger peut seule les faire cesser.

Les éleveurs de la Normandie ont fait disparaître le cornage, jadis si commun sur leurs chevaux, en donnant à leurs juments l'étalon anglais; par des croisements bien entendus, nous pouvons combattre la fluxion périodique des yeux, si nuisible à quelques éleveurs de chevaux; détruire, dans les bêtes à cornes, la disposition à contracter des maladies graves de la poitrine; faire disparaître le tournis et les affections nerveuses qui attaquent plus particulièrement le mérinos, etc. Il suffit souvent de donner aux femelles d'une ferme des mâles de la même race, mais tirés d'une ferme placée dans d'autres conditions hygiéniques, pour prévenir le retour d'enzooties ruineuses.

Buffon, Bourgelat ont cru même que le croisement est nécessaire pour entretenir les espèces domestiques dans la plénitude de leurs qualités et même de leur santé. « On a pensé avec raison, disent-ils, que le bon et le beau « de tous les êtres animés était répandu par parcelles « sur la surface du globe, et l'on a vu que la portion « de beauté, dans chaque climat, dégénérait toujours, « à moins qu'on ne la réunît avec une autre portion « prise au loin. De là on a reconnu, chez tous les « peuples de la terre, la nécessité absolue de mêler *les* « *races* et de les renouveler souvent par des races « étrangères. » Faisant l'application de leur système au cheval, ils ajoutent : « Il faut venir de toute

« nécessité au secours de la nature qui se dégraderait « à l'infini, et donner à nos cavales des étalons étran- « gers et à nos chevaux, s'il est possible, des juments « étrangères. »

En faveur de cette opinion, on invoque la dégénération des belles races domestiques qu'on importe pour améliorer les races indigènes; on invoque également l'abâtardissement de l'espèce humaine dans les contrées pauvres et isolées, où les familles peu nombreuses se reproduisent sans alliances étrangères, et l'état florissant des populations dans les localités où le commerce entretient un mélange continuel entre différents peuples.

Nous ferons d'abord remarquer que le crétinisme des populations isolées peut très bien s'expliquer par l'influence de la misère, de la consanguinité et de la disposition géologique des lieux; et ensuite que beaucoup de races domestiques s'entretiennent et s'améliorent même sans croisements, quand on leur donne les soins convenables. La conclusion pratique qui découle des faits observés, ce n'est donc pas la nécessité de croiser sans cesse les races pour les maintenir en santé, c'est de mélanger soigneusement les familles pour éviter les conséquences de la consanguinité, et de n'entreprendre des croisements que lorsqu'on est convaincu que les produits trouveront dans le pays les conditions nécessaires à leur conservation.

Pour démontrer que les espèces organisées, abandonnées à elles-mêmes, tendent toujours à dégénérer, on a rappelé aussi la nécessité où l'on est de renouveler sans cesse les semences pour certaines récoltes. C'est vrai; mais notons que les plantes dont la dégénérescence est plus rapide que celle des animaux, parce que, fixées au sol, elles sont complétement soumises aux influences climatériques, ne perdent cependant leurs qualités que si elles sont cultivées dans des circonstances différentes de celles dans lesquelles ont pris naissance les variétés auxquelles elles appartiennent; ce qui confirme encore nos conclusions sur l'importance de choisir des races qui trouvent dans le pays des conditions favorables à leur conservation et à leur complet développement.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur les avantages des croisements : améliorer rapidement les animaux, importer les qualités des races étrangères sans faire des dépenses considérables, créer des races nouvelles plus parfaites même que les races améliorantes, en réunissant aux qualités des animaux indigènes celles des races étrangères, l'aptitude au travail de nos bœufs aux formes de la race Durham, la laine fine de nos moutons à la précocité des moutons anglais, l'ampleur de nos chevaux à la vigueur du cheval de course, la taille de nos porcs à l'épaisseur des races porcines perfectionnées; enfin obtenir des métis, si l'on pousse assez loin les croisements, qui réunissent à toutes les qualités du type améliorateur la faculté de résister au climat.

Ajoutons : par le croisement des espèces seulement on peut produire le *mulet*, si précieux comme bête de somme pour les pays chauds, et des *oiseaux*, des *poissons*, des huîtres, etc., aussi remarquables par la quantité que par les qualités de la viande.

RÈGLES DU CROISEMENT DES RACES. Nous ne parlerons pas ici de l'importance de bien déterminer les améliorations que les animaux du pays sont susceptibles d'acquérir, ni de la nécessité de choisir une race régénératrice dont les qualités soient compatibles avec les conditions hygiéniques, avec les ressources du pays. Vouloir introduire, même pour les croiser, de forts moutons précoces sur les landes de la Sologne ou du Berry, des chevaux carrossiers sur les pelouses du Cantal ou les landes des Basses-Pyrénées, des chevaux légers dans les marais de la Vendée ou dans les fermes de la Flandre pour les nourrir avec le foin du pays,

c'est s'exposer à des mécomptes à peu près certains.

1° Nous donnons comme première condition de succès, la nécessité de *bien approprier les deux races croisées*.

On ne devra jamais, quand on tiendra à avoir des animaux à formes régulières, bien proportionnées, chercher à réunir deux races qui diffèrent beaucoup l'une de l'autre par l'ensemble de la conformation : on ne croisera pas le cheval arabe ou le cheval de course avec la grosse jument cauchoise, ou flamande, ou bretonne, propre au gros trait. C'est à tort qu'on a dit : Le cheval noble, anglais ou arabe, donne d'excellents produits avec *toutes* nos poulinières, avec les plus massives. Les fauteurs de cette doctrine, professée depuis longues années, ont fait beaucoup de mal à nos éleveurs; ils sont cause qu'on a rempli quelques-unes de nos provinces d'animaux décousus, sans valeur, à jambes grêles, à tête lourde, à croupe charnue.

Toutefois l'accouplement d'un cheval fin avec une grosse jument serait moins irrationnel que celui d'un fort cheval avec une jument légère. Ce croisement, contraire aux règles de l'appareillement des individus comme à celles du croisement des races, donnerait des produits mal conformés, à côte resserrée, à poitrine étroite, à flanc long; il arriverait même souvent que les mères mettraient bas avec difficulté et qu'elles ne pourraient pas ensuite allaiter convenablement leurs produits.

Ce serait en vain que, pour transformer nos fortes races chevalines en races légères, nous essayerions de les allier à des races sveltes; que nous voudrions donner du corps et de la taille à nos petites races par l'emploi de types améliorateurs de forte stature; nous n'obtiendrions dans les deux cas, et surtout dans le dernier, que des produits manqués.

Mais on pourra réunir les contrastes lorsque les différences, quoique considérables, seront locales. Il ne peut y avoir qu'avantage à obtenir alors des produits intermédiaires. Un étalon à encolure trop courte ne peut qu'améliorer les produits d'une jument qui a la même région trop longue. Il ne saurait y avoir aucun inconvénient, quant à la conformation des produits, à donner à nos vaches flamandes, dont la poitrine est étroite, le taureau Durham, dont la côte est ronde et le poitrail bien ouvert; le cheval arabe ou anglais, à tête carrée, à chanfrein épais, ne peut que produire un excellent effet sur la race normande, à tête longue et à chanfrein busqué. En un mot, toutes les fois que l'on voudra corriger les formes d'une région du corps, il faut chercher à croiser des individus qui contrastent par la conformation de cette région.

On ne craindra pas non plus d'allier des races différant beaucoup par la constitution et le tempérament. A des juments molles, sans énergie, il ne peut qu'être avantageux de donner des étalons vifs, pleins d'ardeur; un taureau ne saurait trop avoir les caractères des races laitières, si du reste il réunissait les autres qualités qu'on désire dans la race qu'on veut améliorer.

Il ne pourrait y avoir des inconvénients à pratiquer ces croisements, que si le tempérament, la constitution, les qualités de la race améliorée ne convenaient pas au pays. Il serait irrationnel de donner une race précoce, molle, d'un engraissement prompt, à des vaches dont les produits devraient être entretenus sous des climats rigoureux, prendre leur nourriture sur des terres peu fertiles et être utilisés pendant longtemps comme animaux de travail.

Dans l'espèce chevaline, où l'on tient surtout à la régularité des formes, il faut opérer graduellement la transformation des races communes. C'est le seul moyen de tenter l'amélioration de ces races sans s'exposer à des pertes plus ou moins considérables.

Ainsi pour nos forts chevaux de la Vendée, de la

CROISEMENT.

Bretagne, de la Flandre, de la Franche-Comté, cherchons d'abord par de bons appareillements et par des soins judicieux à créer des individus plus légers, moins communs que la race du pays. Il se trouve dans toutes nos races des sujets un peu plus parfaits qui peuvent être utilement employés pour imprimer un commencement d'amélioration. Quand nous aurons rendu les formes plus dégagées, créé des juments moins massives, nous aurons recours aux étalons des bons herbages de la Normandie, de la plaine de Chartres ou des herbages du Perche.

Après avoir obtenu, par ces moyens préliminaires, des juments à épaules longues et obliques, à croupe horizontale, on pourrait utiliser avec sécurité les bons étalons carrossiers quart de sang ou demi-sang anglais, en donnant la préférence à ceux qui ressembleraient assez aux femelles, pour qu'on n'ait pas à craindre des produits décousus.

Cette marche lente, la plus convenable pour l'espèce chevaline, a rarement été suivie. En voulant arriver au but du premier coup, on a trop souvent créé des chevaux sans valeur, tantôt restés à la charge des producteurs, tantôt admis dans la cavalerie, où ils ont été signalés pour leur conformation défectueuse et leur mauvais service.

Une fois que des essais d'amélioration par croisement ont été commencés, il est de l'intérêt des éleveurs de les continuer, lors même que les premiers résultats laisseraient à désirer, si le croisement est rationnel, si l'on a lieu d'espérer que les métis seront d'un entretien facile et se vendront plus avantageusement que les individus de la race indigène. Nous voudrions prémunir contre les conséquences d'un premier essai peu avantageux. Nous avons souvent vu renoncer, dans les croisements, à la race régénératice que l'on avait choisie, au moment où l'emploi en aurait été avantageux, pour revenir aux animaux pur sang du pays, ou pour prendre une autre race étrangère.

Des métisses, quoique défectueuses, couvertes par des mâles de la race améliorante, donnent des produits qui leur sont supérieurs, d'abord parce qu'il y a moins de différence entre les reproducteurs, qu'ils sont mieux appareillés, puisque les mâles et les femelles ont du même sang; ensuite parce que les individus métis, n'ayant pas en général une grande aptitude à transmettre leurs caractères aux descendants, influent peu sur les produits de la conception. Les qualités de la race régénératrice se gravent mieux dans les produits au deuxième, au troisième croisement qu'au premier.

Dans tous les croisements, on ne doit pas cependant revenir à chaque génération à la race croisante. Il peut être préférable de faire reproduire les métis du deuxième, du troisième degré, rarement du premier, par eux-mêmes, pendant une ou deux générations. On fixe ainsi les caractères de la race, qui se forme tout en la surveillant et en lui imprimant la faculté de résister aux influences du climat; car il y a trois choses à craindre dans les opérations par métissage : le retour vers les défauts de la race indigène, l'inaptitude des métis à supporter le climat, et quelquefois la ressemblance trop grande de ces métis avec le type améliorateur.

Dans certains cas, il ne suffit pas d'arrêter le croisement en faisant reproduire les métis sur eux-mêmes; il peut être utile de leur imprimer une marche rétrograde vers la race qu'on améliore. C'est ainsi que dans le croisement de nos chevaux avec les chevaux de race, il est quelquefois nécessaire de donner à des juments métisses, dans lesquelles certains caractères du cheval de course, la légèreté par exemple, sont trop marqués, des mâles de la race commune ou d'un degré de métissage moins avancé qu'elles-mêmes.

Ces croisements alternatifs de tout temps pratiqués, mais bien souvent sans méthode, peuvent être utilement mis en usage, car presque toujours on désire s'approprier certains caractères des reproducteurs qu'on importe et en éviter d'autres. C'est en alternant et en choisissant bien les reproducteurs, qu'on peut arriver à s'approprier les qualités d'une race et à éviter ses défauts.

Ainsi, en croisant les brebis mérinos et le bélier Dishley, nous pouvons arriver à une race intermédiaire qui se rapprocherait de la souche maternelle par la finesse de son laînage et sa toison fermée, et de la race paternelle par les formes, la précocité, l'aptitude à prendre la graisse et la longueur de la laine. Mais il serait difficile d'arriver directement au but : il faut bien étudier, suivre les croisés, et empêcher la race de prendre d'une manière trop prononcée le caractère de l'un des types primitifs, en employant soit un Dishley, soit un mérinos ou un métis, qui se rapprocherait beaucoup de l'une ou de l'autre de ces races, selon que les nouveaux produits tendraient à se rapprocher trop fortement du type à laine longue ou du type à laine courte. De même, dans la race chevaline, on peut s'approprier l'énergie, la force, certaines formes du cheval de course, sans perdre le corsage qui distingue nos races; dans l'espèce bovine, on peut emprunter à la race Durham ses formes, sa précocité, sans perdre l'agilité, l'aptitude au travail, ou l'activité des mamelles que possèdent quelques races françaises.

La nécessité de bien appareiller les reproducteurs est moins rigoureuse dans le croisement des espèces. Quand on veut produire des mulets, on recherche même les juments qui diffèrent le plus des ânes par leur conformation. La jument à corps massif, à croupe charnue, à cuisses épaisses, à garrot élevé, à pieds amples, est celle qui convient le mieux. Ses formes neutralisent, dans le produit, celles de l'âne, dont le corps est léger, la croupe étroite, la cuisse mince, le pied resserré et le garrot bas. Mais il arrive constamment que le mulet, si remarquable par ses qualités, sa force, sa sobriété, présente, dans sa conformation, des défectuosités que nous ne souffririons pas dans le cheval.

2° Comme deuxième règle du croisement des races, nous plaçons l'*importation des mâles préférablement aux femelles*. Dans l'espèce chevaline, par exemple, un étalon peut donner par an de vingt-cinq à quarante poulains, tandis qu'il faudrait de quarante à soixante juments pour produire le même résultat; car parmi les femelles livrées au mâle, plusieurs ne sont pas fécondées, d'autres avortent ou donnent naissance à des poulains morts, ou mal conformés, ou trop faibles pour être élevés. Ces accidents sont même plus fréquents sur les femelles nouvellement importées que sur celles du pays.

A l'économie produite par l'achat d'un étalon, au lieu de cinquante ou de soixante juments, il faut ajouter celle qui résulte du voyage, qui est d'une grande importance si les reproducteurs sont tirés d'un pays éloigné.

Il faut noter aussi que les femelles herbivores employées à la reproduction sont plus difficiles à acclimater que les mâles. Pendant la gestation et l'allaitement, elles réclament le pâturage et sont plus fortement influencées par le climat, que les étalons tenus à l'écurie et soumis à un régime convenable. En outre, l'état de plénitude, la mise bas, l'allaitement, le sevrage, occasionnent des indispositions plus ou moins graves qui rendent les femelles plus sensibles à l'influence des agents atmosphériques.

Mais c'est en nous fondant surtout sur des considérations économiques que nous disons : Il ne convient pas d'importer des femelles pour croiser les races du pays. Car nous sommes loin de contester l'influence exercée par les mères sur le produit de la conception,

sur l'amélioration des races. Cette influence peut varier et varie beaucoup sans doute; mais elle n'en est pas moins très puissante : c'est parce que nous la croyons telle, que nous avons si fortement recommandé d'améliorer les juments des races communes avant de les livrer à des étalons de race distinguée.

Nous n'avons pas à rechercher ici dans quel cas il y aurait avantage à importer une race nouvelle, c'est-à-dire des mâles et des femelles pour les faire reproduire ensemble. Nous traitons la question du croisement et nous disons : Même dans l'espèce chevaline, malgré les défauts de nos juments, qui opposent un grand obstacle à l'amélioration de nos races, il faut s'en tenir à l'introduction des mâles. Du reste, des essais se font, et depuis longtemps, dans différents départements : des juments percheronnes sont importées dans l'Alsace, la Lorraine, la Franche-Comté, où quelques-unes, bien placées, ont donné de bons produits; mais il n'en est pas moins vrai que, proportionnellement aux sommes qu'on y a consacrées, elles sont bien loin d'avoir exercé, sur l'amélioration des races indigènes, l'influence qu'ont eue les mâles importés en même temps.

3° Est-il nécessaire de tirer les types reproducteurs du Midi plutôt que du Nord? Beaucoup d'hippiatres l'ont conseillé, et à l'appui de leur opinion ils ont rappelé que des étalons danois, anglais, mecklembourgeois, introduits en France, n'avaient donné que de mauvais résultats. A ces faits nous pourrions en ajouter d'autres, et rapporter qu'on a employé sans succès des étalons de la Normandie, de l'Angleterre, dans le Limousin, la Navarre, l'Auvergne, etc. Mais avant de déduire de ces faits une règle générale, nous devons voir s'il ne serait pas possible de leur opposer des faits d'un autre genre. Nous trouverions que si le mérinos, venu d'Espagne, a parfaitement réussi en France, si des étalons importés des pays chauds ont donné quelquefois de bons produits avec nos juments, d'autres fois leur emploi a complétement échoué. Et les faits de ce genre que nous pourrions citer sont nombreux, car bien souvent la France a demandé des types améliorateurs à l'Espagne, à la Barbarie, à l'Arabie, à l'Égypte, sans avoir pu cependant former race. Et d'un autre côté, les importations du Nord n'ont pas toujours été sans résultats utiles : de nos jours, les produits remarquables issus de mâles tirés de l'Angleterre ne sont pas rares en France pour l'espèce chevaline comme pour celle du porc, du bœuf et du mouton.

On ne saurait cependant méconnaître que les hommes et les animaux domestiques souffrent plus de se rapprocher des zones torrides que de s'avancer vers le Nord. Cela peut provenir de ce qu'il est plus facile de se préserver du froid que de la chaleur. Mais pour les animaux herbivores, cela tient aussi à une autre cause, à la différence de fertilité des herbages, à l'abondance relative des fourrages, si l'on compare les contrées tempérées aux contrées chaudes. Il est très naturel que le cheval navarrais ou auvergnat réussisse mieux dans la Normandie que l'étalon de la plaine de Caen dans les bruyères des Basses-Pyrénées ou sur les pelouses du Cantal; que le cheval africain, petit et sobre, réussisse mieux dans le midi de la France que le cheval anglais, grand et habitué à un régime succulent.

Cette considération mérite une grande attention, soit qu'on veuille importer des mâles et des femelles pour les croiser avec les femelles et les mâles du pays, soit qu'on les importe pour les faire reproduire ensemble et multiplier la race étrangère à l'état de pureté.

C'est de la nourriture surtout que dépend le succès de l'introduction des herbivores et la possibilité de les acclimater. S'il importe peu quand on achète des animaux de savoir s'ils viennent du Nord ou du Midi, il est d'un grand intérêt, au contraire, de savoir s'ils ont été habitués à une nourriture meilleure et plus abondante que celle qui est destinée à leurs descendants. Nous formulerons donc la troisième règle du croisement des races, en disant qu'*on ne doit pas tirer les types améliorateurs d'une contrée où on nourrit mieux les animaux que là où on veut les introduire.*

4° La quatrième règle du croisement se rapporte à la *fixité de la race qu'on importe.* Les types améliorateurs doivent autant que possible appartenir à une race *ancienne*, bien formée, dont les individus se reproduisent depuis plusieurs générations sans éprouver des changements.

La ressemblance n'est jamais parfaite entre les reproducteurs et leurs descendants. Les caractères d'une race se montrent, disparaissent selon des circonstances qu'il est quelquefois fort difficile d'expliquer et de prévoir; mais les dissemblances entre le père et les enfants sont rarement considérables dans les races anciennes, fixes, bien constituées. Dans ces races, les diverses parties du corps, bien disposées les unes par rapport aux autres, sont dans une dépendance réciproque, se soutiennent, se nécessitent et passent, sans grandes modifications, des générateurs aux produits engendrés.

Il n'en est pas de même dans une race qui se forme. Les dissemblances entre les pères et les enfants sont fréquentes et souvent considérables. Même en se reproduisant entre eux et dans les pays où ils sont nés, les métis *jouent* ordinairement beaucoup, donnent des produits qui, souvent, leur ressemblent peu. Comment transmettraient-ils leurs caractères, leurs formes, leur tempérament, leurs qualités, quand ils se reproduisent sous un climat étranger et avec des individus d'une race ancienne et acclimatée? Car presque constamment, les races indigènes qu'on veut améliorer, formées lentement et d'une manière spontanée par l'influence persévérante du climat, sont anciennes, fixes, invariables.

Quand on croise des races, deux causes tendent à détruire les caractères particuliers de la race importée : 1° le sol, les fourrages, l'air, auxquels les individus étrangers ne sont pas habitués; 2° la race indigène par la puissance qu'elle a de se perpétuer sous le climat où elle s'est formée.

Dans un croisement, on ne saurait donc trop rechercher les types améliorateurs parmi les races anciennes bien fixées, tandis que l'on donnera au contraire la préférence aux produits de la race indigène qui sont les moins fixes, qui appartiennent aux variétés de la plus récente formation.

5° *Ne pas chercher à corriger deux défauts à la fois* est encore une condition indispensable pour arriver avec certitude à un résultat utile. Si dans l'amélioration du mouton, par exemple, on veut en même temps rendre les toisons tassées, la laine fine et les formes du corps carrées, on trouvera difficilement un bélier qui réunisse toutes les qualités nécessaires pour ce triple résultat; et si on voulait obtenir successivement ces diverses améliorations, le perfectionnement du laînage à une génération et la régularité des formes à la suivante, on risquerait de perdre une fois les résultats qu'on aurait obtenus l'autre. C'est quand on a fixé une qualité, qu'on doit chercher à en réaliser une autre.

FIXITÉ DES MÉTIS. En principe, les métis ne doivent pas être employés dans le croisement des races; accouplés avec des femelles de race pure, ils ont peu de puissance pour transmettre leurs caractères. Mais en se reproduisant entre eux, conservent-ils les qualités qu'ils possèdent?

Ils les conservent pendant un temps qui varie selon le degré de métissage auquel ils sont parvenus, se-

lon les circonstances dans lesquelles ils sont placés, et la ressemblance qu'il y a entre les deux races croisées. Si les métis mérinos dégénèrent, surtout lorsqu'ils sont peu avancés, dans quelques cantons de l'Ouest et du Nord, où l'air est humide et où on les fait reproduire avec des races à laine longue et droite, ils se conservent indéfiniment dans les cantons de la Brie, de la Beauce, où les agents hygiéniques sont plus favorables à la finesse du lainage. Nous avons même des troupeaux de métis qui se sont améliorés par eux-mêmes, et ils peuvent tous s'améliorer quand les animaux sont parvenus au troisième, au quatrième degré de sang mérinos, si l'on a soin de choisir, pour la reproduction, des mâles qui présentent le cachet espagnol et d'exclure les individus, même les femelles, qui ont une certaine tendance à se rapprocher des anciennes races indigènes. Si le mérinos a été croisé avec une race à laine frisée, un peu fine, à toison formée, un seul croisement améliore, et même pour un temps fort long, la race du pays.

Les mêmes effets s'observent pour le cheval. Les hippologues ont bien cherché à prouver, par des considérations théoriques, qu'une race métisse abandonnée à elle-même dégénère rapidement en France. Mais nous demanderons : la race du cheval de course *importée pure* et abandonnée à elle-même dans les herbages les plus favorables à son existence, se conserverait-elle ? La race la plus pure de l'Arabie se conserverait-elle, et se conserverait-elle même dans les déserts où elle s'est formée, si on cessait de lui donner les soins minutieux qui l'ont produite et que l'Arabe ne néglige jamais? Et d'un autre côté, est-ce que des chevaux anglo-normands parvenus au troisième ou au quatrième métissage, dégénéreraient si on les tenait dans des loges bien chaudes, bien aérées, bien propres, qu'on les nourrit avec du foin de première qualité, de l'avoine pesant 50 kil. l'hectolitre, qu'on les tint sans cesse sous de bonnes couvertures de laine, qu'on ne les fît promener que bien couverts et ayant les membres entourés de flanelle, et enfin qu'on eût soin de n'employer à la reproduction que des individus offrant les caractères du type améliorateur?

Évidemment des métis ainsi soignés conserveraient toutes leurs qualités et en acquerraient de nouvelles, tandis que des individus pur sang de la race arabe ou de la race anglaise, abandonnés à eux-mêmes, dégénéreraient.

Donc, si dans les circonstances ordinaires, les améliorations qui résultent du croisement ne se conservent pas, il ne faut pas attribuer la dégénération à la *soixante-quatrième* ou à la *trente-deuxième*, ni même à la *seizième* partie de sang indigène que les métis ont conservé dans leurs veines, mais à l'influence du climat et au manque de soins.

Du reste, la discussion ne peut porter que sur les améliorations qui tiennent à des qualités soumises à l'influence du climat, à la constitution, au tempérament des animaux; celles qui sont moins dépendantes de l'action de l'air et du sol, comme la forme particulière de certaines régions du corps, se conservent plus facilement.

Des exemples nombreux, dans toutes les espèces, prouvent qu'il suffit même de croiser une ou deux fois une race pour lui communiquer certains caractères constants. Il a suffi d'importer, il y a quelques siècles, des étalons danois dans la Normandie, pour donner aux chevaux de la province un chanfrein busqué que nous avons de la peine à corriger. Dans toutes les provinces où on élève des chevaux de selle, ne se trouve-t-il pas des familles de ces animaux portant les caractères de quelque étalon oriental employé jadis dans le pays? De même, nous trouvons dans la Limagne d'Auvergne, dans l'Anjou, dans la Meuse, des bêtes à cornes conservant des indices du taureau suisse, importé il y a plus de cinquante ans.

Enfin, nous pourrions citer l'espèce porcine, qui présente, dans presque tous nos départements, des traces des races étrangères introduites dans quelques établissements publics et particuliers depuis une trentaine d'années. Il a suffi d'importer un verrat des races du Hampshire, du Berckshire, de la race américaine et des petites races à courtes jambes de la mer du Sud, pour donner plus d'ampleur à la poitrine, plus d'épaisseur aux lombes et pour raccourcir les membres; seulement ces changements tendent à disparaître, et d'autant plus vite, que les porcs qui les présentent sont plus soumis au régime pastoral dans les montagnes, les bois, les châtaigneraies, où l'exercice développe les organes locomoteurs.

Et si dans les circonstances ordinaires, la dégénération est, en général, rapide, faut-il s'en étonner quand on voit que les éleveurs ne cherchent pas même à faire reproduire les métis entre eux, qu'ils les donnent à des individus pur sang de la race indigène? Tout tend alors, le climat, le manque de soins, l'oubli des règles de l'appareillement, à les faire dégénérer.

Nous avons insisté sur cette question, parce qu'elle n'est pas seulement importante au point de vue de la science, de l'histoire naturelle, mais qu'elle intéresse la pratique des croisements, l'économie rurale; car si le croisement ne pouvait pas former race, il serait bon de le savoir. Si au contraire, comme nous le pensons, il est démontré que par métissage on peut espérer de communiquer à des races des qualités pouvant se perpétuer sans avoir recours à des importations indéfinies, nous pouvons agir avec plus de confiance, et utiliser plus souvent ce précieux moyen d'accroître une des principales branches de la richesse nationale.

H. MAGNE

CROWNGLAS. Voyez VERRE.

CUIRS (*angl.* leather, *all.* leder). Voyez TANNAGE.

CUIRS VERNIS. L'industrie des cuirs vernis existe à peine en France depuis une quinzaine d'années; mais elle n'a pas tardé à se créer une belle place par la beauté de ses produits, leurs bonnes qualités, l'importance de sa consommation et le succès toujours croissant de ses opérations. Dans ces derniers temps, surtout, le nombre des fabriques a considérablement augmenté.

Le cuir verni a donc un succès assuré, durable, et dont il est facile de se rendre compte en considérant les diverses, nombreuses et fort importantes applications.

Pour la chaussure des femmes et même pour celle des hommes, qui ne comprend tout l'avantage d'une chaussure que le vernis rend imperméable, qui demeure toujours propre et brillante, et qui, loin d'être usée plus vite, reçoit de son vernis des conditions et des garanties de durée?

S'agit-il de la sellerie, de la carrosserie? les cuirs vernis s'y appliquent sous toutes les formes, et rien ne saurait les remplacer. Les cuirs souples, les cuirs roides trouvent également leur emploi dans cette industrie, qui réclame du fabricant de cuirs vernis des objets assez divers pour rendre nécessaires, de sa part, des efforts continuels et une intelligence très active.

Enfin, si l'on considère ses applications dans la confection des coiffures militaires ou autres, on voit encore le cuir verni jouer, dans ces occasions, un rôle qu'aucune autre substance ne saurait s'approprier.

Le cuir verni possède des qualités qui justifient un tel succès. Il est brillant, toujours propre, car un simple lavage suffit pour le nettoyer. Il est imperméable à l'eau; quand il est bien préparé, on peut le froisser, le plier, sans que le vernis se détache ou s'écaille. Le cuir verni dure plus longtemps, et conserve bien mieux sa fraîcheur que le cuir ordinaire.

Mais tous ces résultats ne sont vrais qu'autant qu'il

est question d'un cuir d'excellente qualité. Si le vernis en est mal préparé, s'il est mal appliqué, le cuir vernis devient alors une production très médiocre. Il s'écaille aisément, se gerce, se déchire, et bientôt les objets qui en sont fabriqués sont hors de service.

D'abord inférieurs aux cuirs étrangers, nos cuirs vernis s'exportent aujourd'hui en grande quantité sur tous les marchés du monde.

Le vernissage des cuirs comprend deux opérations distinctes :

1° L'apprêtage de la peau;
2° Le *vernissage* proprement dit.

L'opération de l'apprêtage a pour but de boucher tous les pores de la peau et de l'unir par des ponçages successifs, afin d'y faire, comme on dit, *un fonds*, et de la mettre en état de recevoir le vernis.

Dans le vernissage, on cherche à obtenir une couche moelleuse, souple, brillante, et d'un éclat durable, que le frottement ne puisse altérer.

La composition des apprêts et celle du vernis doit, par cela même, être différente.

Dans les apprêts, on incorpore des matières pulvérulentes, qui puissent former mastic dans les pores de la peau, comme le blanc de Meudon, les ocres, le noir de fumée.

Dans le vernis, au contraire, il ne faut aucune matière qui puisse en altérer la transparence et l'éclat.

La base des apprêts comme des vernis est l'huile de lin rendue siccative par des oxydes et des sels métalliques, et amenée à la consistance sirupeuse par une cuisson prolongée.

Composition des apprêts, pour un hectolitre d'huile de lin :

10 kilogr. de blanc de plomb;
10 kilogr. de litharge.

Faire cuire jusqu'à consistance sirupeuse.

Cet apprêt ainsi préparé, mélangé soit avec des ocres soit avec de la craie, suivant la finesse de la peau à *garnir*, est étendu avec une râclette en acier sur la *fleur* ou sur la *chair*, suivant les besoins de la fabrication.

Après trois couches successives, données à des intervalles de plusieurs jours, pour que chaque couche ait le temps de sécher, on fait un *ponçage* ou *poli*, en frottant la peau avec une pierre ponce, puis on donne encore plusieurs couches d'apprêt de manière à ce que la peau soit garnie bien également; on ponce de nouveau, et l'on répète ces deux opérations jusqu'à ce que le *fonds* soit bien uni, sans former une couche trop épaisse, et soit cependant suffisant pour empêcher l'infiltration dans la peau, des glacis et vernis subséquents. On conçoit, en effet, que si les matières huileuses pénétraient trop avant dans les tubes capillaires qui composent le tissu cellulaire du cuir, elles s'y durciraient sous l'influence de la chaleur et les transformeraient, pour ainsi dire, en une foule de petits bâtons cassants. Il faut que les matières huileuses qui forment la base des apprêts et vernis pénètrent suffisamment dans les pores de la peau pour y adhérer; mais qu'on arrive le plus tôt possible à les retenir à sa surface, et faire en sorte qu'ils s'y glacent en couches minces et liantes. C'est là le principe essentiel qui doit diriger le fabricant dans toutes ses opérations.

L'apprêtage ainsi terminé, on donne avec un pinceau fin, dit *queue de morue*, quatre à cinq couches de l'apprêt ci-dessus, mais sans mélange de matières terreuses; on le colore avec du noir d'ivoire broyé très fin, et on le délaye avec de l'essence de térébenthine, pour en faciliter l'application en couches extrêmement minces. Cette opération a pour but de faire un fonds bien noir et bien glacé, liant et souple, pour recevoir le vernis.

Chacune de ces couches est séchée à l'étuve : les peaux y sont suspendues par des baguettes de cornouiller, comme cela se pratique dans le corroyage.

Quand ces couches sont bien sèches on donne un dernier *ponçage* avec un tampon de laine et de la ponce réduite en poudre impalpable.

C'est alors que l'on procède au vernissage.

Le vernis est composé d'huile d'apprêt préparée comme ci-dessus, de vernis gras au copal, de bitume de Judée, de bleu de Prusse ou de noir d'ivoire broyés à l'huile de lin siccative coupée d'essence de térébenthine :

40, 00 kilogr. huile d'apprêt;
0, 50 — bitume de Judée;
5, 00 — vernis gras au copal;
40, 00 — essence de térébenthine.

On fait cuire d'abord l'apprêt et le bitume, on y ajoute ensuite le vernis, puis enfin l'essence, en ayant soin de remuer fortement.

On peut remplacer le bitume par la même quantité de bleu de Prusse ou de noir d'ivoire.

On met le vernis à déposer dans un endroit chaud pendant 15 jours à 3 semaines avant de pouvoir en faire usage.

On doit prendre les plus grandes précautions pendant et après le vernissage des peaux pour les préserver contre la poussière. On peut les suspendre dans l'étuve, ou bien les mettre à plat clouées sur des cadres, le vernis en dessous, ou bien les placer à plat dans des tiroirs qui s'ouvrent en dehors de l'étuve.

La température des étuves varie de 45° à 60° Réaumur, suivant la nature des peaux et des vernis.

Les procédés qui précèdent sont ceux en usage pour toutes les peaux en général dans la plus grande partie des fabriques. Dans quelques-unes, cependant, on suit des procédés d'origine anglaise dont voici la description succincte :

Les étuves sont à tiroir, c'est-à-dire qu'elles sont disposées de façon que des tables puissent s'y superposer, par étages, en glissant sur des coulisseaux garnis de galets. Des devantures mobiles ferment chacun des compartiments de ces étuves.

Sur ces tables, préalablement garnies de couvertures de laine fortes et moelleuses, que l'on revêt de papier pour éviter de les tacher, on cloue les cuirs que l'on veut vernir, puis on y applique, avec la râclette, 3 couches d'apprêt, on enlève les aspérités avec la pierre-ponce, sans déclouer la peau, ou comme on dit, en terme du métier, *on coupe le bouton* après chaque couche.

On applique ensuite, avec la paume de la main, 6 à 7 couches successives de vernis sans essence, en ayant soin de *couper le bouton* à chaque couche.

Par ce procédé les couches sont beaucoup plus épaisses, et les cuirs ainsi vernis sont d'un glacis plus beau que par le vernissage ordinaire à la *queue de morue*; mais cet avantage est compensé par un inconvénient grave, c'est que le vernis est plus sujet à s'écailler et à se peler.

Il est essentiel, pour que le vernissage des peaux réussisse bien, que le tannage et le corroyage du cuir aient été faits avec le plus grand soin; que le dégras soit de bonne qualité, qu'il ait été réparti sur la peau d'une manière uniforme et pas en trop grande quantité. L'excès de dégras empêche les premiers apprêts de sécher, et après le vernissage, la peau ne tarde pas à se ternir et à se couvrir d'une espèce de nuage graisseux.

Chaque fabricant a ses procédés particuliers qu'il tient secrets pour la composition des apprêts et des vernis.

Les uns ajoutent à la litharge qu'ils emploient en plus ou moins grande quantité, des os de sèche, de l'ail.

du sulfate de zinc, du minium, de la céruse, de l'oxyde de manganèse, ou d'autres oxydes ou sels métalliques, suivant leur caprice. Il y a des recettes pour la composition et la cuisson des huiles qui sont d'une complication vraiment bizarre. De même pour la coloration en noir des vernis, quelques fabricants emploient exclusivement le bitume, d'autres y ajoutent du bleu de Prusse ou du noir d'ivoire.

Le bitume de Judée donne un reflet rouge au vernis, le bleu de Prusse lui donne un reflet verdâtre. Le noir d'ivoire serait, sans contredit, la substance la plus convenable; mais il a l'inconvénient, quelque finement qu'il soit broyé, de se déposer presque tout entier si le vernis reste trop longtemps sans être employé. Si, au contraire, on l'emploie trop tôt, on obtient, il est vrai, un très beau noir, mais il y a un sablé très fin qui paraît dans le fond et nuit à l'éclat du vernis; aussi, comme il est très difficile d'arriver juste au point convenable, la plupart des fabricants ont-ils renoncé à l'emploi du noir d'ivoire.

On comprend, du reste, qu'il est nécessaire de faire varier et le nombre de couches et la consistance des apprêts et des vernis, suivant la nature des peaux et l'usage auquel elles sont destinées.

Il y a même des cas où, avant d'appliquer les apprêts sur la peau (quand il s'agit de vernir sur *chair*) on l'encolle. Cette opération consiste à mouiller, au moyen d'une brosse dure, la face interne de la peau qu'on appelle *la chair*, avec une dissolution plus ou moins concentrée de colle de peau de lapin. On cloue ensuite la peau ainsi humectée sur des planches et on les met sécher à une température assez élevée pour que la dessiccation se fasse rapidement. Les peaux ainsi préparées sont bien serrées et moins sujettes à se laisser percer par les apprêts; avant d'y appliquer ceux-ci, il est nécessaire d'enlever la première surface de l'encollage et de *la chair* avec de la poussière de grès et une pierre-ponce. Sans cette précaution les apprêts ne se lieraient pas bien à la peau.

La presque totalité des cuirs vernis sont noirs : cependant on fabrique aussi des cuirs vernis de couleur, mais ce dernier produit n'est jusqu'ici qu'une industrie fort bornée. Il y a, dans les cuirs vernis de couleur, un ton lourd qui contraste d'une manière désagréable avec la transparence et les brillants reflets du cuir verni noir.

P. MABRUN.

CUIVRE (*angl.* copper, *all.* kupfer). Le cuivre est un des métaux les plus anciennement connus; il a une couleur d'un brun-rouge éclatant, légèrement teinté de jaune et caractéristique. Il est doué d'une odeur et d'une saveur faibles, mais très désagréables. La plupart de ses combinaisons sont vénéneuses. Sa densité varie de 8,8 à 8,9. Il est plus dur que l'or et que l'argent, peu sonore. Il est très ductile, se laisse battre au marteau en feuilles extrêmement minces, et étirer à la filière en fils très fins. Après le fer c'est le plus tenace des métaux : il exige pour se rompre un effort de 34^k par millimètre carré de section. De 0° à 100°, sa dilatation linéaire est de 1/582 de sa longueur primitive. Il fond à 27° du pyromètre de Wedgwood. Chauffé plus fortement il produit des vapeurs qui donnent à la flamme une belle couleur verte. L'intensité de cette couleur pourrait faire croire qu'il est très volatil, mais il ne l'est réellement que très peu, car M. Berthier en ayant fait chauffer un poids déterminé dans un creuset brasqué, dans le four à porcelaine de Sèvres, et l'y ayant laissé pendant toute la cuite, n'a trouvé tout au plus que 1/2 p. 100 de perte.

Le cuivre ne s'altère pas aux températures ordinaires dans l'air sec, mais au contact de l'air humide il se recouvre d'une pellicule de *vert-de-gris*, qui paraît être un hydro-carbonate de deutoxyde. Chauffé au contact de l'air il se recouvre d'une couche de protoxyde qui s'en détache par le choc. Si l'on chauffe jusqu'à fusion, l'oxydation se produit beaucoup plus rapidement; le cuivre fondu s'imbibe d'une partie du protoxyde dont il se recouvre; il perd alors une partie de sa ductilité, et son grain devient rouge et terne. On lui rend ses qualités premières en le faisant fondre au contact du charbon. Le protoxyde, lorsqu'il n'est pas en contact avec du cuivre métallique, absorbe une nouvelle quantité d'oxygène par le grillage et se convertit en deutoxyde. Le cuivre ne décompose l'eau à aucune température, même en présence des acides. L'acide sulfurique ne l'attaque que lorsqu'il est concentré et bouillant, il y a dégagement d'acide sulfureux et il se forme du sulfate de deutoxyde. L'acide hydrochlorique concentré attaque le cuivre, mais seulement lorsqu'il est très divisé, tel qu'on l'obtient, par exemple, en le précipitant d'une de ses dissolutions par du fer métallique. L'acide nitrique et l'eau régale le dissolvent aisément. Lorsque l'on tient pendant un certain temps du cuivre en fusion au contact du charbon, il s'y combine un peu de carbone, ce qui le rend aigre. Le soufre, le phosphore et l'arsenic se combinent directement à l'aide de la chaleur avec le cuivre. Une très petite quantité de phosphore rend le cuivre extrêmement dur et propre à faire des instruments tranchants. Il absorbe le chlore gazeux et le brôme avec production de chaleur et de lumière.

Le cuivre s'allie aisément avec tous les métaux, excepté le fer et le plomb, plusieurs de ses alliages ont une grande importance dans les arts. Les principaux sont : les BRONZES, alliages de cuivre et d'étain; les LAITONS, alliages de cuivre et de zinc; et l'*argentan* ou MAILLECHORT, alliage triple de cuivre, de nickel et de zinc.

Les *oxydes de cuivre* sont facilement réduits par l'hydrogène, le carbone, le soufre, les substances organiques, et par plusieurs métaux, entre autres le fer et le zinc.

Le *protoxyde de cuivre* est d'un rouge de foie; il fond au blanc. Chauffé au contact de l'air il absorbe de l'oxygène et se convertit en deutoxyde. C'est une base faible que la plupart des acides décomposent en cuivre métallique et en deutoxyde. L'acide hydrochlorique le dissout sans le décomposer. L'ammoniaque le dissout également en donnant une dissolution incolore. Il forme un hydrate de couleur orangée. Il est composé de :

Cuivre. . . .	0,8878	Cu^2O.
Oxygène. . .	0,1122	

Le *deutoxyde de cuivre* est noir, très hygrométrique. Il supporte une très forte chaleur sans se fondre ni se décomposer. Il est soluble dans le carbonate d'ammoniaque, et dans l'ammoniaque caustique au contact de l'acide carbonique, en donnant des dissolutions d'un beau bleu de ciel. C'est une base assez puissante. On le prépare en calcinant le nitrate de cuivre. Il est composé de :

Cuivre. . . .	0,7983	CuO
Oxygène. . .	0,2027	

Son hydrate est d'un bleu clair.

Le *peroxyde de cuivre* s'obtient, suivant M. Thénard, en traitant par l'eau oxygénée du deutoxyde de cuivre très divisé. Il est d'un jaune légèrement olivâtre, et se change en deutoxyde avec dégagement d'oxygène quand on le traite par les acides. Il est composé de :

Cuivre . . .	0,6643	CuO^2.
Oxygène. . .	0,3357	

Il y a des *sels de cuivre* à base de protoxyde et à base de deutoxyde. Tous ceux qui sont solubles sont très vénéneux. L'hydrogène sulfuré et les hydrosulfates en précipitent le cuivre à l'état de sulfure d'un brun-marron insoluble dans un excès d'hydrosulfate. Beaucoup de métaux, entre autres le fer, le zinc et le plomb, en

précipitent le cuivre à l'état métallique, sous forme de paillettes d'un beau rouge.

Les *sels de protoxyde* sont peu stables. Les sels insolubles sont blancs, bruns ou orangés, ils se dissolvent dans l'ammoniaque en donnant des dissolutions incolores. Les sels solubles sont incolores; ils sont précipités en orangé par les alcalis et leurs carbonates et en blanc par le prussiate jaune de potasse et les phosphates alcalins.

Les *sels de deutoxyde* sont généralement bleus ou verts. Les sels insolubles se dissolvent dans l'ammoniaque et son carbonate qu'ils colorent en bleu. Les sels solubles sont précipités en bleu par les alcalis et leurs carbonates. Le précipité est soluble dans l'ammoniaque, son carbonate, et les bi-carbonates alcalins. Ils sont précipités en brun-rouge par le prussiate jaune de potasse, en vert-bleuâtre par le phosphate de soude et en bleu clair par les arséniates.

Les principaux sels de cuivre sont les suivants :

Le *protosulfure* de cuivre qui est d'un gris-noirâtre cassant et assez tendre pour se laisser couper au couteau; il est fusible à la simple flamme d'une bougie et inaltérable par l'action de la chaleur seule. Il se change par le grillage en deutoxyde pur si la température est très élevée, mais si elle est très basse, il se forme beaucoup de sulfate. Il est inattaquable par l'acide hydrochlorique, et se dissout dans l'acide nitrique et l'eau régale. Il n'est pas réduit par l'hydrogène; il se combine aisément par voie sèche avec les sulfures alcalins et les sulfures métalliques, pour former des sulfures doubles, et a particulièrement une affinité très grande pour le sulfure de fer. Il se combine aussi très aisément avec les arséniures métalliques.

Le *sulfate de deutoxyde* de cuivre ou couperose bleue est d'un très beau bleu, et très soluble dans l'eau. Il est très employé dans la teinture, ainsi que pour le chaulage des blés. On en obtient une grande quantité dans les ateliers d'affinage des matières d'or et d'argent.

L'*arsénite de deutoxyde* de cuivre est insoluble et constitue la belle couleur connue sous le nom de VERT DE SCHÉELE.

Le *deutochlorure* de cuivre est d'un brun-jaunâtre; la chaleur le décompose en chlore et en protochlorure. Il est déliquescent et soluble dans l'alcool dont il colore la flamme en vert. Hydraté, il est vert. Ses dissolutions aqueuses sont bleues lorsqu'elles sont étendues et vertes lorsqu'elles sont concentrées.

Le *protochlorure* de cuivre est d'un blanc ambré, demi-transparent, fusible au-dessous du rouge, et à peu près insoluble dans l'eau.

Le deutoxyde et le deutochlorure de cuivre se combinent en diverses proportions pour former des *oxychlorures*. L'un d'eux connu sous le nom de VERT DE BRUNSWICK est employé dans la peinture.

Il y a trois *carbonates de deutoxyde*, le *carbonate anhydre* ou *mysorine* qui est brun, le *carbonate bleu* et le *carbonate vert*, que l'on rencontre tous les trois dans la nature.

Les minerais de cuivre sont très nombreux et très variés; voici les principaux :

A *cuivre natif;* se trouve en cristaux réguliers, en dendrites ou à l'état filiforme, généralement dans les terrains primitifs ou de transition, accompagnant, en petite quantité, les autres minerais de cuivre. On le trouve surtout à Tourinski dans la Sibérie, en Hongrie, à Fahlun en Suède, dans le Cornouailles, en Amérique, etc. Ses gangues sont le granite, le gneiss, le schiste micacé et argileux, la chaux carbonatée et fluatée, le sulfate de baryte, etc.

B. *Oxydes de cuivre*

Protoxyde de cuivre, cuivre oxydulé (*all.* rothkupfererz); d'un rouge de cochenille teinté de gris, friable. Densité 6,0 Cristallisé dans le système régulier ou compacte.

Se trouve surtout à Chessy (Rhône) et dans les monts Altaï.

Oxyde de cuivre ferrifère (*all.* ziegelerz); est, comme son nom l'indique, un mélange de protoxyde de cuivre et d'oxyde de fer hydraté. Il se trouve dans les mêmes gisements que la pyrite cuivreuse, il paraît provenir de sa décomposition.

Oxyde noir de cuivre (*all.* kupferschwarz); terreux, d'un noir velouté, tirant quelquefois sur le brun. Se trouve ordinairement accompagné d'autres minerais de cuivre, et notamment de pyrite cuivreuse sur lesquels il forme enduit. Il se compose de deutoxyde de cuivre et d'oxyde de fer hydraté, mélangé quelquefois d'hydrate de manganèse.

C. *Composés sulfurés et arséniés.*

Cuivre sulfuré (*all.* kupferglanz); d'un gris de plomb noirâtre, légèrement métallique, fusible à la simple flamme d'une chandelle, et assez tendre pour se laisser couper au couteau; à cassure conchoïde. Il cristallise en prismes à 6 faces réguliers. Sa densité est de 4,8 à 5,3. Pur, il renferme 79,73 p. 100 de cuivre; il contient ordinairement une petite quantité de sulfure de fer, et quelquefois de sulfure d'argent. C'est un des minerais de cuivre les plus riches; on le trouve en Sibérie, en Suède, en Saxe, et surtout dans le Cornouailles.

Cuivre pyriteux (*all.* kupferkies); le plus important et le plus répandu des minerais de cuivre. C'est une combinaison de soufre, de cuivre et de fer qui renferme 34 p. 100 de cuivre, et dont la densité est de 4,1 à 4,3. Sa couleur est d'un jaune de laiton, passant au jaune d'or; il est quelquefois irisé à la surface. Sa cassure est conchoïde et son éclat métallique; on le trouve souvent cristallisé, ordinairement en tétraèdres tronqués; il est fragile et ne fait pas feu au briquet comme la pyrite de fer, qui d'ailleurs a une teinte plus pâle. Il est souvent accompagné d'autres minerais de cuivre, de plomb, de fer et de zinc sulfurés, etc. Il est fréquemment aurifère ou argentifère.

Cuivre panaché (*all.* buntkupfererz); combinaison de cuivre et de fer sulfurés, d'un jaune de bronze qui tient le milieu entre le rouge de cuivre et le brun de tombac, irisé à la surface et présentant un éclat métallique. Densité 4,9 à 5,1. Ce minerai très abondant est très rarement cristallisé et renferme environ 61,07 de cuivre.

Cuivre gris (*all.* fahlerz); on donne ce nom à des combinaisons en proportions variables de soufre, d'antimoine, d'arsenic, de cuivre, de fer, quelquefois de zinc, et souvent d'argent. Sa couleur varie du gris d'acier au gris de plomb; il possède l'éclat métallique. Sa densité est de 4,79 à 5,10; il cristallise surtout en tétraèdres. C'est un minerai très important qui renferme 40 à 45 p. 100 de cuivre, et quelquefois jusqu'à 5 et même 30 p. 100 d'argent.

Bournonite. Combinaison de soufre, d'antimoine, de cuivre, de fer et de plomb, d'un gris de plomb plus ou moins foncé, possédant un éclat métallique, et dont la densité est de 5,7 à 5,8. Elle est plus rare que les minerais précédents, et renferme de 12 à 13 p. 100 de cuivre et de 30 à 40 p. 100 de plomb.

D. *Carbonates.*

Mysorine. Cuivre carbonaté anhydre, d'un brun-noirâtre foncé à cassure conchoïde, en masses terreuses ou compactes. Densité 2,62. Il n'a été trouvé que dans l'Indoustan et contient 48 p. 100 de cuivre.

Carbonate de cuivre bleu (*angl.* azurite, *all.* kupferlazur); hydro-carbonate de cuivre, d'un beau bleu, ayant un éclat vitreux et une densité de 3,5 à 3,83; souvent cristallisé en prismes rhomboïdaux obliques modifiés. Il renferme environ 55 p. 100 de cuivre. C'est un minerai assez abondant; à Chessy et dans le Banat on s'en sert avec avantage pour fabriquer du sulfate de cuivre

Carbonate de cuivre vert, malachite; carbonate de cuivre basique et hydraté, d'une belle couleur verte, dont la densité est de 3,56 à 4,0, et qui renferme 50 p. 100 de cuivre. Se trouve à Chessy et dans les monts Ourals. La malachite est tantôt lamelleuse, tantôt fibreuse, tantôt compacte et terreuse, rarement cristallisée en cristaux dérivant d'un prisme rhomboïdal droit.

E. *Arseniates et phosphates.* Minerais assez rares, se trouvant surtout dans le Cornouailles.

Erinite, kupferglimmer. Arséniate de cuivre rhomboédrique, vert d'émeraude, renfermant 46 p. 100 de cuivre.

Liroconite. Cuivre arséniaté en octaèdres obtus, à base rectangle, bleus, renfermant 40 p. 100 de cuivre.

Olivénite. Arséniate de cuivre en prismes rhomboïdaux droits, vert-olive ou vert sombre, renfermant de 40 à 45 p. 100 de cuivre.

Aphanèse. Cuivre arséniaté en lames cristallines vert-bleuâtre, renfermant 50 p. 100 de cuivre.

Euchrolle. Cuivre arséniaté vert d'émeraude, cristallisant en prisme rhomboïdal droit, et renfermant 38 p. 100 de cuivre. Se trouve en Hongrie.

Cuivre phosphaté. D'un noir-verdâtre, cristallisant en octaèdres à base rectangle, et renfermant 50 p. 100 de cuivre.

F. *Cuivre sulfaté.* Se forme journellement dans les mines par l'altération du cuivre pyriteux; est soluble dans l'eau et par conséquent peu abondant.

G. *Oxy-chlorure de cuivre, atakamite.* Se trouve au Pérou et au Chili en masses ou en sables d'un beau vert-émeraude foncé. Il renferme 57 p. 100 de cuivre. Rare.

H. *Hydro-silicates.*

Dioptase. D'un beau vert-émeraude, en cristaux hexaèdres, translucides, ayant un éclat vitreux. Très rare. Se trouve dans le pays de Kirguis.

Kiesel malachite. Amorphe, d'un beau vert, renferme 32 p. 100 de cuivre.

Sommervillite. Amorphe, d'un vert plus ou moins bleu. Très rare. Se trouve aux États-Unis.

Essai des minerais de cuivre. La grande variété et la grande différence que présentent les minerais de cuivre les rend souvent difficiles à reconnaître à la première vue; cependant il est rare que la présence du cuivre ne s'y décèle pas, dans quelques parties, par un enduit plus ou moins sensible de vert-de-gris; d'un autre côté, en grillant le minerai pulvérisé soit seul, soit avec du nitre, puis traitant par l'ammoniaque ou son carbonate, on reconnaît de suite le cuivre à la belle couleur bleue que prend la liqueur. Il y a même beaucoup de minerais de cuivre, tels que le protoxyde ou oxydule, les carbonates, etc., qui se dissolvent immédiatement dans le carbonate d'ammoniaque. (Voyez PLOMB. Essai du cuivre par liqueurs titrées.)

Dans un essai de cuivre, la première chose à faire est de se procurer un échantillon qui ait à peu près la composition moyenne du tas à essayer. A cet effet on choisit à l'œil des échantillons des divers minerais qui composent le tas, de telle sorte que leur ensemble en représente la composition, on les pulvérise et on les mélange bien ensemble. On essaie ensuite au chalumeau une partie de ce mélange pour reconnaître s'ils renferment de l'arsenic et du soufre qui donnent lieu à des fumées ayant une odeur alliacée et sulfureuse. Lorsque le minerai renferme ces deux corps, ce qui arrive très souvent, on en prend 10 gram. que l'on mélange avec 5 gram. de sciure de bois, puis que l'on imbibe d'huile, et on chauffe le tout modérément dans un creuset jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de fumées arsenicales. La matière refroidie est pulvérisée et grillée dans un têt au rouge sombre jusqu'à ce que tout le soufre et le charbon aient été brûlés; à la fin de l'opération il faut donner un fort coup de feu et chauffer au blanc pendant quelques minutes pour décomposer la petite quantité de sulfate de cuivre qui pourrait s'être produit. Le résidu est mélangé avec la moitié de son poids de borax calciné, 1/12 de noir de fumée et quelques gouttes d'huile pour lui donner de la consistance, puis introduit dans un creuset dont on lute le couvercle, et que l'on place dans un fourneau à vent tirant bien, où on le chauffe d'abord graduellement, puis donnant un fort coup de feu pendant quinze à vingt minutes. En retirant ensuite le creuset du feu et le cassant lorsqu'il est entièrement refroidi, on obtient un culot de cuivre métallique, dont le poids, la couleur et la malléabilité, donnent assez exactement la valeur relative du minerai essayé. Lorsque l'essai au chalumeau n'indique pas la présence de l'arsenic, on peut se passer de la première calcination. Enfin, si cet essai ne décèle ni la présence de l'arsenic ni celle du soufre, on peut fondre immédiatement le minerai avec du borax, du noir de fumée et quelques gouttes d'huile.

Très souvent on essaie les minerais de cuivre par voie sèche d'une manière un peu différente de celle qui précède, et qui consiste à les griller, puis à les fondre avec 3 parties de flux noir. Le poids du bouton métallique donne la teneur du minerai.

Dans tous les cas, on coupelle le bouton de cuivre avec du plomb pauvre pour reconnaître s'il contient de l'argent ou de l'or.

L'essai par voie humide est plus exact, mais il exige un peu plus d'habitude et de temps.

Pour doser le cuivre par voie humide, on traite 10 gram. de la matière bien porphyrisée par de l'eau régale bouillante contenant beaucoup plus d'acide hydrochlorique que d'acide nitrique, ou mieux encore par de l'acide hydrochlorique seul, lorsque cet acide peut dissoudre tout le cuivre. Si le minerai renfermait du plomb, il faudrait remplacer l'acide hydrochlorique par de l'acide sulfurique pour séparer ce métal à l'état de sulfate insoluble. On évapore à siccité, on reprend le résidu par de l'acide hydrochlorique, ou de l'acide sulfurique dans le cas où le minerai renfermait du plomb, on étend d'eau et on filtre, pour séparer la silice gélatineuse et toutes les substances insolubles. On précipite ensuite la liqueur filtrée, portée à une température voisine du point d'ébullition, par une lame de fer bien décapée, en ayant soin de l'entretenir dans un état d'acidité très prononcée, en y ajoutant de temps à autre de l'acide hydrochlorique ou de l'acide sulfurique, sans quoi il se formerait un sous-sel de fer insoluble qui se précipiterait avec le cuivre. On lave très rapidement à l'eau bouillante, le précipité de cuivre métallique obtenu, d'abord par décantation, puis sur un filtre, jusqu'à ce que les eaux de lavage ne se troublent plus par le nitrate d'argent; on le fait sécher dans du papier joseph, au-dessous de 100°, et on le pèse. Si on le desséchait trop fortement au contact de l'air il s'oxyderait sensiblement, surtout si le lavage n'avait pas été exécuté avec le plus grand soin. Lorsque le minerai renferme de l'arsenic, il s'en précipite toujours une certaine quantité avec le cuivre; ce qu'il y a de mieux à faire dans ce cas, est de précipiter la liqueur provenant de l'attaque par l'acide sulfurique, par l'hydrosulfate d'ammoniaque en excès qui redissout l'arsenic, et de traiter les sulfures insolubles lavés et exempts d'arsenic, par la méthode ci-dessus.

TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE DES MINERAIS DE CUIVRE.

Sous le rapport de leur traitement métallurgique, les minerais de cuivre peuvent être partagés en trois classes, savoir :

1° Minerais qui ne contiennent ni soufre, ni antimoine, ni phosphore, ni arsenic, ni plomb. — Cuivre natif, cuivre oxydulé, carbonates et hydro-silicates de cuivre.

2° Minerais contenant seulement du soufre. — Cuivre pyriteux, cuivre panaché, sulfate de cuivre (ce dernier se forme journellement dans le grillage des minerais ou naturellement dans les mines exploitées ; en le dissolvant dans l'eau et le précipitant par du fer, on en tire du cuivre de cément que l'on raffine ensuite).

3° Minerais renfermant de l'arsenic, de l'antimoine, du phosphore ou du plomb. — Cuivres gris, bournonite, phosphates ou arséniates de cuivre.

Traitement métallurgique des minerais de la première classe.

Lorsque les minerais de la première classe sont assez riches, et se rencontrent isolément en quantité suffisante pour alimenter une exploitation, le traitement en est très simple. Tel était le gîte métallique de Chessy (département du Rhône), découvert en 1812, et actuellement presque épuisé, composé de carbonates de cuivre bleu et vert, et d'un peu de cuivre oxydulé. Le minerai préparé était à gangue siliceuse et renfermait de 27 à 30 p. 100 de cuivre métallique. L'opération consistait en une simple fusion des minerais avec une quantité convenable de chaux, servant à scorifier les gangues, dans un fourneau à manche à avant-creuset. Le fond du creuset, battu en brasque pesante, composée d'un mélange de 2 parties en volume d'argile et de 1 p. de poussier de charbon, était à $0^m,40$ en contre-bas de la tuyère, et le gueulard (ouverture par laquelle on charge les minerais et le combustible) à $1^m,80$ au-dessus du même niveau. La section intérieure du fourneau était prismatique et rectangulaire; elle avait $0^m,85$ de profondeur de la warme à la poitrine et $0^m,60$ de largeur. On employait du coke comme combustible. On lançait par minute dans le fourneau, par une seule tuyère, 8 kilogr. d'air sous la pression de 1^c de mercure.

Le lit de fusion se composait de : 40 parties de cuivre carbonaté, 1 partie de cuivre oxydulé, 2 parties de scories du raffinage du cuivre noir, 8 parties de chaux vive, et 20 parties de scories bleues de la fonte précédente. Le fourneau ayant été séché et mis en feu comme à l'ordinaire, la charge normale se composait de 70 kil. de coke et de 134 kil. du lit de fusion ; le coke étant chargé en dessus sur la poitrine, et le minerai sur la warme. On maintenait devant la tuyère un nez de $0^m,16$ environ ; l'ouvrier le formait au besoin en introduisant par la tuyère un ringard froid qui coagulait les matières, et le cassait avec un ringard lorsqu'il était trop long. On passait de 20 à 28 charges en 24 heures, et on coulait toutes les 12 heures lorsque le creuset était plein de métal : on obtenait par coulée de 350 à 400^k de cuivre noir. D'après une analyse de M. Margueritu, ce cuivre noir renfermait 89,3 de cuivre, 6,5 de fer, 0,34 de soufre et 3,7 de silicate de protoxyde de fer, provenant du mélange mécanique d'une petite quantité de scories.

Lorsque le fourneau marchait bien, les scories étaient bien fluides, vitreuses et colorées en bleu; lorsqu'au contraire le lit de fusion renfermait un excès de silice et d'argile, les scories se colovaient en rouge et renfermaient jusqu'à 3 et 5 p. 100 d'oxydule de cuivre, tandis que le cuivre noir obtenu était beaucoup plus impur et plus chargé de fer; enfin un excès de chaux donnait des scories d'un gris-noirâtre pouvant aller jusqu'au noir. Ces différences de couleur permettaient au fondeur de reconnaître de suite un dérangement dans l'allure normale du fourneau, et d'y remédier aussitôt soit en augmentant, soit en diminuant la proportion de chaux qui entrait dans le lit de fusion. Les scories rouges étaient repassées dans le fourneau. On obtenait 4 parties 1/2 en poids de scories bleues pour 1 partie de cuivre noir, et comme ces scories avaient une teneur en cuivre de 0,005, la perte en cuivre était de 2,25 p. 100 du cuivre noir obtenu.

Le personnel du fourneau se composait de 2 postes d'ouvriers, se relayant de 12 heures l'un, et composés chacun d'un maître fondeur et de son aide. La campagne de chaque fourneau ne durait qu'une semaine.

Le prix de revient du quintal métrique de cuivre noir était, d'après M. Le Play, de $146^f,23$ comme suit :

333^k de minerai à $35^c,30$ les 100^k, soit.	$117^f,65$	
$66^k,7$ de chaux à 5^f les 100^k, soit.	3 ,34	
$256^k,6$ de coke à $1^f,60$ les 100^k, soit.	4 ,11	
Main d'œuvre.	2 ,38	
Total des frais spéciaux.	$127^f,48$	$127^f,48$
Entretien du matériel.	3 ,00	
Direction et surveillance.	4 ,75	
Intérêt du capital et des fonds de roulement..	5 ,00	
Frais divers	6 ,00	
	18 ,75	$18^f,75$
		$146^f,23$

Les scories de la fonte immédiate pour cuivre noir qui sont rejetées, ayant toujours à peu près la même teneur en cuivre, et leur proportion relative augmentant très rapidement à mesure que la richesse du minerai diminue, on conçoit que, dans ce cas, la perte en cuivre augmenterait très rapidement, si l'on suivait le procédé que nous venons de décrire. Aussi lorsqu'il s'agit de minerais notablement moins riches que celui de Chessy, on les soumet à une fonte de concentration avec des pyrites de fer, de manière à obtenir une *matte* (sulfure double de fer et de cuivre), que l'on traite comme nous le dirons plus loin en parlant des minerais de la deuxième classe, et à séparer les matières terreuses à l'état de scories. Le cuivre ayant beaucoup d'affinité pour le soufre, et la matte renfermant seulement 15 à 40 p. 100 de cuivre, les scories rejetées sont beaucoup plus pauvres et la perte en cuivre beaucoup plus faible que par la méthode de Chessy.

Au lieu d'employer des pyrites de fer comme moyen de concentration, on se sert, quand l'on peut, de minerais de cuivre de la deuxième classe.

Enfin nous avons vu employer avec succès, depuis quelques années, à Linz, sur les bords du Rhin, et au Stadberg en Westphalie, un procédé de traitement par voie humide pour traiter des minerais de la première classe, très pauvres, dont la teneur était en moyenne de 1 à 4 p. 100 et qui n'étaient pas assez argentifères pour qu'on pût en séparer l'argent avec avantage.

Ce procédé, sur lequel M. Delesse a publié un mémoire fort intéressant dans le 4er volume de la 4e série des *Annales des Mines*, mémoire que nous engageons nos lecteurs à consulter, consiste à traiter les minerais de cuivre par de l'acide sulfurique que l'on prépare de toutes pièces dans l'usine même. A cet effet on grille des pyrites de fer dans des fourneaux de 2m environ de hauteur, portant à leur partie inférieure une grille placée au-dessus d'un cendrier hermétiquement fermé, au moyen d'un courant d'air forcé qui arrive par une tuyère placée au-dessus de la grille. Il suffit de mettre un peu de combustible lors de la mise en feu et au commencement de chaque charge, la chaleur dégagée ensuite par la combustion du soufre suffit pour opérer la continuation du grillage. Comme l'air arrive à une faible pression, que la température est peu élevée dans l'intérieur du fourneau, et que ce dernier a une faible hauteur, la combustion est incomplète et les gaz qui se dégagent renferment, outre de l'acide sulfureux, une certaine proportion d'air non brûlé. On règle la combustion dans le fourneau en faisant varier la quantité d'air qu'on y fait arriver, de manière à ce qu'elle ne s'élève pas au point d'agglutiner les mor-

ceaux, ce qui rendrait leur grillage ultérieur très difficile.

On ajoute à la pyrite une faible quantité de nitre, qui, en se décomposant par l'action de la chaleur, donne naissance au deutoxyde d'azote nécessaire à la formation de l'acide sulfurique.

Le gueulard du fourneau est habituellement fermé par une plaque en fonte, et les produits gazeux se rendent par une conduite latérale dans les cases où se fait l'attaque, et où arrive également un courant de vapeur d'eau, fourni par une petite chaudière à vapeur, qui vient compléter les éléments indispensables à la production de l'acide sulfurique, savoir : l'acide sulfureux, l'oxygène ou l'air atmosphérique, le deutoxyde d'azote et la vapeur d'eau.

On charge le fourneau toutes les 12 heures ; pour cela on arrête le vent et on ferme la conduite latérale par un registre, afin d'empêcher les vapeurs acides répandues dans les cases d'attaque de refluer dans l'intérieur du fourneau : un ouvrier se mettant alors sous le nez un linge mouillé, ouvre une porte placée au-dessous de la grille et qui avait été lutée avec de l'argile, puis retire avec un crochet ce qui a passé entre les barreaux de celle-ci ; un autre ouvrier enlève le couvercle placé sur le gueulard et vide le fourneau avec une longue pince ; il rejette les morceaux complétement grillés et met de côté ceux qui sont agglutinés, les casse et les repasse de nouveau dans le fourneau jusqu'à ce que leur grillage soit complet. Cela fait, et la porte inférieure étant de nouveau fermée et lutée, on jette dans le fourneau un peu de bois, puis 50^{k} de pyrites de fer et 3/10^{e} d'hectolitre de menue houille, enfin par dessus le tout 1^{k} de nitre : la théorie et l'expérience s'accordant pour indiquer qu'une quantité déterminée de deutoxyde d'azote suffit pour convertir en acide sulfurique une quantité presque indéfinie d'acide sulfureux, il nous semble qu'on pourrait se dispenser d'employer une aussi grande quantité de nitre.

Le minerai est placé dans des cases en maçonnerie sur des grilles en pierre, en dessous desquelles arrivent les gaz des fourneaux et la vapeur d'eau. L'acide sulfurique s'unit à la vapeur d'eau à mesure qu'il se forme, se condense sur le minerai dont il humecte et imbibe tous les morceaux, attaque le carbonate de cuivre et le transforme en sulfate, lequel se dissout et coule au fond de la case. Pour que l'attaque ait lieu facilement et qu'il se perde le moins possible de vapeurs acides, on dispose le minerai sur les grilles par couches de diverses grosseurs, de manière à ce que les plus gros morceaux soient sur les grilles et les plus petits à la partie supérieure.

Pour enrichir les eaux acides chargées de sulfate de cuivre, on les fait successivement passer d'une case dans l'autre, en les répandant sur le minerai, au moyen de pompes en plomb. Dans une case d'attaque de 9^{m},50 de long sur 5^{m} de large et 1^{m},66 de profondeur, on charge environ 600^{k} de minerai. Pendant que le chargement s'exécute, on bouche l'ouverture par laquelle les vapeurs acides se répandent ordinairement dans cette case, afin d'empêcher que l'acide sulfurique ne se perde inutilement. Le minerai riche, renfermant quelquefois jusqu'à 6 et 10 p. 100 de cuivre, reste au plus 8 semaines dans une case avant de passer dans la voisine, et quand il a été dans 3 cases, l'expérience apprend qu'il ne retient plus une quantité de cuivre appréciable à l'analyse chimique, de sorte qu'il faut au maximum 24 semaines pour terminer complétement une opération. Pour des minerais pauvres la moitié de ce temps est plus que suffisant.

Quand l'eau chargée de sulfate de cuivre marque 24 à 30° à l'aréomètre de Baumé, on la fait couler dans une cuve où on la précipite par des rognures de tôle, à une température de 30 à 40° ; on emploie un peu moins de 200 de fer pour 100 de cuivre. La quantité de fer dissoute dépend beaucoup, du reste, du degré d'acidité de la liqueur, et on la retrouve tout entière dans le sulfate de fer cristallisé que l'on retire des eaux mères.

L'opération est terminée quand une plaque de fer polie ne se recouvre plus d'une pellicule rouge de cuivre métallique lorsqu'on la plonge dans la liqueur ; on transvase alors, au moyen d'un syphon de plomb, la liqueur chargée de sulfate de fer, dans des chaudières où on la concentre par évaporation, jusqu'à ce qu'elle marque 40 à 45° Baumé, point où on la fait écouler dans des cristallisoirs ; par le refroidissement, les cristaux de sulfate de fer se déposent en grappes sur des bâtons de bois verticaux plongés dans la liqueur vitriolique, et fixés à des perches horizontales reposant en travers sur les cristallisoirs. Les eaux-mères de l'opération sont renvoyées aux chaudières d'évaporation.

Le cuivre de cément et le fer non attaqué sont égouttés dans des paniers d'osier, puis lavés au *tamis à secousses* (*all.* setzsiebe) ; le cuivre de cément qui est pulvérulent tombe au fond de la cuve. L'ouvrier prend ensuite une à une les rognures de tôle, qui sont restées sur le tamis, les gratte au couteau pour en détacher les écailles de cuivre adhérentes, et les rejette dans la cuve à précipitation.

Le cuivre de cément obtenu est lavé dans des *caisses à tombeau* pour en séparer les dépôts ferrugineux et le sulfate de fer. On laisse déposer les eaux de lavage, et comme elles contiennent un peu de sulfate de fer, on les emploie de préférence à l'eau pure pour arroser les minerais dans les cases d'attaque. Les boues sont recueillies et traitées comme le cuivre de cément. La teneur du cuivre de cément varie de 50 à 95 p. 100, selon qu'il est ou non à l'état de boues : nous indiquerons plus loin comment on le raffine.

On peut, dans la fabrication de l'acide sulfurique, remplacer avec avantage la pyrite de fer par d'autres sulfures métalliques. Ainsi à Liuz, on remplace 1 partie de pyrite de fer par 10 p. de blende (zinc sulfuré) ; le résidu du grillage, au lieu d'être rejeté, est pulvérisé, grillé de nouveau dans des fours à réverbère chauffés à flammes perdues, et fondu pour zinc par la méthode de Belgique (voyez ZINC). Cela permet de traiter avec bénéfice des minerais de cuivre non argentifères, beaucoup plus pauvres qu'au Stadtberg, et qui souvent ne renferment que 1/2 à 1 p. 100 de cuivre métallique.

A l'usine à plomb d'Alzau, près Liuz, on grille par le même procédé la galène (plomb sulfuré), et on emploie l'acide sulfurique produit pour dissoudre un minerai de fer oxydé hydraté, et fabriquer à peu de frais une grande quantité de sulfate de fer.

Il est à remarquer que ce procédé de traitement s'appliquerait peu aux minerais très calcaires, parce qu'une grande partie de l'acide produit serait dépensée en pure perte à produire du sulfate de chaux, qui aurait en outre l'inconvénient de rendre le cuivre de cément très impur, et d'apporter beaucoup d'obstacles à la cristallisation du sulfate de fer. Heureusement ce cas ne se présente pas habituellement.

Lorsqu'il serait possible d'établir les usines destinées à traiter des minerais de la première classe près des fabriques de soude ou même de les y annexer, il serait avantageux de remplacer l'acide sulfurique par l'acide hydro-chlorique que ces fabriques produisent en grande quantité, et laissent perdre le plus souvent dans l'atmosphère, faute de débouchés, au grand détriment du voisinage.

Traitement métallurgique des minerais de la deuxième classe.

Les minerais de la seconde classe sont de beaucoup les plus importants et fournissent la presque totalité du cuivre versé dans le commerce. Lorsque ces

CUIVRE.

minerais sont très riches, on pourrait les ramener à l'état d'oxyde par le grillage, puis les fondre pour cuivre noir comme les minerais de la première classe, mais on obtiendrait toujours du cuivre noir, très impur et ferreux, qu'il serait très difficile de raffiner. D'ailleurs, il est presque toujours impossible de concentrer le minerai de cuivre par une préparation mécanique quelconque, soit parce que la gangue du minerai se compose principalement de pyrites de fer ou autres minéraux analogues, d'une densité à peu près égale à celle du cuivre pyriteux, comme à Rammelsberg, dans le Hartz, soit parce que le cuivre pyriteux ou panaché se trouve disséminé dans le minerai en particules très fines et souvent indiscernables, comme dans le schiste cuivreux du Mansfeld, soit enfin parce que le minerai renferme, comme c'est un cas assez fréquent dans l'Oural, une certaine quantité de minerais de la première classe qui seraient entraînés par le lavage avec les gangues.

Il en résulte donc que les minerais de cuivre livrés aux usines ont ordinairement une teneur assez faible, ainsi :

Les minerais pyriteux du Cornouailles ont une teneur moyenne de. . .	7 1/2 à 8 p. 100
Du Rammelsberg au Hartz	5 1/2 — p. 100
De l'Oural.	4 1/2 — p. 100.
Du Mansfeld (minerais argentifères).	1 1/2 à 2 p. 100

En grillant complétement des minerais aussi pauvres et les fondant immédiatement pour cuivre noir, la perte en cuivre serait énorme, puisqu'elle dépend de la proportion relative des scories, et on obtiendrait du cuivre noir très ferreux. On grille donc incomplétement le minerai de cuivre, plus ou moins, selon qu'il renferme plus ou moins de pyrites de fer, on le fond ensuite en ajoutant, s'il est nécessaire, un fondant convenable pour liquéfier la gangue; cette première fonte est souvent appelée *fonte crue*, quoique la plupart du temps on y passe des minerais grillés; on concentre ainsi le cuivre dans un produit particulier appelé *matte de cuivre* (sulfure double de cuivre et de fer), lequel se sépare aisément des scories que l'on rejette et qui ne retiennent qu'une quantité de cuivre tout à fait insignifiante, surtout quand la première matte renferme au plus 30 à 35 p. 100 de cuivre.

On pourrait griller complétement la matte de cuivre, puis la traiter par la méthode de Chessy ; mais, il tendrait à se former des loups ou dépôts ferreux qui obstrueraient le fourneau. On grille alors seulement assez la matte, pour que par une deuxième fusion on obtienne du cuivre noir, et une deuxième matte dans laquelle passent presque en totalité le soufre, l'arsenic, l'antimoine et le fer, de telle sorte que le cuivre noir est beaucoup plus pur. On grille suffisamment cette deuxième matte, pour en séparer l'arsenic, l'antimoine et la plus grande partie du soufre, et on la repasse dans le lit de fusion pour cuivre noir. Les scories de la fonte pour cuivre noir sont repassées dans le lit de fusion de la fonte pour matte dont les scories sont seules rejetées.

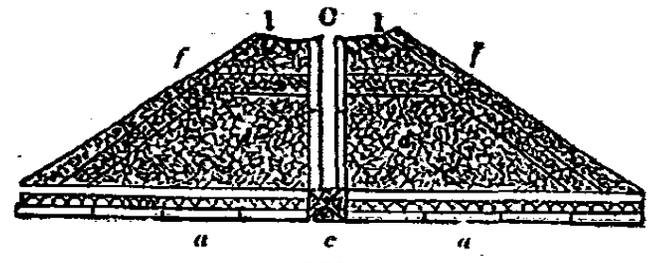
Lorsque le combustible est abondant et à bas prix, on cherche autant que possible à diminuer la perte en cuivre en formant une première matte très pauvre; puis, au lieu de griller immédiatement la matte assez pour obtenir du cuivre noir, on fait quelquefois jusqu'à quatre fontes de concentration successives, en ne grillant qu'imparfaitement les mattes à chaque fois, avant d'obtenir du cuivre noir. On a ainsi l'avantage de chasser plus complétement, par de nombreux grillages, l'arsenic et l'antimoine que renferment presque toujours en petite quantité les minerais de cuivre sulfurés, en même temps que d'obtenir un cuivre noir moins ferreux, s'affinant beaucoup plus facilement et avec moins de déchet, en donnant un cuivre rosette de qualité supérieure.

Le grillage des minerais se fait en tas ou dans des fours à réverbère; celui des mattes se fait dans des cases formées par trois murs verticaux et à sole légèrement inclinée, ou dans des fours à réverbère. La fonte des minerais grillés et celle des mattes grillées s'exécutent soit dans des fourneaux à courant d'air forcé, soit dans des fourneaux à réverbères; de là, deux séries de méthodes tout à fait distinctes.

Entrons maintenant dans quelques détails sur les diverses méthodes suivies dans les principaux groupes d'usines à cuivre de l'Europe.

BAS-HARTZ. Le minerai qui alimente les usines à cuivre du Bas-Hartz est du cuivre pyriteux associé à de la pyrite de fer, de la blende, et une petite quantité de sulfures d'arsenic et d'antimoine: il renferme en moyenne 5 1/2 p. 100 de cuivre métallique.

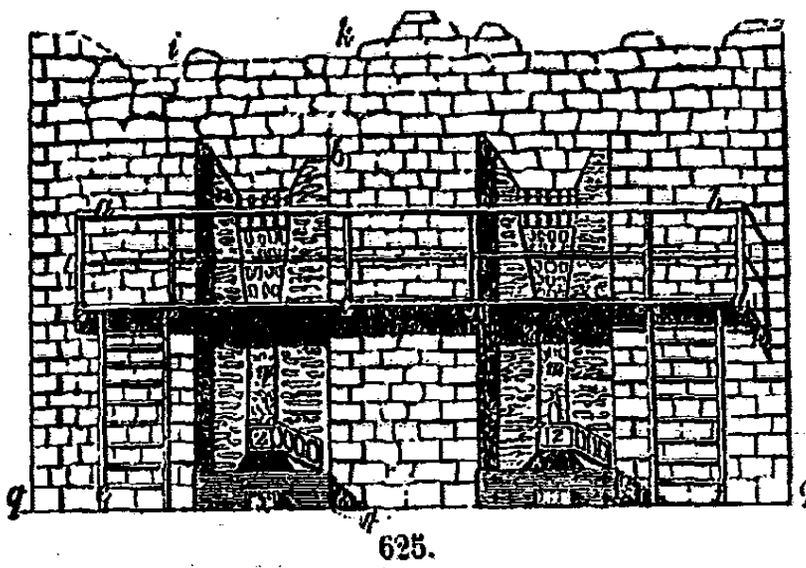
Le minerai est grillé en tas à base rectangulaire, dont la fig. 624 représente une coupe verticale, on place



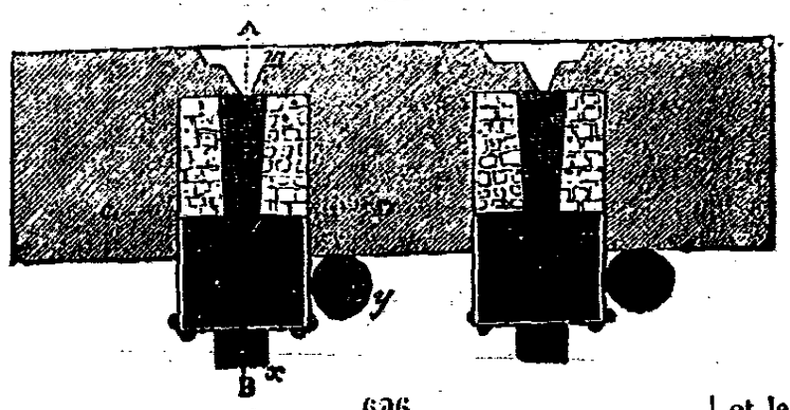
624.

d'abord sur une aire bien battue trois lits de bois en rondins superposés, en y ménageant, pour l'arrivée de l'air, des canaux qui viennent aboutir à une cheminée centrale C en bois placé debout, dont on remplit le bas c, avec du menu charbon ; au-dessus on charge le minerai en morceaux *d d*. On allume alors le tas en jetant dans la cheminée C quelques charbons embrasés, et au bout de 24 heures on recouvre le tas de 0m,20 à 0m,30 de minerai en petits morceaux, et on laisse encore le feu se propager pendant deux à trois jours ; on recouvre la partie supérieure du tas avec 0m,06 à 0m,10 de schich ou minerai fin obtenu par le lavage; on forme avec de la mousse et de la terre une couverte *f f*, sur les faces latérales du tas; puis on pratique par pression à la partie supérieure du tas, une série de trous hémisphériques de 0m,20 à 0m,30 de diamètre, disposés en quinconce. Le grillage s'opère d'abord à la partie inférieure du tas par suite de la combustion du bois, puis se propage successivement dans toute la masse par suite de la chaleur développée par la combustion d'une partie du soufre renfermé dans le minerai ; l'autre partie distille et vient affiner dans les cavités hémisphériques pratiquées à la partie supérieure du tas, où il se liquéfie et où on le puise avec des cuillères. La quantité de soufre ainsi recueillie est plus que suffisante pour couvrir les frais de grillage. Chaque tas renferme à peu près 1100 à 1200m³ de minerai et 2 stères 1/2 de bois; le grillage de chaque tas dure quatre mois, et produit 1500k environ de soufre. On défait ensuite le tas, on brise les morceaux qui se sont agglomérés et on regrille de nouveau, en tas, le minerai à deux autres reprises; en résumé on obtient environ 1000m³ de minerai grillé.

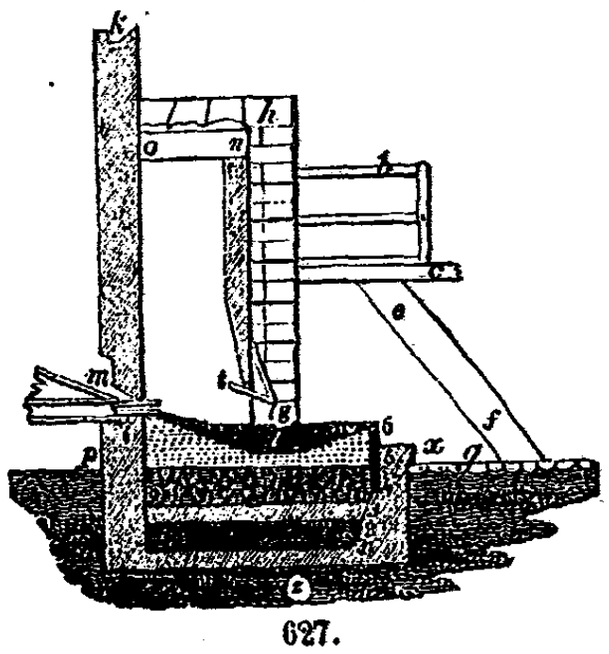
Le minerai grillé à trois feux est fondu avec du schiste argileux, qui sert de fondant, et des scories de la fonte des mattes, dans des fourneaux à manche de faibles dimensions (fig. 625, 626 et 627); on emploie comme combustible un mélange de charbon de bois et de coke. La fonte est conduite très rapidement, aussi les campagnes durent rarement plus de cinq jours, et on obtient de 6 à 700 kil. de matte par jour. On se trouve dans la nécessité d'agir ainsi, parce que les scories con-



625.



626.



627.

tenant beaucoup d'oxyde de zinc sont peu fusibles; aussi retiennent-elles plus de cuivre que les scories de fontes crues ordinaires.

La première matte est grillée en petits tas de 30^{qm}. environ, à trois feux; chaque *grillage* dure trois à quatre jours. La fusion de la première matte grillée se fait dans les fourneaux de fonte crue avec le même fondant. Le travail est plus facile, les dépôts ferreux moins abondants et la campagne un peu plus longue. On obtient du cuivre noir et une deuxième matte qui est grillée à six feux et refondue; on obtient du cuivre noir et une troisième matte qui est grillée à 5 ou 6 feux et refondue de nouveau; on obtient encore du cuivre noir et une quatrième matte, qui est grillée et repassée dans la fonte de la troisième matte.

SAINBEL (Rhône). Le traitement suivi à Sainbel n'est qu'une modification de celui du Hartz. On grille une seule fois en tas le minerai de cuivre pyriteux, puis on le fond avec du minerai de cuivre carbonaté pauvre dans un fourneau à manche. On obtient ainsi une première matte qui est grillée dans des cases à 10 feux, puis fondue pour cuivre noir avec du minerai carbonaté riche et des crasses d'affinage; on obtient en outre une deuxième matte qui est grillée à 5 feux seulement, et passée avec la première matte grillée dans la fonte pour cuivre.

FAHLUN (Suède). Les minerais sont des pyrites de fer mélangées de cuivre pyriteux. On les trie en minerais riches et en minerais pauvres ne tenant guère que 2 p. 100 de cuivre; ces derniers sont grillés tantôt en tas, tantôt dans des fourneaux particuliers (voyez MÉTALLURGIE), qui permettent de recueillir la plus grande partie du soufre qui distille. Les minerais pauvres grillés sont fondus avec des minerais crus et des scories de la fonte pour cuivre noir, dans des fourneaux à manche. On obtient des mattes très pauvres, ne renfermant guère que 10 à 15 p. 100 de cuivre, qui sont grillées à 5 ou 6 feux en tas ou dans des cases, et refondues pour cuivre noir dans les mêmes fourneaux avec des minerais riches, crus ou grillés. On obtient en outre des mattes très riches qui sont grillées et repassées dans la fonte pour cuivre noir.

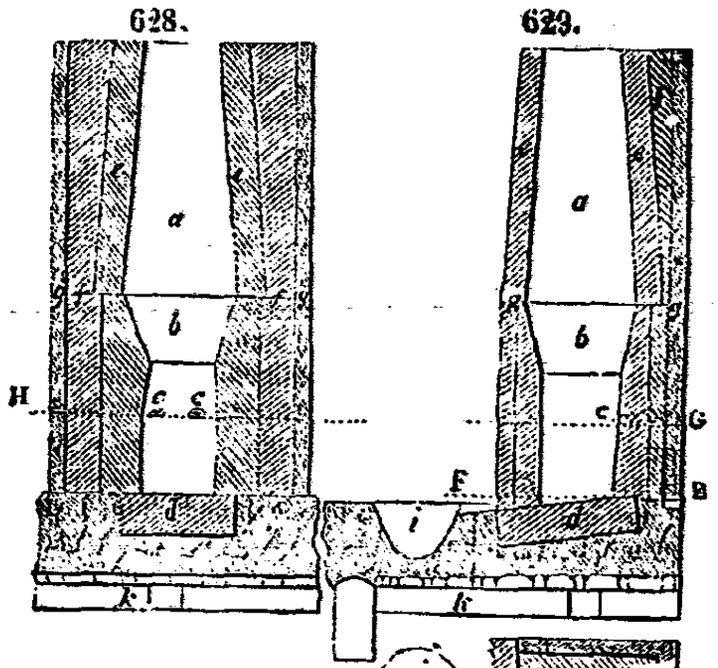
OURAL. Les minerais sont un mélange de minerais de la première et de la deuxième classe; on les soumet d'abord à une fonte crue, sans les griller, dans des demi-hauts fourneaux de 4^{m},50 de hauteur, et dont les campagnes durent de dix à onze mois. On obtient par vingt-quatre heures 675 kil. de mattes tenant 30 p. 100 de cuivre. Les mattes sont grillées dans des cases à 3 ou 5 feux, et leur fonte se fait dans le même fourneau, à la fin de la campagne, lorsqu'il commence à s'obstruer par les dépôts ferreux qui sont redissous dans cette opération. On obtient par vingt-quatre heures 1,000 kil. de cuivre noir et 2,250 kil. de deuxième matte très riche, qui est grillée et repassée dans la fonte pour cuivre noir.

MANSFELD-HESSE. Le minerai traité dans les usines à cuivre du Mansfeld et de la Hesse électorale est un schiste marno-bitumineux dit *kupferschiefer*, qui se trouve à la partie inférieure de la formation du zechstein et immédiatement au-dessus du grès rouge; il renferme du cuivre sulfuré, du cuivre pyriteux, du cuivre panaché, et une petite quantité de pyrites de fer et de minerais de la première classe, en particules extrêmement ténues et souvent indiscernables à l'œil nu. Outre le schiste cuivreux proprement dit, qui a une teneur moyenne en cuivre de 1 1/2 p. 100, on exploite aussi en quelques endroits, sur une épaisseur de quelques centimètres, le grès gris ou blanc qui se trouve à la partie supérieure de la formation du grès rouge, au contact du kupferschiefer, et qui est quelquefois beaucoup plus riche que le schiste cuivreux proprement dit. Dans la Hesse, ce minerai quartzeux, dit *sanderze*, a une teneur en cuivre de 4 à 6, et même quelquefois de 10 p. 100. En mélangeant les diverses variétés de minerais, on parvient en général à produire un lit de fusion convenable; cependant il est nécessaire dans le Mansfeld d'y ajouter une faible quantité de chaux fluatée.

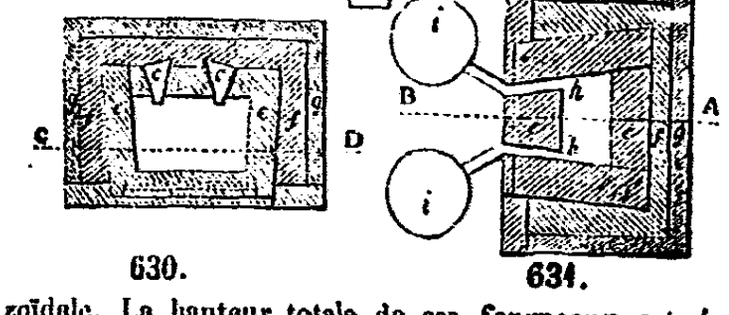
Avant de procéder à la fusion des schistes, on les grille, ainsi que les minerais quartzeux, en tas plus ou moins considérables, qui en renferment quelquefois jusqu'à 2000^{qm}, afin d'expulser l'eau, l'acide carbonique, le bitume et une partie du soufre qu'ils renferment. On met à la partie inférieure des tas un lit de fagots pour les allumer; le bitume contenu dans les schistes suffit ensuite pour entretenir la combustion pendant toute la durée du grillage, qui est de deux à quatre mois, suivant la saison. Le minerai grillé est fondu avec des scories de la fonte pour cuivre noir, et dans le Mansfeld avec une certaine quantité de chaux fluatée, dans des fourneaux de grandes dimensions dits *fourneaux à lunettes*, et dont les fig. 628 à 631 donneront une idée. A Riegelsdorf (Hesse), ces four-

neaux ont 5m,50 de hauteur; leur cuve est légèrement conique et se raccorde avec la partie inférieure du fourneau, qui présente une section trapézoïdale ayant au niveau de la tuyère, 0m,58 de largeur en arrière, 0m,48 en avant et 0m,82 de profondeur. Le diamètre au gueulard n'est plus que de 0m,50. L'air est lancé dans le fourneau par une seule tuyère à eau placée à 0m,72 au-dessus de la sole; il est auparavant chauffé à 120° environ, au moyen d'une prise de gaz faite près du gueulard. Les fourneaux employés dans le Mansfeld sont à deux ou trois tuyères *c*, *c*, et offrent plus de ressemblance avec les hauts-fourneaux dans lesquels on traite les minerais de fer; ils ont une cuve *a*, et des étalages *b*, présentant la forme de deux troncs de cône en sens inverse, tantôt se raccordant immédiatement, comme l'indiquent les fig. 628 et 629, tantôt réunis par une partie cylindrique qui forme le ventre; le creuset et l'ouvrage (fig. 630 et 631) ont seuls une forme trapé-

628.



629.



630. 631.

zoïdale. La hauteur totale de ces fourneaux est de 5m,00, celle de la cuve de 2m,60, et celle des tuyères au-dessus de la sole 0m,68. Le diamètre au gueulard est de 0m,78, au ventre de 1m,40, et la largeur moyenne de la section au niveau des tuyères, de 0m,65 à 0m,70. On chauffe préalablement l'air lancé dans le fourneau à une température de 150 ou 200°.

Dans tous ces fourneaux le creuset et l'ouvrage sont construits avec des grandes pierres de grès réfractaire; la sole est formée par une seule pierre inclinée de 5 à 6°. Ces fourneaux sont dits à lunettes, parce qu'ils communiquent par les conduits *h*, *h*, avec deux bassins de réception antérieurs *i*, *i*, dans lesquels on fait successivement la coulée. On bouche les conduits *h*, *h*, avec de la brasque dans laquelle on perce ensuite, au besoin, les ouvertures nécessaires pour faire écouler les mattes et les scories.

Les campagnes durent plusieurs mois. On coule toutes les douze heures environ, et on obtient par coulée de 500 à 600k de matte ayant une teneur en cuivre de 30 à 40 p. 100. Cette matte est grillée dans des cases de six à dix fois suivant les localités. Dans la plupart des usines du Mansfeld, on lave la matte à la suite de chaque grillage intermédiaire, pour dissoudre le sulfate de cuivre qui s'est formé, on concentre les eaux de lavage et on fait cristalliser; on obtient ainsi une certaine quantité de sulfate de cuivre cristallisé, que l'on livre en cet état au commerce. La matte, grillée est fondue avec les crasses de raffinage du cuivre noir, dans des fourneaux soufflés à l'air froid, dont la forme générale est la même que celle des fourneaux de fonte crue, dans lesquels la tuyère est un peu moins élevée, et où la partie antérieure de la cuve est supprimée, de telle sorte que la hauteur totale du fourneau n'est guère que de 2m. On coule ordinairement trois fois en 24 heures, et on obtient 300k de cuivre noir par coulée (Hesse). La deuxième matte qui a une teneur en cuivre de 50 p. 100, est grillée à trois ou quatre feux et repassée dans la fonte pour cuivre noir.

Nous donnerons une idée des consommations et des frais de traitement du schiste cuivreux, par les tableaux suivants qui se rapportent à l'usine de Friedrichshütte près Riegelsdorf (Hesse), et qui offrent la moyenne du roulement de l'année 1839. On y emploie comme combustible un mélange de charbon de bois et de coke, en proportions variables suivant les approvisionnements.

1° *Consommations et prix de revient du q. m. de première matte crue.*

1767k de schistes cuivreux valant, rendus à l'usine.			28f,72
Grillage des schistes.	34k,5 de bois de fagots.		0f,29
Fonte crue.	3k	83k de charbon de bois.	4f,10
	80k	282k,7 de coke.	21f,60
Main-d'œuvre.			2f,13
Matériaux et frais divers.			1f,68
Prix de revient du quintal de 1m matte crue.			58f,52

2° *Consommations et prix de revient du q. m de cuivre noir.*

224k,5 de première matte crue (ayant une teneur de 40, 2 p. 100) à raison de 58 f. 52 c. les 100k.			131f,40
19k,5 de deuxième matte crue (ayant une teneur de 50 p. 100).			» »
Grillage des mattes.	68k,7 de bois de fagots.		0f,57
	150k,8 de bois de corde.		1f,07
	137k,5 de ch. de bois.	306k,9 de ch. de b.	15f,17
	0k,5 de coke.		
Fonte de mattes.	15 k,4 de ch. de b.	2k,1 de coke.	0f,18
	1k,6 de coke.		
Main d'œuvre.			2f,38
Matériaux et frais divers.			1f,68
	Total.		152f,45
On a produit 22k de deuxième matte par q. m. de cuivre noir, ce qui donne un excédant de 2k,5 de deuxième matte, dont il faudra déduire la valeur calculée pour une teneur de 50 p. 100 du total ci-dessus, ce qui fait à retrancher.			1f,82
Prix de revient du quintal de cuivre noir.			150f 63

Dans les usines du Mansfeld le cuivre noir obtenu, étant assez riche en argent pour qu'on puisse en extraire ce dernier métal avec bénéfice, est soumis à la *liquation*, opération que nous avons décrite à l'article ARGENT. La liquation donnant lieu à une forte dépense en combustible et à de grands déchets sur le cuivre et l'argent, est actuellement presque en totalité remplacée par l'amalgamation des mattes (voir ARGENT); les boues d'amalgamation sont recueillies dans des bassins de dépôt, retirées encore humides, mélangées avec 13 p. 100 d'argile pulvérisée, et moulées en briquettes que l'on fond pour cuivre noir. Dans la Thuringe et la Hesse, les minerais sont trop peu argentifères pour qu'on puisse séparer avec bénéfice le cuivre de l'argent.

BASSE-HONGRIE. Les minerais sont à gangue siliceuse, et se trouvent associés à une certaine quantité de minerais de la première classe que l'on met à part. On les amène par la préparation mécanique à une teneur de 8 p. 100. Les minerais grillés sont fondus, avec addition de calcaire, dans des fourneaux à deux tuyères analogues à ceux de Riegelsdorf (Hesse), mais de dimensions un peu plus considérables. La partie antérieure du fourneau est en grande partie fermée par un châssis mobile en fer, garni de briques réfractaires, ce qui facilite beaucoup les réparations. La fonte est conduite très rapidement. Les campagnes durent de dix à dix-huit jours. On obtient des loups ferreux où reste la plus grande partie de l'arsenic, et des mattes ayant une teneur en cuivre de 42 à 43 p. 100, qui sont grillées en cases à dix ou douze feux, puis fondues pour cuivre noir avec des minerais quartzeux de la première classe, dans les mêmes fourneaux. On obtient, outre le cuivre noir, une deuxième matte qui est grillée et repassée dans la fonte même. Lorsque les minerais sont argentifères, le traitement est beaucoup plus compliqué; nous l'avons décrit à l'article ARGENT.

USINES A CUIVRE DE L'ANGLETERRE. L'extraction et la fonte des minerais de cuivre constituent généralement dans la Grande-Bretagne deux branches distinctes d'industrie. Les usines à cuivre se sont établies sur le littoral de la mer, dans le bassin houiller du pays de Galles, où elles trouvent le combustible en abondance et à très bas prix, et sont parfaitement situées pour recevoir par voie de mer les minerais indigènes et étrangers. Ces usines forment une douzaine d'établissements distincts situés près de Swansea, Neath-Abbey, Aberavon, Taybach, Llanelly, etc., et concentrés entre les mains de neuf compagnies puissantes. Cette concentration des fonderies de cuivre, une des plus merveilleuses créations du génie commercial de l'Angleterre, et la grande diversité des minerais qui les alimentent, ont conduit à l'adoption d'une méthode de traitement susceptible de se prêter à tous les cas, et que nous allons décrire, en renvoyant pour plus de détails à l'excellent travail publié sur ces usines, en 1848, par M. l'ingénieur en chef des mines *Le Play*.

Les minerais indigènes viennent surtout du Cornouailles, et les vaisseaux qui les apportent à Swansea prennent en retour de la houille pour le service des machines à vapeur installées sur les mines et pour celui des fonderies d'étain. Les minerais étrangers, qui concourent environ pour moitié à la production totale du cuivre, viennent de Cuba, du Chili, de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande, de la Toscane, de la Norwége, etc.

Le traitement métallurgique de ces divers minerais s'opère dans des fours à réverbères chauffés à l'anthracite, et comprend dix opérations fondamentales, qui sont :

I. Grillage des minerais sulfurés, pauvres et de richesse moyenne, à gangue de pyrite de fer;

II. Fabrication de la matte bronze, ou fonte des minerais pauvres, bruts et grillés;

III. Grillage de la matte bronze;

IV. Fabrication de la matte blanche ordinaire, ou fonte de la matte bronze grillée avec les minerais riches;

V. Fabrication de la matte bleue, ou fonte de la matte bronze grillée avec les minerais grillés de richesse moyenne;

VI. Fabrication des mattes blanche et rouge de scories, ou refonte des scories des opérations riches IV, VII et VIII;

VII. Fabrication de la matte blanche-extra, ou rôtissage de la matte bleue V;

VIII. Fabrication des mattes-régules, ou rôtissage de la matte blanche-extra;

IX. Fabrication du cuivre noir, ou rôtissage de la matte blanche ordinaire, des mattes-régules et des produits cuivreux;

X. Raffinage du cuivre noir et production du cuivre malléable.

De ce qui précède on voit que les minerais et produits cuivreux sont introduits dans le roulement de la méthode galloise par les cinq opérations désignées sous les numéros d'ordre I, II, IV, VI et IX. Ils se subdivisent d'après leur nature, leur teneur en cuivre et la destination qui leur est donnée, en sept classes :

La première classe comprend les minerais d'une teneur de 0,03 à 0,15, composés de cuivre pyriteux avec gangue quartzeuse et de pyrite de fer en forte proportion.

La dernière classe comprend des minerais de même nature que les précédents, mais dont la teneur en cuivre varie de 0,15 à 0,25.

La troisième classe renferme des minerais d'une teneur de 0,12 à 0,20, peu riches en pyrite de fer et renfermant une assez forte proportion d'espèces cuivreuses oxydées.

Les minerais de la quatrième classe ont une teneur de 0,25 à 0,45, et sont principalement composés d'espèces cuivreuses oxydées (oxydes, carbonates et silicates), avec beaucoup de cuivre sulfuré, un peu de cuivre pyriteux et panaché, et une gangue de quartz et de fer oxydé à peu près exempte de pyrite de fer.

La cinquième classe comprend des minerais d'une teneur de 0,10 à 0,15 essentiellement composés de cuivre pyriteux, de pyrite de fer et de quartz, et absolument exempts de substances nuisibles, telles que l'arsenic et l'antimoine.

La sixième classe se compose exclusivement de minerais très riches, d'une teneur de 0,50 à 0,80, et exempts de sulfures ferreux et de substances nuisibles.

Enfin la septième classe comprend des produits cuivreux, tels que les battitures et balayures des laminoirs à cuivre, d'une teneur moyenne de 0,75.

Cela posé, nous pouvons aborder la description de chacune des dix opérations précédemment définies.

I. *Grillage de minerais sulfurés, pauvres et de richesse moyenne à gangue de pyrite de fer*. Ce que cette opération offre de plus remarquable, est le chauffage des fours à réverbère, qui servent pour le grillage, au moyen d'un mélange de trois parties d'anthracite menu et de une partie de houille, par l'emploi d'une grille artificielle formée de matières terreuses ou *craya* fournies par le combustible lui-même. Le craya qui, à la partie supérieure, est dans un certain état de ramollissement et empâte les matières charbonneuses, se refroidit aussitôt que ces matières sont consumées, se solidifie à la partie inférieure et s'y divise en gros fragments dont les interstices sont suffisants pour laisser passer l'air nécessaire au foyer, et point assez pour laisser filtrer le combustible pulvérulent. La hauteur totale de la grille de craya est d'environ $0^m,60$; elle est supportée sur quatre à cinq barres de fer et recouverte de $0^m,60$ à $0^m,70$ du mélange de combustible pulvérulent dont nous avons parlé. L'air en traversant la masse du craya s'échauffe, et au contact du combustible pulvérulent qu'il traverse sur une grande épaisseur, se transforme complétement en oxyde de carbone, à l'opposé de ce qui se passe dans les fours à réverbères ordinaires.

Tous les phénomènes que présente un four de grillage bien conduit, prouvent que le courant gazeux qui se dégage sans cesse de la chauffe du four est en effet exclusivement composé soit d'azote, soit de gaz combustible provenant de la distillation du combustible chargé dans la chauffe, soit de l'oxyde de carbone provenant de la réaction de l'air qui a traversé la grille

sur la partie fixe de ce même combustible. Ce courant débouche avec une extrême lenteur par le large rampant qui met en communication la chauffe avec le laboratoire et s'étale ensuite le long de la voûte, en ralentissant encore son mouvement ; la température élevée qu'il a acquise dans la chauffe, la position où il se trouve à la sortie du rampant le placent naturellement au-dessus de la nappe d'air atmosphérique appelée au-dessus de la sole et du minerai, au travers d'orifices spéciaux ménagés dans les portes de travail et sur les côtés de l'autel ou grand pont. Le gaz combustible ainsi superposé à une masse d'air atmosphérique, s'enflamme et brûle lentement par sa surface inférieure et développe ainsi la chaleur nécessaire pour déterminer entre l'oxygène de l'air, placé au-dessous, et les sulfures que contient le minerai, les réactions caractéristiques du grillage.

Les principales dimensions du fourneau de grillage gallois sont :

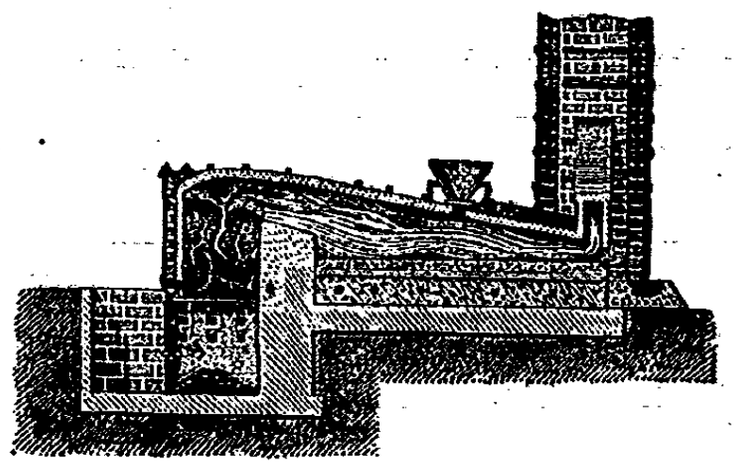
		m.	m.
Chauffe.		0,91	sur 1,22
Autel.		0,46	sur 1,22
Sole.		5,25	sur 3,66
Hauteur de la voûte au-dessus :	de l'autel.		0,50
	de la sole près de l'autel.		0,96
	de la sole à l'autre extrémité.		0,44
Section de chaque rampant.		0m,30	sur 0,40

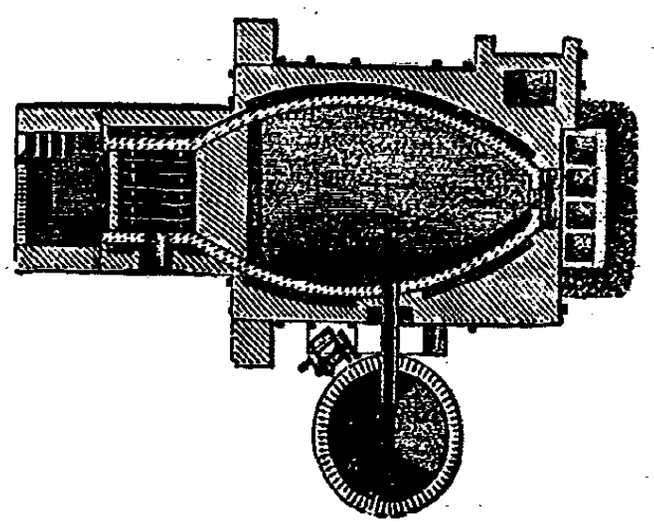
On charge tous les cinq quarts d'heure environ 45 kilog. de combustible sur la grille, dont le seul travail consiste à enlever de temps à autre les fragments de crayn inférieurs qui paraissent trop restreindre l'accès de l'air, et à reformer au besoin avec la pointe du ringard les orifices qui tendent à s'obstruer. On charge à la fois 3,450 kilog. de minerai dans le four, au moyen des deux trémies placées au-dessus, et on l'étend ensuite uniformément sur la sole, où il forme une couche de 0,m12. Deux heures après le commencement de l'opération, la réaction commençant à s'exercer vivement sur le minerai de la surface, l'ouvrier exécute pour la première fois la manipulation caractéristique du grillage, qui consiste à renouveler la surface avec un râble, en traçant dans toute l'étendue de la masse une série de sillons parallèles. Le râblage complet s'effectue en travaillant successivement par chacune des quatre portes et dure en tout environ douze minutes. Ces râblages se renouvellent de deux heures en deux heures, ce qui en fait cinq par opération. Onze heures et demie après le commencement de l'opération, les ouvriers de deux fours contigus se réunissent pour enlever la charge grillée ; à cet effet, ils ouvrent les quatre portes, enlèvent les plaques de fonte placées pendant le travail au-dessus des trous placés sur la sole au-devant des portes, puis ils attirent au moyen du râble le minerai dans ces orifices, et le font ainsi tomber dans un réservoir placé au-dessous.

II. *Fabrication de la matte bronze ou fonte des minerais pauvres bruts et grillés.* Les fourneaux de fusion employés dans la méthode galloise, quoique chauffés comme ceux de grillage au moyen d'un mélange d'anthracite pulvérulent et de houille menue, en diffèrent en ce qu'il est essentiel ici d'obtenir une température élevée. A cet effet, on leur donne la forme représentée en plan et en coupe par les fig. 632 et 633, la plus convenable pour concentrer la chaleur sur la sole. On conduit le feu de manière à ce que le courant de gaz combustible se mélange dans le foyer même avec de l'air chaud peu ou point modifié par la combustion et aspiré par un ou deux gros canaux que l'on ménage dans la masse du crayn. Le gaz combustible et l'air, portés ainsi isolément à une haute température, se mélangent à leur sortie du foyer, sous l'influence du mouvement rapide et des remous qui leur sont imprimés

par le tirage ; de là résultent une réaction très vive et une flamme fort intense.

632





633.

Le four de fusion pour la fabrication de la matte bronze consomme environ 440 kilog. de combustible à l'heure et les dimensions principales sont les suivantes :

		m.	m.
Chauffe.		1,37	sur 1,40
Autel.		0,76	sur 1,40
Sole.		3,96	sur 2,74
Rampant.		0,30	sur 0,68
Hauteur de la voûte au dessus :	de l'autel.		0,50
	de la sole près de l'autel.		0,90
	de la sole à l'autre extrémité.		0,41

Le lit de fusion se compose de minerais de la première classe grillés, de minerais crus de la troisième classe, de scories riches de l'opération, de scories des fontes IV, V et VII et d'une faible proportion de fondant fluoré formé d'environ deux tiers de fluorure de calcium et un tiers d'argile. La charge se compose moyennement de 1,000 kilog. de minerais bruts et grillés et de 300 kilog. de scories et fondants, et s'introduit, les matières pulvérulentes par une trémie placée sur la voûte du fourneau, et les plus gros morceaux de scories par la porte de travail placée à l'extrémité du grand axe de la sole. Cela fait, on ferme et on lute cette porte. Au bout de trois heures et demie de feu, on ouvre la porte pour brasser vivement les matières, puis on donne un coup de feu pendant un quart d'heure. On procède ensuite à la coulée de la matte en débouchant avec précaution, au moyen d'un ringard pointu, l'orifice qui correspond à la partie inférieure de la dépression ou bassin que présente la sole sur le tiers environ de la surface. La matte coule en mince filet et est conduite par une gouttière en fonte dans un ré-

servoir en tôle, ordinairement plein d'eau, où elle se grenaille. Le fondeur ouvre ensuite la porte de travail, fait sortir la scorie en la halant avec un râble, et la fait tomber dans quatre moules rectangulaires en sable. Cette scorie, dont la pâte est très fusible, renferme en suspension un nombre considérable de fragments de quartz et de roches quartzeuses et quelques grenailles de matte bronze. Ces scories sont cassées au marteau et divisées, d'après leur aspect, en scories à rejeter, d'une teneur moyenne de 0,005, et scories à repasser dans l'opération, d'une teneur moyenne de 0,008. La matte bronze obtenue renferme à peu près, cuivre 0,34, fer 0,35, soufre 0,39, scorie mélangée 0,01.

III. *Grillage de la matte bronze.* Le grillage de la matte bronze grenaillée s'effectue dans des fours de mêmes formes et dimensions que ceux employés pour le grillage des minerais. On consomme par heure 43 kilog. de combustible et chaque opération dure trente-six heures. On charge à la fois 4,500 kilog. de matte qui, étendue sur la sole, y occupe une épaisseur moyenne de 0m,24. De deux en deux heures, on renouvelle les surfaces alternativement en y traçant une suite de sillons parallèles avec le râble et en la retournant avec une étroite spadelle.

IV. *Fabrication de la matte blanche ordinaire.* Les fours employés pour cette fonte ont les mêmes formes et dimensions que ceux pour matte bronze, à cette différence près que la sole ne présente aucune dépression et seulement une pente uniforme et très faible, strictement suffisante pour donner issue à toutes les matières fondues vers l'orifice d'écoulement placé sur l'un des longs côtés. On y consomme 144 kilog. de charbon par heure et l'opération dure six heures. Le lit de fusion se compose de matte bronze grillée, minerais bruts de la quatrième classe, produits cuivreux de la septième classe, scories des opérations IX et X et débris de fourneaux des opérations II et IV à X. On charge à la fois 16,000 kilog. du lit de fusion et la fonte est conduite comme celle pour matte bronze, à cela près que l'on coule à la fois la matte et la scorie dans une rigole en sable. La matte blanche a une teneur en cuivre d'environ 0,73, les scories sont triées en scories pauvres, d'une teneur moyenne de 0,037, repassées dans la fonte II, et en scories riches, d'une teneur moyenne de 0,053 traitées dans la fonte VI.

V. *Fabrication de la matte bleue.* La fabrication de la matte bleue est en tout semblable à celle de la matte blanche; seulement la nature du lit de fusion, qui se compose de matte bronze grillée et de minerais de la deuxième classe grillés, permet d'élever les charges à 2,000 kilog. On obtient comme produits : de la matte bleue d'une teneur moyenne de 0,57, des scories pauvres d'une teneur de 0,03 à repasser dans la fonte IV et des débris de fourneaux repassés dans la fonte IV.

VI. *Refonte des scories riches des opérations IV, VII et VIII.* Cette refonte s'opère avec addition d'environ 10 p. 100 de minerais pyriteux de la cinquième classe crus et une très faible quantité de charbon. Le four a la forme et à très peu près les mêmes dimensions que les fours de fusion précédemment décrits; il en diffère surtout en ce qu'il n'offre pas de trémie pour le chargement des matières, qui s'effectue par une porte latérale placée sur l'extrémité du petit axe de la sole diamétralement opposée à celle qui correspond au trou de coulée. La charge est de 2,000 kilog. de scories et minerais et 100 kilog. de charbon, et son élaboration s'effectue en cinq heures trois quarts. Les produits sont : des fonds cuivreux très impurs, tenant 0,86 de cuivre; au-dessus un alliage blanc de cuivre et d'étain, renfermant 0,7 de cuivre et 0,3 d'étain; puis tantôt une matte blanche d'une teneur de 0,75, tantôt une matte bleue d'une teneur de 0,62, que l'on appelle improprement matte rouge, et enfin des scories à rejeter, d'une teneur de 0,004.

VII. *Rôtissage de la matte bleue.* Cette opération consiste : 1° en une fusion lente, à une température très ménagée, dans laquelle on oxyde, sous l'influence directe de l'air, la majeure partie des matières nuisibles et une grande proportion de cuivre; 2° en une fonte opérée à une haute température, dans laquelle, après avoir scorifié les oxydes formés au moyen de la silice fournie par la sole et les parois du four, on affine la matte non décomposée pendant la première période, en faisant réagir sur le sulfure de fer de cette matte l'oxyde cuivreux dissous dans la scorie. Le four de rôtissage ne diffère de celui employé pour la fusion des scories riches que par un ouvreau latéral placé près de l'autel et muni d'un registre qui sert à introduire dans le four une grande quantité d'air, pendant la première période du travail. La charge se compose de 2,000 kilog. de matte bleue en gros pains et son élaboration dure un peu moins de douze heures. On obtient des scories pauvres et riches à repasser dans II et VI, des débris de fourneaux pour la fonte IV et une matte blanche extra d'une teneur moyenne de 0,77.

VIII. *Rôtissage de la matte blanche extra et des mattes de la refonte des scories riches.* Ces diverses mattes sont soumises séparément à un rôtissage qui s'opère tout à fait comme le précédent, à cela près que la proportion de fer et autres matières étrangères étant beaucoup moindre, l'opération est conduite beaucoup plus rapidement, et l'élaboration d'une charge de 1,500 kilog. dure un peu moins de quatre heures. On obtient comme produits des fonds cuivreux d'une teneur de 0,92, une matte-régule ou mélange mécanique de matte et de cuivre d'une teneur de 0,81, des scories riches, des balayures et des débris de fourneaux à repasser dans les fontes VI et IV.

IX. *Fabrication du cuivre noir.* Cette opération, dans laquelle on opère sur de la matte blanche ordinaire, des mattes-régules ou des fonds cuivreux que l'on traite séparément, s'effectue dans un four de rôtissage ordinaire. La charge s'élève à 3,700 kilog., dont l'élaboration dure vingt-quatre heures, et, indépendamment du chargement et de la coulée, se divise en quatre périodes d'une durée à peu près égale, savoir : 1° rôtissage et première fusion pâteuse goutte à goutte, réaction partielle de l'oxyde de cuivre et des sulfures déjà tombés sur la sole; 2° refroidissement, réaction de l'oxyde de cuivre et des sulfures, soulèvement de la masse; 3° réchauffement, réaction de l'oxyde de cuivre et des sulfures, deuxième fusion pâteuse; 4° coup de feu, réaction de l'oxyde de cuivre et des sulfures, réaction de l'oxyde de cuivre en excès et des autres oxydes sur la silice, fusion complète. On obtient comme produits du cuivre noir d'une teneur de 0,98-0,99, des scories et débris de fourneaux à repasser en IV et des balayures pour VI.

X. *Affinage du cuivre noir.* L'affinage du cuivre noir s'opère dans des fours de même forme que ceux de rôtissage, dont la sole présente, près de la partie située dans le grand axe du four, un bassin pour l'enlèvement du cuivre affiné. La charge varie de 5,000 à 10,000 kilogrammes et plus de cuivre noir, suivant la capacité du four de raffinage, qui est toujours rempli jusqu'à la voûte, et son élaboration dure vingt-quatre heures. La réparation de la sole en sable réfractaire et le chargement du cuivre noir durent trois heures; on lute ensuite les portes, et pendant dix-huit heures l'ouvrier n'a à s'occuper que de la conduite du feu; le cuivre fond peu à peu et subit un premier affinage, et il se forme peu à peu à la surface du bain une scorie dans laquelle passent, outre l'oxyde cuivreux formé en grand excès, les oxydes de tous les métaux étrangers qui étaient restés dans le cuivre noir, tandis que

le soufre et les traces d'arsenic sont gazéifiées, autant que le permet la nature du métal soumis à l'affinage. Au bout de ce temps commence le raffinage proprement dit, qui commence par un écumage du bain, pendant lequel la presque totalité de la scorie surnage le métal. Aussitôt après on jette sur le bain quatre à cinq pelletées de charbon de bois ou d'anthracite d'une extrême pureté, qui se répand immédiatement à la surface du métal fondu, de manière à le recouvrir presque complétement; puis on introduit dans le bain une grosse perche de bois vert. Sous l'influence de la haute température à laquelle il se trouve brusquement soumis, le bois dégage des gaz qui font bouillonner fortement la masse métallique et qui accélèrent considérablement l'effet qui serait produit à la longue par le charbon de bois. Après avoir prolongé le bouillonnement pendant un temps qui varie de quinze à vingt-cinq minutes, selon la qualité du métal, on commence à prendre des essais dans le bain de cuivre, pour saisir le moment précis auquel le métal atteint le maximum de malléabilité. Dès qu'on est parvenu à ce point, on s'empresse d'enlever par un second écumage les charbons restant à la surface et la mince couche de scorie qui s'est reformée; on jette une pelletée de charbons frais qui s'éparpillent à la surface du métal; on charge fortement la grille pour former, par distillation, une forte quantité de gaz combustibles qui arrivent sous la voûte et y brûlent avec une extrême lenteur; enfin on procède à la coulée, qui se fait ordinairement en puisant le cuivre au moyen de poches en fer préalablement chauffées et le versant dans des lingotières en fonte de formes variées. Fréquemment on se sert de lingotières assez profondes pour que l'on puisse y couler successivement plusieurs lingots, en laissant entre les coulées un temps suffisant pour leur solidification. Si le cuivre est destiné à la fabrication du laiton, au lieu de le couler en lingots, on le granule en le versant dans une grande cuillère percée de trous et placée au-dessus d'une cuve remplie d'eau chaude ou d'eau froide, suivant que l'on veut obtenir des grains bien arrondis ou irréguliers.

Pour prendre les essais dont nous avons parlé, on découvre une petite partie de la surface du bain à $4^{m},20$ environ de la porte, et on puise vivement dans une lingotière soudée à l'extrémité d'une forte tige en fer un petit lingot de 40 millimètres de long sur 15 de côté. On l'entame immédiatement avec un ciseau, puis on achève de le rompre, et on obtient ainsi une cassure fraîche dont l'aspect permet d'apprécier le degré de malléabilité. En commençant à prendre des essais au moment où l'action du charbon et le bouillonnement produit par le bois n'ont point encore été suffisamment prolongés, on observe dans la cassure des lingots successifs les caractères suivants : les premiers lingots présentent une cassure grenue, mate, terne, d'un rouge brique foncé, puis ces caractères se modifient peu à peu jusqu'à un certain type dont la cassure est à fibres extrêmement déliées, l'éclat métallique à reflets soyeux très prononcé et la couleur d'un rouge pâle caractéristique; à partir de ce type, la cassure devient plus grossière, les fibres se prononcent de plus en plus et présentent des stries transversales, l'éclat, quoique métallique, cesse d'être soyeux, la couleur devient plus pâle et prend une teinte jaunâtre très décidée. Si alors, après avoir enlevé le charbon et le bois, on laisse la surface du bain exposée sans défense à l'influence oxydante de l'air, cette suite de caractères se présente dans un ordre exactement inverse. Les types extrêmes, grenus et fibreux, correspondent à une dissolution d'oxyde cuivreux ou de carbone dans le bain métallique et à des produits qui n'ont aucune malléabilité, tandis que le maximum de malléabilité correspond au type le plus soyeux. C'est donc au moment où l'on est arrivé à ce type qu'il faut procéder immédiatement à la coulée, en opérant ainsi que nous l'avons indiqué. Celle-ci durant environ une heure et demie, on continue pendant ce temps de prendre des essais dans les poches mêmes qui servent à puiser le métal, et, selon que ce dernier tend à prendre une structure grenue ou fibreuse, on contre-balance cette tendance en ajoutant quelques nouveaux charbons à la surface du bain ou en retirant quelques-uns de ceux qui s'y trouvent.

D'après M. Leplay, les frais de traitement des minerais de cuivre rendant 0,433 kilogrammes de cuivre marchand, peuvent être estimés, dans une usine galloise, à :

		Par 100 kil. de minerai traité. fr. c.	Par 100 kil. de cuivre obtenu. fr. c.
Frais de transport des minerais à l'usine.		0 71	5 33
Traitement métallurgique	Main-d'œuvre.	0 52	3 90
	Combustible.	0 94	6 83
	Matériaux et réactifs divers.	0 20	1 50
	Frais généraux, administratifs, intérêt 5 p. 100 des capitaux immobilisés.	0 76	5 70
Intérêt à 4 p. 100 du fonds de roulement		0 58	3 97
Frais de vente du cuivre, transports, commission, à-compte.		1 98	14 85
Bénéfice du fondeur.		0 83	6 22
	Total. . . .	6 44	48 30

Nous nous sommes étendus un peu longuement sur le mode de traitement suivi aujourd'hui dans les usines à cuivre de l'Angleterre, parce que le beau travail de M. Leplay nous permettait de rectifier les idées erronées qu'on s'était faites jusqu'à ce jour sur les procédés anglais. Nous devons à ce savant ingénieur d'avoir pu exposer d'une manière complète une série d'opérations extrêmement complexes, dans lesquelles toutes les ressources qu'offrent les méthodes de la métallurgie sont habilement utilisées.

Nous allons encore indiquer un progrès dû aux travaux d'ingénieurs des mines français.

PROCÉDÉ DE MM. RIVOT ET PHILLIPS. On sait que le fer métallique précipite le cuivre à l'état métallique d'un certain nombre de ses dissolutions. MM. Rivot et Phillips, ingénieurs des mines, ont reconnu que la même réaction avait lieu par voie sèche, et que le fer métallique plongé dans un bain de silicate de cuivre fondu en séparait également le cuivre à l'état métallique. Ils ont mis cette propriété à profit pour appauvrir les scories de cuivre que l'on obtient dans la fonte des minerais, de manière à obtenir dans une seule opération tout le métal que renferment ceux-ci. Avant de décrire ce procédé, nous ferons remarquer qu'il ne peut s'appliquer aux minerais qui renferment des quantités notables d'arsenic et d'antimoine, ce qui a également lieu pour l'essai par voie humide au moyen du fer métallique desdits minerais.

On commence par griller aussi complétement que possible les minerais de cuivre. En général, pour obtenir un grillage complet, il convient de faire un premier grillage en tas ou dans des fours analogues aux fours à chaux, ce qui, en outre, étonne le minerai et rend la pulvérisation plus facile; on le réduit ensuite en sable assez fin et on le grille avec soin au four à réverbère, en terminant par un bon coup de feu, afin de décomposer les sulfates formés à une plus basse température. Il importe que ce grillage soit bien exécuté : avec des minerais imparfaitement grillés, on obtient à la fonte

un peu de matte riche au-dessus du cuivre noir, la consommation en fer est un peu plus considérable, et les scories à rejeter un peu plus riches en cuivre.

On mélange le minerai grillé avec de la chaux ou du sable ou des scories d'une opération précédente, en quantité convenable pour déterminer la fusion du mélange et du charbon de bois ou de la houille maigre menue, en proportion plus que suffisante pour réduire les oxydes que renferme le minerai grillé. En ne comptant comme bases dans la charge que le protoxyde de fer et la chaux, il convient de chercher à produire un bi-silicate de fer et de chaux contenant de 12 à 15 p. 100 de chaux. Lorsqu'il y a moins de chaux et plus d'oxyde de fer, on obtient en général un cuivre plus ferreux.

Le mélange ci-dessus ayant été chargé dans un fourneau à réverbère, on recouvre la charge avec quelques pelletées de houille menue, afin de préserver la matière de l'oxydation par les flammes du fourneau. On brasse de temps en temps afin d'accélérer la fusion. Dès que la matière commence à s'agglomérer, les parties qui s'attachent aux ringards contiennent une certaine quantité de grenailles de cuivre; quand la fusion est complète, ce qui exige environ quatre heures, les outils plongés dans le bain indiquent la réunion du cuivre au point le plus bas de la sole près du trou de coulée. Lorsque la scorie est bien homogène, elle ne contient plus que 2 à 3 p. 100 de cuivre. On place alors dans le four un certain nombre de barres de fer d'un poids à peu près égal à celui de la charge, en engageant leurs extrémités dans des cannelures ménagées dans la paroi du four opposée à la porte de travail, et en ayant soin de les plonger entièrement dans le bain de scories, sans toutefois qu'elles puissent atteindre le cuivre métallique qui occupe le fond du bain. On jette ensuite une certaine quantité de houille menue à la surface de la scorie, afin d'empêcher la peroxydation du protoxyde de fer qu'elle renferme, ce qui aurait l'inconvénient de rendre la scorie moins fluide et d'augmenter la consommation en fer métallique, ce dernier se dissolvant dans le silicate de peroxyde de fer pour le ramener à l'état de silicate de protoxyde. On brasse ensuite de demi-heure en demi-heure avec des râbles à deux dents très commodes pour nettoyer, dans la scorie, la surface des barres. On produit aussi de temps à autre un brassage très énergique de la scorie, en y plongeant une perche de bois vert.

L'aspect de la scorie ne peut guère indiquer l'avancement de la réduction; toutefois les essais pris avec un ringard froid, plongé un instant dans le bain, présentent toujours au contact du fer une teinte métallique rougeâtre très prononcée quand la scorie est un peu riche, tandis que cette teinte est insensible quand les scories ne renferment plus que 4 à 5 millièmes de cuivre.

L'expérience a prouvé que trois ou quatre heures d'action des barres de fer, suffisent pour appauvrir la scorie jusqu'à ce qu'elle ne renferme plus que 4 à 6 millièmes de cuivre. On retire alors les barres de fer et on procède à la coulée. La durée de l'élaboration d'une charge est donc d'environ huit heures.

Le cuivre noir obtenu est très pur et renferme, en général, au plus 1 p. 100 de matières étrangères (fer et soufre).

La consommation en fer des barres varie de 1/12e à 1/7e du poids du cuivre obtenu, et est du reste presque indépendante de la richesse des minerais.

Il est essentiel de n'élever la température que juste au point strictement nécessaire pour la fusion, si l'on veut obtenir du cuivre noir très pur. Dans le cas contraire, et lorsque l'on chauffe au blanc vif, la consommation en fer est, il est vrai, notablement plus faible, mais on obtient un cuivre noir très impur et qui contient jusqu'à 8 et 10 p. 100 de fer.

Nous terminerons, en ce qui concerne ce procédé, qui du reste n'est encore appliqué, à notre connaissance d'une manière courante, dans aucune usine, qu'il peut s'appliquer facilement au traitement des matières plombeuses et notamment des sulfates, pour en retirer à l'état métallique le plomb qu'elles renferment.

Traitement métallurgique des minerais de la troisième classe.

Ces minerais se trouvent ordinairement mélangés en faible proportion avec les minerais de la deuxième classe et sont traités simultanément. Souvent ils sont argentifères et traités comme minerais d'argent (voyez ARGENT; minerais de *cuivre et argent, plomb, cuivre et argent*). La chloruration est un des meilleurs moyens connus pour éliminer les dernières traces d'arsenic, d'antimoine et de phosphore; aussi on a constaté que l'amalgation des mattes ou des cuivres noirs améliore très sensiblement la qualité des cuivres obtenus en dernier ressort.

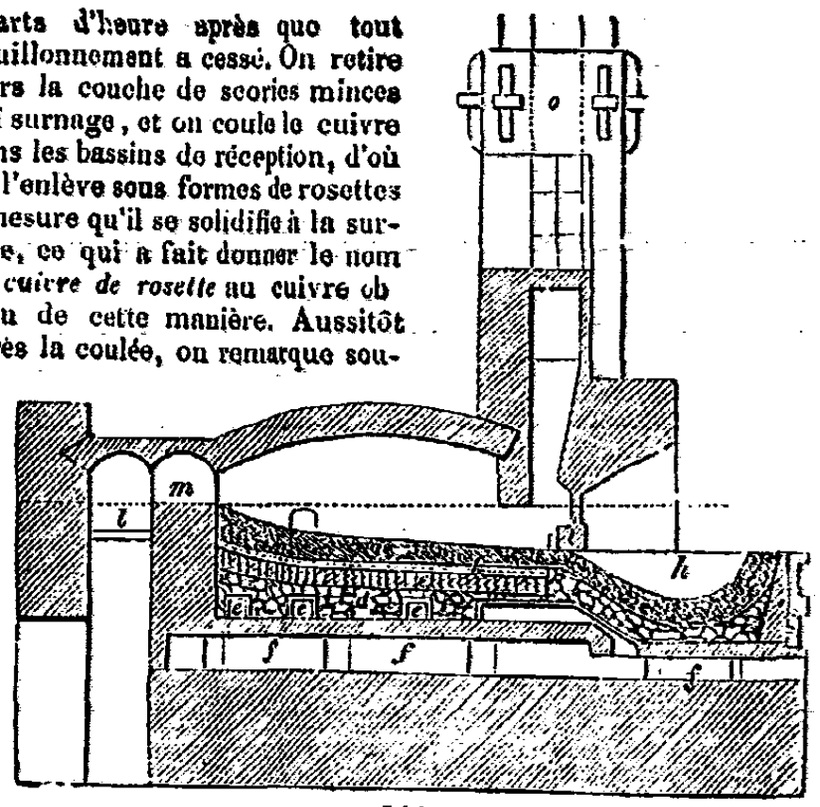
Raffinage du cuivre noir.

Le raffinage du cuivre noir se fait, soit en grandes masses au four à réverbère, soit au petit foyer lorsqu'on opère sur de faibles quantités. Nous avons déjà décrit plus haut la méthode d'affinage suivie dans le pays de Galles, de sorte qu'il ne nous reste pour compléter ce qui concerne l'affinage du cuivre noir au four à réverbère qu'à décrire les méthodes suivies à Chessy et en Allemagne.

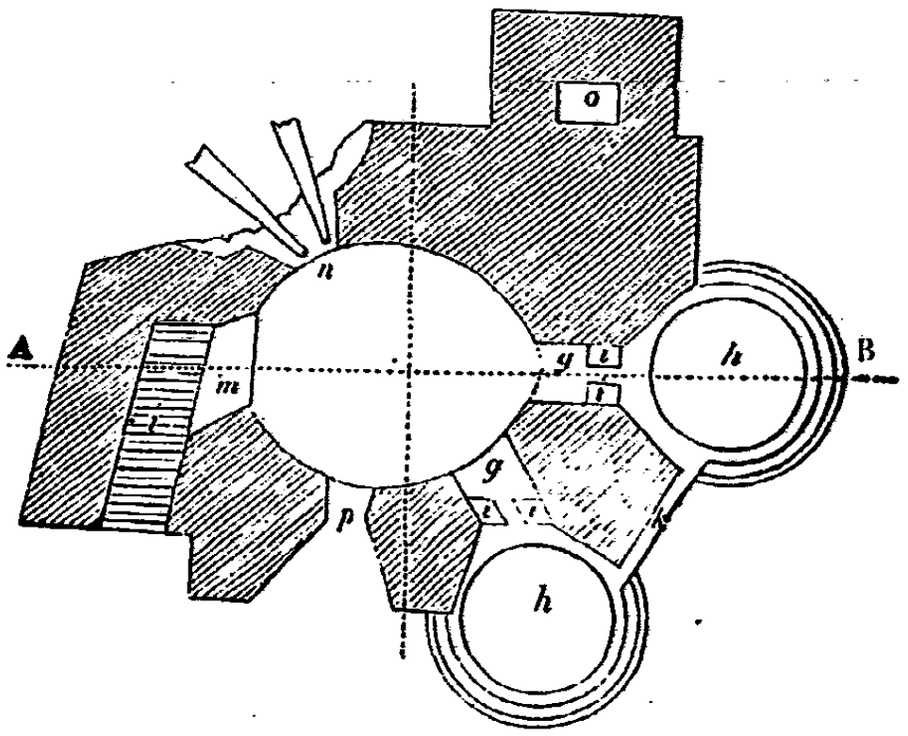
MÉTHODE DE CHESSY. Le raffinage du cuivre noir s'exécutait à Chessy, dans un fourneau à réverbère, dont les fig. 643 et 644 donnent le plan et la coupe; les fondations étaient construites en gneiss; la voûte, l'autel et la cheminée en briques réfractaires. La sole *a*, en brasque pesante (2 p. d'argile, 1 p. de sable, et 2 p. de poussier de charbon) repose sur une contre-brasque *b* en argile damée sur un lit de briques *c* posées de champ sur une couche de scories *d*; deux séries de canaux *e* et *f*, servent à l'assèchement des scories. La sole est elliptique et a 2m,60 de longueur sur 2m,15 de large. Elle présente en son milieu une cavité de 0m,27 de profondeur qui communique par les deux embrasures *g*, *g*, avec les deux bassins de réception *h*, *h*; ces bassins en brasque bien damée communiquent entre eux par un canal *k*; ils ont 1m,15 de diamètre et 0m,45 de profondeur, et reçoivent 1300 à 1400k de cuivre par opération; les embrasures *q*, *q*, sont maintenues fermées jusqu'au moment de la coulée par des briques réfractaires *i*, *i*. La grille *l*, a 1m,00 sur 0m,40; *m*, est l'autel; *n*, l'embrasure des tuyères; *o*, la cheminée de 12m de haut et ayant une section de 15 décimètres carrés; *p*, la porte de travail qui sert à retirer les scories; au-dessus de cette porte, il y a une hotte pour attirer la flamme ou la fumée qui sort lorsque la porte est ouverte et empêcher qu'elle n'incommode l'affineur.

On charge à la fois 3000k de cuivre noir avec un peu de cuivre en grenailles, de cuivre de cément et de cuivre oxydulé très riche; aussitôt que le cuivre est fondu, on donne le vent; la surface du bain ne tarde pas à se couvrir de scories que l'on retire avec un râble, opération qui constitue le *décrassage*. Il se forme à la surface du bain de nouvelles crasses de plus en plus minces, dont la couleur tire de plus en plus sur le rouge, et que l'on écume fréquemment. Quand il ne se forme plus de crasses, ce qui a ordinairement lieu au bout de quatre à cinq heures, on augmente le feu: le bain se met alors à bouillonner vivement: on dit alors *qu'il travaille*. Ce bouillonnement cesse au bout de trois quarts d'heure à une heure, sans que l'on diminue le feu. On commence alors à prendre des essais. L'affinage n'est ordinairement complet que trois

quarts d'heure après que tout bouillonnement a cessé. On retire alors la couche de scories minces qui surnage, et on coule le cuivre dans les bassins de réception, d'où on l'enlève sous formes de rosettes à mesure qu'il se solidifie à la surface, ce qui a fait donner le nom de *cuivre de rosette* au cuivre obtenu de cette manière. Aussitôt après la coulée, on remarque sou-



644.

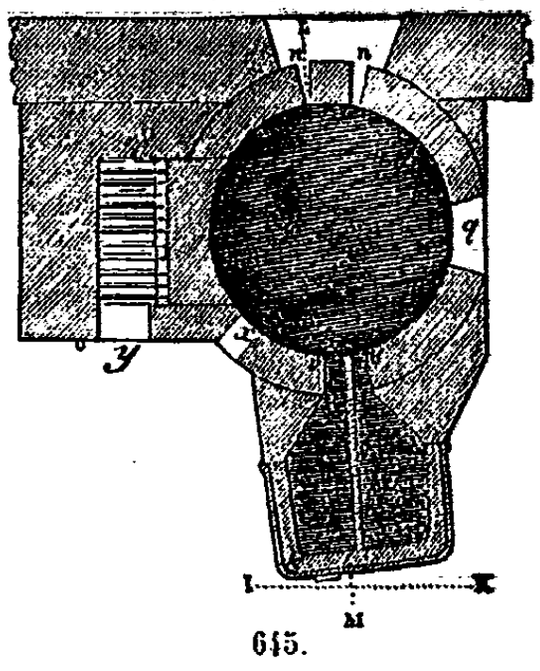


643.

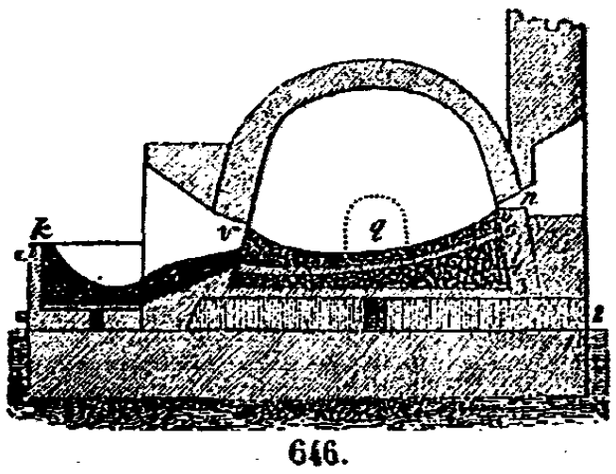
vent une fumée rouge, épaisse, qui s'élève de la surface du bain, et qui y retombe sous la forme de pluie fine ; cette fumée qui est due à la projection en l'air d'une multitude de grenailles de cuivre extrêmement fines, se produit surtout lorsque le cuivre est très pur et ne renferme que fort peu d'oxydule. L'opération dure en tout seize heures, et produit environ 2500ᵏ de cuivre rosette, et 550ᵏ de scories qui sont repassées dans la fonte pour cuivre noir, ainsi que les fumées qui se déposent dans le rampant qui conduit à la cheminée. On consomme par opération 4800ᵏ de houille. Le cuivre rosette ainsi obtenu est chargé d'oxydule de cuivre et sec. On lui rend sa malléabilité, en le refondant dans un four à réverbère et l'affinant par la méthode anglaise, ou le refondant au petit foyer comme nous le décrirons plus loin.

MÉTHODE HONGROISE. Cette méthode, usitée en Hongrie, dans le Hartz et dans une partie de l'Allemagne, s'exécute dans un fourneau à réverbère représenté en plan fig. 645, en coupe fig. 646 et en élévation fig. 647. *k*, *k*, sont les bassins de réception, battus avec un mélange de brasque et d'argile; *n*, *n*, les tuyères; *q* la porte de chargement ; *v*, *v*, deux trous de coulée communiquant avec les bassins de réception ; *x*, porte par laquelle on retire les scories ; *y*, porte de la chauffe. La sole est construite comme à Chessy. On charge à la fois 3000ᵏ de cuivre, et on lui fait d'abord subir un rôtissage comme dans la méthode anglaise, en commençant à donner le vent dès que le cuivre commence à fondre, puis en augmentant peu à peu la quantité, et on termine l'opération comme à Chessy. Le cuivre rosette obtenu est ensuite raffiné au petit foyer.

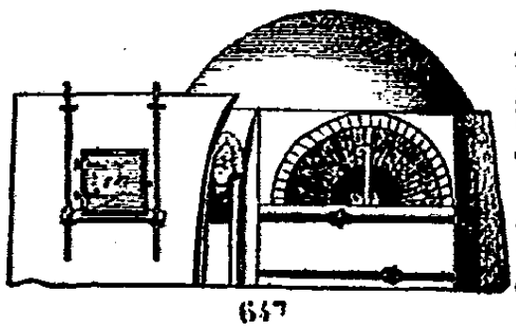
RAFFINAGE AU PETIT FOYER. Le raffinage des résidus cuivreux ou *carcas* provenant de la liquation (voy. ARGENT) se fait dans un petit foyer dont les fig. 648, 649 et 650, donnent le plan et deux coupes. *a*, est le foyer en brasque *c* ; *b*, le mur dans lequel est pratiquée l'embrasure de la tuyère, qui reçoit le vent de deux soufflets pyramidaux ; *d*, plaques en fonte recouvrant le pourtour du foyer; *e*, ouverture pour faire écouler les scories; *f*, petit mur, et *g* plaque en tôle pour retenir le charbon. Le foyer ayant été échauffé par un feu de charbon de bois, on met sur le charbon 30 à 40ᵏ de résidus cuivreux et l'on recouvre le tout de charbon. Lorsque cette charge est fondue, on en ajoute de la même manière une seconde, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'on ait chargé de 100 à 200ᵏ de cuivre, et que le foyer soit plein.



645.

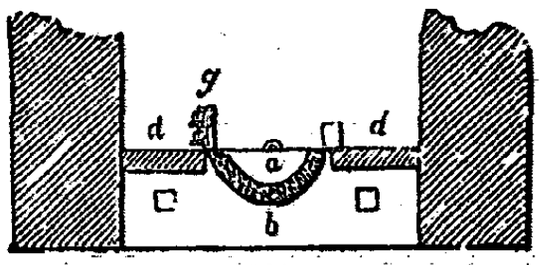


646.

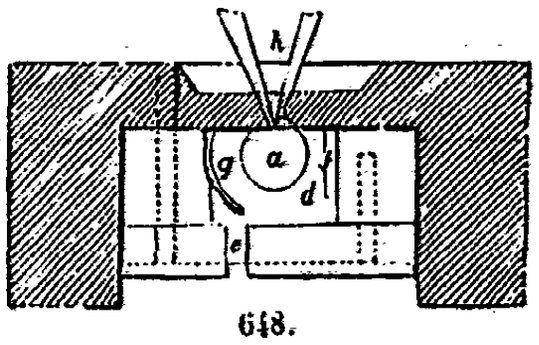


647

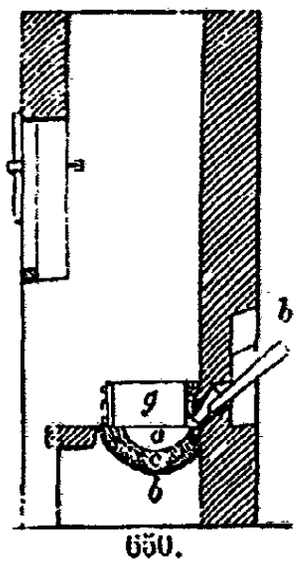
Le vent oxyde les métaux étrangers plus oxydables que le cuivre et les scorifie, en produisant une sorte de rôtissage. Les scories, d'abord noirâtres, prennent



649.



648.



650.

peu à peu une teinte rouge de cuivre, et coulent d'elles-mêmes par l'embrasure *e*. On prend fréquemment des essais en plongeant par la tuyère, dans le bain de cuivre, une barre de fer bien décapée ; puis, la retirant aussitôt, la plongeant dans l'eau froide et faisant tomber d'un coup de marteau le dé qui s'y est attaché. Ce dé devient de plus en plus mince, et l'affinage est terminé lorsqu'il est très mince, qu'il offre la forme d'un réseau d'un *rouge-brun* à l'extérieur, et d'un rouge de cuivre à l'intérieur, et qu'il se laisse courber au marteau sans se rompre. On arrête alors le vent, on enlève avec un râble le charbon et les scories qui recouvraient le cuivre, on laisse un peu refroidir le bain, puis on solidifie la surface en y jetant de l'eau, et on enlève le cuivre en plaques minces ou rondelles, que l'on jette dans l'eau froide pour prévenir l'oxydation du cuivre ; le métal se recouvre alors d'un enduit extrêmement mince de protoxyde de cuivre, et prend une couleur d'un beau rouge-cochenille. Le raffinage de 110[k] de résidus cuivreux dure trois quarts d'heure à une heure, et produit 75 à 80[k] de cuivre rosette en trente-six rondelles environ.

A Riechelsdorf (Hesse), le raffinage du cuivre noir provenant de la fonte du schiste cuivreux s'opère au petit foyer avec un mélange de charbon et de coke ; les frais sont comme suit, en se reportant au dernier tableau que nous avons donné page 1056 :

128[k] de cuivre noir à 150 fr. 63 c. les 100[k].	192[f],81
86[k],4 de charbon de bois à 150 f. 63 c. les 100[k].	4[f],23
7[k],4 de coke à 150 fr. 63 c. les 100[k]. . . .	0[f],57
Main-d'œuvre.	1[f],83
Matériaux et dépenses diverses.	4[f],68
Frais généraux (pour tout le traitement). .	31[f],45
Prix de revient des 100[k] de cuivre rosette.	232[f],57

Le cuivre rosette renferme toujours plus ou moins d'oxydule ; pour le rendre malléable on le refond sous le charbon dans des fours à réverbère ou au petit foyer, et on le coule dans des moules en fonte enduits intérieurement d'argile. On y ajoute quelquefois un peu de plomb pour l'empêcher de monter dans les moules, ce qui arrive souvent quand il est parfaitement pur ; mais ce procédé n'est pas à recommander parce qu'il diminue la ténacité et la malléabilité du cuivre.

RAFFINAGE DU CUIVRE DE CÉMENT. Le cuivre de cément riche est ordinairement passé en petite quantité dans le raffinage du cuivre noir ; le cuivre de cément pauvre et ferrugineux est ajouté au lit de fusion de la fonte pour cuivre noir.

Au *Stadtberg* (Westphalie), on fond le cuivre de cément obtenu par le traitement par voie humide des minerais de la première classe, dans un petit fourneau à réverbère dont la grille, sur laquelle on charge un mélange de houille et de coke, est alimentée par un courant d'air forcé et chaud. Le fourneau étant bien échauffé, on charge sur la sole 400[k] de cuivre de cément ; cinq heures après on fait la percée et on enlève le cuivre noir par plaquettes, en refroidissant sa surface avec de l'eau. On obtient des scories riches en cuivre, qui sont refondues pour cuivre noir dans un fourneau à manche. Le rendement du cuivre de cément en cuivre noir varie de 95 à 50 p. 100, suivant qu'il est en petites plaques ou en boue. Le cuivre noir obtenu est raffiné au petit foyer.

RAFFINAGE DES ALLIAGES DE CUIVRE. Le procédé indiqué par Fourcroy, et employé sur une grande échelle en France lors de la révolution, pour retirer le cuivre du métal des cloches, était fondé sur la propriété que possède l'étain d'être plus fusible et plus facilement oxydable que le cuivre. Ce procédé consistait : 1° à griller complétement dans un fourneau à réverbère une certaine quantité de bronze de cloches, et à pulvériser l'oxyde obtenu ; 2° à fondre dans le même fourneau une nouvelle quantité de bronze, à y ajouter la moitié de son poids de l'oxyde obtenu dans l'opération précédente, puis à augmenter le feu en brassant fréquemment le mélange. Au bout de quelques heures il y avait sur la sole un bain de cuivre presque pur, recouvert de crasses pâteuses chargées d'oxyde d'étain et de cuivre ; on enlevait alors les crasses avec un râble et on coulait le cuivre. On retirait ainsi du bronze 50 p. 100 de cuivre ne renfermant que 1 p. 100 de substances étrangères. Les crasses étaient pulvérisées et lavées pour en retirer les grenailles de cuivre qu'elles empâtaient ; on les mélangeait ensuite avec 1/8 de leur poids de charbon de bois pulvérisé, et on rendait le mélange aussi intime que possible en broyant le tout sous des meules, puis en le fondant à une température élevée dans un four à réverbère. On obtenait un alliage de 60 p. 100 de cuivre et de 40 d'étain, recouvert de crasses plus riches en étain que les précédentes. Cet alliage était refondu au fourneau à réverbère, et soumis à une sorte de coupellation jusqu'à ce qu'il eût atteint une teneur en cuivre égale à celle du bronze avec lequel il était alors repassé. Les dernières crasses étaient refondues dans un fourneau à manche.

M. Bréant apporta à ce procédé d'importantes modifications, qui lui permirent de traiter avec bénéfice plus d'un million de kilogrammes de crasses de la refonte des cloches, en les payant 0[f],40 les 100 kil., tandis qu'on avait vendu auparavant plusieurs milliers de crasses plus riches au prix de 0[f],05 les 100 kil. Ces modifications consistaient à fondre les crasses stannifères dans un four à réverbère, avec une plus grande quantité de charbon et des flux terreux, tels que des écailles d'huîtres pulvérisées, des verres cassés, etc... Il obtenait ainsi un alliage beaucoup plus riche en étain, dont il séparait la plus grande partie de ce dernier métal, presque à l'état de pureté, par liquation sur la sole d'un fourneau à réverbère. Les carcas restant sur la sole étaient ensuite affinés comme ci-dessus.

On peut immédiatement retirer du laiton ou du bronze, du cuivre très pur, en le fondant avec 1/10[e] de son poids de battitures de cuivre et autant de débris de verre à bouteilles, ou de tout autre flux analogue. Tous les autres métaux étrangers passent dans les scories.

Laminage du cuivre.

Les lingots de cuivre à laminer sont placés les uns à

côté des autres sur la sole d'un fourneau de chaufferie ordinaire, et l'on en forme des piles en les disposant en croix, pour que l'air chaud les entoure de tous côtés. On ferme la porte, et l'on regarde de temps en temps si le cuivre est arrivé à la température nécessaire au laminage, qui est celle du rouge sombre. On passe alors les lingots entre les cylindres d'un laminoir analogue à ceux qui servent à la fabrication de la tôle; les cylindres sont pleins et ont ordinairement 1 mètre de table sur 0m,40 de diamètre. Quoique le cuivre soit très malléable, il est nécessaire de réchauffer plusieurs fois le lingot pour le réduire en feuilles, sans le déchirer sur les bords.

Le cuivre, par les chaudes et laminages successifs qu'il subit, se couvre d'une couche d'oxyde qui cache la couleur naturelle de sa surface et en change les propriétés. Pour enlever cet oxyde, on laisse tremper les feuilles pendant quelques jours dans une fosse remplie d'urine, puis on les expose sur la sole du fourneau de chaufferie; il se forme de l'ammoniaque, qui réagit sur l'oxyde, et le cuivre se découvre. On frotte les feuilles avec un morceau de bois, puis on les trempe encore chaudes dans l'eau pour faire tomber l'oxyde; enfin, on les passe à froid entre des cylindres pour les redresser, on les ébarbe et on les débite en feuilles de la grandeur que réclame le commerce.

Les battitures qui tombent au pied des laminoirs, ainsi que les rognures provenant de l'ébarbage des feuilles, sont raffinées comme nous l'avons dit.

Statistique.

La production moyenne annuelle du cuivre, pendant ces dix dernières années, a été d'environ 524,000 quintaux métriques, se répartissant comme suit :

Grande-Bretagne.	286,000q.m.
Empire russe.	39,000
Empire autrichien.	45,000
Suède et Norwège.	21,000
Association allemande (Zollverein).	15,000
Turquie.	20,000
France.	7,000
Espagne, Toscane, etc.	8,000
Amérique.	59,000
Japon.	24,000
Asie (pour mémoire).	» »
Total.	**524,000q.m.**

qui, à raison d'un prix moyen de 237 fr. par quintal métrique, représentent une valeur de 124,188,000 fr.

La France importe moyennement 85,000 quintaux métriques de cuivre métallique, ce qui porte sa consommation totale à 92,000 quintaux métriques, représentant une valeur de 21,804,000 fr.

P. DEBETTE.

CYANATES. Sels formés par l'acide cyanique. N'ont aucun emploi dans les arts.

CYANIQUE (ACIDE). Cet acide découvert par Wœhler, n'a été obtenu qu'à l'état hydraté, et est extrêmement peu stable.

CYANOGÈNE (*angl.* cyanogen, *all.* cyan). Composé remarquable d'azote et de carbone, découvert par M. Gay-Lussac, et qui joue le rôle d'un corps simple, dans le plus grand nombre de ses réactions. Partout où il n'est pas altéré dans sa composition élémentaire, il se comporte comme le chlore, le brôme et l'iode. C'est un corps gazeux, incolore, non permanent, que l'on peut liquéfier par un froid ou une compression suffisante; son odeur est extrêmement vive et piquante, il est inflammable et brûle avec une flamme bleuâtre mêlée de pourpre; sa densité est de 1,81. L'eau à 20° en dissout quatre fois et demi son volume, et l'alcool cinq fois davantage.

Le cyanogène supporte une très haute température sans se décomposer. Chauffé au rouge avec de l'oxygène, il se décompose avec détonnation, et il se forme de l'acide carbonique et de l'azote. Il se combine à l'état naissant avec l'oxygène pour former de l'*acide* HYDRO-CYANIQUE, ou *acide prussique*. Il produit un grand nombre de cyanures métalliques, qui se combinent aisément entre eux ou avec les chlorures et les sulfures, pour former des cyanures doubles, des chlorocyanures et des sulfo-cyanures.

Le cyanogène se compose de 2 vol. de vapeur de carbone et de 1 vol. d'azote, condensés en un seul, ou bien, en poids de :

Carbone	46	C^2Az^2 ou Cy^2.
Azote	54	
	100	

On l'obtient en décomposant par la chaleur le cyanure de mercure.

CYANURES. Le seul des cyanures dont nous parlerons ici, est le cyanure de mercure qui sert à la préparation du cyanogène. On le prépare soit en dissolvant de l'oxyde de mercure dans de l'acide hydro-cyanique, soit en faisant digérer du *bleu de Prusse* avec de l'eau et de l'oxyde rouge de mercure en excès : le fer le précipite et il reste dans la liqueur du cyanure de mercure qui est soluble et que l'on fait cristalliser par évaporation après avoir filtré.

CYCLOIDE. La cycloïde est la courbe que décrit un point de la circonférence d'une roue se mouvant en ligne droite sur un plan horizontal. Cette courbe jouit de propriétés curieuses que nous nous contenterons d'énoncer.

1° Si d'un point quelconque de cette courbe on laisse tomber un corps pesant le long de sa concavité, celui-ci arrivera toujours au point le plus bas dans le même intervalle de temps;

2° C'est la courbe de *la plus vite descente* pour les corps qui y sont abandonnés à l'action de la pesanteur;

3° Si l'on suspend un pendule au point de naissance de deux arcs cycloïdaux (sur lesquels s'appuiera le fil du pendule), la lentille décrira aussi une cycloïde, et, comme l'a démontré Huyghens, les oscillations du pendule seront parfaitement isochrones, c'est-à-dire s'accompliront dans des temps égaux;

4° L'aire de la cycloïde est triple de celle du cercle générateur, et sa longueur rectifiée est égale à quatre fois le diamètre de ce même cercle.

Par ses curieuses propriétés la cycloïde peut rencontrer dans les arts de fréquentes et curieuses applications. Nous avons déjà cité celle qui en a été faite pour le pendule; peut-être pourrait-elle fournir un moyen d'accroître les limites dans lesquelles de fortes machines de renfort peuvent, sur les chemins de fer, dispenser de l'emploi des machines fixes. Concevons en effet que les roues motrices de la locomotive portent sur un de leurs rayons des galets mobiles sur leurs axes et qui viennent, dans les pentes, se mouvoir dans des guides en fonte placés verticalement en dehors des rails et ayant la forme de la cycloïde que décrivent les galets; la force d'adhérence sera considérablement augmentée, puisque les roues ne pourront plus tourner sur elles-mêmes, tandis que l'augmentation de résistance due au frottement des galets contre les guides, sera très faible, puisque c'est un frottement de roulement. Néanmoins, les frais considérables de l'établissement d'un pareil système, portent à croire qu'il ne pourrait être économiquement adopté dans l'industrie. Nous n'avons pour but en en parlant ici que d'indiquer une application curieuse de la cycloïde.

CH. L.

D

DAGUERRÉOTYPE. Voyez PHOTOGRAPHIE.

DAMAS (*angl.* damask, *all.* damast). Tissu en soie ou en lin, quelquefois aussi en laine ou en coton, orné de grands dessins représentant des fruits, des fleurs, des paysages, des animaux, etc. C'est une étoffe de luxe sur la fabrication de laquelle nous reviendrons à l'article TISSAGE.

DAMAS. Les belles recherches de M. l'ingénieur russe Anocoff, publiées il y a quelques années dans l'*Annuaire du journal des mines de Russie*, nous mettront à même d'indiquer sommairement ici un procédé qu'il a découvert et introduit avec succès à Zlatooust (Oural), pour préparer de l'acier damassé oriental; nous invitons ceux de nos lecteurs qui désireraient avoir plus de détails à ce sujet à consulter l'intéressante notice précitée.

On juge de la valeur et de la qualité des damas au moiré ou au dessin, à la couleur du fond, et enfin au reflet ou chatoyement de la surface sous la lumière oblique.

Du moiré. L'acier a d'autant plus de valeur que le dessin en est plus grand et plus marqué. Le dessin est considéré comme grand, quand il atteint les dimensions des notes de musique; il est moyen quand il a la grosseur de l'écriture ordinaire; au-dessous de cette grosseur, le dessin est petit, mais encore faut-il qu'on puisse l'apercevoir à l'œil nu. La forme et la disposition du moiré présentent une variété extrême, et il faut une grande habitude pour apprécier à ce signe la valeur du damas. Le moiré que manifeste un culot de damas s'observe plus distinctement encore sur les scories qui le recouvrent lors de la fabrication, en sorte qu'on peut assez exactement juger de la qualité du métal à la seule inspection des scories. En examinant attentivement ces dernières au *microscope*, on voit qu'elles prennent au contact du culot, toutes les inégalités du métal. Ces inégalités varient à l'infini. Ce sont : tantôt des aspérités et des dépressions irrégulières; tantôt des aspérités longitudinales, plus ou moins parallèles entre elles; tantôt des aspérités réunies par groupes plus ou moins distincts; tantôt des lignes droites parallèles plus ou moins longues et épaisses; tantôt un double système de lignes parallèles, se coupant sous un angle variable et formant ainsi des losanges; tantôt un double système de lignes se coupant à angle droit, et formant des carrés distincts. L'on peut distinguer les scories en diverses sortes. Aux premières scories correspond un métal qui ne manifeste aucun moiré après le travail de la forge. Avec celles de la seconde espèce, on a un métal qui se moire longitudinalement sous forme de lignes irrégulières. Avec les troisièmes, les lignes restent parallèles. Avec les quatrièmes, on a deux systèmes de lignes : les unes suivent la longueur de la barre, en prenant une courbure plus ou moins prononcée; les autres sont disposées transversalement sous différents angles et avec diverses courbures; quelquefois, on voit des points isolés entre ces lignes. Avec les cinquièmes, les lignes longitudinales prennent une courbure encore plus prononcée, et les lignes transversales, en se brisant sous différents angles, forment des dessins pareils aux mailles d'un filet. Avec les sixièmes, les lignes longitudinales et transversales deviennent encore plus courbes et comprennent entre elles une infinité de petits points, dont la masse ressemble à une grappe de raisin; ces grappes sont tantôt irrégulièrement semées à la surface du métal, tantôt disposées par rangées d'une telle symétrie que le damas semble composé de plusieurs morceaux soudés transversalement. Aux deux premières sortes de scories correspond un damas qui ne peut être d'aucun usage et qui, par conséquent, ne mérite pas d'être désigné de ce nom; mais avec les autres variétés on a, dans l'ordre suivant, des damas de qualités d'autant meilleures que les moirés des scories sont plus régulières :

1° Le dessin consistant principalement en lignes droites presque parallèles correspond à la plus mauvaise sorte de damas.

2° Quand les lignes droites deviennent plus courtes et commencent à se courber, la qualité du métal s'améliore.

3° Le métal est encore meilleur, quand les lignes se brisent, que leurs interstices se couvrent de points isolés et que les lignes courbes se multiplient.

4° Le damas approche davantage de la perfection, quand les lignes brisées deviennent encore plus courtes ou se réduisent à des points, et quand elles sont assez nombreuses pour former comme les mailles d'un filet réunies par des fils serpentant dans différentes directions.

5° Enfin, le damas est arrivé à son plus haut degré de perfection, quand les filets transversaux, composés de petits points, se multiplient jusqu'à former comme des grappes de raisin, ou s'étendent sur presque toute la largeur de la pièce en la divisant en parties égales entre elles et de dessin pareil.

Du fond. On peut apprécier par la nature des scories le fond de la couleur du culot qu'elles recouvrent. Le même flux donne des scories de couleurs différentes; plus les scories sont vitreuses et incolores, plus le fond du métal est clair, et *vice-versâ;* mais la qualité du métal est d'autant meilleure que les scories sont plus foncées. Toutefois, les scories foncées sont de différentes sortes; les unes sont vitreuses, les autres ternes; dans ce dernier cas, le moiré cesse de se manifester distinctement.

Les damas peuvent être divisés, sous le rapport du fond, en damas gris, en damas bruns et en damas noirs.

Du reflet. Le reflet se manifeste à la surface du culot, quand on sort ce dernier du creuset, après avoir laissé suffisamment refroidir à l'abri du contact de l'air.

Les culots de mauvaise qualité n'ont point de reflet et en général leur surface n'est pas unie. Plus le métal est parfait, plus sa surface a d'éclat et plus son reflet est prononcé. Le reflet passe quelquefois du bleuâtre à la teinte d'or, de telle sorte que le dessus du culot paraît comme doré. Le reflet ne peut tenir à une oxydation superficielle du métal, car l'oxydation produirait une irisation qu'on n'observe point ici; il faut plutôt l'attribuer à la qualité même du métal. Le reflet est d'ailleurs indépendant de la dureté du métal.

Les damas peuvent être divisés, sous le rapport du reflet, en damas sans reflet, en damas à reflet rougeâtre, et en damas à reflet doré. Plus le reflet est prononcé et voisin de la teinte d'or, plus le métal est parfait. Si le damas est de mauvaise qualité, on ne peut par aucun mode de décapage y faire naître de reflet.

La coïncidence des différents caractères dont il vient d'être question donne, en supposant chacun d'eux porté à son plus haut degré, la limite supérieure de la perfection du damas. Un damas parfait a les *qualités* suivantes :

1° Une malléabilité et une ductilité parfaites, non pas qu'il puisse se forger comme du fer tendre, mais il faut qu'il se travaille avec facilité et netteté : on doit même pouvoir le forger à froid;

2° Une très grande dureté après la trempe;

3° Un tranchant vif et délicat;

4° Une très grande élasticité.

M. Anoçoff divise d'après ce qui précède les damas en cinq variétés, savoir : le damas rayé, le damas moiré, le damas ondulé, le damas réticulaire et le damas chevronné. Toutes ces sortes de damas peuvent : 1° Avoir des dessins de grande, moyenne et petite dimension ; 2° Être gris, bruns ou noirs ; 3° Ne pas avoir de reflet, ou avoir un reflet, soit rougeâtre, soit doré.

Il résulte des observations de M. Anoçoff que :

1° La grosseur, la netteté et le relief du moiré sont en rapport direct avec la proportion de carbone ; la disposition du dessin dépend de l'intimité de sa combinaison avec le fer.

2° Le fond du damas et la couleur du moiré indiquent le degré de pureté du fer et celui du carbone ; plus le fond est foncé et brillant, plus les ondulations sont blanches, et plus le métal est pur.

3° Le reflet que prend l'acier damassé semble être le meilleur indice de l'état sous lequel le carbone existe dans l'acier. Il paraît que l'on ne peut admettre, comme combinaison proprement dite du carbone avec le fer, que le damas à reflet doré. Dans les damas à reflet rougeâtre, le carbone contient en mélange quelque substance étrangère. Enfin, dans les damas qui n'ont pas de reflet, le carbone se rapproche du charbon ordinaire. De pareils damas sont cassants, s'ils renferment une forte proportion de carbone.

L'analyse d'un des meilleurs aciers damassés obtenus par M. Anoçoff, a donné à M. Ilimoff les résultats suivants :

Fer.	98,000
Carbone.	1,131
Soufre.	0,014
Silicium.	0,500
Aluminium. . . .	0,055
Cuivre.	0,300
Argent.	Traces
	100,000

En cherchant à découvrir le secret de la fabrication du damas oriental, M. Anoçoff a trouvé quatre moyens de le produire, qui consistent :

1° A fondre du minerai de fer avec du graphite ;

2° A fondre le fer avec du charbon et à brûler partiellement le carbone par du protoxyde de fer (battitures) ;

3° A soumettre le fer préalablement carburé à un recuit prolongé, à l'abri du contact de l'air ;

4° A fondre immédiatement le fer avec du graphite.

Le premier de ces procédés demande un minerai de fer extrêmement pur, la consommation en graphite est considérable, la carburation du fer parfois incomplète, et la consommation en combustible deux à trois fois plus forte que dans le dernier procédé, d'où résulte une élévation du prix de revient qui rend ce procédé inabordable ; mais il nous retrace, sans doute, la méthode suivie par les anciens, et nous explique le haut prix des bons damas d'Asie. Ce procédé a dû en effet, en raison de sa grande simplicité, s'offrir de préférence à tout autre aux anciens expérimentateurs.

Le second procédé n'a pas pu être adopté ; le métal conservait une proportion considérable de carbone et se forgeait difficilement.

Le troisième procédé est déjà en usage ; mais comme l'acier fondu doit, pour être malléable, ne contenir qu'une faible proportion de carbone, on n'obtiendra par là qu'une sorte de damas fondu, bon à la fabrication des objets de bas prix ; les 100k de ce damas ne reviennent qu'à 240 francs environ.

Enfin, le quatrième procédé que nous considérons comme le meilleur et le moins dispendieux de tous, est le seul dont nous allons nous occuper. La préparation du damas par ce procédé comprend : La fonte, le travail de la forge, la façon des objets, la trempe, l'affilage et le décapage

Fonte. La fonte s'opère dans de petits creusets réfractaires, faits comme ceux qui servent à la fabrication de l'acier fondu (voyez ACIER), chauffés dans un petit fourneau à courant d'air forcé

On met dans un creuset ordinaire 5 kilogrammes de fer ; les alliages faits sur une plus grande échelle étant trop difficiles à forger. En général, plus le métal doit être dur, et moins on doit employer de fer, en sorte que sa quantité peut, dans certains cas, se réduire à 3 et ¼ kilogr. On met sur le fer un mélange de 1/12 de graphite, 1/32e de battitures et d'une certaine quantité de flux. Les meilleurs flux sont : Les débris de foyers réfractaires et la dolomie. L'un et l'autre de ces flux peuvent être employés avec un égal succès mais non concurremment ; dans ce dernier cas, les scories se séparent trop difficilement du métal. En employant le quartz, il faut éviter d'ajouter trop de battitures. La dolomie est par elle-même un flux très fusible, en sorte qu'on ne doit pas en employer plus de 1/24e : au-delà, le creuset pourrait être attaqué ; mais si la quantité de dolomie est en rapport convenable avec le graphite, on obtient de meilleur damas avec ce flux qu'avec le quartz. Après avoir chargé les matières dans le creuset, on le recouvre de son couvercle en argile, et on donne le vent. Au bout de trois heures et demie, le métal est recouvert d'une couche mince de scories, au-dessus desquelles surnage l'excédant de graphite ; la perte en graphite s'élève alors jusqu'à 0k,40. Le métal a un faible moiré longitudinal, un fond clair, et, si le graphite est de bonne qualité, un certain reflet. En prolongeant la fusion pendant quatre heures, il se perd jusqu'à 0k,45 de graphite, et le métal prend un moiré ondulé ; si elle dure quatre heures et demie, la perte en graphite s'élève jusqu'à 0k,20, et le moiré est de grandeur moyenne. A ce moment, le creuset commence à s'affaisser, et il faut arrêter l'opération ; mais si cet affaissement est peu sensible, on continue la fusion pendant une demi-heure de plus : la perte en graphite atteint alors 0k,30 ; le moiré est réticulaire et de grandeur moyenne ; la quantité de scories va jusqu'à 0k,20. Quand on voit que le creuset a bien gardé sa position pendant cinq heures, et que la grille du fourneau n'est pas assez obstruée de scories pour porter obstacle au passage du vent, on prolonge encore la fusion pendant une demi-heure ; en ce cas, la perte en graphite s'élève quelquefois jusqu'à 0k,40 et plus, et la quantité des scories à 0k,30 et 0k,40 et même davantage ; le métal acquiert alors un moiré plus ou moins prononcé, réticulaire et quelquefois chevronné.

Si le graphite n'est pas de qualité particulièrement bonne, le métal est rarement susceptible d'être forgé. En employant du graphite de creusets de Passau : il ne faut pas en mettre plus de 0k,40 (1/12e), pour que le métal reste malléable ; le moiré est, dans ce cas, de grandeur moyenne. Si l'on diminue la quantité de graphite jusqu'à 0k,30 (1/16e), on obtient un damas réticulaire à moires fines.

Ainsi pour obtenir le meilleur damas, il faut :

1° Un charbon qui donne le moins de crasses possible ; celui de pin, par exemple ;

2° Un fourneau construit avec les matériaux les plus réfractaires ;

3° Des creusets extrêmement réfractaires et non susceptibles de se fendre ;

4° Un fer de la meilleure qualité, très malléable et très ductible ;

5° Du graphite natif pur, ou le meilleur graphite de creusets ;

6° Du quartz calciné, ou mieux de la dolomie ;

7° Une très haute température;
8° Une fusion aussi prolongée que possible.

Quand la fusion est terminée et que le charbon est entièrement consommé jusqu'à la base du creuset, on arrête le vent: on laisse le creuset dans le fourneau jusqu'à ce qu'il soit froid ou au moins noir; on enlève le couvercle, on retire le résidu de graphite; on brise les scories et l'on extrait le culot. Lors de son refroidissement, le damas prend une surface parfaitement unie, on présente près du centre une dépression dans laquelle la cristallisation est plus marquée et plus enchevêtrée que partout ailleurs : cette dépression constitue le *retrait*. Les damas qui n'ont point de reflet, et surtout les damas durs, sont ceux qui donnent lieu au retrait le plus considérable. Si un culot dur, dont la surface n'est pas brillante, n'a aucune dépression apparente, on doit s'attendre à trouver une chambre dans l'intérieur du métal; le damas s'est, dans ce cas, refroidi beaucoup plus vite extérieurement qu'intérieurement. De pareils culots ne peuvent se forger, et le damas qu'ils produisent est de qualité très inférieure, fût-il couvert du plus fort moiré.

Travail de la forge. On forge le culot de damas, qui pèse environ 5ᵏ, avec un petit marteau à queue pesant 40ᵏ. Le culot est chauffé jusqu'au rouge-clair, et posé sur l'enclume par sa large base. On commence par faire marcher le marteau très lentement, en tournant le culot toujours dans le même sens; il faut deux hommes pour cette opération. On donne de trois à neuf chaudes. Si l'alliage ne s'est pas gercé, on le fend en trois parties avec des ciseaux. Plus le damas est lent à se forger et net à se fendre, meilleure est sa qualité. Chacun des morceaux est reforgé au marteau, et amené à l'état de massiau régulier, puis ensuite à l'état de barre; le meilleur métal est celui qui met le plus de temps à se refroidir sous le marteau. Les bons damas, quelle que soit leur dureté, ne passent que deux fois au feu pour être convertis de massiaux en barres, ils peuvent même s'étirer à froid sans gerçures, et s'échauffent alors jusqu'au rouge sous le marteau. Si l'on chauffe une partie de la barre au blanc, elle perd sa malléabilité et s'émiette, quand le damas est dur; s'il est tendre, elle perd son moiré. On peut juger par là de l'attention que réclame le rechauffage de la part du forgeron.

Façon des objets. Le damas forgé en barres présente de petites irrégularités et des gerçures superficielles. On doit, pour acquérir toute certitude sur la bonne qualité des objets à fabriquer, commencer par affiler les barres et y faire des marques indiquant le dessus et le dessous du culot; car le dessous a toujours un moiré plus régulier que le dessus, et doit par conséquent former de préférence le tranchant de l'objet. La façon des objets de damas est d'ailleurs la même que celle des objets de tout autre acier; il faut seulement avoir soin de chauffer aussi peu que possible et de ne point dépasser le rouge-clair; le rouge-cerise est même suffisant pour la dernière chaude.

Trempe. Tout damas, et en général tout acier, chauffé et brusquement refroidi, augmente de dureté, mais devient en même temps cassant comme du verre. Cette fragilité ne permet pas d'employer l'acier à l'état le plus dur; car, sauf les limes de serrurier, il n'y a point d'outils dont l'emploi ne nécessite un effort supérieur à la cohésion que la trempe laisse subsister entre les molécules de l'acier.

Pour diminuer la fragilité du métal, tout en conservant autant que possible la dureté que la trempe lui fait acquérir, on chauffe l'acier trempé, mais à une température beaucoup moindre que lorsqu'il s'agit de le soumettre à la trempe. A mesure que le métal s'échauffe, sa cohésion augmente et sa dureté diminue. La destination de l'objet indique le degré de chaleur qu'il faut donner, et les couleurs que prend le métal servent à connaître ce degré. Les principaux degrés de chaleur sont : le jaune, le violet, le bleu et le vert; le jaune et le degré inférieur; au vert, le métal commence à perdre de son élasticité.

Les objets qui exigent le plus de dureté sont recuits au jaune-paille, et ceux qui exigent le plus d'élasticité, au bleu. Mais si le métal n'est pas de qualité supérieure, on tâche de l'améliorer, dans le premier cas, en chauffant au violet, et dans le dernier cas en chauffant au vert. Le violet est la température que demandent les ciseaux; le vert convient pour les faulx.

Les damas de médiocre dureté sont trempés, selon le genre et la destination des objets, dans l'eau ou dans la graisse; les damas les plus durs sont trempés de préférence dans la graisse. Toutes les armes sont trempées dans la graisse presque bouillante; la graisse chaude est plus fluide que la graisse froide, se meut plus rapidement autour de l'objet chauffé qu'on y plonge, refroidit plus vite ce dernier, et donne, par conséquent, une trempe plus dure.

Après avoir chauffé au rouge l'objet qu'on veut tremper, on le plonge dans la graisse chaude, et après l'y avoir laissé refroidir, on le sort du bain, on l'essuie et on le nettoie d'un côté avec une pierre à aiguiser, afin de mieux juger de la couleur à laquelle il convient de le recuire. On le réchauffe au-dessus du charbon, en ayant soin de donner la couleur convenable à la chaude. Ainsi, lorsqu'on trempe une lame de sabre, on la chauffe au vert près de la poignée, au bleu à son extrémité, au violet à son milieu et au jaune vers le tranchant. Elle est ensuite redressée au marteau, affilée et plongée encore chaude dans l'eau froide. Si l'on veut augmenter l'élasticité de l'arme aux dépens de sa dureté, on chauffe au bleu et le milieu et le bout de la lame. Il est bon, pour augmenter la dureté du tranchant, de passer préalablement la lime sur ce dernier; car un objet mince se trempe généralement plus dur qu'un objet épais. Quelques instruments, et notamment les rasoirs, se trempent dans l'eau; d'autres, comme les faulx, n'ont besoin que d'être agités dans un rapide courant d'air.

Affilage et polissage. Quoique ces deux opérations soient exactement les mêmes pour le damas que pour l'acier, nous croyons cependant utile d'indiquer ici quelques précautions relatives à l'affilage et au polissage des objets qui exigent une dureté et un tranchant particuliers; ces précautions sont d'ailleurs généralement peu connues.

L'affilage sur des grès ou pierres à aiguiser modifie le degré de la trempe, surtout pour les objets minces. Ainsi, quand on affile des lames sur des pierres à aiguiser sèches, on est obligé de leur rendre leur élasticité, en les réchauffant, après l'affilage, jusqu'au bleu et les plongeant dans l'eau; c'est ce qu'on appelle *bleuir*. La nécessité de cette opération vient de ce que dans l'affilage les lames passent par places au vert, température à laquelle l'acier perd son élasticité. Les objets dans lesquels la solidité du tranchant est plus utile que l'élasticité doivent être affilés sur des pierres constamment arrosées d'eau. Mais il faut que l'affluence de l'eau soit suffisante et que l'objet ne soit pas trop fortement pressé contre la pierre; sinon on perd tout le fruit de cette précaution, et l'objet perd sa fermeté et s'émousse rapidement. Telle est l'explication des qualités différentes qu'on observe entre des rasoirs faits du même acier.

Le polissage exerce la même influence que l'affilage sur la qualité des objets, si l'objet reste appliqué quelque temps au même endroit contre le disque de polissage, il s'échauffe trop, et l'ouvrier ne peut guère même s'en apercevoir, car l'émeri efface immédiatement la couleur bleue qu'a prise le point trop chauffé.

Le polisseur évite cet inconvénient en promenant constamment sur le disque l'objet qu'il polit. Quand on donne un grand poli, les mêmes inconvénients se reproduisent encore plus souvent, surtout pour les objets minces, et notamment à leur tranchant. Les rasoirs peuvent donc ainsi être altérés sans remède. Il vaut donc mieux ne pas donner un haut poli aux objets qui exigent de la fermeté et du tranchant. Les objets de damas n'ont point besoin d'un fort poli; car après le décapage, ce fort poli n'améliore ni le fond ni les dessins du moiré : il suffit de polir ces objets à l'émeri fin, délayé dans l'huile.

Décapage. Il est impossible de reconnaître la qualité du damas sans le décaper. Tous les acides qui attaquent le fer attaquent aussi le damas; mais pour décaper ou faire apparaître le moiré, il faut agir sur le fond plus que sur le dessin. Il semble, au premier coup d'œil, que le choix de l'acide soit indifférent et qu'il suffise de l'étendre au point où il ne corrode que le fond, et respecte les dessins dont la structure résiste davantage à la dissolution. Mais tous les acides ne peuvent pas être employés avec un égal succès; les uns n'agissent que sur le fer et laissent le carbone tel qu'il se trouve dans le métal; les autres attaquent et le fer et le carbone. L'acide nitrique, par exemple, en dissolvant le fer, attaque aussi le carbone, et enlève au fond l'éclat et le reflet propres aux damas; l'acide sulfurique, au contraire, dissout le fer sans attaquer le carbone, et respecte l'éclat et le reflet du fond, surtout quand on l'emploie non pas à l'état libre, mais à l'état de sulfate. Le sulfate de fer de Perse, qui paraît contenir une certaine quantité de sulfate d'alumine, passe pour le meilleur mordant qu'on puisse employer au décapage des lames. Pour 1 litre 1/2 d'eau, on emploie jusqu'à 0^{k},10 de vitriol vert.

La lame qu'on veut décaper doit être parfaitement propre et purgée de toute huile ou de toute autre matière grasse. En conséquence, on la nettoie préalablement au moyen de cendres fines avec de la lessive, et on la lave ensuite dans de l'eau pure; on la plonge dans la dissolution de mordant chaude, ou bien on l'arrose de ce dernier en la tenant au-dessus du vase qui le renferme. Quand les moires et le fond se sont développés, on sort la lame, on la lave à plusieurs reprises avec de la lessive et de l'eau froide, et on l'essuie légèrement et rapidement avec un chiffon de toile sec. Cette opération ne dure pas plus de 10 minutes et quelquefois moins, si la dissolution de vitriol est forte.

Les moires apparaissent très promptement sur le damas, mais on prolonge quelque temps l'action du mordant, afin qu'elles ressortent d'une manière plus tranchée sur le fond, lequel perd en même temps toutes traces du polissage, et acquiert ainsi la couleur et le reflet propres au damas. D'un autre côté, si l'on prolonge trop l'opération, le fond perd son éclat et les moires leur couleur, le métal devient plus foncé, et si l'on va plus loin encore, le moiré disparaît totalement. Quoique le nettoyage à la cendre puisse faire reparaître le moiré, le fond n'en reste pas moins fortement corrodé et montre une surface matte; aussi, si le métal ne manifeste au premier effet de l'acide ni fond de couleur foncée, ni reflet, on ne pourra les y faire naître ni en plongeant ni en recommençant l'opération. Il faut avoir soin, en essuyant la lame, de ne point toucher un endroit essuyé à sec avec le chiffon humide, car cette place prendrait une irisation qui nuirait à la beauté du moiré. En général, le décapage demande beaucoup d'expérience et d'adresse.

Quelques acides végétaux produisent tout aussi bien le moiré que le sulfate de fer et sont d'un emploi beaucoup plus simple. Il suffit d'humecter l'objet avec du jus de citron ou avec du vinaigre de bière ordinaire, de le laver après l'apparition du moiré avec de l'eau froide, et de l'essuyer à sec avec un chiffon.

Les lames décapées sont enduites d'huile d'olive pure et essuyées de nouveau à sec; cet enduit les préserve de la rouille, même dans un endroit humide.

Prix de revient et usage du damas. A Zlatoust, le damas fabriqué par les procédés que nous avons indiqué, s'élève, y compris le travail de la forge, à 12^{f} 50 le kilogramme.

Les récits faits par les voyageurs, sur la qualité de quelques damas asiatiques, ne sont nullement aussi exagérés que plusieurs métallurgistes modernes l'ont cru jusqu'à ce jour. Il est exact qu'on peut, avec un damas réticulaire ou chevronné, à grandes moires et à reflet doré, couper facilement dans l'air un fichu de gaze: M. Anoçoff a lui-même réussi dans cette expérience avec ses damas. On n'en saurait faire autant avec une lame d'acier fondu anglais; à peine peut-elle couper une étoffe de soie. On rapporte que les damas coupent des os, des clous, etc., sans s'ébrécher; le fait est vrai; mais il faut que le sabre soit fait de bon damas, trempé et recuit au point convenable. Une bonne lame de damas, trempée au même point qu'une lame d'acier, entaillera toujours cette dernière sans s'ébrécher. Une lame d'épée faite de bon damas, régulièrement affilée et convenablement trempée, ployée à la manière ordinaire, s'échappe sous la flexion et se redresse instantanément. Si même on pose le pied sur le bout et qu'on la courbe à angle droit, elle ploie sans se briser, et reprend, quand on la redresse, toute son élasticité première. Quel est l'acier qui jouirait d'une pareille propriété? Un rasoir de bon damas, exempt de défauts, sera au moins deux fois plus d'usage que le meilleur rasoir anglais.

En général, tout objet qui exige de la force et du tranchant doit être fait en damas dur, c'est-à-dire en damas qui manifeste le moiré avant le décapage, et tout objet qui demande de l'élasticité doit être fait de préférence avec le damas tendre, qui se prépare avec une moindre proportion de graphite. Il va sans dire que chaque genre de damas doit être d'aussi bonne qualité que possible; il ne suffit pas qu'il porte un moiré longitudinal.

Dans l'Inde, au lieu d'employer du graphite pour carburer le fer, on se sert de matières végétales (bois et feuilles d'arbres), comme nous l'avons décrit à l'article ACIER (*wootz* indien); le damas ainsi obtenu est trop dur pour se laisser étirer au marteau, aussi lui fait-on d'abord subir un recuit prolongé qui lui donne la malléabilité nécessaire.

M. Bréant a proposé depuis longtemps de fabriquer de l'acier damassé, en fondant du fer avec du noir de fumée; M. Anoçoff, qui a répété ces expériences, a trouvé que l'acier ainsi fabriqué présentait un moiré fort différent de celui du véritable damas, et lui était de beaucoup inférieur sous le rapport de la qualité.

M. Faraday a reconnu le premier, qu'il suffit d'allier à l'acier une très faible quantité d'autres métaux pour obtenir des aciers damassés. Tout le monde a pu admirer à l'Exposition de 1849 les magnifiques lames obtenues, par M. le duc de Luynes, en alliant à l'acier une faible quantité de tungstène, de molybdène, etc. Néanmoins les aciers ainsi obtenus ne présentent pas le même genre de moiré que le véritable damas oriental, et ne le valent pas sous le rapport de la qualité. Disons encore un mot des recherches de M. Anoçoff à cet égard :

Le manganèse allié à l'acier en petite quantité et jusqu'à 1/200^{e} n'en modifie point sensiblement les propriétés apparentes; au delà de 1/100^{e}, il rend l'acier dur, cassant et à gros grains. L'alliage poli et décapé, prend un moiré à peine discernable dans le premier cas, et un moiré fin dans le second cas. On remarque en

outre quand on passe de la première à la seconde proportion, que le fond du moiré varie du gris au brun.

Les aciers chrômifère et titanifère s'obtiennent en ajoutant au fondant du fer chrômé ou du fer titané. Le chrôme et le titane fournissent, sous plusieurs rapports, les mêmes résultats que le manganèse. Ils rendent également l'acier plus cassant à mesure que l'on en augmente la proportion, et donnent lieu, pour la nature du moiré, à des observations du même genre. Le chrôme et surtout le titane gâtent pourtant moins l'acier que le manganèse, et à proportion égale, l'acier prend avec le chrôme un plus beau poli qu'avec le manganèse. Les dessins donnés par le chrôme sont également plus beaux que ceux donnés par le manganèse, et ils rappellent plus que tous les autres la disposition des dessins du damas; de là vient sans doute que M. Berthier a cru pouvoir considérer l'acier allié de chrôme comme du damas. Le chrôme donne au fond une teinte foncée; le titane le rend violet, ce qui permet de reconnaître facilement la présence de ce métal dans l'acier.

En général, le manganèse, le chrôme et le titane nuisent moins à l'acier que le calcium, le silicium, le magnesium et l'aluminium. La présence de 1/50e de ces derniers métaux enlève à l'acier sa malléabilité. Il n'en est pas de même, si on remplace l'acier par du fer doux; dans ce cas, l'allinge reste encore plus ou moins malléable.

L'acier allié de 1/367e à 1/90e d'argent se distingue de l'acier ordinaire par sa malléabilité et sa grande dureté. Cet acier est dans sa cassure plus blanc que l'acier ordinaire, mais le polissage et le décapage à l'acide n'y déterminent point un moiré uniforme. En augmentant la proportion de l'argent, on ne réussit qu'à faire naître par places de petites raies irrégulières, ce qui semble prouver que l'argent ne s'allie pas chimiquement avec le fer, du moins en quantité notable. L'acier argentifère se rouille moins facilement que l'acier ordinaire; cet avantage payerait et au-delà le supplément de valeur dû à la présence de l'argent, si cet acier était employé pour certains objets, et notamment pour les pièces d'horlogerie. Les alliages de l'acier avec les autres métaux examinés précédemment se rouillent au contraire plus facilement que l'acier pur.

L'allinge d'or et d'acier est plus tendre que l'acier ordinaire, soit à la forge, soit à la trempe. On ne peut même en portant à 1/200e la proportion de l'or, faire prendre à l'acier aucun moiré apparent; l'addition de ce métal ne fait que lui communiquer un reflet jaunâtre.

L'acier platinifère prend un moiré fin, assez uniforme, et conserve en général la couleur du platine. Il prend un très beau poli, est dur et de bonne qualité.

Enfin il nous reste, pour terminer cet article, à parler des aciers damassés obtenus par le procédé de Clouet et Hachette. Ce procédé s'exécute comme nous l'avons décrit à l'article ARMES A FEU, en parlant des canons rubannés et damassés, en soudant ensemble des trousses de petites barres ou lames d'acier, séparées quelquefois par des rubans de fer, les étirant au marteau, les tordant et les coupant ensuite pour en former une nouvelle trousse que l'on traite de la même manière, etc.; on obtient ainsi de l'acier qui présente un damassé très agréable à l'œil et très varié, mais qui ne ressemble en rien au véritable damas. P. D.

DAMASQUINURE. Art d'orner le fer, l'acier, etc., en faisant des incisions à la surface, et les remplissant avec des fils d'or ou d'argent; on l'emploie principalement pour enrichir les lames de sabre, les gardes, les poignées, les platines de pistolet, etc.

Son nom indique son origine, ou, du moins, l'endroit où on l'exerce avec la plus grande perfection; c'est-à-dire, la ville de Damas, en Syrie; M. Félibien attribue le perfectionnement de cet art à notre compatriote, Cursinet, qui vivait sous le règne de Henri IV.

La damasquinure est un travail de mosaïque, de gravure, ou de sculpture.

Il y a deux manières de damasquiner: dans la première, qui est la plus belle, les artistes taillent le métal avec un burin ou tout autre outil propre à graver sur l'acier, et remplissent ensuite les incisions ou creux avec une petite lame assez épaisse, d'or ou d'argent; dans l'autre, qui n'est que superficielle, ils se contentent de couvrir de hachures très fines la surface de l'objet à damasquiner avec un couteau tranchant, tel que celui qu'on emploie pour faire de petites limes. Dans le premier procédé, il est nécessaire que les entailles ou incisions soient faites en forme de queues d'aronde, afin que le fil d'or ou d'argent qu'on y insinue de force puisse y tenir plus solidement. Dans le second, qui est le plus en usage, on agit comme il suit:

Après avoir échauffé l'acier jusqu'à ce qu'il devienne bleu ou violet, on le hache en long et en travers avec le couteau, puis on dessine la figure ou ornement qu'on se propose d'y faire, sur les hachures, avec une pointe fine de cuivre ou poinçon. Cela fait, on prend un fil d'or, et le conduisant ou le chassant selon les figures déjà dessinées, on l'enfonce avec précaution dans les hachures du métal avec un *repoussoir* de cuivre, puis avec ce même instrument, ou un autre qui lui ressemble et qu'on nomme *mattoir*, on refoule sur le fil inséré les bavures qui se sont levées lors du passage du burin. L'or acquiert par simple pression une adhérence suffisante pour tenir solidement sur le fer ou l'acier.

DANAIDE. Genre de roue hydraulique inventée par M. Manoury d'Ectot. Voyez HYDRAULIQUE.

DATHOLITE. Chaux boratée siliceuse, boro-silicate de chaux; minéral assez rare.

DÉ A COUDRE. (*angl.* thimble, *all.* fingerhut). On fait les dés à coudre en os, en ivoire ou en métal. Cette fabrication n'offre quelque intérêt que par les procédés ingénieux de MM. Roux et Berthier, qui ont réussi à faire les dés d'acier avec une rare perfection, et à très bon marché. On taille à l'emporte-pièce des disques de 5 centimètres de diamètre dans de la tôle de fer; on les fait rougir, et on les frappe au centre avec un poinçon sur des tas creusés de trous différents, afin de les emboutir et de leur donner la forme de dés. On taille ces dés, on les polit au tour, et l'on y imprime de petits trous régulièrement distribués; on se servant d'une double roulette qu'on appuie à la surface.

On cémente ensuite les dés, on les trempe, on les décape, on les fait revenir au bleu, et on les double en or; c'est-à-dire qu'on introduit dans chacun d'eux un dé en or très mince, qu'on y force avec un mandrin d'acier poli; cette doublure tient au dé comme si elle y avait été soudée. Enfin, le bord a reçu une rainure où l'on engage l'anneau, bande mince en or qu'on fait entrer juste dans la rainure.

DÉCOLORIMETRE. Voyez NOIR ANIMAL.

DÉCOUPOIR. Le découpoir sert à faire vite et avec beaucoup d'économie des pièces plates ayant une forme donnée; on doit l'employer toute les fois que l'on a à fabriquer un grand nombre de pièces ayant toutes les mêmes formes. Il est la cheville ouvrière de certaines industries, et est employé accidentellement dans beaucoup d'autres. Il se compose ordinairement d'un outil nommé *emporte-pièce* ou *piston*, ayant la forme du morceau à enlever et qu'on fait pénétrer dans la matière à découper, soit à coups de marteau, soit au moyen d'une vis ou d'un levier analogue à ceux que l'on emploie dans les presses.

Le marteau suffit toutes les fois que les matières à découper ont peu d'épaisseur et peu de résistance; comme le cuir, le papier, les peaux, les toiles. Les presses et les leviers s'emploient lorsqu'on travaille le fer blanc, les tôles d'acier, de cuivre ou de fer. L'outil employé s'appelle *emporte-pièce* lorsque, suivant

un dessin quelconque, il cerne la pièce qu'il emporte, on lui donne le nom de *couteau*, toutes les fois qu'il enlève des morceaux non cernés et qui tombent comme rognures. Si l'on veut emporter un disque circulaire dans un carré dont le côté soit plus grand que le diamètre du disque; on emploie l'emporte-pièce soit qu'on veuille produire le disque plein, soit qu'il s'agisse de fabriquer le carré, ayant en son milieu le trou circulaire. Si le carré a pour côté le diamètre du disque et que ce soit ce disque qu'on se propose d'obtenir, on emporte avec un couteau les quatre angles du carré.

Les couteaux et les emporte-pièces se font en acier; la partie qui coupe est seule trempée dure. Pour les matières tendres, on fait revenir gorge de pigeon, pour les matières dures, jaune-d'or les parties du tranchant et bleu le reste.

On affûte l'outil de différentes manières. Quand la matière à enlever est dure et qu'on doit ensuite la travailler à la lime, on fait le biseau double; d'autres fois on le laisse vertical d'un côté et incliné de l'autre, le côté incliné doit toujours se trouver du côté de la matière que l'on rejette.

Quand on agit au balancier, la forme de l'emporte-pièce n'est plus la même; il prend alors le nom d'étampe ou de piston. Les ébauches des montres qui s'emportent dans des feuilles de laiton laminé, se font au moyen d'étampes et de contre-étampes; il en est de même de toutes les pièces plates qui entrent dans la composition d'une serrure. Le balancier qu'on emploie dans cette fabrication est une vis verticale, terminée à sa partie supérieure par une forte traverse, à l'extrémité de laquelle sont placées deux boules ordinairement en plomb; un ou deux hommes communiquent à cette traverse un mouvement de rotation. La vis fait alors descendre un piston guidé verticalement, et à l'extrémité inférieure duquel se trouve l'étampe, pièce en acier ayant exactement en relief la forme de la pièce que l'on veut obtenir. La contre-étampe est aussi en acier; elle est fixée solidement au-dessous de l'étampe et porte en creux la forme de la pièce. On place au-dessus la feuille de laiton, on fait marcher le balancier; l'étampe emporte d'abord la pièce dans la feuille, puis la comprime très fortement dans la contre-étampe au moyen de la secousse communiquée par les boules de plomb, qui en s'arrêtant brusquement exercent sur le métal une pression très forte qui le tasse et l'écrouit. On fait sortir la pièce de la contre-étampe au moyen d'une petite tige placée dans un trou pratiqué sur le fond, et qu'on soulève en même temps qu'on détourne le balancier; cela fait, on repousse la feuille de laiton sur la contre-étampe et l'on forme une seconde pièce au moyen d'un second coup de balancier.

On découpe aussi des pièces au moyen d'un *piston* mobile qui entre exactement dans une *lunette* placée au-dessous de lui, et sur laquelle on place les feuilles de métaux à découper. La lunette diffère de la contre-étampe par sa forme intérieure: le trou est prolongé inférieurement, et la pièce emportée par le piston passe au travers et tombe en dessous; le métal n'est donc pas écroui, il est tout simplement emporté. Ce découpoir s'emploie principalement pour travailler des feuilles épaisses de métal. Le piston est mu quelquefois par un balancier à vis, mais le plus souvent par un levier auquel le mouvement est communiqué tantôt par des hommes, mais le plus souvent par un moteur hydraulique ou à une machine à vapeur. Ce découpoir est surtout employé pour faire dans les feuilles de tôle destinées à la fabrication des chaudières, les trous où doivent passer les rivets (voyez CHAUDRONNERIE). On s'en sert aussi pour la fabrication des écrous: on place d'abord sur la machine un piston et une lunette hexagonale, on découpe dans des feuilles des prismes à six pans de l'épaisseur du métal, puis on perce des trous dans ces prismes au moyen d'un piston circulaire; cela fait, on les fait encore passer à travers une autre lunette hexagonale très régulière, et un peu plus petite que celle qu'on avait d'abord employée. Le piston se compose d'un hexagone ayant la même forme que le trou de la lunette, et du milieu duquel sort un petit cylindre où on place le trou de l'écrou; on fait alors marcher le piston. L'écrou, auquel il ne reste presque plus rien à enlever, passe à travers la lunette où il devient très régulier, surtout si l'on a eu soin de faire la lunette cylindrique intérieurement à une certaine profondeur; le frottement contre les parois suffit pour rendre les faces bien unies. DUBIED.

DÉGRAISSEUR ou DÉTACHEUR D'ÉTOFFES. L'on nomme ainsi l'industriel dont l'art consiste à enlever toute espèce de tache sur une étoffe quelconque sans en altérer le blanc ou la teinture.

Le dégraisseur nettoie, blanchit, reteint et met à neuf les étoffes salies ou altérées par l'usage; voilà pourquoi on l'appelle aussi teinturier-dégraisseur, teinturier-apprêteur.

Mais, pour éviter des répétitions, nous ne nous occuperons ici que de la théorie et de la pratique du dégraissage ou nettoyage des étoffes, et des moyens faciles de ramener les nuances affaiblies ou inégales à une couleur uniforme. Nous renvoyons aux articles IMPRESSION et TEINTURE pour connaître la préparation des matières colorantes, et les procédés pour les fixer plus ou moins solidement sur les tissus.

Toutefois, avant d'examiner dans son ensemble l'art du dégraisseur, nous citerons les principaux auteurs qui ont écrit avant nous sur cette matière, afin que chaque intéressé puisse les consulter au besoin.

En 1776, Baumé a publié dans le *Dictionnaire universel et raisonné des arts et métiers de l'abbé Jaubert*, un article fort intéressant sur la pratique de l'art du dégraisseur. Cet article a été réimprimé depuis dans le *Manuel du teinturier-dégraisseur*, par Vergnaud (Paris, 1837).

En 1778, Berthollet et Brisson apprécièrent le mérite des procédés employés par Machanet pour remettre à neuf les vieux habits (voir le Bulletin de la Société d'Encouragement, année XXXVI, page 291).

En 1799, Homassel, chef de l'atelier des teintures à la Manufacture royale des Gobelins, a publié un *Traité théorique et pratique de la teinture, suivi de l'art du teinturier-dégraisseur*. La troisième édition de cet ouvrage, imprimée en 1818, a été revue, corrigée et augmentée par les savants chimistes Bouillon-Lagrange et Roard.

Dans la même année, l'illustre Chaptal, l'un des fondateurs de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, a lu à l'Académie des sciences un mémoire très savant *sur la théorie chimique de l'art du dégraisseur*. Ce mémoire, très remarquable par la précision et la clarté de ses explications, a fourni depuis à plusieurs auteurs tous les documents nécessaires pour écrire sur la théorie du dégraissage (voir le tome VI des Mémoires de l'Académie des sciences).

En 1818, Cadet Devaux fit un rapport à la Société d'Encouragement *sur les moyens employés par M. Coiin pour enlever les taches sur les uniformes de drap blanc*.

Depuis cette époque, plusieurs technologistes distingués, parmi lesquels nous citerons MM. Séb. Lenormand, Julia de Fontenelle, E. Martin, ont publié des manuels sur la pratique de cette industrie, qui est aujourd'hui fort répandue.

Enfin, M. Voymant, teinturier à Épinal, a fait imprimer, en 1833, un petit vol. in-12 ayant pour titre: *Véritable manuel pratique du dégraisseur, ou l'art d'apprendre soi-même à dégraisser et à remettre à neuf les tissus, contenant les procédés les plus nouveaux et les plus précieux que la chimie, l'expérience et la pratique, aient*

pu nous fournir jusqu'à ce jour, tels que la manière d'enlever toutes sortes de taches sur quelques couleurs que ce soit, sans aucune altération, de même que pour nettoyer ou remettre à neuf toutes sortes d'étoffes des couleurs les plus délicates, sans les endommager aucunement; blanchissage des chapeaux de paille, etc.

C'est dans ce dernier ouvrage surtout que nous avons trouvé les renseignements qui nous paraissent les plus simples et les plus utiles à connaître. M. Voymant, cependant, n'a rien inventé, rien innové, mais il a décrit avec exactitude et sincérité tous les procédés pratiques de son métier.

Les principes généraux de l'art du dégraissage étaient déjà connus et pratiqués par les peuples de l'antiquité. Ainsi le prophète Jérémie parle de se laver avec le *nitrum*, et de se purifier avec une grande abondance d'herbe de borith (chap. II, v. 22). Malachie s'écrie en prédisant le Messie : « Et qui pourra subsister quand il paraîtra ? car il sera comme le feu de celui qui raffine et comme l'herbe des foulons. » (Chap. III, v. 2.)

Or, il paraît indubitable que le *nitrum* n'est autre chose que le *natrum*, en français natron (sesqui-carbonate de soude), qui nous vient des plaines qui bordent la mer Noire, et de celles qui entourent la mer Caspienne, de la Perse, de l'Arabie, de l'Inde, du Thibet, de la Chine, de la Sibérie, et principalement d'Égypte, où on l'emploie depuis un temps immémorial pour remplacer le savon (voir l'*Encyclopédie méthodique*, art. Natrum).

A l'égard de l'herbe de borith de Jérémie, les meilleurs interprètes pensent que cette plante est la même que l'herbe des foulons de Malachie. Du reste, les propriétés de ces deux plantes sont identiquement les mêmes, et les descriptions qu'en donnent tous les auteurs de l'antiquité, *les annoncent comme des herbes* dont on se servait alors pour dégraisser et blanchir les laines (1). C'est la même plante appelée *struthion* par les Grecs (Pline, liv. XXIV. sect. 18), en latin *radicula* ou *herba lanaria* (Pline, liv. XIX. sect. 18). Les anciens peuples de l'Arabie l'ont nommée *herba fullonum* (herbe des foulons); les modernes l'appellent, dit Leonarth Fousch (2), *saponaria* (saponaire) (3), parce qu'ils s'en servent comme de savon pour ôter les taches des robes et pour dégraisser les laines (Dioscoride, liv. II, chap. 193).

Pline indique l'emploi de la craie pour dégraisser les vêtements. « On estimait, dit-il, surtout la craie de Thessalie; on en trouve en Lycie, dans les environs de Bubon. La cimolie sert aussi pour le dégraissage des vêtements. Celle qu'on apporte de Sardaigne, et qu'on nomme ainsi sarde, n'est bonne que pour les tissus blancs, et n'est d'aucun usage pour ceux de couleur; c'est la moins estimée des cimolies. Celle qu'on tire de l'Ombrie, et qu'on nomme cimolie en pierre, vaut mieux. Cette dernière a ceci de particulier, qu'elle grossit en se macérant. Elle se vend au poids, la sarde à la mesure. La cimolie d'Ombrie n'est employée qu'à lisser les tissus. »

Il ajoute sur le blanchiment des laines par le soufre :

(1) Dans l'empire romain, on nommait *candidats* les individus qui aspiraient aux emplois publics; ce nom leur fut donné à cause de la robe blanche qu'ils portaient, et que l'industrie du foulon avait rendue éclatante; car le blanc était la couleur favorite des Romains opulents, malgré les prohibitions prononcées par les anciennes lois (Tite-Live, liv. IV, p. 25).

(2) Commentaires sur les plantes connues des anciens. 1549.

(3) Pourtant M. Jaubert, qui amena les chèvres du Thibet ou de Cachemire en France vers le commencement de ce siècle, rapporta d'Asie, comme une nouveauté, cette herbe connue sous le nom de *ischkar*, ou saponaire d'Orient, et presque tous les dégraisseurs s'en servent aujourd'hui pour nettoyer les châles.

« Nous ne dédaignons pas d'entrer dans ces détails parce qu'il existe une loi *metetia*, relative aux foulons, proposée à la sanction du peuple par les censeurs Flaminius et L. Emilius, tant nos ancêtres mettaient de soins à tout. Voici comment on procède : d'abord on lave l'étoffe à l'aide de la sarde, on l'expose à la fumigation du soufre, On fait tomber le premier enduit avec la vraie cimolie; la fausse se reconnaît à ce qu'elle noircit et se décompose par l'action du soufre. La vraie cimolie rend plus tendres et plus gaies les belles et riches couleurs que semblaient avoir ternies le soufre. Pour les étoffes blanches, on fait succéder au soufre la pierre cimolienne (1), qui est ennemie des couleurs. A la cimolie, les Grecs substituent le gypse de Tymphée. » (Pline, liv. XXXV, sect. 57.)

On peut donc dire avec quelque exactitude aujourd'hui, que si les anciens ne connaissaient pas le savon pour nettoyer et blanchir leurs vêtements, ils y suppléaient parfaitement au moyen de différentes sortes de terres et de plantes savonneuses (2).

Au résumé, on remarque que si le savon blanchit fort bien les tissus blancs, il altère aussi plus ou moins les tissus colorés; le savon décreuse, *creuse* et *vrille* très souvent les étoffes de laine et de soie, à cause de l'alcali qu'il contient et qui agit sur les filaments en les dissolvant; il les rend certainement moins souples et moins brillants qu'ils ne le sont après le nettoyage par la saponaire, à la manière des Grecs et des Persans (3). En effet, la décoction de la racine de cette plante contient une partie mucilagineuse qui adhère aux tissus, et suffit ainsi pour leur donner de l'éclat, voire même de la souplesse et de la solidité.

Maintenant, revenons à la description des procédés actuels du dégraissage, et résumons d'abord les connaissances qu'exige cette profession, qui, suivant l'expression du savant Chaptal, est entièrement basée sur la chimie.

L'art du détacheur ou dégraisseur suppose :

1° La connaissance des divers corps qui peuvent tacher une étoffe;

2° La connaissance des substances auxquelles il faut recourir, pour dissoudre et enlever les corps étrangers déposés sur l'étoffe;

3° La connaissance des couleurs simples et composées, et leurs manières de se comporter avec les divers réactifs dont on fait choix pour dissoudre la nature de la tache;

4° La connaissance de l'étoffe, et de la manière dont elle est affectée par les substances dont on peut se servir pour enlever les taches;

5° L'art de rétablir une couleur altérée, ou de ramener des nuances affaiblies et inégales à une couleur uniforme.

Ce résumé nous indique naturellement la classification que nous devons observer dans nos explications.

Nature et propriétés des corps qui peuvent tacher et altérer les étoffes blanches ou colorées. Les corps qui ta-

(1) M. Ajasson de Gransagne, traducteur de Pline, dit dans une note que « la cimolie ou cimolithe a été confondue jadis avec l'argile smectique ou terre à foulon. C'est autre chose; tenace, difficile à pulvériser, schisteuse quand elle est sèche, elle forme avec l'eau, quand on la délaie avec elle dans le rapport de 6 à 15, une espèce de crème qui sert à blanchir. Du reste, dit Tournefort, ce blanchissage est sale. »

Il résulterait donc de la description de ces propriétés que la pierre cimolienne, ou pierre de Cimole, l'une des trois Cyclades, serait tout simplement la soude crayeuse ou *natron*, que l'on a confondu pendant longtemps avec le carbonate de soude ordinaire. (Voir la Chimie de M. Dumas, t. II, p 333.

(2) Voir Goguet, *Origines des lois des arts et des sciences*, 6e édition, 1820, t. I, p. 150.

(3) L'effet de la saponaire est connu depuis longtemps, car Pline nous dit que la résine de cette plante a la vertu de donner aux laines une blancheur et un moelleux surprenants. (Livre 19, section 18)

chent et altèrent le plus ordinairement la couleur des étoffes, sont : la pluie, l'humidité, les acides, les alcalis, les sucs de certains végétaux, les productions qui contiennent beaucoup d'acide, les sucs astringents, l'urine, la sueur, le sang, le vin, la bière, le cidre, le poiré, les décoctions d'herbes et de fruits, le café, le thé, le chocolat, les sirops, les confitures, les sucs de mûres, de cassis, de merises, les liqueurs spiritueuses, l'absinthe verte, l'huile de rose et autres, le ratafia, les compositions ferrugineuses, les huiles comestibles et à brûler, la graisse, le suif, la pommade, le beurre, la sauce de nos aliments, le bouillon, le vernis, la peinture, les résines, les gommes-résines, le bitume, les encres d'imprimerie, la cire, la bougie stéarique, l'encre, la rouille, le cambouis, la suie, les dégouttures de tuyaux de poêle et la fumée, etc.

Mais toutes ces substances, qui varient beaucoup dans leurs principes, agissent différemment sur les étoffes blanches et teintes. Dès lors, pour parvenir à reconnaître sûrement la nature des taches posées sur un tissu, il faut étudier d'abord la composition chimique des corps qui les ont produites, et la manière dont ceux-ci se comportent avec l'étoffe ; ensuite, il faut bien connaître les propriétés des agents qu'il convient d'employer pour enlever telle ou telle tache sur un tissu quelconque, sans en altérer le blanc ou la couleur.

D'après cela, on peut se convaincre, comme le dit fort bien Chaptal, « que tous les problèmes que le dégraisseur a pour but de résoudre, sont presque constamment des problèmes de chimie compliqués et très difficiles. »

Quoi qu'il en soit, il est toujours facile au dégraisseur d'atteindre le but proposé ; car la science lui fournit d'utiles renseignements et les moyens sûrs, ou à peu près sûrs, d'opérer.

En résumé, nous allons énumérer rapidement les renseignements scientifiques, afin d'éclairer la marche de la pratique.

L'eau qui tombe goutte par goutte sur certaines étoffes neuves dissout les substances gommeuses, gélatineuses ou autres, qui ont servi à les apprêter. Le lustre disparaît par place, et la surface de l'étoffe présente de petites taches plus ou moins espacées entre elles, et qui paraissent d'une couleur plus foncée que celle du fond. Toutefois, pour prévenir cet accident (1), on prend la précaution de délustrer entièrement l'étoffe avant de l'employer à un usage quelconque. Cette opération, que l'on nomme décatissage, s'effectue tout simplement en appliquant, d'une manière uniforme, l'eau ou la vapeur d'eau sur la surface de l'étoffe, ou bien on expose celle-ci pendant un ou deux jours au plus dans un endroit humide.

Certaines étoffes apprêtées, principalement les soieries, lorsqu'elles restent longtemps dans un endroit humide et peu aéré, prennent des taches ou piqûres. Les taches se forment d'abord par la putréfaction du principe mucilagineux de l'apprêt ou de la soie elle-même, uni à une certaine quantité d'eau, ensuite elles se développent par la décomposition de la matière colorante appliquée sur l'étoffe. Dans ce dernier cas, les taches sont très difficiles à enlever par les procédés connus.

Les acides minéraux attaquent aisément tous les tissus sans exception, presque toujours en opérant sur eux une véritable combustion ; pourtant ils n'altèrent le lin, le chanvre, et le coton, que quand ils sont concentrés.

Les acides affaiblis par l'eau changent, nuancent,

(1) L'apprêt, dit anglais, n'a pas à beaucoup près cet inconvénient. Il s'obtient généralement par la compression, et à l'aide d'une douce chaleur agissant simultanément sur l'étoffe légèrement humide, ou imprégnée d'un apprêt plus ou moins insoluble.

modifient, altèrent ou détruisent la plupart des couleurs dites faux teint, sur quelque étoffe que ce soit, voire même quelques couleurs réputées bon teint. *Ils rougissent les bleus* végétaux en faux teint, le noir surtout, lorsqu'il entre dans sa composition du bois de Campêche et des préparations de fer, et généralement toutes les nuances obtenues sur la laine avec l'orseille et les astringents. Ils rosent le ponceau, avivent et éclaircissent le bleu indigo, le bleu de Prusse, et en partie les rouges formés par les bois de Brésil et de Fernambouc.

Certains acides minéraux détruisent les tons clairs de l'orangé-jaune, du jaune, et du jaune-vert, et pâlissent les tons foncés de ces mêmes couleurs. Ils font passer au bleu certains verts. Ils jaunissent les brun-rouges, les violets à l'orseille, le ponceau obtenu par la garance et le fer, le bleu produit par le bois d'Inde ou de Campêche, et le sulfate de cuivre (couperose bleue).

Les acides végétaux étant généralement peu corrosifs n'altèrent ordinairement ni les étoffes ni les couleurs ; mais le vinaigre, les jus de citron, de l'orange, de la groseille, de l'oseille, et certaines productions végétales qui contiennent beaucoup d'acide, donnent aux nuances obtenues par les préparations ferrugineuses et astringentes une couleur rouge-orangé. Ils n'ont pas d'action cependant sur l'indigo, sur les couleurs dans lesquelles entre le bleu de Prusse, sur le noir obtenu par les préparations ferrugineuses), et sur les violets faits avec la garance et l'indigo ; mais ils altèrent sensiblement les tons foncés du bleu de Prusse obtenus sur soie et remontés par l'alcali.

Les sucs astringents, nuancent, modifient, altèrent et font virer au brun-verdâtre toutes les couleurs dans lesquelles on fait entrer les oxydes de fer.

Les alcalis caustiques désorganisent complétement les tissus de laine et de soie, en dissolvant les fils, et forment un savon en se combinant avec eux.

Les alcalis fixes et purs, surtout la potasse, la soude et la chaux, détruisent généralement presque toutes les couleurs et attaquent les étoffes de laine et de soie. Ils décolorent complétement la couleur du bleu de Prusse, teinte ou imprimée sur la laine ou la soie ; mais ils n'affectent pas sensiblement les bleus indigo au pastel et tournesol.

Les alcalis modifiés avec de l'eau font tourner au violet les rouges faits au bois de Campêche ou de Fernambouc, ceux faits à la laque dont la matière colorante est d'origine végétale et montés à la cochenille. Ils jaunissent les verts obtenus sur la laine et qui ont l'indigo pour base, ainsi que toutes les couleurs composées avec les sucs astringents et les sels métalliques.

Les alcalis foncent tous les violets teints sur la laine, et les orangés-jaunes faits avec du bois de Fernambouc, en donnant à ces derniers *une teinte plus rouge* ; ils jaunissent le ponceau fin, et font tourner l'écarlate fait à la cochenille en couleur cramoisi obscur ou lie de vin.

De tout cet exposé, il résulte donc que les acides et les alcalis apportent presque sur toutes les couleurs des altérations ou des modifications directement opposées les unes aux autres ; c'est pour cela aussi que l'on dit en chimie que ces agents ont le pouvoir de se neutraliser réciproquement. Le dégraisseur, à son tour, utilise ce pouvoir, soit l'acide affaibli par l'eau pour neutraliser une tache faite par un alcali et réciproquement, soit un acide faible et même l'alcali modifié avec de l'eau pour rehausser et faire revivre des couleurs altérées.

Les urines récentes et chaudes, et surtout celles de certains animaux, altèrent les couleurs, comme le font les acides ; elles jaunissent presque toutes les couleurs, telles que le rouge, l'écarlate, le cerise, le rose, le violet à l'orseille, le bleu, le noir, et toutes les couleurs obtenues par les décoctions astringentes et les sels ferrugineux.

La dissolution d'étain est destinée à combattre les effets des alcalis sur les couleurs ponceau et écarlate, ainsi qu'à enlever les taches d'urine sur tous les vêtements de laine en bon teint. Cette composition détruit les *rosures* sur l'écarlate, et les taches occasionnées par les sucs astringents sur la couleur ponceau.

Compositions polychrestes, dites à détacher. Recette indiquée par Chaptal et recommandée par lui comme étant la meilleure. On dissout du bon savon blanc dans de l'alcool, on broie le mélange avec 4 ou 5 jaunes d'œufs, en y ajoutant peu à peu de l'essence de térébenthine. Dès que la pâte est unie, on y incorpore de la terre à foulon très divisée, pour donner au tout une consistance convenable et en former des savonnettes.

Lorsqu'on veut faire usage de cette composition, on humecte l'étoffe avec de l'eau et l'on frotte dessus avec la savonnette pour en dissoudre une partie; alors, à l'aide de la main, d'une éponge ou d'une brosse, on l'agite fortement pour la faire pénétrer, on l'étend, et peu de temps après on lave l'étoffe pour enlever la dernière trace de ce savon (1).

Nous n'avons point classé au nombre des substances convenables pour le dégraissage des étoffes les infusions de marron d'Inde, de thé, de tabac, les colles végétales de fécules de pomme de terre, d'amidon, de farines de riz, de seigle, etc., les bains de son, l'eau dans laquelle on a fait bouillir des haricots, et beaucoup d'autres liquides mucilagineux et amilacés que l'on a vantés et préconisés comme des moyens détersifs, et qui n'ont d'autre mérite à notre avis que celui de diviser les agents dissolvants, et de faciliter ainsi leur action sur les étoffes.

Nous n'avons pas parlé non plus de l'usage très répandu d'enlever les corps gras en les volatilisant à l'aide d'un charbon ardent, ou en les absorbant par la chaleur d'un fer chaud, au moyen d'un papier non collé. Ces deux moyens ne font que dissimuler momentanément les taches de graisse qui reparaissent quelques jours après avec plus d'étendue.

OUTILS, MACHINES ET USTENSILES NÉCESSAIRES AU DÉGRAISSEUR. *Table de travail dite à détacher*, de 2 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur, légèrement en pente pour faciliter l'écoulement des eaux de lavage. Pour opérer avec plus de propreté et pour éviter de répandre de l'eau sur le plancher, on ajoute un petit chéneau en fer blanc ou en zinc en bas de la pente de la table. Le chéneau reçoit les eaux de lavage et les conduit dans un baquet placé au-dessous.

Autre petite table dite de réserve, et, à son défaut, une simple tablette placée horizontalement à l'extrémité de la table de travail, et à la portée du dégraisseur. On pose sur cette tablette les différentes étoffes nécessaires au dégraissage, les compositions à détacher, etc.

Un *baquet* avec un fouloir qui n'est autre qu'une planche cannelée en lignes horizontales, sur laquelle on frotte les étoffes pour enlever les salissures.

Générateur à vapeur. Comme nous l'avons dit déjà, l'emploi de la vapeur est nécessaire pour amollir les taches huileuses et grasses sur quelque étoffe que ce soit, pour relever et lustrer le velours altéré, et particulièrement pour fixer les couleurs appliquées sur les étoffes, soit par l'impression, soit à l'aide de pinceaux courts. *Voyez* IMPRESSION.

Machine à sécher les tissus, telle que l'hydro-extracteur de Pentzold, ou toute autre machine fondée sur le même principe. Cette machine a la propriété de retirer l'eau des étoffes en quelques minutes, par l'action de la force centrifuge, sans les soumettre à la pression et sans les tordre à force de bras. Voyez SÉCHOIR, SÉCHAGE.

A défaut de machine à sécher, on peut employer avec quelque succès un *sac à tordre les étoffes*. C'est tout simplement une espèce de filet ou hamac en canevas de fil ou de coton, armé à chaque extrémité d'une suite d'anneaux de métal dans lesquels on passe un bâton ou lissoir. On place les étoffes mouillées dans le sac, puis deux personnes tordent les bâtons en sens inverse à force de bras. A l'aide de ce moyen bien simple et surtout très économique, on évite jusqu'à un certain point de déplacer, d'allonger, de désorganiser et de déchirer même les tissus.

Chambre bien aérée pour faire sécher les étoffes, et dans laquelle on allume, en hiver et pendant les saisons pluvieuses, un calorifère à air chaud (voyez CHAUFFAGE) pour enlever plus promptement l'humidité encore retenue dans les tissus, lors même que ceux-ci ont été soumis à la machine à sécher ou tordus dans un filet. Le mode de séchage à l'air chaud ou l'air libre doit être très prompt, afin que l'humidité n'ait pas le temps d'en altérer les couleurs, et surtout celles des châles, des broderies et des tapisseries qui pourraient se dissoudre et se répandre les unes sur les autres.

Cadres, rames ou *châssis* de plusieurs grandeurs garnis d'une étoffe verte et bien tendue sur les quatre côtés. On tend et attache les étoffes un peu humides sur ces châssis avec des épingles, afin de les faire sécher et de leur donner ainsi l'apprêt et le lustre convenables, que l'on augmente au besoin par la compression et le frottement d'un outil convenable.

Presse cylindrique ou *calandre*, presse à vis verticale, qui est destinée à apprêter les étoffes, tissus de laine et de coton, tels que les casimirs, les mérinos, les châles brochés, les indiennes, calicots, etc.

Un *métier à lustrer*. Voyez LUSTRAGE.

Étuve pour faire le soufrage des étoffes qui ont besoin d'être passées à l'action du gaz acide sulfureux. Cette étuve peut être construite, comme une grande caisse, en planches de sapin du Nord, dont les planches soient bien assemblées, afin que la vapeur ne puisse pas s'échapper. On place des bâtons de bois blanc ou mieux des cylindres en verre (1) de distance en distance pour supporter les étoffes. Mais, pour que la flamme du soufre n'endommage pas les étoffes, on place une plaque de faïence un peu élevée au-dessus du vase. Des *seaux* et des *cuviers* pour faire les rinçages.

Un *battoir en bois* pour battre les grosses étoffes en les nettoyant, des brosses en poils de sanglier, chiendent et en flanelle. Plusieurs cerceaux attachés par le milieu avec une petite ficelle pour suspendre les étoffes, afin de les faire sécher; des fers à repasser, etc.

Précautions à prendre avant de commencer le dégraissage. On doit toujours commencer par examiner *la nature de la tache, l'espèce de l'étoffe, et le genre des couleurs qui y sont posées*, afin de choisir l'agent convenable à employer. Généralement le coup d'œil et le plus ou moins de connaissance qu'on a de l'effet des corps sur les étoffes suffisent pour éclairer dans la pra-

(1) On vend aussi chez les droguistes et chez les parfumeurs à Paris un *savon chimique* ou *à détacher*, que l'on peut composer soi-même. Prenez : 50 grammes de terre à foulon mise en poudre; humectez-la avec un peu d'essence de térébenthine ou mieux de lavande; prenez ensuite 50 grammes de sous-carbonate de potasse pur; 50 grammes de la meilleure potasse du commerce; faites du tout une pâte en ajoutant un peu de savon gras, formez-en de petits pains carrés ou ronds, et conservez pour l'usage.

Mais cette composition ne convient que pour dégraisser les fortes étoffes de laine et les draps dont les couleurs ne sont pas altérées par les alcalis; du reste on l'emploie d'après la méthode indiquée par Chaptal.

(1) Les cylindres de verre ont l'avantage de ne point altérer les étoffes, comme pourraient le faire les bâtons de bois qui attirent et retiennent les matières colorantes.

DEGRAISSEUR.

tique. Mais, le plus souvent, cet examen devient difficile, eu égard à la complication des matières qui forment les taches, et à la variété infinie des couleurs qui, quoique les mêmes en apparence, se comportent différemment avec les réactifs. Dans tout état de choses, il faut essayer d'abord l'effet des réactifs sur une petite partie des tissus, pour connaître *l'espèce des couleurs* et leur degré de solidité ou d'altérabilité. On éprouve ensuite la nature des taches qu'on veut enlever, en n'employant toutefois que les agents qui ne peuvent point altérer les étoffes qui les reçoivent. Sur ce dernier point, la science détermine le choix forcé de tel ou tel agent, et ne laisse presque aucune latitude à la fantaisie. Mais, nous le répétons, tous les réactifs, à l'exception de l'essence de térébenthine, de l'alcool, doivent être modifiés et mélangés avec une certaine quantité d'eau que l'on augmente encore, suivant l'altérabilité et la délicatesse des couleurs.

On bat l'étoffe avec une baguette, et on la brosse avec la plus grande attention pour ôter toute la poussière; puis on l'expose à l'action de la vapeur d'eau pour faire ressortir et amollir les taches. Le plus grand nombre des teinturiers passent de l'eau chaude sur toute l'étoffe et brossent avec force pour enlever les corps solubles dans l'eau. Mais cette pratique nous paraît offrir trois inconvénients :

1° De détériorer l'étoffe par le frottement;

2° De faire décharger les couleurs et les corps étrangers dans l'étoffe;

3° D'exiger beaucoup de temps.

Enfin, on marque toutes les taches avec de la craie pour les reconnaître. Cela fait, on commence à enlever les taches partielles avant de mouiller l'étoffe entièrement. Nous recommandons d'en agir ainsi toutes les fois qu'il s'agit de nettoyer, de remettre à neuf une étoffe quelconque; car autrement les taches reparaîtraient.

MOYENS CONNUS D'ENLEVER LES TACHES (1).

Manière de remettre partiellement le glacé des étoffes altérées par des gouttes d'eau. Toutes les fois qu'on ne peut repasser l'étoffe à la machine à lustrer, on la tend sur une table en l'attachant avec des épingles, de manière à ne pas l'endommager; on mouille légèrement l'endroit déglacé avec une petite éponge, puis on met un papier doublé sur un fer à repasser chaud, excepté à l'endroit réservé pour repasser la tache. Si la tache est fort petite, on se borne à faire chauffer le bout d'un fer à gaufrer ou à papilloter, et on le pose perpendiculairement sur l'endroit mouillé.

Les piqûres récentes produites par l'humidité sur les étoffes de soie, s'enlèvent en enroulant l'étoffe dans un linge de calicot blanc, légèrement mouillé, et l'exposant ainsi pendant 24 heures dans un endroit humide.

Procédé pour laver la flanelle sans qu'elle jaunisse. On met dans un bain de savon blanc chaud de la gomme arabique en poudre ou de la dextrine, en quantité suffisante pour le rendre visqueux; on lave soigneusement la flanelle avec ce liquide, comme on le pratique avec le savon, et l'on rince ensuite dans l'eau claire; on renouvelle même au besoin cette opération deux ou trois fois. La décoction de la saponaire produit aussi un très bon effet. Du reste, il est nécessaire de passer la flanelle au soufrage pour lui conserver sa blancheur et toutes ses propriétés hygiéniques.

Taches récentes d'acides minéraux. On peut neutraliser immédiatement leur effet par l'ammoniaque étendu dans une suffisante quantité d'eau, voire même par la vapeur seule de cet alcali; mais il est des cas où cette opération est insuffisante et inutile. Ainsi, lorsque l'acide a vieilli sur l'étoffe, que la couleur est détruite entièrement, il faut avoir recours à la teinture.

Les taches de tabac, d'herbes, de bière, de cidre, de poiré; les taches de sucs de framboise, de fraise, de cerise, de groseille, sur les étoffes *non teintes*, disparaissent complétement par un lavage à l'eau et au savon, mais pour détruire les dernières taches sur les étoffes teintes, on mélange dans un verre d'eau 10 à 12 gouttes d'acide sulfurique, on les imbibe au moyen de quelques gouttes qu'on y répand avec le doigt; après quoi on lave bien les taches pour enlever tout l'acide qui, malgré sa faiblesse, pourrait produire une altération sur les couleurs des étoffes.

Taches de liqueurs. On commence par rafraîchir la tache autant que possible par la même liqueur qui la produite; et aussitôt cette opération faite, on imbibe la tache avec de l'eau pure, on frotte légèrement et avec soin; si elle résiste, et si la couleur le permet, on a recours à l'acide hydrochlorique ou citrique et à l'alcali pour neutraliser (1). On pourrait même employer avec succès l'alcool.

Sur des tissus blancs, les taches de liqueurs disparaissent complétement en employant successivement un lavage à l'eau de savon et le gaz acide sulfureux.

Taches de café et de chocolat. Le café et le chocolat préparés au lait forment des taches très apparentes et plus faciles à enlever que lorsqu'ils sont préparés à l'eau. Le lavage à l'eau d'abord, et ensuite au savon suffit pour les détruire, mais il peut affecter les couleurs. Alors pour agir avec plus de prudence on se sert du jaune d'œuf que l'on tiédit avec un peu d'eau chaude. On emploie cette composition comme un savonnage. Si les taches résistaient à plusieurs lavages, on pourrait y ajouter quelques gouttes d'alcool, en frottant légèrement avec un pinceau en poils de sanglier coupés courts.

Taches d'encre sur des étoffes teintes. Lorsque ces taches sont récentes, il suffit de les laver à l'eau et de les savonner, afin de séparer les substances végétales. On enlève ensuite l'oxyde de fer qui forme l'empreinte de la tache en le mouillant avec de l'acide sulfurique ou hydrochlorique très affaibli par l'eau, que l'on prend dans une pipette en verre. Quand les taches sont anciennes, il faut que l'acide soit plus fort (1 partie d'acide et 10 à 12 parties d'eau environ) (2).

Sur les étoffes blanches de lin et de coton l'acide oxalique produit de très bons effets; il en est de même du sel d'oseille en poudre mêlé avec du sel d'étain.

Taches de rouille. On les fait disparaître sur les étoffes non colorées au moyen de l'acide oxalique en poudre que l'on place dessus après les avoir mouillées, et que l'on a soin de frotter ensuite avec la main. On se sert de l'acide hydrochlorique mélangé avec de l'eau pour enlever la rouille sur les tissus colorés. Si la tache est petite, pour ne pas étendre l'acide au-delà des bornes, on l'emploie avec une pipette en verre, ou simplement avec un morceau de jonc taillé en pointe. On gratte légèrement la tache avec le morceau de jonc que l'on trempe alternativement dans l'acide jusqu'à ce que la tache soit enlevée. Mais il est des cas où la tache est fort difficile à enlever, aussi vaut-il mieux y renoncer que d'attaquer la couleur du tissu.

On peut encore employer avec succès la crème de tartre qui attaque bien moins les couleurs que les aci-

(1) La plupart de ces moyens sont extraits des manuels publiés par Chaptal, Hommassel, Julia de Fontenelle, Lenormand, Voymant et Vergnaud, mais nous avons ajouté les indications positives que l'expérience et la pratique nous ont suggérées.

(1) On emploie l'alcali avant l'acide, surtout pour agir sur les taches de fruits, de vin, etc.

(2) On enlève encore par le sel d'oseille mêlé avec une partie d'étain.

Les urines anciennes qui sont devenues alcalines par la formation d'une grande quantité d'ammoniaque produisent l'effet contraire.

La sueur produit le même effet que les alcalis.

Le sang fraîchement déposé sur une étoffe blanche est d'une couleur rouge vif, et très reconnaissable. Peu à peu il perd cette couleur et devient d'une teinte rouge rabattu ou rouille qu'il conserve longtemps. Dans ces deux états, le sang se mêle, en toute proportion, avec l'eau pure qui le dissout entièrement.

Les décoctions d'herbes, de café, de thé, le chocolat à l'eau et au lait; les sirops, les confitures, les sucs de mûres, de cassis, de merises; les liqueurs spiritueuses, l'absinthe verte, colorée par une teinture d'indigo et de safran; les huiles de rose ou autres, qui sont colorées par la cochenille, etc.; le ratafia composé de merises, de sucre et d'alcool; le punch; le vin composé d'alcool et d'acide, la bière, le cidre, le poiré, et presque tous les composés d'herbes ou de fruits alimentaires forment des taches très reconnaissables par leurs couleurs propres, et qui masquent seulement celles des étoffes

L'encre à écrire, formée ordinairement d'une infusion de noix de galle, de gomme ou de gélatine, et de sulfate de fer (voyez ENCRE), attaque certaines couleurs en les teignant en noir plus ou moins intense.

La rouille, qui n'est autre chose que du fer plus ou moins oxydé, se fixe facilement sur les tissus, et avec une telle adhésion, qu'aucun moyen mécanique ne saurait la séparer. Les étoffes de lin, de chanvre et de coton sont les plus sujettes à prendre la rouille, parce qu'étant plus faciles à être mouillées, elles ont ainsi plus d'affinité pour le fer lorsqu'il passe à l'état de rouille ou d'oxyde. C'est pour cette raison qu'il convient de bien garantir ces étoffes du contact du fer.

Le cambouis, qui est un mélange de vieille graisse et d'oxyde de fer avec d'autres substances, que nous étudierons à l'article GRAISSE DE VOITURE, masque et affecte légèrement la couleur d'étoffe qui prend une teinte plus foncée et moins vive.

Les boues des grandes villes et des routes très fréquentées, celles des fossés, des égouts, ruisseaux, mares et étangs, dans certaines localités, produisent très souvent le même effet que la rouille et les cambouis; en effet, elles sont sujettes à retenir des terres colorées, des débris de matières végétales, animales et ferrugineuses; et dans ces divers cas, elles prennent des nuances très variées qui forment sur les étoffes des taches diversement colorées.

La suie, les dégouttures de tuyaux de poêle et principalement la fumée, déposent sur les étoffes une teinte jaune-verdâtre, souvent très brune, due à de l'acide pyroligneux qui est un véritable vinaigre, lequel tient en dissolution plusieurs sels, une substance résineuse, et de l'oxyde de fer qui adhère fortement au tissu.

Les corps huileux et gras donnent d'abord aux couleurs de l'étoffe sur laquelle ils sont posés des nuances plus foncées; ils s'étendent beaucoup pendant plusieurs jours, surtout quand ils sont soumis à l'action de la chaleur. L'huile d'éclairage épurée altère souvent les couleurs à cause de l'acide sulfurique qu'elle contient toujours ou presque toujours.

Les corps gras attirent et retiennent fortement la poussière que le simple frottement de la brosse ne saurait enlever; dans cet état, les taches prennent indistinctement une nuance gris sale qui tranche avec celle de l'étoffe. Le beurre, le bouillon, la sauce de nos aliments qui retiennent toujours une certaine quantité de corps gras, produisent sur les tissus des effets analogues, quoique à un degré bien moindre.

Le vernis, la peinture à l'huile cuite, l'encre grasse d'imprimerie, la cire, la bougie stéarique, les résines, le bitume, le goudron, la poix jaune, sont très faciles à distinguer. Ces substances, d'ailleurs, ne font que couvrir et adhérer plus ou moins avec l'étoffe en se figeant sur elles; cet effet à presque toujours lieu ainsi, car ces produits tombent ordinairement sur l'étoffe sans être liquides, mais dans un premier degré de fusion et de solidité.

SUBSTANCES ET RÉACTIFS CONVENABLES POUR ENLEVER LES TACHES (1). — *L'eau pure*, froide ou chaude, ou saturée d'acides est destinée à laver ou *rincer* les étoffes, afin de les débarrasser de tous les corps étrangers et neutres qui couvrent la couleur (voyez BLANCHISSAGE).

La vapeur d'eau, qui a la propriété d'amollir les matières grasses et de faciliter ainsi leur dissolution par les réactifs.

L'acide sulfurique qui peut être employé dans certains cas, particulièrement pour aviver et rehausser les couleurs verte, rouge, jaune, etc.; mais il faut l'étendre au moins de cent fois son poids d'eau et augmenter cette dose suivant la délicatesse des nuances.

L'acide hydro-chlorique. On s'en sert avec succès pour enlever les taches d'encre et de rouille sur une grande quantité de couleurs qu'il n'altère pas sensiblement.

L'acide sulfureux. Il ne s'emploie que pour blanchir les étoffes non teintes, les chapeaux de paille, etc., et pour enlever les taches de certains fruits sur des étoffes de laine ou de soie blanche; on se sert aussi, pour cet objet, du gaz sulfureux, mais l'acide sulfureux liquide est moins dangereux.

L'acide oxalique. Son emploi est d'enlever les taches de rouille, d'encre et celles produites par les dissolutions ferrugineuses, ainsi que le reste de la *tache de cambouis ou de boue* qui a résisté au dégraissage par les autres agents. On peut aussi l'employer pour détruire les taches de fruits et de sucs astringents, les taches de l'urine qui a vieilli sur une étoffe, etc. Toutefois on ne peut s'en servir que sur les tissus non teints, car il attaque les couleurs faux teint, et les nuances bon teint et claires. La meilleure manière de l'employer est de le dissoudre dans l'eau froide, quelquefois dans l'eau tiède, et de le laisser reposer un instant sur la tache avant de la frotter avec la main.

L'acide citrique est destiné à faire revivre et rehausser certaines couleurs, particulièrement le vert et le jaune; il détruit l'influence des alcalis, et les *rosures* sur l'écarlate (2).

A son défaut, l'*acide acétique* (ou vinaigre rectifié), peut être employé.

L'alcali volatil (ou ammoniaque liquide). C'est l'agent le plus énergique et le plus utile que l'on puisse employer pour dégraisser les étoffes, les chapeaux de soie et pour neutraliser promptement les effets des acides; dans ce dernier cas, il suffit souvent d'exposer les taches à la vapeur de cet alcali qui les fait disparaître entièrement. Tous les fripiers s'en servent journellement pour dégraisser et remettre à neuf les vieux habits.

L'ammoniaque fait tourner au violet toutes les couleurs faites à la cochenille, avec le bois de Brésil ou de Campêche, à la laque et montées à la cochenille. Il ne détériore pas les étoffes de soie, mais il attaque sensiblement les étoffes de laine à une température élevée.

On s'en sert aussi pour rétablir la couleur noire sur la soie qui a été endommagée par l'humidité.

La soude et la potasse ne sont employées que pour

(1) Il est bien entendu que tous les réactifs, à l'exception des huiles essentielles, doivent être étendus d'une suffisante quantité d'eau, afin que leur action ne soit pas trop énergique sur les tissus, et ne puisse endommager l'étoffe ou la couleur.

(2) En teinture on désigne par rosures les teintes ou taches rouges, cramoisies ou bleuâtres que prend l'*écarlate*.

nettoyer les étoffes blanches de lin, de chanvre et de coton, car ces alcalis attaquent les couleurs, voire même la ténacité et la souplesse de la laine et de la soie elle-même. Par la même raison, le savon blanc n'est employé convenablement que pour nettoyer les étoffes de laine blanches.

Le *carbonate de soude* sert pour dégraisser les chapeaux de soie altérés par la sueur.

Le *savon marbré* est bon pour le dégraissage des grosses étoffes de laine et de coton, telles que les couvertures qui ne sont pas soumises au frottement et à l'usure; pour ces sortes d'étoffes qui n'exigent pas une grande souplesse ni une grande douceur au toucher, on peut encore augmenter l'action du savon par une petite addition de potasse.

Le *savon vert*, dit savon gras à la potasse, peut s'employer avec succès en dissolution avec de la gomme arabique ou d'autres matières mucilagineuses pour le dégraissage des étoffes de couleur et principalement des étoffes de soie unies; on doit même préférer cette composition au savon blanc ou marbré, parce qu'elle enlève plus facilement les taches, et qu'elle attaque beaucoup moins les couleurs.

Essence, mélange d'essence et de savon. On s'en sert comme du savon ordinaire.

Poudre de savon, principalement employée pour nettoyer les gants d'agneau et de chevreau; on la trouve toute préparée chez les parfumeurs praticiens.

Bain de savon, pour opérer le lavage à fond des étoffes blanches et en bon teint. On le prépare en coupant du savon par tranches minces que l'on fait dissoudre dans l'eau à la température de l'ébullition, ensuite on le conserve dans un vase de terre ou dans un baquet en bois.

La *bile amère* ou *fiel de bœuf*, que l'on vend chez tous les marchands bouchers et tripiers, dans une espèce de poche membraneuse, est un composé de picromel, de résine, de soude et d'autres matières, qui a la propriété de dissoudre la plupart des corps gras peu résistants sans altérer ni les étoffes, ni les couleurs; aussi les dégraisseurs s'en servent-ils préférablement au savon pour le dégraissage des étoffes de laine. On ne doit pas l'employer pour le nettoyage des étoffes de nuances claires et délicates qu'il ternit, en leur donnant une teinte d'un jaune-verdâtre et parfois d'un vert foncé. On le mélange aussi avec d'autres matières, de l'essence de térébenthine, de l'alcool, du miel, des jaunes d'œufs, de l'argile, etc.; et dans cet état on en fait usage pour dégraisser les étoffes de soie unie.

Mais le fiel doit être très frais pour produire un effet satisfuisant, et le moyen le plus simple pour le conserver est sans contredit celui qui a été indiqué par Dioscoride (liv. II, chap. 70), qui vivait vers le commencement de l'ère chrétienne, sous Néron.

On lie fortement avec une ficelle le col de l'enveloppe membraneuse qui renferme le fiel; puis on met cette enveloppe dans l'eau bouillante pendant quelque temps. Cela fait, on la retire dehors et on la sèche à l'ombre. Au résumé, c'est par des procédés basés sur le même principe que l'on prépare et conserve très bien aujourd'hui les substances alimentaires.

Le *jaune d'œuf* possède à peu près les mêmes propriétés que le fiel de bœuf, mais il est d'un emploi plus coûteux. Il faut aussi l'employer le plus frais possible, car il perd son efficacité en vieillissant.

Quelquefois pour donner une action plus énergique au jaune d'œuf, on le mélange avec de l'essence de térébenthine, par volume égal, et on l'emploie en le chauffant à la température de l'eau tiède.

Les *huiles volatiles* ou *essentielles rectifiées*, telles que celles de térébenthine de citron, de lavande et de bergamotte, enlèvent facilement les taches d'huile, de graisse, de résine, goudron, poix, bitume, etc., sur une étoffe propre; mais on ne les emploie pas pour dégraisser à fond les étoffes salies par l'usage. Du reste, de toutes les essences connues, celle de térébenthine est encore la meilleure et la plus économique que l'on puisse employer aujourd'hui. Elle a pourtant l'inconvénient grave de répandre une odeur forte et désagréable qui reste longtemps dans les étoffes; mais on peut la faire disparaître entièrement en exposant les étoffes infectées à l'action simultanée de deux courants, l'un de vapeur d'eau et l'autre d'air sec (*1*).

L'*essence de térébenthine* doit être employée seule et sans aucun mélange, soit d'essence, soit d'alcool ou d'eau, et sur une étoffe non mouillée; car elle perdrait alors toute sa supériorité et son énergie.

La *benzine* (voy. *Complément*) et le sulfure de carbone sont employés aujourd'hui pour dissoudre les graisses.

L'*alcool rectifié* dissout facilement la cire, le suif à l'état concret, la bougie stéarique, et toutes les matières résineuses déposées superficiellement sur une étoffe quelconque. Il peut enlever les taches de vernis, de peinture, de poix, de goudron, sur des étoffes de laine tirées à poils, et quelquefois même sur des tissus lisses qui n'ont pas été pénétrés.

L'*alcool* peut être mélangé avec plusieurs agents de dégraissage, tels que le fiel de bœuf, les jaunes d'œufs, soit pour les conserver, soit pour leur donner plus d'énergie et de force de pénétration.

Terres grasses et absorbantes (argile, terre à foulon, terre de pipe, plâtre, cendres tamisées). On emploie ces terres pour enlever les corps graisseux de dessus les étoffes, mais il faut s'en servir avec discernement, selon l'espèce de tissu et la nature des couleurs.

Ainsi pour les étoffes blanches on se sert de plâtre en poudre, et pour les étoffes teintes on se sert de terre grasse en poudre, ou de terre de pipe, ou de cendres.

La *craie* et la *céruse du commerce* ont la propriété de nettoyer parfaitement les étoffes de laine claires, le satin blanc, les tapisseries, etc. On les réduit en poudre très fine, et on en saupoudre l'étoffe bien tendue qu'on frotte avec une brosse de flanelle. Ceci fait, on bat l'étoffe avec précaution pour enlever la poudre superflue.

Saponaire. C'est avec la décoction alcaline des feuilles, des fleurs, et de la racine de cette plante qu'on nettoie et dégraisse parfaitement les étoffes de laine et de cachemire, en leur laissant toutefois une teinte jaunâtre qu'on enlève par un lavage à l'eau saturée de quelques gouttes d'acide citrique ou acétique.

Sel de tartre (sous-carbonate de potasse). Ce sel dissout et enlève avec facilité tous les corps gras; mais on ne doit l'employer que sur les draps bleus, noirs, gris, verts foncés, et généralement sur toutes les étoffes de couleurs réputées bon teint. Par pure précaution, on neutralise encore son action par l'ammoniaque liquide.

Sel d'oseille (bi-oxalate de potasse). Il dissout les oxydes métalliques; aussi est-il employé avec quelque avantage pour enlever les taches d'encre, de rouille, etc., surtout lorsqu'on le mélange avec une partie d'étain pur.

L'*eau de Javelle* (chlorure de potasse) ne doit être employée que sur les étoffes de chanvre, de lin et de coton non teintes, soit pour les blanchir, soit pour enlever certaines taches de fruits.

La *crème de tartre* (bi-tartrate de potasse) est bonne pour enlever les taches formées par les compositions où il entre quelques particules d'oxyde de fer, comme, par exemple, les taches de cambouis qui résistent après avoir été frottées avec de l'essence de térébenthine, les taches produites par la rouille et même par la boue. Du reste, elle n'agit pas aussi promptement que le sel d'oseille ou l'acide oxalique qui doit être préféré.

(1) On enlève aussi toute l'odeur en trempant l'étoffe dans l'alcool.

DÉGRAISSEUR.

des oxalique et hydro-chlorique, mais qui a l'inconvénient de ne pas agir avec autant de promptitude.

Voici la manière de l'employer :

On la réduit en poudre très-fine que l'on applique sur la tache et on l'humecte ensuite pour lui donner de l'action. On la laisse agir pendant 8 ou 10 minutes, puis on frotte doucement la tache entre les mains pour faire disparaître le sel, et on la lave avec soin.

Tache de cambouis. Il faut d'abord imbiber la tache avec de l'essence de térébenthine, en la frottant légèrement avec une éponge pour la faire décomposer ; ensuite on la mouille de nouveau avec l'essence, et on la couvre aussitôt avec de la cendre tamisée ou de la terre de pipe en poudre. Après dix minutes ou un quart d'heure d'attente, on enlève la terre absorbante, on brosse bien la place ; et si la tache n'est pas entièrement disparue, l'on recommence la même opération. Il est rare que la tache résiste à la deuxième opération, mais si elle résiste, on pourrait l'enlever avec le jaune d'œuf mélangé avec de l'essence, et lui faire subir une troisième opération.

Si la tache était ancienne, il pourrait arriver cependant que les parties ferrugineuses qu'elle contient adhérassent fortement avec l'étoffe ; et dans ce cas, elles résisteraient à cette opération. Alors il faudrait bien laver la tache, et l'attaquer avec de l'acide hydrochlorique ou oxalique comme s'il s'agissait d'enlever une vieille tache d'encre.

Taches de boue dont l'eau ne suffit pas pour enlever l'empreinte. Le jaune d'œuf appliqué sur une tache de cette espèce enlève presque généralement jusqu'à la moindre trace ; mais si après quelques légers frottements suivis de rinçages, la tache résistait, on pourrait employer la crème de tartre réduite en poudre, et la laisser agir pendant quelque temps après l'avoir humectée d'eau.

Quand la boue a produit quelques altérations sur les couleurs telles que sur le rouge en petit teint, et sur les écarlates à la cochenille qu'elle peut quelquefois faire virer au violet, comme le fait un alcali ; on fait revivre la couleur par le secours d'un acide (citrique, acétique ou hydrochlorique).

Taches d'urine. Il est essentiel de les enlever de suite et aussitôt qu'on s'en aperçoit ; et le meilleur réactif qu'on puisse employer est l'ammoniaque étendu d'eau. Quand l'urine a vieilli, et qu'elle a pris un caractère alcalin, alors si l'ammoniaque ne réussit pas pour enlever entièrement la tache, on fait dissoudre un peu d'acide oxalique dans un vase avec de l'eau en quantité suffisante pour affaiblir son action destructive. On rince bien la tache et on fait agir l'acide oxalique que l'on insuffle au moyen d'une pipette ou d'un petit bâton de jonc.

Les *taches de sueur* peuvent être enlevées sur quelque étoffe que ce soit par les mêmes procédés, et sur l'écarlate elles disparaissent instantanément par l'application du sel d'étain dissout dans une grande quantité d'eau.

Taches de suie, et de dégouttures de tuyaux de poêle. Il faut d'abord commencer par les imbiber avec de l'essence de térébenthine, et les frotter légèrement pour faire dissoudre une espèce d'huile empyreumatique qui tient les sels et autres matières concentrées sur l'étoffe. Ensuite on fait un mélange de cette même essence avec du jaune d'œuf en tenant le composé un peu tiède, et on le fait agir sur la tache à diverses reprises, en frottant légèrement jusqu'à ce que les opérations répétées ne produisent plus d'effet. Si la tache n'est pas parfaitement disparue, après ces deux traitements, qui auront dû enlever toutes les substances végétales, dont la tache est composée, il ne restera alors en dernier lieu qu'une nuance noirâtre formée de quelques particules de fer que l'on pourra dissiper par l'acide hydrochlorique, *sur les étoffes de couleurs*, et par l'acide oxalique ou la crème de tartre sur les étoffes blanches ou reconnues en bon teint. Quelques dégraisseurs emploient aussi des sels d'oseille et d'étain.

Taches d'huile, de graisse, de suif, etc. Toutes les taches graisseuses et huileuses n'exigent pour ainsi dire que le même traitement, l'essence de térébenthine pure, pour disparaître ; mais les taches produites par l'huile d'éclairage épurée que contient toujours ou presque toujours, comme nous l'avons dit, une certaine quantité d'acide sulfurique, sont quelquefois difficiles voire même impossibles à enlever, surtout quand elles ont vieilli sur les étoffes. Dans ce cas, après avoir employé l'essence de térébenthine, on emploie l'ammoniaque, et s'il n'agit pas pour faire disparaître l'empreinte de la tache, il n'y a pas d'autre remède que la teinture.

Pour enlever les taches de graisse et de suif, on les imbibe avec une petite quantité d'essence à l'aide d'une éponge fine, ensuite on les frotte légèrement dans la main et avec promptitude. L'on mouille de nouveau avec l'essence, et l'on recouvre de suite la tache avec de la terre de pipe ou de la cendre tamisée. Après 10 minutes ou un quart d'heure, on donne un coup de brosse et la tache a entièrement disparu. Si la terre absorbante laissait quelque blancheur après l'opération, on pourrait facilement la dissiper en frottant dessus avec de la mie de pain.

Quand on redoute l'odeur de l'essence pour enlever les taches de graisse, on lui substitue l'alcool rectifié. Dans tous les cas, on peut toujours faire disparaître la mauvaise odeur de l'essence de térébenthine en soumettant l'étoffe à l'action de la vapeur d'eau ou en la lavant dans l'alcool. Or ce sont là les moyens les plus simples et les plus économiques que nous connaissions, et nous les recommandons vivement à tous les dégraisseurs, parce que nous les avons employés avec un grand succès.

Les taches de vernis, de peinture et de goudron, concentrées par les huiles qui en font la base et qui les font adhérer avec une grande ténacité sur les tissus, doivent être traitées, comme les huiles et les graisses, par l'essence de térébenthine qui dissout avec facilité l'huile. Ordinairement une seule opération suffit pour obtenir un résultat satisfaisant. Le beurre offre aussi un bon emploi pour enlever les taches de vernis et de goudron ; on enlève ensuite le beurre par l'essence de térébenthine.

Les taches de résine, térébenthine, poix, cire, bougie stéarique se dissolvent parfaitement avec l'alcool rectifié. On les pénètre bien avec cette liqueur, ensuite on les frotte avec soin ; mais à défaut d'alcool, on peut prendre de l'essence de térébenthine, de lavande, de citron, de l'eau de Cologne, de l'eau-de-vie forte.

DÉGRAISSAGE, NETTOYAGE A FOND ET MISE A NEUF DE TOUTE ESPÈCE D'OBJETS D'HABILLEMENT. Jusqu'ici nous n'avons parlé que des moyens pratiques d'enlever les taches partielles sur des étoffes quelconques ; mais nous n'avons pas dit un mot du nettoyage à fond des vêtements, qui varient à l'infini, selon le caprice de la mode et les progrès de la fabrication. Or, chaque nature d'étoffe et de vêtement exige, pour ainsi dire, une manutention à part et bien distincte, et c'est une des qualités pratiques essentielles de l'art du dégraisseur que nous allons traiter ici très brièvement.

Les étoffes de coton, de chanvre et de lin, blanches et en bon teint, se nettoient tout simplement dans un bain de savon que l'on tient à une petite chaleur après avoir enlevé les taches. Généralement on nettoie ainsi toutes les étoffes de coton colorées, mais on les passe rapidement dans un bain d'eau de rivière auquel on ajoute alors quelques pincées d'alun en poudre ou quelques gouttes d'acide acétique, citrique ou sulfurique, afin de neutraliser l'action du savon ; ensuite on rince les étoffes à l'eau

claire, et on leur donne le lustrage et l'apprêt convenables. Les robes, fichus et autres objets d'indiennes et de mousselines, guingamps, etc., sont nettoyés d'abord dans un bain faible de savon blanc, en le tenant pendant quelque temps à la température tiède; on passe rapidement les étoffes dans ce bain, et on les travaille ensuite dans les baquets à fouler, enfin on les rince à plusieurs reprises dans l'eau de rivière et dans un dernier bain saturé d'acide acétique. On les fait sécher après avoir été apprêtées avec une colle de fécule et on les soumet à l'action de la machine à lustrer.

Les tulles et dentelles sont mis avec précaution dans un bain de savon blanc, à la température tiède, et on les y laisse pendant quelque temps, puis on les manie dans un autre bain moins chaud, après les avoir placées dans un sac en canevas pour ne point les tirailler. Depuis quelques années, les praticiens habiles et très soucieux de leur art complètent l'opération en soumettant les étoffes à la vapeur d'eau, et en les lavant à l'eau claire. Nous pouvons même citer à ce sujet un dégraisseur très instruit, M. Frick, qui n'emploie pas d'autre moyen.

Le crêpe noir est nettoyé dans le fiel de bœuf purifié et porté à la température de l'eau tiède.

Les voiles, gazes, blondes et satins blancs, sont macérés ordinairement dans un bain de savon blanc, puis on les passe rapidement 2 ou 3 fois, à différentes reprises, dans un bain de savon blanc très chaud. Ensuite on les soumet à l'action du gaz acide sulfureux, enfin on rince les étoffes à l'eau, colorée par une dissolution de carmin, d'indigo et de cochenille, pour les azurer; on les presse dans un sac à tordre pour en extraire l'eau superflue, et on les fait sécher rapidement.

On nettoie aussi le satin blanc au moyen de la craie que l'on réduit en poudre très fine. Ainsi, on place l'étoffe sur une table recouverte d'une couverture de laine, et on la saupoudre au fur et à mesure qu'on la nettoie en la frottant avec une brosse de flanelle; avec de la mie on donne à l'étoffe de la fraîcheur.

Mais les damas, les lévantines, les florences, les pékins, et généralement toutes les soieries légères de couleurs délicates, sont nettoyées à l'aide d'une éponge fine avec une composition chaude formée de savon gras, de fiel de bœuf, de miel et d'alcool, à peu près par parties égales, et modifiés par une suffisante quantité d'eau. Pour ne point les casser, on les tend sur un châssis ou sur une table, et on les attache avec des épingles pour les faire sécher et leur donner le lustre et le brillant que les consommateurs recherchent si ardemment.

Pour les étoffes de soie brodées en couleurs, on emploie la même composition, avec moins de fiel de bœuf qui ternit les couleurs vives; de plus, on substitue au savon gras le jaune d'œuf qui éclaircit au contraire les couleurs. L'alcool et le miel servent à fixer les couleurs et à leur conserver le lustre.

Lorsque les broderies renferment du cordonnet d'or ou d'argent, on ajoute à l'eau de rinçage quelques gouttes d'acide sulfurique, à cause des fils qui sont sous l'or, et dont la teinte est due au rocou. Mais il est encore un moyen plus sûr et plus efficace de rendre l'éclat et le brillant à l'or et à l'argent, c'est de faire dissoudre du savon blanc dans l'eau, de manière à en former une pâte épaisse. On pose cette pâte avec un pinceau sur l'or et l'argent, et on la laisse sécher; ensuite on l'enlève en frottant avec un petit pinceau de poils de sanglier.

En règle générale, tous les objets de broderie demandent à être repassés et apprêtés encore humides, à l'envers, avec un fer chaud, sur une couverture de laine très épaisse ou pliée en double, afin de donner plus de relief au dessin; la calandre, au contraire, aplatirait et écraserait la broderie.

Habit ou redingote de drap, de casimir ou flanelle, etc., de couleur bon teint et foncée. Quand les taches sont enlevées, comme nous l'avons dit précédemment, on mouille partout l'habit également, en le frottant rapidement dans le sens des poils avec une brosse rude que l'on trempe dans du fiel de bœuf, ou mieux dans l'ammoniaque mélangée avec 8 à 12 parties d'eau tiède. Lorsqu'il est bien brossé et bien nettoyé, on le rince à l'eau claire pour enlever le fiel de bœuf, et on le laisse égoutter pour en extraire l'eau. Cela fait, il s'agit de donner au drap l'apprêt et le brillant du neuf : pour cela, on fait bouillir dans un pot de la graine de lin et un peu de bois d'Inde, ou de toute autre matière colorante, selon le principe de la couleur de l'habit (voyez EXTRAIT, TEINTURE), jusqu'à ce que la composition file comme le blanc d'œuf et soit légèrement colorée. On passe cette composition au travers d'un linge pour en extraire toutes les impuretés, et avec une brosse demi-rude on l'étend uniformément, et dans le sens du poil, sur toutes les parties de l'habit (1). Cette opération terminée, avec les deux mains on étire bien l'habit sur toutes les coutures, pour qu'il ne fasse pas de faux plis, et on le fait sécher sur un demi-cerceau; quand il est sec, on pose dessus un linge bien propre, mouillé avec de l'eau de savon, et on le repasse avec un fer chaud. Alors l'habit est lustré et apprêté à neuf, comme disent les dégraisseurs.

Généralement les dégraisseurs et marchands de vieux habits, ne prennent pas la peine d'enlever les taches partielles; ils étendent tout simplement le fiel de bœuf sur l'habit avec une brosse rude, après quoi ils le font égoutter et sécher sur un demi-cerceau sans le tordre. Lorsqu'il est sec, ils le brossent partout pour lui donner le lustre et le brillant. Mais cette manière de dégraisser ne fait que couvrir et dissimuler les taches, qui reparaissent toujours lorsque l'habit a été porté pendant plusieurs jours.

Lorsque quelques parties de l'habit, telles que les parements, le dessous des manches, les emmanchures, sont trop usées et *râpées* (terme technique), les marchands fripiers intelligents et honnêtes font ressortir la couleur du drap, ou bien ils font enlever par des tailleurs spéciaux, soit dans la doublure, soit dans le collet de l'habit, une pièce de l'étoffe, qu'ils font coudre et *rentraire* à la place du morceau usé. Puis, avec le *chardon à carde*, ils font sortir une partie du poil dont ils recouvrent les coutures, et lorsque cette opération est faite avec soin l'on ne voit pas la réparation.

M. Dier, qui s'est fait une certaine réputation dans le dégraissage, met à neuf les habits par un procédé secret qui consiste, d'après les *on dit* : 1° à mouiller les places de l'habit qui sont *râpées* avec de l'huile d'olive ou d'œillette, et à les couvrir ensuite avec une dissolution de potasse caustique marquant 5 à 6 degrés à l'aréomètre de Baumé; 2° à tirer les poils du drap avec un chardon pendant que l'étoffe est encore humide; 3° à lustrer l'étoffe avec une décoction de pépins de coing, de psilium, de gélatine et d'alun. Nous donnons le procédé de M. Dier tel qu'il nous a été rapporté, sans en garantir toutefois ni le mérite ni l'efficacité. Dans tous les cas, la méthode connue de mettre des morceaux neufs à la place des vieilles étoffes, nous paraît plus prompte, plus sûre, et plus économique surtout.

Lorsque l'habit est très malpropre, qu'il est couvert en quelques endroits d'une crasse épaisse qui couvre la surface de l'étoffe, on soumet l'habit à l'action de la vapeur, afin d'amollir la crasse et de la disposer à se dissoudre plus facilement. Ensuite il faut faire tiédir la composition qu'on se propose de faire agir sur l'étoffe grasse, soit le fiel de bœuf purifié, soit l'ammoniaque

(1) Cette pratique, en terme de fripier, s'appelle passer en couleur.

liquide, soit le fiel de bœuf mêlé avec une quantité égale de jaunes d'œufs, et on augmente leur action détersive par des frictions avec une brosse dure

Les vieux *habits et pantalons écarlates*, les parements, collets et revers des habits d'uniforme de la garde nationale, etc., se nettoient comme les habits ordinaires; mais, quand ils sont secs, ils prennent souvent des taches de *rosures* ou de noir; on les enlève soit avec l'acide citrique, soit même seulement avec du jus de citron.

Les étoffes de couleur pourpre, cramoisie, violet, amarante, rose, exigent le même traitement.

Les casimirs, les mérinos, les cachemires, les châles brodés, et généralement tous les tissus légers en laine fine, en soie et coton, en laine et coton, sont dégraissés tout simplement dans une décoction chaude de *saponaire*, mais on les foule et travaille longtemps; on les rince ensuite dans un bain d'eau de rivière *et on les drape* (1); enfin, on les passe à la calandre ou à la presse à vis. On termine les châles en frisant la frange encore humide avec un fer à dent légèrement chauffé.

Tapis en laine longue à l'imitation de ceux de la Savonnerie. Depuis quelques années, un mécanicien de Paris, M. Dennebèque, a imaginé un moyen fort ingénieux et entièrement mécanique de dégraisser et de mettre à neuf les tapis longue laine. Il tond la laine au moyen d'une machine de son invention, afin d'enlever les extrémités des brins colorés qui sont passés et sales. Par ce moyen bien simple, il met à découvert de nouvelles parties de laines colorées qui conservent encore de l'éclat et de la vivacité. Pourtant nous croyons devoir dire sans vanité que nous avons pratiqué et mis au jour, il y a près de 8 années, un procédé *analogue pour nettoyer* et mettre à neuf la peluche en laine, les petits tapis de lit, et autres objets brodés à la main, en laine longue et en relief. Nous nous servions tout simplement d'une paire de ciseaux recourbés, semblable à celle en usage dans les manufactures de tapis; mais pour dire toute la vérité, nous n'avons jamais pensé à appliquer ce procédé au dégraissage des *tapis du commerce*. Dans notre opinion, l'honneur de cette découverte appartient entièrement à M. Dennebèque. Nous devons dire aussi que M. Dennebèque n'a pas pris de brevet d'invention pour son procédé, mais seulement pour la machine à tondre qu'il emploie.

Dans tous les cas, on peut toujours tondre les tapis avec une paire de ciseaux recourbés, à défaut d'une machine plus expéditive, en ayant soin de comprimer chaque *duite* que l'on veut couper uniformément entre deux lames de cuivre, de zinc ou de fer-blanc, d'une hauteur proportionnée à la longueur des fils qu'on désire conserver. A. ROUGET DE LISLE.

DÉLIQUESCENT (*all.* zerfliefsbar). Se dit des corps solides qui attirent assez de l'humidité répandue dans l'atmosphère pour se liquéfier spontanément au contact de l'air; tels sont la potasse, ou le chlorure de calcium.

DENSITÉ, PESANTEUR OU POIDS SPÉCIFIQUE. On entend par densité ou pesanteur spécifique d'un corps, la quantité de matière qu'il renferme sous un volume donné; on rapporte les densités des gaz et des vapeurs à celle de l'air prise pour unité, et celle des liquides et des solides à celle de l'eau. Nous n'entrerons pas dans le détail des diverses méthodes employées pour déterminer la densité des corps solides, liquides et gazeux, ayant déjà donné à l'article ARÉOMÈTRE la description des instruments les plus employés dans les arts, et nous nous contenterons de rapporter ici les densités des principaux corps gazeux, liquides et solides.

(1) *Draper*, dans le langage de dégraisseur, signifie envelopper l'étoffe dans un linge avec lequel on la presse.

Pesanteurs spécifiques des gaz, celle de l'air étant prise pour unité.

NOMS DES GAZ.	DENSITÉS trouvées.	DENSITÉS calculées.	NOMS des observateurs.
Air.	1,0000		
Gaz hydriodique. . . .	4,443	4,340	Gay-Lussac.
Gaz fluo-silicique. . .	3,573		John Davy.
Gaz chloro-borique. . .	3,420		Dumas.
Gaz chloroxi-carboniq.		3,399	
Hydrogène arseniqué. .	2,695	2,695	Dumas.
Chlore.	2,470	2,426	Gay-Lussac et Thénard.
Oxyde de chlore. . . .		2,315	
Acide fluo-borique. . .	2,371		John Davy.
Acide sulfureux. . . .	2,234		Thénard.
Cyanogène.	1,806	1,849	Gay-Lussac.
Hydrogène phosphoré.	1,761		Dumas.
Protoxyde d'azote. . .	1,520	1,527	Colin.
Acide carbonique. . .	15,245		Berzélius, Dulong.
Acide hydro-chlorique.	1,2474		Biot et Arago
Hydrog. proto-phosph.	1,214		Dumas.
Acide hydro-sulfurique.	1,1912		Gay-Lussac et Thénard.
Oxygène.	1,1026		Berzélius, Dulong.
Deutoxyde d'azote. . .	1,0388	1,0364	Bérard.
Hydrogène bi-carboné.	0,9780		De Saussure.
Azote.	0,976		Berzélius, Dulong.
Oxyde de carbone. . .	0,957	0,967	Cruikshanck.
Ammoniaque.	0,5967	0,5940	Biot et Arago.
Hydrog. carb. d. marais.	0,555	0,559	Thomson.
Hydrogène.	0,0688		Berzélius, Dulong.

Pesanteurs spécifiques des vapeurs, celle de l'air étant prise pour unité, et les vapeurs étant ramenées par le calcul à 0° *et* 0m,76.

NOMS DES VAPEURS.	DENSITÉS trouvées.	DENSITÉS calculées.	NOMS des observateurs.
Air.	1,0000		
Bi-chlorure d'étain. . .	9,199	8,993	Dumas.
Vapeur d'iode.	8,716		id.
Vapeur de mercure. . .	6,976		id.
Vapeur de soufre. . . .	6,617		id.
Proto-chlorure d'arsenic	6,300	6,297	id.
Chlorure de sicilium. .	5,939	5,959	id.
Ether hydriodique. . .	5,4719		Gay-Lussac.
Camphre ordinaire. . .	5,468	5,314	Dumas.
Ether benzoïque. . . .	5,409	5,241	D. et Boullay
Ether oxalique.	5,087	5,081	id.
Proto-chlor. de phosph.	4,875	4,807	Dumas.
Essence de térébenthine	4,763	4,765	id.
Chlorure jaune de soufre	4,730		id.
Naphtaline.	4,528	4,492	id.
Vapeur de phosphore. .	4,355	4,325	id.
Chlor. rouge de soufre.	3,700		id.
Liqueur des Hollandais.	3,443		Gay-Lussac.
Acide hypo-nitrique. .	3,180		Dulong.
Ether acétique.	3,067	3,066	Dum. et Boul.
Sulfure de carbone. . .	2,644		Gay-Lussac.
Ether hypo-nitreux. .	2,626	2,606	Dum. et Boul.
Ether sulfurique. . . .	2,586		Gay-Lussac.
Ether hydro-chlorique.	2,212		Thénard.
Chlorure de cyanogène.	2,111	2,112	Gay-Lussac
Esprit pyro-acétique. .	2,019	2,020	Dumas.
Alcool.	1,6133		Gay-Lussac.
Acide hydro-cyanique.	0,9476	0,9360	id.
Eau.	0,6235	0,624	id.

DENSITE.

Pesanteurs spécifiques des liquides, celle de l'eau étant prise pour unité.

Acide sulfurique	1,8409
Acide nitreux	1,550
Eau de la mer Morte	1,2403
Acide nitrique	1,2175
Eau de la mer	1,0263
Lait	1,03
Eau distillée	1,0000
Vin de Bordeaux	0,9939
Vin de Bourgogne	0,9915
Huile d'olive	0,9153
Ether hydro-chlorique	0,874
Huile essentielle de térébenthine	0,8697
Bitume liquide dit *naphte*	0,8475
Alcool absolu	0,792
Ether sulfurique	0,7155

Pesanteurs spécifiques des solides, celle de l'eau étant 1 (*à 18° centigrades*).

Platine	laminé	22,0690
	passé à la filière	21,0117
	forgé	20,3366
	purifié	19,5000
Or	forgé	19,3617
	fondu	19,2581
Tungstène		17,6
Mercure (à 0°)		13,598
Plomb fondu		11,3523
Palladium		11,3
Rhodium		11,0
Argent fondu		10,4743
Bismuth fondu		9,822
Cuivre en fil		8,8785
Cuivre rouge fondu		8,7880
Molybdène		8,611
Arsenic		8,308
Nickel fondu		8,279
Urane		8,1
Acier non écroui		7,8163
Cobalt fondu		7,8119
Fer en barre		7,7880
Etain fondu		7,2914
Fer fondu		7,2070
Zinc fondu		6,861
Antimoine fondu		6,712
Tellure		6,115
Chrôme		5,9
Iode		4,9480
Spath pesant (baryte sulfatée)		4,4300
Rubis oriental		4,2833
Saphir oriental		3,9941
Saphir du Brésil		3,1307
Topase orientale		4,0106
Topase de Saxe		3,5640
Béril oriental		3,5489
Diamants les plus lourds (légèrement colorés en rose)		3,5340
Diamants les plus légers		3,5010
Flint-glass (anglais)		3,3293
Spath-fluor rouge (Chaux fluatée)		3,1911
Tourmaline (verte)		3,1555
Asbeste roide		2,9958
Marbre de Paros (chaux carbonatée lamellaire)		2,8376
Quartz-jaspe onix		2,8160
Emeraude verte		2,7755
Perles		2,7500
Chaux carbonatée cristallisée		2,7182
Quartz jaspe		2,7101
Corail		2,680
Cristal de roche pur		2,6530

DENTELLE.

Quartz agate	2,645
Feldspath limpide	2,5644
Verre de Saint-Gobain	2,4882
Porcelaine de la Chine	2,3847
Chaux sulfatée cristallisée	2,3417
Porcelaine de Sèvres	2,1457
Soufre natif	2,0332
Ivoire	1,9170
Albâtre	1,8740
Anthracite	1,8
Alun	1,720
Houille compacte	1,3292
Jayet	1,259
Succin	1,078
Sodium	0,972
Glace	0,930
Potassium	0,8654
Bois de hêtre	0,852
Frêne	0,845
If	0,807
Bois d'orme	0,800
Pommier	0,733
Bois d'oranger	0,705
Sapin jaune	0,657
Tilleul	0,604
Bois de cyprès	0,598
Bois de cèdre	0,561
Peuplier blanc d'Espagne	0,529
Bois de sassafras	0,482
Peuplier ordinaire	0,383
Liége	0,240

Pour établir une liaison entre les tables de pesanteurs spécifiques qui précèdent, nous ajouterons que, d'après les recherches de MM. Biot et Arago, le poids de l'air atmosphérique sec, à la température de la glace fondante et sous la pression de $0^m,76$, est, à volume égal, 1/770 de celui de l'eau distillée.

DENTELLE (*angl.* lace, *all.* spitze). Ce léger tissu se fait à la main, avec des fils de lin extrêmement fins dont on enveloppe de petites bobines placées au bout de fuseaux très déliés : on manœuvre ces bobines de manière à croiser les fils autour d'épingles piquées dans un papier épais, et à faire un réseau à jour, où se trouvent diverses fleurs enlacées avec délicatesse. La dentelle qu'on fait avec de la soie blanche est appelée *blonde;* elle prend le nom de *dentelle noire* quand elle est fabriquée avec de la soie noire. Le TULLE (voyez ce mot) est une dentelle en coton, en fil ou en soie, qui se fait à la mécanique. Il y a aussi des dentelles en fil d'or ou d'argent qui sont grossières et servent aux décorations.

C'est à Bruxelles, Malines et Valenciennes, qu'on fait les plus belles dentelles ; les points d'Angleterre et d'Alençon sont renommés, et cependant on en a presque entièrement abandonné l'usage. Bien souvent, le haut prix des dentelles les fait remplacer par les parures en tulle, qui sont aussi belles et bien meilleur marché. (Voy. *Complément.*)

DÉPILATOIRE (*ang.* dépilatory, *all.* enthaarungsmittel.) On appelle ainsi toute substance qui sans nuire à la peau, en enlève les poils ou cheveux. Les unes agissent mécaniquement, les autres chimiquement. Les premières sont généralement des emplâtres formés d'un mélange de poix et de résine étendus sur une peau. On les applique chauds sur la partie de la tête à épiler, et on les retire lorsqu'ils se sont refroidis. Les cheveux y sont alors fortement attachés et s'enlèvent avec eux. Cette méthode, bien que très douloureuse dans son emploi, est moins nuisible que celle des actions chimiques, qui consiste dans l'usage de dissolvants énergiques qui pénètrent jusqu'aux racines bulbeuses des cheveux et les détruisent. Ces dissolvants sont, le plus souvent, du sulfure de baryum, des alcalis caustiques ou des pré-

parations arsénicales. La plus employée de ces préparations est connue sous le nom de *rusma oriental*, et possède une action dépilatoire très efficace. Cadet-Gassicourt a donné, dans le *Dictionnaire des sciences médicales*, la recette suivante pour la préparer :

On mêle quatre parties de chaux vive avec une partie d'*orpiment* ou de *réalgar*, et on fait bouillir le mélange dans deux parties d'une dissolution concentrée de potasse. La préparation est terminée lorsqu'en y trempant une plume la barbe s'en détache aussitôt.

Lorsque l'on veut se servir du rusma, on l'applique avec précaution sur la peau par friction, et on lave immédiatement après la place avec de l'eau chaude. Il ne faut employer ce caustique si puissant qu'avec une grande circonspection, et même l'étendre d'eau, pour qu'il n'ait qu'au plus juste la force nécessaire.

On fait quelquefois un savon, en chauffant ensemble du rusma et du suif ou de la graisse fondue ; on obtient ainsi une pommade qui a une grande vertu dépilatoire. Au lieu des proportions indiquées plus haut, on peut se servir d'autres rapports, tels que : 1 partie d'orpiment avec 8 p. de chaux vive ; 2 p. avec 12 p. ; 3 p. avec 15 p. ; le dernier mélange est le plus actif, et on tempère son action en y ajoutant 1/8 p. d'amidon ou de farine de riz. On forme ainsi une pâte molle, qui, étendue quelques minutes sur une partie chevelue, emporte ensuite les cheveux avec elle.

Il ne faut employer le rusma que pour épiler une faible partie de la peau à la fois, car non seulement son action détruit la racine des cheveux, mais, trop prolongée, elle pourrait encore ronger la peau.

Bœttger a découvert dernièrement que le sulfure de calcium était une substance dépilatoire très active et peu dangereuse, dont l'emploi peut devenir très utile dans le tannage des peaux. On sature de gaz hydrogène sulfuré un lait de chaux, et on verse le liquide sur la peau. En moins de 2 heures, une peau de veau traitée ainsi est complétement dépilée, sans que l'épiderme ait été le moins du monde attaqué.

DÉPLACEMENT (*Méthode de*). La dissolution des corps solides dans les liquides, et principalement dans l'eau, est un des procédés les plus fréquemment employés pour la séparation des substances différemment solubles ou insolubles ; et le principe fondamental de l'épuration de ces premières substances. Mais comme en résultat définitif le but est toujours d'obtenir le corps soluble lui-même, généralement par une cristallisation (voyez ce mot), il faudra évaporer l'eau qui a servi à la dissolution. On voit donc que les conditions à remplir par le système qui sera suivi pour opérer la dissolution seront :

1° D'obtenir la dissolution la plus concentrée qu'il soit possible d'obtenir ;

2° D'épuiser parfaitement les matériaux renfermant le corps soluble ;

3° D'opérer, sans frais accessoires de chauffage, pression, etc. Toutes ces conditions sont parfaitement remplies par la méthode dite de déplacement, dont la première application raisonnée a été faite au procédé d'extraction à peu de frais du salpêtre des matériaux de démolition, qui en renferment des quantités minimes.

1° Obtenir la dissolution la plus concentrée qu'il soit possible d'obtenir.

Soit 1 la quantité d'eau d'imbibition, celle que retiendront les matériaux inertes que l'on rejettera, ou déjà contenue dans ceux-ci comme dans le cas de la betterave. Supposons cette quantité suffisante pour dissoudre toute la substance soluble (tout ce que nous allons dire est vrai indépendamment de la proportion d'eau nécessaire à cet effet, que nous déterminons ici pour simplifier.) Si on met en contact les matières avec une autre quantité 1 d'eau, celle-ci qui peut s'écouler devra contenir en dissolution 0,5 des matières solubles. Mise en contact avec de nouveaux matériaux, non encore lavés, elle devra contenir 0,75 ou 3/4. Les matériaux contenant 1 plus 0,5, l'eau emportant toujours moitié, et ainsi successivement 0,5, 0,75, 0,875, 0,9375. Par quatre opérations seulement, on obtiendra ainsi un liquide aussi chargé, à 1/16 près, de la substance soluble que les matériaux qui la renferment.

Il est clair qu'en opérant de la sorte les quantités de substances solubles abandonnées dans les matériaux lessivés croissent en proportion inverse de la quantité qu'on enlève à chaque opération, c'est-à-dire 1/2, 3/4, 7/8, 15/16, et que, par suite, on ne satisfait nullement à la seconde condition.

2° Epuiser complétement les matériaux renfermant la substance soluble.

Si, au lieu d'opérer comme nous l'avons fait précédemment, on traite successivement la même quantité de matériaux par des volumes égaux d'eau pure, la proportion de substances solubles qu'ils renferment décroîtra seulement en proportion géométrique assez rapide qui sera 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, etc. On voit qu'on arrivera facilement à épuiser ainsi les matériaux, mais en rendant très considérables les quantités d'eau à évaporer. C'est la combinaison de ces deux méthodes qui constitue la méthode de *déplacement*, et qui permet d'éviter les inconvénients des deux procédés en en réunissant les avantages.

Elle consiste à ajouter une nouvelle quantité d'eau à chaque opération, mais en faisant agir celle-ci sur des matériaux presque épuisés, à la reprendre pour la faire agir sur des matériaux plus riches, et de proche en proche, à ne mettre jamais en contact que des solutions déjà chargées avec des matériaux riches, et des solutions peu concentrées avec des matériaux presque épuisés. Il est clair qu'on obtient ainsi les avantages des deux méthodes que nous avons décrit plus haut en évitant leurs inconvénients.

C'est ainsi, par exemple, qu'on opère pour le salpêtre. Les platras étant déposés dans des tonneaux, on verse de l'eau pure dans celui contenant des platras déjà lavés 2 fois ; de là l'eau repasse sur des platras lavés une fois, puis enfin sur des platras non lavés.

Soient 200 décimètres cubes de platras renfermant 4/100 ou 8 kilogr. de salpêtre ; lavés avec 100 kilogr. d'eau, ils laisseront écouler 50 kilogr. d'eau (50 kilogr. étant retenus par imbibition), la première eau renfermera 4 kilogr. de nitre ; par un second lavage de 50 kilogr. d'eau, on en retirera 50 kilogr. d'eau renfermant 2 kilogr. de nitre.

Si on repasse ces 100 kilogr. sur une égale quantité de platras neufs, le tout renfermera $8 + 4 + 2 = 14$ kilogr. de salpêtre ; la moitié de l'eau s'écoulant entraînera donc 7 kilogr. de nitre, qui pourra être obtenu avec de bien moindres frais d'évaporation.

Le tableau placé à la fin de cet article (voir ci-après), et extrait de l'instruction publiée par le comité consultatif des poudres et salpêtres, fera bien saisir la marche d'une semblable opération, qu'il indique suffisamment, et fera parfaitement sentir comment on parvient en même temps à charger beaucoup les liqueurs, pour diminuer autant que possible les dépenses d'évaporation, et à épuiser parfaitement les matériaux, en les mettant en contact à mesure qu'ils s'appauvrissent avec des eaux de moins en moins chargées.

Par 4 lavages on obtiendra ainsi successivement l'avantage :

1° De n'évaporer que des liquides marquant au moins 14°.

2° De ne jamais rejeter des matériaux que quand ils ne font plus guère marquer à l'eau que 1/2 degré, c'est-à-dire ne retiennent que 1/200e de matières solubles, et même moins, en augmentant le nombre des lavages.

M. Dombasle a appliqué cette méthode à l'extrac-

tion du sucre de betteraves par son procédé de macération. Il a simplifié la manœuvre en suspendant les betteraves dans des paniers d'osier que l'on enlève au moyen d'une grue placée au centre d'un cercle formé par les vases à macération, de telle sorte que l'action a lieu sur tous les vases à la fois.

Dans le cas des betteraves et substances fermentescibles, il est avantageux d'accélérer la macération en réduisant le nombre des opérations, et extrayant l'eau d'imbibition en terminant par une pression, comme le fait M. Boucher, habile fabricant de sucre indigène à Pantin.

La méthode de déplacement trouve son application toutes les fois qu'il s'agit d'agir sur des substances solubles, dans la fabrication de l'alun, du salpêtre, du sucre, du sulfate de fer, et dans la fabrication d'une foule de préparations chimiques et pharmaceutiques.

Lavage de 3 cuviers, contenant chacun 8 kilogr. de salpêtre.

NUMÉROS des lavages.	Cuvier A.	Cuvier B.	Cuvier C.
1er lavage avec 100 litres d'eau fournit. . .	50 l. à 8° (1)	50 l. à 14°	
2e lav. avec 50 litres. .	50 l. à 4°		
3e lav. avec 50 litres. .	50 l. à 2° —	50 l. à 8°	50 l. à 14° 1/4
4e lav. avec 50 litres. .	50 l. à 1° —	50 l. à 4° 1/2	
		50 l. à 2° 1/4	50 l. à 8° 1/4
		50 l. à 1° 1/8	50 l. à 4° 11/16
			50 l. à 2° 5/16
			50 l. à 1° 2/16

DÉSINFECTION. On peut avoir à désinfecter des substances ou des espaces nécessairement limités. Quand un espace, tel qu'une habitation, se trouve infecté, l'infection doit être attribuée soit à une cause permanente, soit à une cause accidentelle, soit même à une cause qui a disparu, et cette infection est due à un dégagement de gaz méphitiques, ou simplement d'une odeur désagréable et incommode. Ces gaz sont les produits volatils d'une décomposition organique, ou bien le résultat d'une opération chimique par suite d'un travail manufacturier. Si la cause d'infection a cessé d'agir, si elle a disparu et que l'effet seul subsiste, c'est en général par la ventilation qu'il faut désinfecter, assainir (2), en supposant toutefois que la ventilation soit assez facilement applicable. Si la cause existe encore, si à plus forte raison elle est permanente, on peut encore employer la ventilation pour combattre l'effet produit, ou bien et mieux, attaquer l'infection dans la cause elle-même, et empêcher la décomposition qui amène le dégagement des gaz méphitiques ou incommodes.

Nous n'examinerons pas le cas du dégagement de gaz dû à une opération chimique, nous n'aurions rien à dire de général à cet égard; nous ne nous étendrons pas beaucoup non plus sur le moyen de désinfecter par la ventilation,

(1) Les degrés marqués ici sont ceux d'un aréomètre particulier dont chaque degré correspond à un centième de nitre dans les dissolutions. Ainsi 50 litres à 8° indiquent que les 50 litres contiennent 4 kilogr. de nitre.

(2) *Assainir* a une signification plus étendue que *désinfecter*, car un lieu, une habitation, peuvent réclamer un assainissement sans être pour cela infectés; cependant nous pourrons empiéter sur le domaine de l'assainissement en traitant de la désinfection.

moyen très-simple et très-connu d'ailleurs. M. d'Arcet, dont les travaux étaient dirigés vers l'industrie et qui a fait des études spéciales sur un grand nombre de questions intéressant la salubrité, a fait pendant sa vie, si laborieusement et si utilement remplie, de fréquentes et d'ingénieuses applications de la ventilation. C'est ainsi qu'il a assaini d'une manière si remarquable les ateliers où l'on dore au moyen du mercure, les ateliers où l'on blanchit les soies et les laines par la combustion du soufre; qu'il a indiqué un moyen simple de faire disparaître l'odeur qui s'exhale des fosses d'aisances dans les hôpitaux, les casernes et les prisons. Le principe de cet assainissement par ventilation peut être établi en deux mots : on aspire, on appelle dans une cheminée l'air infecté ou les gaz méphitiques, qui sont déversés dans l'atmosphère à une hauteur plus ou moins grande, avant qu'ils aient pu se répandre dans les lieux qu'on veut préserver; on leur donne, en un mot, une direction forcée. Nous renvoyons pour ce mode d'assainissement aux articles de M. Grouvelle, neveu de d'Arcet (voyez VENTILATION et INSALUBRES (ARTS), *Complément*).

Un autre moyen de désinfection, et auquel nous devons plus de détails, c'est l'emploi d'agents chimiques, de substances qui modifient les propriétés, soit des gaz provenant des matières organiques en décomposition, soit des matières organiques elles-mêmes; et cette modification a lieu par la dénaturation essentielle de la substance, ou par sa combinaison avec tout ou partie de l'agent employé, combinaison jouissant de nouvelles propriétés. Parmi ces agents chimiques, le plus important est sans contredit le chlore. Comme très souvent, pour ne pas dire toujours, les gaz exhalés des décompositions renferment des combinaisons hydrogénées (principalement des carbures d'hydrogène), et que le chlore détermine la décomposition de ces substances à cause de sa grande affinité pour l'hydrogène, avec lequel il forme de l'acide hydro-chlorique, on emploie généralement ce gaz pour combattre l'infection. C'est Hallé, professeur d'hygiène à Paris, qui signala le premier, vers 1785, les propriétés désinfectantes du chlore. En 1791 et 1792, Fourcroy en indiqua les applications possibles. Guyton-Morveau et Thénard, en popularisant plus tard ce moyen, rendirent un service réel à l'humanité; car jusqu'alors on ne connaissait pas de véritable désinfectant, les moyens employés, tels que les émanations d'huiles essentielles, de camphre, les combustions d'aromates et de sucre, n'étaient que des palliatifs.

On se servit longtemps de flacons dits Guytoniens, c'est-à-dire de petits appareils très ingénieux pour produire de petites fumigations de chlore; nous ne les décrirons pas, car on y a renoncé depuis que l'on connaît les chlorures d'oxydes ou hypo-chlorites (voyez CHLORURES DÉCOLORANTS), qui ont partout remplacé non seulement le chlore gazeux, mais aussi la dissolution de ce gaz, qu'on n'emploie plus guère aujourd'hui que dans les laboratoires. Le dégagement rapide du gaz auquel la dissolution donne lieu, rend son emploi incommode, et même nuisible à la santé.

C'est M. Masuyer, professeur à l'École de médecine de Strasbourg, qui a eu le premier l'idée d'employer l'hypo-chlorite de chaux à la désinfection de l'air, de préférence au chlore. Ses expériences datent de 1807. Elles étaient entièrement oubliées, lorsque, en 1822, M. Labarraque appela l'attention des savants sur l'emploi très utile des hypo-chlorites dans l'art du boyaudier, pour s'opposer à la putréfaction, l'arrêter et en faire disparaître les traces. Il indiqua l'hypo-chlorite de chaux étendu de 150 à 200 parties d'eau, comme un précieux moyen de désinfection pour ceux qui travaillent les matières animales.

Les hypo-chlorites sont encore employés pour les embaumements, les exhumations, et les recherches mé-

dico-légales qui en sont la suite. On enveloppe alors les cadavres d'un drap mouillé avec une solution, contenant 1/100e de son poids d'hypo-chlorite de chaux. Cette précaution serait excellente pour inhumer, par de fortes chaleurs, les cadavres qui doivent traverser les villes et séjourner dans les églises.

Expliquons comment les hypo-chlorites peuvent exercer leur action désinfectante : l'acide carbonique contenu dans l'air (1) s'empare de la base de l'hypo-chlorite, l'acide hypo-chloreux mis en liberté se décompose en chlore et oxygène; le premier s'empare d'une partie de l'hydrogène des gaz exhalés par la matière en putréfaction pour former de l'acide chlorhydrique; l'oxygène, lui, se combine avec une partie de carbone, et aussi avec de l'hydrogène pour donner naissance à de l'acide carbonique et à de l'eau. L'hypo-chlorite qu'on emploie le plus généralement comme désinfectant, à cause de son bas prix, est l'hypo-chlorite de chaux.

Nous renvoyons pour les applications de la désinfection dans les arts spéciaux aux articles spéciaux.

On peut aussi dans la désinfection faire usage d'agents, dits chimiques, qui ne dénaturent pas les gaz méphitiques ou odorants, mais qui les absorbent avant leur émanation dans l'atmosphère, les retiennent pour ainsi dire au passage au moment où ils vont se dégager. Ces matières absorbantes, tels les charbons, doivent être mises en contact avec les matières en putréfaction, leur action sur les gaz déjà répandus dans l'atmosphère étant nulle ou peu active ; aussi, comme ils empêchent la putréfaction de se manifester au dehors de la substance attaquée, on pourrait les appeler des préservateurs d'infections, des anti-septiques, aussi bien que des désinfectants. Du reste, les agents dont nous avons parlé tout à l'heure, tels que le chlore et les hypo-chlorites, peuvent aussi être très bien employés comme anti-septiques.

Nous ne pouvons examiner tous les cas d'infection qui peuvent se présenter ; nous nous arrêterons à ceux qui intéressent le plus vivement la salubrité et la commodité publiques, et pour lesquels des recherches actives ont été faites assez récemment avec des chances de succès.

Une cause d'infection, qui, pour bon nombre de villes se trouve dans chaque habitation, et pour les villes très peuplées, comme Paris, dans chaque appartement, ce sont les fosses d'aisance. Assez souvent, dans les circonstances ordinaires, une odeur infecte et repoussante s'exhale des fosses par les orifices qui y conduisent les liquides et les matières fécales; cette odeur est toujours insupportable lorsqu'on fait la vidange; le transport des matières à travers les rues présente aussi de l'inconvénient ; enfin dans beaucoup de villes ces mêmes matières déposées en amas répandent au loin une véritable peste. C'est surtout pour Paris que ce dernier inconvénient mérite d'être cité, car à deux pas du mur d'enceinte de la capitale de la France, on dépose toutes les nuits 500 mètres cubes (5,000 hectolitres) de déjections humaines qui, pour le plus grand avantage de l'entrepreneur de la poudrette, séjournent dans des bassins dont la superficie atteint plusieurs mille mètres carrés. De cette immense surface évaporante s'échappent, outre une odeur caractéristique et inhérente à la matière, de l'hydro-sulfate et du carbonate d'ammoniaque; et ces émanations qui désolent plusieurs quartiers de Paris et plusieurs communes importantes de la banlieue, étendent leur effet à plus d'une demi-lieue. Outre l'odeur infecte, ces gaz gênent encore par leur action sur les métaux, les peintures et les dorures,

(1) Les hypo-chlorites ne peuvent pas se décomposer sans l'intervention des acides; ainsi l'air putride, privé de son acide carbonique par les alcalis caustiques, n'est pas désinfecté quand on le fait passer à travers de l'hypo-chlorite de chaux.

effet dû à la combinaison de l'acide hydro-sulfurique avec les substances métalliques. Ajoutons que l'opération de vidange des fosses est très malsaine et quelquefois mortelle pour les malheureux ouvriers adonnés à ce métier dégoûtant, et nous aurons suffisamment montré l'intérêt général que mérite cette question, comme l'avantage immense qui résulterait pour la salubrité de l'emploi de procédés permettant de rendre inodores ou à peu près ces sources de pestilence en supprimant, comme conséquence, les ignobles foyers d'infection qui existent auprès des villes, comme Montfaucon aux portes de Paris.

Nous allons faire connaître succinctement les principaux procédés qui ont été proposés pour arriver au but que nous signalons. Nous devons dire avant tout que jusqu'à présent aucun de ces procédés n'a reçu, d'une pratique longue et soutenue et d'une application étendue, la sanction officielle qu'apportent avec elles ces deux conditions; mais nous devons ajouter que l'autorité administrative de la capitale, trop peu soucieuse de la salubrité générale dans cette question, elle quelquefois si rigide envers des établissements particuliers, est la première cause de la non adoption de tous ces procédés dont l'efficacité ne peut, pour plusieurs, être révoquée en doute. Avant de faire l'exposé de ces procédés, nous devons dire qu'il faut dans cette question se préoccuper de la conservation de la plus grande partie possible des déjections des corps humains; car riches en matières organiques, riches aussi en certaines substances dites minérales, comme les phosphates, elles constituent un engrais très puissant, un des meilleurs que l'on connaisse.

A notre avis la solution la plus heureuse du problème est de rendre les fosses d'aisance inodores, non pas seulement au moment de la vidange, mais en tout temps. Pour y arriver il faut nécessairement empêcher la décomposition putride des matières fécales et des urines, en y mélangeant des substances qui absorbent ou neutralisent au fur et à mesure de leur formation les produits volatils et odorants de la décomposition. Or quelle est la composition de l'urine et des matières fécales. Il y a dans l'urine du phosphate, du lactate et de l'hydro-chlorate d'ammoniaque en petite quantité, de l'urée en quantité très notable, du soufre d'après Proust, et des matières animales non caractérisées. Les matières fécales sont composées en grande partie de débris végétaux et animaux dans lesquelles il doit nécessairement se trouver une quantité très sensible de soufre.

Or, l'urine se décompose, sous l'influence d'une température moyenne, en carbonate d'ammoniaque; le soufre s'empare de l'hydrogène des matières organiques en décomposition pour former de l'acide hydro-sulfurique. C'est donc l'hydro-sulfate et le carbonate d'ammoniaque qui forment en grande partie les gaz fétides et délétères qui émanent des fosses.

Pour absorber et neutraliser ces substances au fur et à mesure de leur formation, quels sont les corps qu'on peut employer? Les sels métalliques neutres ou du moins très peu acides (1), et en tête le sulfate de protoxyde de fer (couperose verte) à cause de son abondance et de son bas prix : en effet il y aura double décomposition, formation de sulfate d'ammoniaque et de sulfure et carbonate de fer. On peut ajouter au sulfate de fer une certaine quantité de sulfate de chaux (plâtre) qui décompose le carbonate d'ammoniaque bien plus abondant que l'hydro-sulfate, et aussi un peu de charbon en poudre qui sert à absorber les odeurs particulières, autres que celles des sels ammoniacaux volatils, qui pourraient s'exhaler.

(1) On pourrait obtenir la neutralité presque parfaite du sel en ajoutant dans la dissolution un peu de chaux vive ou éteinte en poudre.

DÉSINFECTION.

Ce mélange peut être introduit dans les fosses soit en poudre sèche, soit délayé dans de l'eau. A notre avis, il est préférable de l'employer à l'état de dissolution, pour la partie soluble bien entendu, car une portion plus ou moins forte de cette poudre pourrait arriver au fond de la fosse avant d'être dissoute, et dès lors l'effet ne serait plus aussi efficace. Dans les habitations à plusieurs étages, comme les maisons de Paris, il sera bon d'introduire les substances dissoutes ou délayées par l'ouverture du conduit, menant à la fosse, située à l'étage supérieur, de sorte que le préservatif agira sur les liquides et les substances qui séjournent dans le conduit et dont la décomposition pourrait très-bien répandre une odeur forte et désagréable.

Voici une expérience que nous avons faite nous-même; pour nous rendre compte de l'efficacité du sulfate de fer comme désinfectant des urines et matières fécales, depuis que cette question occupe les esprits plus que jamais, c'est-à-dire depuis quelques mois.

Le 2 octobre 1844, à de l'urine de 48 heures au plus et provenant de divers individus, nous ajoutâmes une dissolution de sulfate de fer à 27 degrés Baumé dans la proportion de 4,20e, et le mélange fut abandonné à la température d'un appartement chauffé à 12 ou 15 degrés. Le 11 décembre, aucune odeur ne s'exhalait du mélange, tandis que la même urine seule placée dans les mêmes conditions répandait au bout de 6 jours une odeur insupportable.

La décomposition de l'urée en carbonate d'ammoniaque s'était effectuée, car en plaçant dans le mélange de la chaux vive, et agitant à froid, l'odeur d'ammoniaque était très-forte.

Voilà une expérience de laboratoire, d'autres plus importantes, plus pratiques, si nous pouvons nous exprimer ainsi, ont été faites; nous en parlerons tout à l'heure.

D'après un mémoire sur les antiseptiques, présenté au concours de l'Académie des sciences, arts et belles-lettres de Dijon en 1867, il est constant que bien antérieurement avant cette époque on avait indiqué le sulfate de fer comme antiseptique.

Ainsi il paraîtrait d'après cette considération que l'emploi du sulfate de fer pour la désinfection des fosses d'aisance est dans le domaine public; mais il ne suffisait pas d'indiquer le moyen, il fallait surtout l'appliquer, aussi citerons-nous avec plaisir et éloge les noms des chimistes qui se sont occupés d'une manière sérieuse et profitable à l'intérêt général de cette application très peu attrayante. D'abord M. Siret, pharmacien à Meaux; des expériences ont été faites par lui sous le contrôle d'une commission de l'Académie des sciences composée de MM. Boussingault, Payen et Gasparin. D'après ces expériences couronnées de succès, il faut en employant la poudre de M. Siret (poudre composée de sulfate de fer, de sulfate de chaux, de houille, de goudron, de charbon de bois et de chaux vive), 15 à 18 grammes pour désinfecter, comme aussi pour prévenir la putréfaction des matières fétides émanant des déjections d'un individu par jour (1). M. Siret porte à 1/2 centime par jour le coût de cette quantité de sa poudre désinfectante. Nous savons qu'une Compagnie s'est créée tout récemment à Paris pour entreprendre, par abonnement à tant par tête de chaque habitant, la désinfection préventive des fosses d'aisance de la capitale. Il est évident que tout le succès dépendra de la régularité avec laquelle on introduira chaque jour dans la fosse la quantité prescrite de poudre antiseptique.

Après M. Siret, que nous pensons être le premier en date dans cette application, nous citerons MM. Suquet et Kraft, de Paris, puis M. Schattenmann, le directeur de l'administration des mines de Bouxvillers, bien connu dans le monde industriel par ses travaux d'applications.

Ce moyen de désinfection permanente et préventive l'emporte évidemment sur la désinfection au moment de la vidange, puisqu'avec lui on fait disparaître l'odeur incommode et repoussante qui infecte si souvent les appartements de la capitale, et aussi parce que la désinfection, au moment de la vidange, présente des difficultés dans la mise en pratique; en effet, le brassage des matières, et surtout des matières solides qui se déposent et se lient fortement au fond des fosses où elles forment une masse compacte, est très difficile sur de grandes quantités de matières; or ce brassage, impossible quand les fosses sont closes, est indispensable pour arriver à la désinfection. Cependant, rigoureusement parlant, la désinfection au moment de la vidange, est praticable et devra être pratiquée, lorsque le procédé de préservation n'aura pas été employé à la désinfection au moment de la vidange.

Quand on opère au moment de la vidange, il faut employer du sulfate de fer bien neutre, car l'excès d'acide qui se trouve dans le sulfate de fer du commerce, suffirait pour donner lieu à un dégagement d'acides hydro-sulfurique et carbonique, provenant de la décomposition de l'hydro-sulfate et du carbonate d'ammoniaque. Or l'acide hydro-sulfurique est le plus délétère des gaz qui se dégagent.

La richesse des matières fécales en ammoniaque étant variable, la quantité du sulfate de fer à employer doit varier aussi; mais ordinairement, d'après M. Schattenmann, 2 à 3 kil. suffisent pour saturer 100 litres de matières putréfiées. On peut facilement reconnaître la saturation en mettant une goutte de la liqueur sur une feuille de papier blanc, et en y passant le bout d'une barbe de plume trempé dans une dissolution de prussiate de potasse rouge, car dès qu'il y a excès de sulfate de fer il se forme du bleu de Prusse, et c'est un signe certain que la matière est saturée et qu'il y a excès de sulfate de fer. La liqueur désinfectante est versée dans la fosse d'aisance par l'ouverture qui sert à la vider, puis on remue avec un ringard, formé d'une perche au bout de laquelle on fixe une planche d'environ 50 centimètres de longueur et de 20 centimètres de largeur.

M. Schattenmann recommande avec raison de ne pas jeter dans les fosses d'aisance des débris de végétaux, de viandes et de poissons dont la putréfaction engendre une odeur particulière très infecte, qui pourrait bien n'être pas neutralisée par les sels métalliques.

La désinfection des fosses d'aisance par le sulfate de fer ou autres sels métalliques a, outre le but direct qui est très important au point de vue de l'hygiène et de la salubrité publique, l'avantage indirect, mais d'une haute utilité, de conserver intacte et dans toute sa valeur comme engrais, la partie ammoniacale qui y est contenue. En effet les sels ammoniacaux contenus dans les *eaux-vannes* des fosses d'aisance sont très volatils, de sorte qu'il se dégagent facilement par évaporation, soit lorsqu'on jette ces liquides sur la terre comme engrais, soit lorsqu'on les conserve dans des citernes ou bassins plus ou moins découverts avant de les employer. Le sulfate d'ammoniaque au contraire est fixe, de sorte qu'on peut, sans exagération, avancer que l'on augmente la valeur de l'engrais qu'on peut conserver indéfiniment.

Les déjections humaines, urines et matières solides, par la variété de sels qu'elles contiennent, et surtout par l'ammoniaque et autres substances azotées, comme aussi par les phosphates qui s'y trouvent, constituent une source abondante d'engrais, qu'on n'a pas jusqu'ici exploitée avec toute l'attention désirable. Dans plusieurs contrées, on n'en tire qu'un parti incomplet, puisqu'on ne fixe pas les sels ammoniacaux volatils; dans d'autres,

(1) On peut admettre que les excréments solides et liquides d'un homme sont, par jour, de trois quarts de kilog., soit de 282 kilog. par an, et qu'ils contiennent 8 pour cent d'azote

on ne tire aucun parti des urines et on les jette comme matières sans valeur ; dans d'autres enfin, on néglige les urines et les matières solides, tandis qu'on devrait recueillir le tout avec soin, en appliquant le dire de cet alchimiste, quelque temps après la découverte du phosphore : *Que si on savait tout ce que contient l'urine, on n'en perdrait pas une seule goutte.* C'est surtout pour Paris que cette indifférence mérite d'être vivement blâmée. Le tiers des urines ou eaux-vannes est distillé sur de la chaux pour en extraire l'ammoniaque qu'on utilise à la fabrication du sulfate de cette base, et les deux autres tiers après avoir séjourné au moins une année dans de vastes bassins sont, avec le résidu liquide de la distillation, lâchés dans la Seine. On voit qu'il y a un immense progrès à réaliser, et que des barbares auraient probablement beaucoup mieux fait que nous.

Nous avons dit que les excréments d'un homme, pendant une année, renferment 8k,43 d'azote, quantité suffisante, d'après M. Boussingault, pour fournir l'azote nécessaire à la production de 400 kil. de froment, de seigle ou d'avoine, et à celle de 450 kil. d'orge. « C'est-à-dire que ces excréments peuvent fertiliser pendant une année la culture d'un terrain de 20 ares et assurer une récolte abondante. En utilisant tous les excréments humains, les cendres de bois, de tourbe, les matières végétales et animales, on pourrait se passer, sinon entièrement, du moins en grande partie du fumier des bestiaux. Ce résultat, qui rendrait libres les combinaisons de l'agriculture serait fort important, car il résoudrait l'une des questions les plus difficiles, en dispensant le cultivateur de l'entretien d'un bétail nombreux, dans les localités où les fourrages sont rares, et où les terres peuvent être employées plus utilement à produire les aliments nécessaires à une population nombreuse. » (Communication de M. Schattenmann au comice agricole de Bouxvillers. Extrait du *Moniteur industriel* du 29 décembre 1844).

Nous croyons que M. Schattenmann aurait bien fait d'insister aussi sur les phosphates contenus dans les excréments humains, car ils jouent certainement aussi un rôle important dans la végétation.

Citons encore quelques faits d'après M. Schattenmann. Deux litres de matières, désinfectées et saturées par le sulfate de fer, marquant 2 degrés Beaumé suffisent pour fumer un mètre carré ou un centiare de pré, et un litre seulement pour un mètre carré de froment, d'orge ou d'avoine. En en mettant une plus grande quantité sur les céréales, leur végétation est trop forte, elles donnent plus de paille et moins de grain. Ces matières peuvent être employées par fumer les plantes potagères, le chanvre, le tabac et le lin ; mais elles ne produisent aucun effet sur le trèfle et la luzerne.

Enfin les urines désinfectées peuvent aussi servir à la fabrication des produits ammoniacaux en les traitant par la chaux vive ; seulement, l'alcali volatil étant fixé par l'acide sulfurique, il faudra plus de chaleur et plus de chaux pour parvenir à le chasser entièrement.

Nous avons dit qu'à cause de son bas prix le sulfate de fer se prêtait très bien à la désinfection des matières fécales. Ce sulfate se vend à Paris, au dépôt des usines vitrioliques de l'Aisne et de l'Oise, au prix de 8 fr. les 100 kil., en qualité inférieure, il est vrai, mais bien convenable pour l'emploi en question. Nous pensons que pour les localités assez rapprochées des mines de cendres pyriteuses, ces cendres pourraient bien être employées en nature, après avoir été effleuries à l'air ; les lignites auxquels elles se trouvent mélangées agiraient comme de la poudre de charbon ; il suffirait d'y ajouter un peu de chaux ou même de craie, le carbonate de chaux en effet délayé dans l'eau avec les cendres pyriteuses effleuries neutraliserait l'acide en excès et il ne resterait en dissolution que des sels neutres. Ce que nous disons des cendres pyriteuses s'applique tout aussi bien au sulfate de fer lui-même, et nous en recommandons l'emploi à ceux qui s'occupent de désinfection (1).

Bien que nous ayons indiqué le procédé qui, suivant nous, l'emporte sur tous les autres, nous ne devons pas passer sous silence dans la discussion de cette question les autres moyens proposés qui ont plus ou moins approché du but.

Vers 1835, M. Salmon eut l'idée d'appliquer les propriétés désinfectantes des charbons à la vidange des fosses d'aisance, du moins en ce qui concerne les parties solides.

Avant de parler de ce procédé, disons d'abord que M. Salmon fabriquait, depuis 1826, une poudre désinfectante en calcinant dans des cylindres de fonte, la vase ou la boue provenant des rivières, étangs ou fossés et qui renferment naturellement assez de substances organiques pour former une poudre noire absorbante et désinfectante au degré convenable. Toute matière renfermant du carbone, et les substances organisées sont toutes dans ce cas, peut être employée au même usage : tels sont les débris de tourbe, la sciure de bois, le tan, etc. Il s'est assuré par un travail en grand qu'en mêlant une terre argileuse avec le dixième de son poids d'une matière organique quelconque, de matière fécale par exemple, et calcinant le tout on obtient un mélange propre à fournir un excellent charbon qui, soumis à une pulvérisation, au moyen de cylindres cannelés, et bluté, convient bien à la désinfection.

C'est en se basant sur les propriétés de cette poudre, que M. Salmon songea à l'employer pour enlever aux matières fécales leur odeur, et les convertir en une matière pulvérulente, inodore, et par conséquent facile à extraire des fosses. Les essais qu'il a tentés, à cet effet, ont parfaitement réussi. Pour obtenir cette désinfection, il faut mêler un hectolitre de poudre avec un hectolitre de matière fécale. Dès que le mélange est opéré, toute odeur fétide disparaît. Nous pouvons citer à l'appui de cette désinfection complète et persistante, un fait assez curieux : M. Darcet ayant assisté à la vidange d'une fosse par le procédé Salmon, emporta une petite quantité de la matière désinfectée ; en rentrant chez lui, il la fit placer dans une assiette qu'on présenta dans son salon où il y avait compagnie ; aucun des assistants ne put deviner quelle était la matière que l'on faisait circuler ainsi en grande pompe.

Par l'emploi de ce procédé, la matière organique désinfectée est convertie immédiatement en un engrais très actif et des moins désagréables à employer. Un des avantages que nous devons signaler c'est que cette matière est presque sèche et pulvérulente et d'un transport très facile. Malgré les bons résultats de ce procédé il n'a jamais été appliqué d'une manière régulière à Paris. Il est incontestable que la désinfection permanente des fosses, au moyen des sels métalliques, laisse derrière elle le procédé Salmon, qui ne s'appliquait nullement aux eaux-vannes ; cependant il peut se présenter des circonstances où il rendrait de véritables services.

Nous devons aussi signaler un mémoire présenté par M. Derosne, il y a douze ans, à la Société d'encouragement ; son procédé consiste à séparer immédiatement dans les fosses les parties solides des liquides ; à désinfecter sur-le-champ les matières fécales solides, en mélangeant périodiquement, chaque fois qu'on est obligé d'aller aux aisances, une poudre désinfectante analogue à celle de M. Salmon, et aussi d'empêcher la putréfaction des urines, par l'addition d'une solution de

(1) En effet ce qui rend acide le sulfate de protoxyde de fer (couperose verte) c'est la présence d'une certaine quantité de sulfate de peroxyde qui ne peut exister sans cet excès d'acide. En saturant l'acide par une base ou un carbonate, le sel de peroxyde de fer se dépose à l'état basique et le sulfate de protoxyde reste à l'état neutre.

chlorure de chaux ou d'acide sulfurique étendu d'eau.

Nous devons mentionner le procédé séparateur de MM. Huguin, qui emploient des appareils propres à opérer la séparation des solides et des liquides de manière à désinfecter les premiers et à rendre les seconds impropres à se putréfier. Leur système se compose d'un appareil de séparation au moyen duquel les matières sont retenues dans un vase métallique, et les urines reçues dans des réservoirs entièrement clos d'où on les extrait à l'aide d'une pompe.

L'appareil de séparation se compose de deux cylindres dont le diamètre diffère d'environ 3 centimètres et qui sont placés l'un dans l'autre. Le cylindre intérieur, criblé de trous à son fond et sur ses parois, retient les matières solides; les liquides s'en échappent par l'espace réservé entre les deux cylindres et tombent dans le fond du vase extérieur d'où ils sont conduits dans le réservoir par un tuyau en tôle galvanisée.

Le tuyau de chute amenant les déjections s'adapte au cylindre intérieur de l'appareil de séparation au moyen d'un manchon mobile qu'on relève lorsqu'il faut vider l'appareil. A ce moment, on place sur l'appareil un couvercle qui le ferme hermétiquement et sur lequel appuie une barre de fer.

Le réservoir qui reçoit les eaux-vannes est construit, suivant l'exigence des localités, soit en bois de chêne doublé de plomb, soit en pierre meulière. On le vide à l'aide d'une pompe portative aspirante et foulante sur laquelle est adapté un tuyau qui conduit ces eaux-vannes dans une caisse en tôle établie sur une voiture servant à les transporter. Dans le dallage qui recouvre le réservoir est pratiquée une ouverture, un trou d'homme fermé par un couvercle aussi en tôle galvanisée, garni d'une barre de fermeture et d'un cadenas.

Avant l'enlèvement des eaux-vannes du réservoir ou fosse, on y introduit par l'ouverture dont nous avons parlé tout à l'heure la liqueur désinfectante, par exemple du sulfate de fer, et on agite pendant quelque temps au moyen d'un bâton. Alors on extrait au moyen de la pompe, et de cette manière on peut enlever 20 hectolitres d'eaux-vannes en un quart d'heure.

L'emploi de la chaux, du corps le plus convenable pour absorber de l'eau, a été fait avec succès par MM. Moselmann et Ce, pour empêcher la fermentation et préparer un mélange recherché pour l'agriculture.

Voilà en définitive plus de procédés qu'il n'en faut pour arriver au *desideratum*. Désormais, si les inconvénients graves que nous avons signalés plus haut se perpétuent, on saura pertinemment que ce n'est pas la science qu'il faut accuser d'impuissance, mais bien l'autorité d'incurie. A. MALLET.

DESSIN INDUSTRIEL. Il serait inutile de s'appesantir sur l'origine des arts du dessin aussi anciens que les sociétés humaines, et sur laquelle les auteurs ne rapportent que des traditions sans valeur. Suivant Pline (livre XXXI, chap. 12), les Grecs attribuaient la découverte du dessin à Dibutade, potier de terre sicyonien, grâce toutefois à sa fille : car celle-ci, étant amoureuse d'un jeune homme qui partait pour un long voyage, traça le pourtour de l'ombre du profil de son amant sur une muraille à la lueur d'une lampe. Son père, sur ce même dessin, plaqua de l'argile, et exécuta l'image en relief sur le dessin tracé (1).

(1) Ce moyen de dessiner a été popularisé de nos jours pour faire des portraits dits *à la silhouette*. Suivant Mercier (Tableau de Paris, tom. 1er), « c'est M. de Silhouette, contrôleur général des finances sous Louis XV, qui a donné son nom à ce genre de peinture. Les portraits à la silhouette furent des images tirées de profil sur du papier noir, d'après l'ombre de la chandelle sur une feuille de papier blanc. »

Nous ne nous occuperons pas dans cet article de ce qui est du domaine soit de la géométrie descriptive, soit des beaux-arts. Nous voulons seulement y relater les méthodes pratiques de l'exécution matérielle, et passer en revue le grand nombre des procédés existant aujourd'hui, qui tendent à diminuer le travail d'exécution dans les arts, et aident ainsi l'invention de l'esprit; mais surtout et bien plus encore la partie matérielle du dessin industriel, qui joue un si grand rôle dans la fabrication des articles de goût de tout genre. On trouvera à la fin de cet ouvrage, dans l'étude sur l'ART INDUSTRIEL, l'exposé des principales considérations auxquelles donnent lieu les beaux-arts envisagés au point de vue de leurs applications à l'industrie, dont la culture est si essentielle à sa prospérité.

DIVERSES MANIÈRES DE CALQUER.

Une des opérations les plus fréquentes dans la pratique des arts du dessin, et pour laquelle le plus de procédés ont été inventés, est celle qui consiste dans la reproduction d'un dessin.

Pour copier des dessins, et obtenir des copies égales et semblables, on emploie :

Le calque à l'aide de la vitre ou sur la vitre elle-même.

Le calque sur du papier frotté de sanguine ou de mine de plomb, sur de la gaze ou des feuilles de papier transparentes, voire même sur du parchemin rendu transparent par une lessive alcaline.

Le papier piqué dit *poncis*.

Les patrons découpés ou *imprimures*.

Calque à l'aide d'une vitre ordinaire. On commence par appliquer l'une sur l'autre la feuille de papier qui porte le dessin, et celle sur laquelle on veut le reproduire, en ayant soin de les bien juxtaposer et de les fixer avec des pains à cacheter, de la colle à bouche ou de la cire molle, afin d'éviter tout dérangement. Ces précautions prises, on pose les deux feuilles de papier sur le carreau d'une croisée, et on suit avec un crayon quelconque tous les contours du dessin vu par transparence. Mais cette manière est très-fatigante et très-sujette à altérer la rectitude des traits, à cause du frottement de la main qui tiraille et dérange toujours le papier sur lequel on dessine.

La vitre peut encore être posée horizontalement, soit sur une table qui a une ouverture plus petite que la glace, soit sur deux tréteaux en bois, soit enfin sur un métier à broder. Dans ce dernier cas, on met une bougie ou lampe dessous la vitre, afin d'éclairer le dessin.

Sénéfelder a décrit, dans son *Traité de lithographie*, page 109, un autre moyen de calquer le dessin à l'aide de la vitre placée horizontalement.

On place, dit-il, sous le verre une glace inclinée qui rejette d'en bas et par derrière le jour sur le dessin. On doit former par le haut une ombre légère qui frappant un peu sur le haut du dessin, fait que le jour qui s'insinue par derrière a plus d'effet.

Le calque à la vitre présente ce grand avantage qu'on peut copier le dessin dans le sens inverse; pour cela, il suffit de mettre le dessin en contact avec la glace, et d'appliquer dessus le papier à dessiner. C'est à l'aide de ce procédé que les graveurs et les lithographes peuvent copier ou lever un dessin quelconque pour le transporter ensuite sur la planche matrice.

Calque au moyen du papier transparent ou de la gélatine. Généralement on se sert pour calquer les dessins des différents papiers transparents qu'on achète tout préparés chez les marchands de couleurs et de fournitures d'articles de peinture. Mais nous oserons combattre, par des observations directes et concluantes, cet

DESSIN INDUSTRIEL.

usage vicieux relativement aux inconvénients que présentent tous les papiers transparents du commerce en général.

Le papier huilé n'est pas assez transparent pour laisser apercevoir les traits déliés au travers de son tissu ; il jaunit au bout de peu de temps, et tache souvent les dessins et les tissus sur lesquels on l'applique.

Le papier gélatine est très transparent, d'une petite dimension, et d'un prix de vente élevé, il se racoquille et se casse facilement par la sécheresse, voire même au contact de la main ; il s'allonge et s'étend par l'effet de l'humidité.

Le papier verni a la transparence du papier gélatine quand il est nouveau, mais il est sec, cassant, et il jaunit beaucoup avec le temps, graisse et tache souvent les dessins lorsqu'il est exposé à une température élevée.

Le papier végétal est le seul qu'on puisse employer avec sûreté et économie ; il est sans odeur, ne jaunit jamais, et il ne peut tacher ni les dessins, ni les étoffes avec lesquelles il est en contact ; mais il est peu transparent, d'un prix assez élevé, il gode facilement et présente ainsi des difficultés pour tracer les traits à l'encre et au pinceau.

De tous ces faits, on peut conclure que le calque au moyen des papiers transparents et de la gélatine est beaucoup plus coûteux et plus difficile à employer que le calque à la vitre, et nous nous étonnons même que personne encore n'ait songé à faire cette remarque et à dire franchement son opinion aux dessinateurs praticiens.

Il est des cas, cependant, où le papier transparent peut offrir quelque utilité, par exemple, lorsqu'il s'agit de calquer un dessin très vigoureux et très marqué d'après une étoffe colorée, un châle broché avec des couleurs tranchantes (1), un papier peint, une planche gravée, une lithographie dessinée sur pierre ou sur le zinc, d'après tout autre objet plan et opaque que la lumière ne pourrait traverser. Il est difficile, pour ne pas dire impossible, de faire usage du papier huilé et du papier végétal, qui ne sont pas assez transparents pour permettre de lever un dessin léger sur étoffe damassée ou brochée avec des couleurs ternes et peu tranchées, sur une étoffe ou une tapisserie brodée avec des couleurs très variées et fondues qu'on ne voit pas distinctement.

Le papier-gélatine ou glace, présente un avantage réel parce qu'on peut calquer, ou plutôt graver le dessin dessus avec un pointe sèche, et qu'ensuite en remplissant les tailles avec de la sanguine ou de la mine de plomb, on peut obtenir des impressions répétées qu'on transporte à volonté sur une surface plane quelconque.

Voici la manière de s'en servir :

Placez le dessin que vous voulez reproduire sur une planche à dessiner parfaitement horizontale, et fixez-le avec de la colle à bouche, de la cire molle, ou par tout autre moyen ; posez ensuite le papier gélatine (2) de manière que la surface lisse se trouve en dessus (3), et fixez-le aussi avec de la cire molle.

Les choses étant ainsi disposées, vous gravez légèrement avec une pointe sèche, semblable à celle dont on se sert pour graver à l'eau forte, tous les traits du dessin que vous apercevez au travers du papier-gélatine. Lorsque les traits du dessin sont entièrement gravés, vous enlevez avec précaution les *barbes* qui sont de chaque côté, avec un grattoir dont la lame est recourbée et très tranchante (4). Cela fait, vous frottez la surface du papier gélatine avec un bouchon humecté d'huile d'olive et un peu de blanc d'Espagne pour lui donner un plus beau poli et de la souplesse.

Vous remplissez les tailles avec de la poudre de sanguine et de mine de plomb, ou de crayon noir à dessiner, à l'aide d'un tampon de drap fin ou de velours de soie, et vous essuyez avec soin la surface du papier gélatine pour enlever la poudre superflue.

Votre dessin apparaît alors très distinctement.

Pour obtenir une impression ou empreinte sur une surface plane et unie, vous posez d'abord le papier gélatine sur cette surface, le côté gravé en dessous, observant de bien l'étendre avec la main ; puis vous appliquez sur le papier gélatine un morceau de taffetas gommé très mince et fortement tendu sur un châssis en fil de fer, *ou tout simplement* en bois (2). Ensuite vous frottez la surface du *taffetas gommé* soit avec un racle en bois semblable à celui dont on se sert dans l'imprimerie lithographique, soit avec une brosse dure soit avec un cylindre tournant sur deux axes en fer ; *soit enfin* avec un *brunissoir* de graveur. Par l'un ou l'autre de ces moyens, vous obtiendrez une empreinte très pure et très exacte. Vous pouvez encore soumettre le papier gélatine et la surface à imprimer à l'action d'une presse.

Calque au moyen de la gaze transparente blanche ou noire. C'est la méthode la plus simple et la plus économique surtout pour *lever* les contours d'un grand dessin, d'un tableau peint à l'huile, etc. ; nous la trouvons déjà indiquée dans un excellent mémoire sur *la peinture*, imprimé dans l'*Histoire de l'Académie des sciences*, depuis 1666 jusqu'à 1699, tom. IX (3).

Nous transcrivons ici les propres paroles de l'historien : « On ne saurait contre-tirer un tableau pour le copier, c'est pourquoi on a cherché une autre manière prompte et sûre pour transporter le dessin d'un tableau sur une toile imprimée ou sur un mur ; mais je rappellerai seulement celle qui est le plus en usage, qui est très commode, et qui ne peut faire aucun tort à l'original : on l'appelle *prendre au voile*.

« On choisit un crêpe ou voile de soie noire très fin et assez serré, en sorte pourtant qu'on puisse voir facilement à travers tous les objets ; on y coud tout autour une bande de vieille toile, ou de quelque étoffe mince, et on l'étend sur un châssis de bois, en sorte que le crêpe est tout dégagé. »

« Pour l'usage, on appliquera ce crêpe bien tendu sur le tableau qu'on veut copier, et comme on voit assez facilement au travers du crêpe tout ce qui se présente sur le tableau, on dessine tout le trait avec un crayon de craie blanche bien pointu, et de médiocre dureté. »

On transporte le tracé en frottant la gaze avec un morceau de papier à plat et plié en trois ou quatre double et large d'environ trois doigts.

Calque sur un taffetas ciré, dont l'invention est due à M. Jobard, de Bruxelles. Choisissez un carré de taffetas ciré bien uni, ou plutôt faites-en fabriquer une pièce un peu plus forte et moins transparente que celui du

(1) Dans la fabrique de châles, on se sert exclusivement de papier verni.

(2) On peut enduire la surface intérieure du papier gélatine d'une légère couche de carmin mouillé par l'essence de térébenthine, afin de donner à l'artiste plus de facilité pour voir les traits.

(3) Le papier gélatine a toujours une surface lisse et une qui ne l'est pas, ce que l'on reconnaît très bien à l'œil et au toucher.

(1) L'instrument connu en chirurgie sous le nom de *sauge* remplit parfaitement ce but.

(2) Pour éviter de déchirer le taffetas, on coud sur ses bords un galon de fil ou de coton croisé, avec deux rangées de *points arrière*, et on l'étend sur le châssis en le laçant avec une ficelle. Pour faire mieux, on pose des œillets métalliques sur le galon en ayant soin de les placer uniformément et à petite distance.

(3) Il est à remarquer que le célèbre Bramante, qui florissait à Rome vers le commencement du XVIe siècle, a indiqué l'emploi de la gaze pour dessiner en perspective.

DESSIN INDUSTRIEL.

commerce, et tâchez qu'on lui donne une couleur laiteuse, nous dirons pourquoi.

Faites coudre une tresse de fil autour de votre carré; passez un lacet dans cette tresse pour tendre également ce taffetas, au centre d'un cadre formé d'un fil de fer gros comme un tuyau de plume à écrire.

Placez ce taffetas sur le dessin à copier et suivez les traits avec une plume et de l'encre lithographique.

Voilà bien le fond du procédé, mais vous ne feriez rien de bon sans les explications qui vont suivre :

1° Le taffetas étant translucide, il s'ensuit que le trait que vous tracez, se confondant avec le trait de dessous, vous ne savez pas s'il a la même épaisseur; il faut donc ternir l'envers du taffetas avec une légère solution de lait de chaux ou de blanc quelconque qui permette d'apprécier exactement l'épaisseur et la pureté de vos traits (1);

2° La plume ordinaire ne vaut rien; il faut se servir des petites plumes lithographiques de Perry, qui permettent de tracer les lignes les plus délicates avec une rare facilité;

3° Si votre encre n'est pas assez épaisse, elle s'étale et vous ne faites que des pâtés; il faut donc amener votre encre lithographique à la consistance d'un lait épais; vos traits, au lieu de s'épater, ont une tendance à se resserrer à cause de l'état un peu graisseux du taffetas qui ne repousse pas néanmoins l'encre grasse et alcaline que vous lui confiez;

4° Avant de dessiner, vous aurez soin de passer une couche d'essence de térébenthine ou d'eau de savon sur votre taffetas que vous essuierez bien avec du papier Joseph ou avec un linge.

En très peu de temps vous aurez acquis une habitude parfaite de ce procédé, et ce sera un plaisir pour vous de vous y livrer. Quand on fait un faux trait, rien n'est plus aisé que de l'enlever avec un grattoir, car il ne pénètre point dans la substance du taffetas; il n'est que déposé sur la surface On peut au besoin enlever à l'essence toute une partie de dessin ou le dessin tout entier.» (Extrait du Rapport sur l'Exposition de 1839, par M. Jobard.)

Du reste, on comprend que le dessin fait sur le taffetas gommé peut être décalqué aisément sur le papier, la planche de cuivre, la pierre lithographique, le zinc, etc., par le même procédé que nous avons indiqué plus haut.

Calque et décalque d'un dessin au moyen du papier ordinaire frotté de sanguine, de mine de plomb, ou *de noir de fumée.* Il y a plusieurs moyens connus de *calquer* un dessin au moyen de papier frotté de sanguine, afin de le décalquer ensuite sur le papier, le bois, les métaux, etc., à l'aide du frottement d'un instrument convenable ou d'une presse à imprimer; et nous allons les indiquer successivement.

1° Si le dessin peut être sacrifié, on se borne à le frotter par derrière avec de la sanguine, de la mine de plomb, ou du crayon noir pulvérisé que l'on étend bien également avec un linge fin, de manière à ne laisser sur le papier aucun grain grossier qui pourrait trouer le papier. On pose ensuite le côté coloré sur la surface à dessiner, et on suit avec un crayon de mine de plomb très dur tous les contours du dessin qui s'impriment visiblement et dans le sens direct. Il est bien entendu qu'on fixe solidement l'original et le papier sur lequel on veut dessiner, afin qu'ils ne puissent pas se déranger.

Pour obtenir les traits des dessins dans le sens inverse, on se contente de suivre les contours de l'original soit avec un crayon de sanguine, soit avec un crayon noir à dessin, soit avec une plume ou un pinceau, et une encre liquide d'une couleur tranchante avec celle du modèle, et dans laquelle on aura fait fondre un peu de sucre. On décalque ensuite l'esquisse dans le sens inverse par les procédés déjà décrits;

2° On peut aussi mettre entre le dessin et la surface à dessiner un papier ordinaire enduit de sanguine et de mine de plomb; et on repasse sur tous les traits avec un crayon de mine de plomb, comme il est dit plus haut.

3° Si l'on ne veut pas gâter le dessin, on le calque sur un papier transparent, avec un crayon noir à dessin, de la sanguine, ou avec une plume et de l'encre à écrire un peu sucrée, on le décalque ensuite sur la surface donnée, que l'on humecte légèrement pour lui donner plus d'aptitude et d'affinité à prendre les traits colorés;

4° Enfin les dessins imprimés fraîchement à l'encre grasse, peuvent être décalqués sur le papier, les étoffes lisses, le bois, le verre, les métaux, la pierre, etc.; en les faisant passer sous la presse de l'imprimeur en taille douce ou sous celle de l'imprimeur lithographe.

Le simple frottement d'une roulette ou d'une racle en bois suffit ordinairement lorsque le papier qui a reçu le dessin a été enduit d'une couche de colle, d'amidon ou de gomme, etc., avant l'impression. Dans ce cas, on mouille le derrière du papier avec une éponge, afin de dissoudre l'encollage et de détacher plus facilement le dessin qui reste invariablement fixé sur la surface en contact.

Les vieilles impressions elles-mêmes peuvent être ramollies par l'emploi de la vapeur d'eau, par l'ammoniaque liquide, l'éther sulfurique, les huiles essentielles, l'alcool anhydre, les sels alcalins dissous dans l'eau et légèrement chauffés, etc. On réussit même à saponifier l'encre grasse d'impression en imprégnant la gravure d'une solution de soude caustique, dont on neutralise ensuite l'effet par un lavage à l'eau de rivière, saturée par quelques gouttes d'acide sulfurique. Après cette opération, les vieilles impressions sont propres à être décalquées sur le papier, le cuivre, la pierre lithographique, etc. Les contre-épreuves, il est vrai, sont peu marquées, mais on peut augmenter leur intensité et leur vigueur, en les mouillant avec de l'essence de térébenthine et les saupoudrant de mine de plomb et de crayon noir pulvérisés et mêlés ensemble. On peut encore humecter le dessin lui-même, avant d'opérer le décalcage, avec de l'essence de térébenthine ou de lavande, mais on mouille préalablement le papier.

Nous dirons plus tard toutes les applications que l'on fait et que l'on peut faire du mode de transport des dessins imprimés (voyez LITHOGRAPHIE, IMPRIMERIE EN TAILLE DOUCE, PEINTURE SUR VERRE, TOLE VERNIE, etc.)

Moyen d'obtenir simultanément deux calques d'un dessin, l'un dans le sens direct, et l'autre dans le sens inverse. Prenez une feuille de papier mince et unie, comme celui dit *serpente*, et posez-la sur une feuille de zinc bien plane et bien propre; incorporez avec du saindoux un peu d'essence de térébenthine très pure, du bleu de Prusse et du noir de fumée en suffisante quantité pour colorer, et broyez le tout avec une molette sur une glace; étendez avec précaution cette composition sur les deux côtés de la feuille de papier avec une éponge, de manière à former une couche légère et uniforme, et laissez-la sécher jusqu'au lendemain. Vous frottez ensuite la feuille noircie avec du papier Joseph non collé que vous renouvelez souvent jusqu'à ce qu'elle ne soit plus tachée.

Vous placez cette feuille noircie entre deux feuilles de papier blanc, deux morceaux de mousseline, de taffetas, de satin ou de tout autre tissu sur lequel vous voulez dessiner; vous posez dessus le dessin à

(1) On peut obtenir un bon résultat en dessinant tout simplement avec une couleur tranchante avec celle de l'original.

calquer, et vous fixez le tout sur une feuille de zinc bien unie, à l'aide de poids très pesant. Cela fait, vous suivez les contours du dessin avec un poinçon émoussé fait avec un fil de plomb étiré; alors le dessin se trouve reproduit sur les deux feuilles de papier blanc par le frottement du crayon qui y fait adhérer les parties grasses.

Moyen de copier un dessin de dentelle. Vous attacherez la dentelle bien droite et bien tendue sur du parchemin vert posé sur le métier *ou carreau* (1). Pour cela, vous ficherez des épingles de place en place sur les deux bords. L'un de ces bords est l'*engrelure* ou la lisière, et se nomme *le pied* de la dentelle; l'autre, garni d'une suite de petites boucles attachées après un fil plat, est *le picot*, et s'appelle *la couronne*. Fichez des épingles dans les réseaux de la dentelle, dans la même partie où vous commencez, et finissez d'attacher; ensuite, prenez une aiguille comme un poinçon, ou plutôt un poinçon même, et piquez dans tous les réseaux de la dentelle, en évitant de piquer au milieu des fleurs. Si au lieu d'une dentelle, c'est un *dessin* tout piqué que vous avez fixé sur le parchemin, cela ne change rien à l'opération. Prenez bien garde, quand vous avancerez la dentelle pour continuer le dessin, de piquer parallèlement aux derniers trous. Le dessin piqué, ôtez le modèle, et suivez à l'encre toutes les parties non piquées, en vous aidant de la vue du modèle.

Autre procédé. On prend un morceau de dentelle que l'on colle avec de la gélatine sur un morceau de carton fort, en ayant soin de l'étirer dans tous les sens. La dentelle étant tendue bien uniformément, on applique dessus un papier très mince frotté d'un côté avec un corps gras, coloré en noir ou en rouge (voy. pag. 4124) que l'on place en dessus; puis on couvre le tout d'un papier blanc, dit serpente ou pelure; ensuite, à l'aide d'une légère pression ou par le simple frottement d'une roulette, on *transporte* l'empreinte de la dentelle sur le papier blanc.

Manière expéditive d'obtenir une ou plusieurs copies d'un dessin au moyen d'un poncis, ou d'un patron découpé à jour. D'abord il faut préparer le *poncis* de la manière suivante:

On choisit une feuille de papier collée, mince, et très résistante (2). On trace ou calque le dessin sur cette feuille de papier par les procédés ordinaires; et on le place sur une table horizontale, recouverte d'un carton garni d'une couverture de laine douce ou d'un morceau de drap plié en double. On fixe la feuille de papier dessiné avec de fortes aiguilles que l'on pique dans le carton, observant de placer, sous le dessin, deux ou trois feuilles de papier de la même qualité et de la grandeur convenable, suivant le nombre d'exemplaires que l'on veut avoir.

Cela fait, on pique avec une aiguille à coudre fine, ayant une large tête de cire, ou mieux à l'aide de la machine de M. Barthélemy, que nous donnons à la suite de ce paragraphe, tous les traits du dessin, surtout les sommets des angles et les extrémités des lignes. Il faut éviter surtout de piquer deux fois dans le même point ou à côté d'un trou et en dehors des contours; de plus, l'aiguille doit être tenue d'aplomb, et perpendiculairement sur le papier, le doigt *index* sera appuyé sur la tête de l'aiguille. Nous ferons remarquer aussi que plus les traits du dessin sont petits et délicats plus les trous des piqûres doivent être petits et rapprochés les uns des autres.

Lorsque le dessin est entièrement piqué, on enlève les barbes faites à l'envers du papier par les piqûres de l'aiguille, en les frottant doucement avec une pierre-ponce bien unie.

Si le dessin présente des *répétitions* ou *similitudes*, égales à la moitié ou au quart de sa surface, on plie le papier que l'on veut piquer en deux ou en quatre parties égales, et on le pique seulement par moitié ou par quart, de manière que les plis forment les lignes de jonction ou de raccord.

Pour piquer en même temps les deux côtés semblables d'un *angle droit*, on plie le papier sur lui-même, de manière à former un triangle rectangle. On pique ensuite en suivant la ligne droite, qui *forme* avec le pli du papier un angle de 45 degrés.

Les autres objets nécessaires sont:

1° Une poncette, formée d'un feutre gris très fin, et roulé fortement sur lui-même en forme de cylindre; puis on pique des épingles, perpendiculairement à son axe, pour arrêter le bout. A défaut de feutre, on prend de la peau de buffle d'une moyenne épaisseur, très souple, et qui est d'un meilleur emploi peut-être;

2° Du charbon, du crayon noir, de la craie, du blanc de plomb, et des poudres résineuses diversement colorées, et réduites en poudre très fine et très sèche (1);

3° Une glace très unie et une molette en verre pour broyer les poudres.

Voici le *moyen-pratique* de répéter ou de multiplier les copies d'un dessin piqué:

On pose le poncis d'aplomb sur la partie que l'on veut dessiner, et on le fixe avec des épingles ou des poids très lourds. On frotte légèrement la poncette sur la glace, recouverte d'une poudre de charbon, de craie, de crayon noir, ou de toute autre matière d'une couleur tranchante avec le fond de la surface à dessiner, et on la repasse avec précaution sur toute la surface du poncis en décrivant de petits cercles (2). La poudre qui se détache de la poncette passe à travers les trous, et se fixe sur la surface de l'objet en formant une suite de petits points colorés correspondants aux piqûres du poncis. Pour reconnaître si tous les traits du dessin sont bien marqués, on soulève d'une main le poncis, en ayant soin de le bien presser de l'autre main. Puis on recommence à promener la poncette comme précédemment, s'il y a lieu.

Lorsque le dessin est terminé, on enlève légèrement le poncis, sans le frotter, et on souffle dessus pour enlever la poudre qui le couvre et pour dégager les trous; puis on le rajuste délicatement sur une autre partie de l'objet, que l'on a déterminée et marquée au besoin avec un crayon tendre, et ensuite on recommence la même opération du ponçage.

S'il s'agit de répéter uniformément le même dessin, suivant des contours ou rapprochements que l'œil ne saurait reconnaître, on rajuste bien exactement le

(1) C'est le métier sur lequel on fabrique la dentelle à l'aide des fuseaux.

(2) Le papier végétal serait excellent pour cet objet, mais il est trop cher; à son défaut on emploie du papier *mince* connu dans le commerce sous le nom papier bulle.

(1) COMPOSITION:

Noir,	5 parties de bitume de Judée, 7 *id.* de copal, un peu de noir animal pour colorer,	pour l'impression des tulles.
Noir,	copal, 9 parties, colophane, 1 d°, noir animal pour colorer.	pour l'impression de la mousseline.
Bleu,	sandaraque avec un peu d'indigo pour colorer,	
Bleu,	copal, 9 parties, mastic en larmes, 1 d°, indigo pour colorer.	
Blanc,	colophane, 9 parties, copal, 1 d°, blanc d'argent pour former la teinte blanche.	

On met ces ingrédients dans un vase de terre et on les fait fondre sur un feu ardent, en ayant soin de ne les projeter que peu à peu, et au fur à mesure de la fusion.

(2) Anciennement on formait un nouet ou *petit sac* de toile peu serrée, dans lequel on renfermait les poudres fines; on passait ce nouet sur toute la surface des figures, en frappant légèrement afin de faire tomber la poudre.

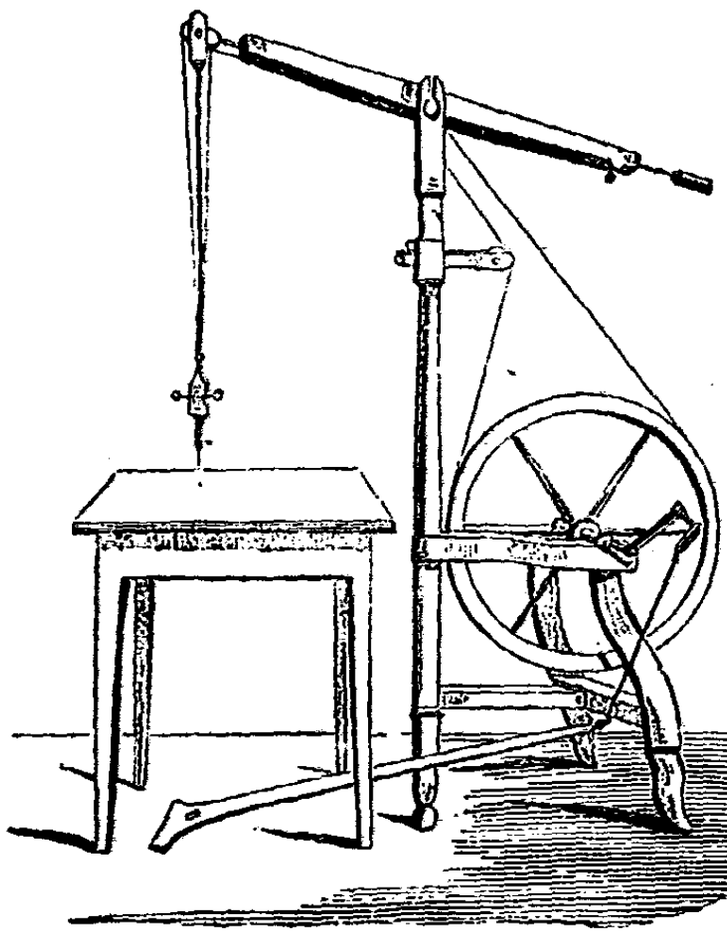
DESSIN INDUSTRIEL.

poncis en le piquant avec deux aiguilles que l'on fixe à l'endroit où le raccord doit commencer.

Il est bien entendu que les traits du dessin poncé avec du charbon, de la craie, du crayon noir, etc., peuvent être enlevés par le frottement d'une brosse ou d'un blaireau, voire même par le vent que l'on souffle avec la bouche, et cette propriété est utilisée souvent pour opérer des changements ou des raccords dans certains détails du dessin; mais on fixe les traits obtenus avec une poudre résineuse (1), en promenant un fer à repasser chaud sur le dessin, recouvert nécessairement d'un papier blanc pour éviter les salissures. On conçoit aisément que la chaleur du fer fond la résine qui adhère fortement au papier, ou bien à l'étoffe, ou à toute autre surface sur laquelle le dessin est imprimé; on ne peut même l'enlever qu'à l'aide d'un lavage à l'eau savonneuse ou à l'alcool.

Machines à piquer les dessins, par M. Barthélemy, ingénieur. Dès l'année 1824, M. Barthélemy inventa un mécanisme à ressort dont les mouvements produisaient le jeu d'une aiguille adaptée à une tige passant à travers un petit tube, que la main dirigeait sur un dessin, en même temps que la projection de cette aiguille perçait à volonté 2 ou 3 papiers superposés les uns sur les autres, en conservant toujours le parallélisme de l'aiguille. Mais les frottements considérables de ce mécanisme avaient bientôt détruit tous les calculs de précision.

Enfin, en 1830, M. Barthélemy convertit ce principe de piqûre en un autre mécanisme à pédale. Le dessin ci-dessus en donne une idée exacte (fig. 651). Il a pour effet de faire piquer jusqu'à 200 points en une seconde. L'aiguille est fixée dans un petit tube en cuivre laminé et fixé à vis dans un autre tube muni d'un écrou, lequel tube est adapté à une petite tige brisée. Cette tige entre dans un autre tube très justement adapté par le bas et permettant nécessairement le jeu de va-et-vient sans aucune résistance. Le haut de cette tige est attaché à un coussinet qui enveloppe une petite poulie à axe excentrique. C'est le jeu de cette poulie qui tend à faire monter et descendre avec douceur et sans secousse l'aiguille *piqueuse*. D'autres poulies liées entre elles par de petites cordes de boyaux et mues à une vitesse proportionnées au nombre de tours multipliés par ceux de la grande roue, transmettent le mouvement à volonté suivant la finesse du dessin et l'accélération nécessaire. La pédale est placée à la portée de la personne qui conduit l'opération, c'est-à-dire sous son pied droit; mais il est nécessaire de contracter pendant quelques heures une habitude telle que tous les mouvements du corps de la personne ne soient pas susceptibles de réagir sur l'action de sa main sur le papier à piquer. Il résulte de cette habitude un ensemble de mouvements bien mesurés. Le pied ne doit agir sur la pédale que vers son extrémité, et la plus petite impulsion entretient la rotation de la roue principale. Il y a à l'extrémité du balancier ou conducteur des poulies un contre-poids propre à annuler dans la charge de la main l'excédant de la somme entière du poids de la tige verticale. Ce contre-poids se recule ou s'avance suivant la volonté du piqueur. Les cordes étant sujettes à se contracter et à se dilater, on a placé entre leurs distances des vis de rappel afin de les tendre ou de les détendre suivant le besoin. Enfin, le piqueur se tient assis naturellement sur le devant d'une table recouverte d'un drap assez épais sur lequel il promène et retourne en tous sens, à la manière des graveurs sur bois, son papier à piquer dont il a le soin de savonner la surface pour faciliter le glissement. Quant à la vitesse et à la direction de l'aiguille qui pique, c'est la main de l'artiste qui les donne, et ces effets sont toujours subordonnés à son habileté et à son adresse.



651.

Manière de faire les patrons découpés ou imprimures. Préparation des papiers. — I^er^ *Moyen.* On met sur une feuille de zinc bien unie une feuille de beau papier de la grandeur convenable, non collée et cylindrée, que l'on enduit de chaque côté avec de l'huile de lin cuite et légèrement chauffée, au moyen d'une éponge fine, puis on les fait sécher à une douce température.

II^e^ *Moyen.* 1° Enduisez l'un des côtés de la feuille de papier d'une couche de suif ou de saindoux, à l'aide d'une éponge ou d'un morceau de flanelle;

2° Exposez cette feuille sur une planche de cuivre chauffée, et recouverte d'une feuille de papier gris non collé;

3° Essuyez-la avec précaution, à l'aide d'un papier souple;

4° Appliquez avec une éponge ou un blaireau une seule couche d'un vernis composé de colophane, de térébenthine de Venise, par parties égales, ou trempez tout simplement la feuille dans du vernis gras au copal, faites-la sécher et égoutter à l'air libre;

5° Enfin, lorsque la feuille est sèche, vous dégraissez sa surface avec de l'alcool très pur, ou de la mie de pain, ou de la craie en poudre.

III^e^ *Moyen.* On choisit du papier collé très mince et

(1) Ce procédé a été inventé, en 1807, par deux dessinateurs en broderies, MM. Revol et Rigondet.

très égal, que l'on enduit de chaque côté de trois couches successives de colle animale liquide bien chauffée (1), de parchemin, de colle de poisson, ou de gélatine, ou bien de l'une et l'autre mêlées ensemble ; pourtant la troisième couche doit être moins chaude et plus claire que les deux premières.

On fait sécher les feuilles sur des cordes, en les suspendant par un coin au moyen d'une épingle en bois à ressort faisant l'effet d'une pince. Lorsqu'elles sont sèches, on les expose à la cave ou dans tout autre endroit humide, afin de les amollir et de les mouiller, puis on place chaque feuille entre des plaques de zinc polies et frottées légèrement avec de l'huile d'olive, du savon ou du saindoux, à l'aide d'un morceau de flanelle ; et on les soumet ainsi à l'action d'une presse à vis pendant vingt-quatre heures au moins, afin d'unir et d'égaliser leur surface. Enfin on les retire de la presse et on les fait sécher, s'il y a lieu, entre les plis d'une étoffe bien sèche ; enfin on les soumet de nouveau à l'action de la presse à vis pendant dix à douze heures, en ayant soin de mettre chaque feuille entre du papier humecté avec une infusion tiède de noix de Galles. Il faut avoir bien soin pourtant de conserver les feuilles dans un endroit entretenu à une température modérée.

Manière de découper les patrons. Vous coupez une feuille de papier préparée, à peu près du double de la grandeur du dessin que vous voulez faire. Vous calquez dessus tous les principaux contours du sujet par les procédés ordinaires, comme si vous vouliez exécuter un poncis ; puis vous posez cette feuille sur une table de bois blanc bien unie, ou mieux sur une glace bien dressée, en la fixant aux quatre coins avec des poids en plomb, garnis en dessous avec du papier de verre ; ensuite, à l'aide d'un canif ou de tout autre outil tranchant, vous découpez et enlevez tous les traits noirs, observant de laisser de distance en distance de petits morceaux de papier pour soutenir le dessin. Vous tiendrez aussi la pointe de l'outil plutôt droite que penchée, et vous appuierez assez fortement pour couper nettement du premier coup.

Au lieu d'un canif on peut encore employer avec plus d'avantage un petit poinçon dont la pointe est taillée à angle vif, et l'on s'en sert alors comme d'un découpoir en frappant sur la tête avec un petit marteau de bijoutier. Par ce moyen on fait un véritable poncis dont les points sont plus grands et à angles vifs ; mais on comprend qu'on ne peut en agir ainsi que pour l'exécution des dessins d'une large facture, tels que ceux qui sont destinés pour la broderie nuancée sur étoffe, les estampilles, les vignettes pour affiches, etc.

Manière d'employer les patrons découpés. On place le patron sur la partie que l'on veut imprimer et on le fixe avec les poids ou au moyen de pointes posées à demeure sur la table à dessiner, puis on prend une forte brosse que l'on trempe légèrement dans une encre liquide et gommée ; on la frotte sur un garde-main pour voir si elle n'est pas trop mouillée, en ayant soin de la tenir bien droite et de frotter avec vitesse. Lorsqu'on s'est bien assuré de son effet, on la pose sur le patron en décrivant toujours des petits cercles comme on le fait quand on délaie des couleurs dans une soucoupe. Lorsque la brosse n'a plus de couleur, ce dont on s'aperçoit parce qu'elle ne salit plus assez fortement le patron, on en reprend de nouvelle et on l'applique sur les autres parties du dessin, et ainsi de suite jusqu'à son entier achèvement. Au reste, on voit si l'opération s'exécute bien en soulevant de temps en temps le patron.

Si l'encre s'écarte et salit le dessous du patron, on peut en conclure qu'il y avait trop d'encre dans la

(1) La colle doit être assez fluide pour entrer dans le papier.

DESSIN INDUSTRIEL.

brosse et que l'on a frotté avec trop de vigueur et de vitesse surtout. Dans tous les cas, il faut bien essuyer le patron avec un linge avant de recommencer.

Toutes couleurs employées pour la peinture à l'aquarelle ou à la gouache peuvent servir lorsqu'on emploie les papiers préparés à l'huile. Les couleurs à l'huile et les encres d'imprimerie sont seules applicables avec le papier préparé à la gélatine ; toutefois on y ajoute plus ou moins de térébenthine, suivant le besoin et la nature du principe colorant (1).

EMPLOI DES PROCÉDÉS MÉCANIQUES POUR COPIER DES DESSINS INÉGAUX ET SEMBLABLES, AINSI QUE DES OBJETS VUS EN PERSPECTIVE (2).

Vitre et gaze transparentes.

La première idée de ces machines à dessiner est due à Pietro della Francesca, du bourg San-Sepulcro, qui florissait vers l'an 1458 environ. (Voir la *Vie des peintres* par Vasari.) Ce savant, pour démontrer la théorie de la perspective, imagina un tableau transparent placé entre le spectateur et quelque objet ; il démontra ainsi que le tracé des rayons, étendu de l'œil aux extrémités visibles de l'objet, formait sur le tableau en le traversant une image semblable à l'objet. Après lui, Léonard de Vinci et Bramante ont indiqué le moyen de dessiner sur une vitre en suivant avec un pinceau enduit de couleur tous les contours des objets tels qu'ils apparaissent à l'œil nu. Bramante ajoute même (voir son *Traité sur la perspective*) :

« Quant à la troisième manière qui consiste à mêler la règle avec la pratique, elle s'obtient à l'aide d'un verre ou du gaze sur laquelle on trace les objets qui sont aperçus au travers. » Or, à l'époque où Bramante écrivait, Viator avait inventé et publié une manière de mettre les objets en perspective sur le papier à l'aide d'une équerre à T de son invention. Voir *De artificiali perspectiva Viator secundo*, traduit par Perigrinus (3).

Dans un ouvrage imprimé en allemand en 1525, et traduit en latin en 1535 (4), Albert Durer, le célèbre peintre et graveur, a donné le dessin et la description d'une vitre verticale pour dessiner les objets, d'après les principes posés par Pietro ; mais Albert Durer a *inventé le point fixe servant de point de vue* ; or c'est là le point important pour dessiner exactement les objets en perspective (5).

Depuis, plusieurs auteurs ont indiqué le moyen de dessiner sur une vitre verticale. Pour cela on la frotte de blanc d'œuf battu avec de l'eau-de-vie, ou bien on la frotte de gomme arabique mélangée avec de l'alcool ou du vinaigre. On trace le calque à la sanguine, puis on applique sur cette vitre le papier sur lequel doit être déchargé le calque. On a soin de tenir le papier un peu

(1) On fait encore des *imprimures* avec du cuivre très mince et recuit, avec des feuilles d'étain que l'on colle sur un cadre en bois, et quelquefois même avec du parchemin. A cette occasion, nous rapporterons un procédé pratiqué anciennement pour rendre le parchemin transparent et propre à calquer :

Vous le laverez à plusieurs reprises avec une lessive légère, et vous le rincerez dans l'eau claire, puis vous l'étendrez et le fixerez sur un cadre en bois avec des clous très rapprochés, et vous le ferez sécher à l'air libre. Lorsque le parchemin sera bien sec vous le vernirez.

(2) Voir l'*Histoire chronologique des machines à dessiner*, publié dans le Bulletin de la Société d'encouragement, octobre 1844.

(3) C'est un procédé semblable que le gouvernement a acheté en l'année 1841 à M. Amaranthe Rouillet, moyennant la rente viagère de 1,200 fr. (voir le journal l'*Illustration*, année 1844, tome II, page 265 ; *Moniteur universel*, n° janvier 1844).

(4) *Geometriæ libri qual.*, pages 1 et 185.

(5) Cet instrument est appelé *traquardo* (niveau) par les Italiens ; et un marchand de couleurs et de curiosités, à Paris, le vend ou le prône aux curieux comme une découverte ancienne due à *Traquoir !*

humide, et comme le dessin est renversé, on en fait la contre épreuve, lorsqu'il est encore humide, sur un autre papier humide aussi. (Voir Montabert, *Traité complet de la peinture*.

Cette méthode pourtant a l'inconvénient d'altérer sensiblement la transparence de la glace et d'affaiblir aussi l'éclat des objets ; et nous conseillons de dessiner tout simplement sur la glace avec un crayon lithographique.

Chambre noire de Porta.

Porta fit construire des chambres portatives ; chacune d'elles était composée d'un tuyau plus ou moins long armé d'une lentille. L'écran blanchâtre en papier ou en carton sur lequel les images allaient se peindre occupait le foyer ; le physicien napolitain destinait ses petits appareils aux personnes qui ne savent pas dessiner. Suivant lui, pour obtenir des vues parfaitement exactes des objets les plus compliqués, il devait suffire de suivre avec la pointe d'un crayon les contours de l'image focale.

Ces prévisions de Porta ne sont pas complétement réalisées. Les peintres, les dessinateurs, ceux particulièrement qui exécutent les vastes toiles des panoramas et des dioramas ont bien encore quelquefois recours à la chambre noire, mais c'est seulement pour tracer en masse les contours des objets, pour les placer dans les vrais rapports de grandeur et de position, pour se conformer à toutes les exigences de la perspective linéaire. Quant aux effets dépendant de l'imparfaite diaphanéité de notre atmosphère qu'on a caractérisés du terme assez impropre de *perspective aérienne*, les peintres exercés eux-mêmes n'espéraient pas que pour la reproduire avec exactitude la chambre obscure pût leur être d'aucun secours. (Extrait d'un rapport fait à la Chambre des Députés par M. Arago sur le daguerréotype.)

Mais quand on a vu les admirables dessins obtenus par les procédés inventés par MM. Niepce et Daguerre, et perfectionnés par MM. Fizeau, Séguier, Claudet, Gaudin, Foucault, Choizelat et autres, personne n'est tenté aujourd'hui de critiquer l'emploi de la chambre noire, et on ne saurait trop recommander à tous les artistes peintres et dessinateurs qui veulent dessiner correctement d'après nature, de faire d'abord des dessins photographiés, pour éviter des fautes d'optique et de perspective, afin de les reproduire ensuite par le moyen du crayon et des couleurs (voyez PHOTOGRAPHIE). Mais pour la reproduction des dessins industriels sur le papier ou sur étoffe, et suivant des dimensions déterminées, la chambre obscure est impuissante ou au moins imparfaite.

Pantographe pour réduire et augmenter les dessins nécessairement tracés sur le papier. C'est M. de Marolais qui a inventé cet instrument vers le commencement du dix-septième siècle (voir sa *Théorie de la perspective*, 1re édition, 1615).

Le R. P. Scheiner, géomètre souabe, a imaginé plusieurs dispositions de parallélogrammes linéaires ou pantographes Voir son livre intitulé *Pantographice seu ars delineandi*, etc., (Rome, 1631.)

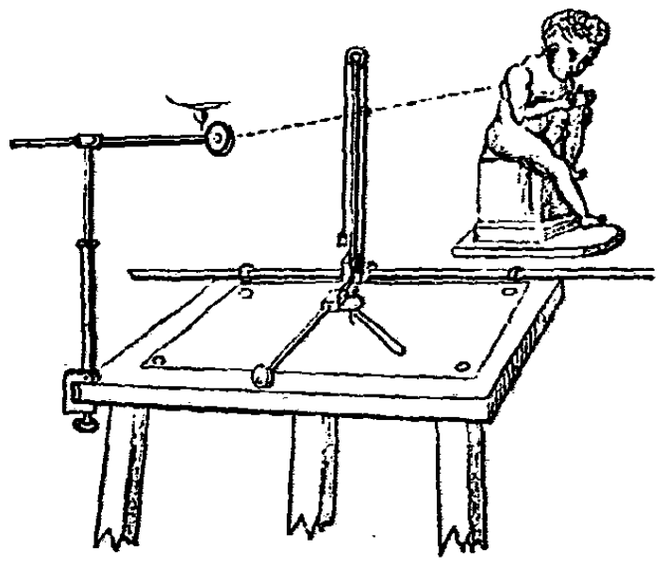
Tout le monde connaît cet instrument qui permet de faire des figures semblables à une figure donnée (voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE). Bien que son usage se soit étendu dans ces dernières années, néanmoins comme c'est un instrument difficile à conduire et surtout d'une fatigante lenteur, les dessinateurs préfèrent généralement le mode de réduction aux carreaux.

Carreaux. On se sert de ce procédé pour copier ou réduire un dessin à de moindres dimensions. Comme on a souvent besoin dans les arts de dessiner de grandes machines ou des appareils, nous croyons devoir exposer ici un moyen simple et très prompt qui ne suppose presque aucune habitude de l'art du dessin.

Concevez un cadre en bois, dont l'intérieur est vide, et dont les côtés sont solidement assemblés à angles droits, à tenons et à mortaises. Chaque tringle est divisé en un certain nombre de parties égales, en 40 par exemple ; le bois est percé d'un petit trou à chaque point de division qu'on a marqué d'un numéro. On enfile dans ces trous une soie rouge qui, passant d'un bord au bord opposé par les trous de même numéro, forme des séries de lignes fines et parallèles aux côtés du cadre, dont l'espace vide se trouve divisé de la sorte en cent carreaux à jour.

Appliquez cet instrument sur le dessin que vous voulez réduire après avoir tracé au crayon avec une règle et un compas, sur une feuille de papier, un égal nombre de carreaux plus petits portant les mêmes numéros que ceux du cadre ; marquez sur ces lignes ou dans l'intérieur de chaque carreau tracé, ce qui se voit sur le carreau de même numéro sur le cadre, et vous n'éprouverez aucune difficulté pour copier ou réduire le modèle assez fidèlement, et avec beaucoup de promptitude. Si vous pratiquez ce procédé en plaçant le carreau devant une machine ou un paysage, et que vous fassiez attention de remettre toujours l'œil au même endroit, lorsque vous voulez regarder les objets à travers le cadre, vous en obtiendrez une perspective exacte.

Equerre de Cigoli, peintre de Florence, en 1600, perfectionnée par M. Ronalds, en 1825. C'est le même instrument que l'on appelle diagraphe de M. Gavard, qui l'a perfectionné. Il avait déjà reçu des perfectionnements importants de MM. Rennenkampf et Ronalds ; la figure représente celui publié comme étant l'œuvre de M. Roualds, de Croydon. (Voir le *Journal hebdomadaire des Arts et Manufactures d'Angleterre*, Paris, 1825.)



652.

La vue perspective (fig. 652) fait bien comprendre comment, à l'aide de cet instrument, on peut dessiner les objets d'après nature, sur un plan horizontal et suivant des dimensions déterminées.

Il suffit de tenir à la main le petit chariot qui glisse à volonté sur la tringle horizontale et perpendiculaire sur l'objet à dessiner. Ce chariot porte un crayon, auquel est attaché un fil de soie ou de métal extrêmement fin, qui roule sur deux poulies placées en haut et en bas d'une tige de fer verticale, cette tige verticale est emmanchée et demeure sur une base ou socle en cuivre et forme, avec la première tringle horizontale, une véritable équerre maintenue dans la position verticale au moyen d'une longue tringle fixe et glissant à travers des anneaux qui lui servent de guide. Le fil de soie porte un petit grain d'émail ou de verre coloré, servant d'index ou point de mire, et tendu au moyen d'un petit poids suspendu à son extrémité. On place d'une manière invariable l'œil au point de vue et on promène l'index sur

tous les contours apparents de l'objet, en faisant glisser le curseur qui porte le crayon le long de la tringle horizontale, en même temps qu'on le pousse de droite à gauche ou de gauche à droite. Par ce moyen, la pointe du crayon trace en petit sur la feuille de papier l'esquisse de l'objet vu en perspective, et la réduction est d'autant plus petite que l'objet et le point de vue sont plus éloignés du plan perspectif.

Nous ferons remarquer ici les additions apportées à l'instrument primitif de Cigoli, savoir :

1° Le curseur qui reçoit le crayon et l'extrémité du fil servant de guide, et qui permet de promener plus facilement l'index sur les contours de l'objet;

2° Les poulies sur lesquelles roulent le fil de soie qui, dans l'appareil de Cigoli, passait dans des fourchettes;

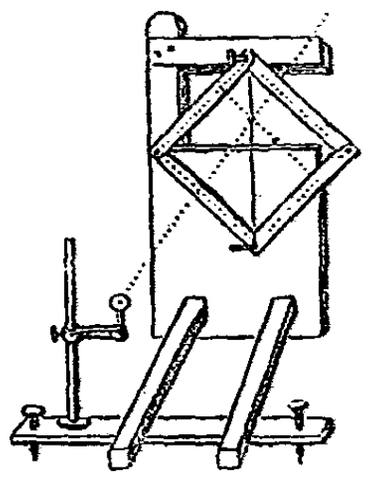
3° Le petit trou percé dans une plaque de métal et servant de point de vue, tandis que Cigoli employait à cet effet une verge creusée en angle aigu;

4° Enfin, le mouvement que l'on peut donner à la tige verticale à droite et à gauche, en poussant à la main la tringle horizontale, tandis que dans la machine de Cigoli le même mouvement était opéré en tirant successivement deux cordons attachés à l'extrémité de la tringle horizontale et parallèle à l'horizon, et passant à travers des anneaux fixés à chaque angle de la tablette à dessiner.

M. le baron de Rennenkampf avait imaginé, dès l'année 1808, d'attacher les deux extrémités du fil sur le curseur qui porte le crayon, et de supprimer le contrepoids. (Voir le *Bulletin de la Société d'encouragement*, tom. IX, page 131.)

Enfin M. Gavard, en 1830, a eu l'idée de fixer la tige verticale sur un chariot porté sur 2 poulies roulant sur une tringle de fer, posée fixement sur la table à dessin.

Parallélogramme du R. P. Scheiner, perfectionné par Rènes (quelques auteurs écrivent Wren), pour dessiner les objets vus en perspective. Nous avons extrait le dessin de cette machine (fig. 653) du livre des *Voyages de Monconys en Angleterre*, mais nous devons dire aussi que, dès l'année 1631, le R. P. Scheiner, géomètre et astronome souabe, avait donné la théorie et les gravures de plusieurs parallélogrammes applicables au dessin de tous les objets matériels. Voir son livre ayant pour titre : *Pantographice seu ars delineandi res quas libet per parallelogrammum lineare, seu cavum mechanicum mobile.*



653.

Rènes a apporté cependant au parallélogramme de Scheiner deux additions ou modifications notables, savoir :

1° Une équerre ou T en bois, que l'on fixe avec une vis sur le plan du tableau vertical sur lequel on veut dessiner;

2° Un fil sur lequel glisse un curseur servant de point de mire. On tend et fixe ce fil parallèlement aux deux côtés du parallélogramme, sur des pointes de fer disposées à cet effet.

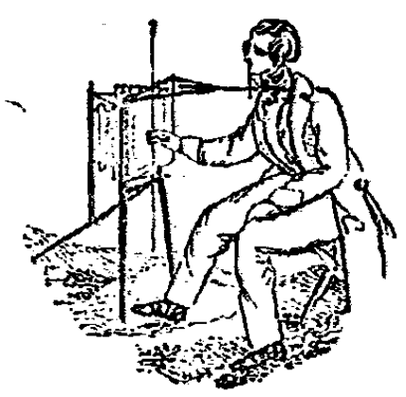
L'usage de cette addition est d'obtenir un dessin ou égal, ou plus grand, ou plus petit que l'objet, selon que l'on attache le fil aux pointes opposées; au milieu il sera égal; plus haut, il sera plus grand; plus bas, il sera plus petit; mais il faut encore proportionner la distance du point de vue au plan carré; ce que vous

DESSIN INDUSTRIEL.

apprendrez mieux par la pratique que par une description.

On trouve dans le même livre le dessin et la description d'une autre machine inventée par M. Laurent, et qui est publié dans le *Magasin Pittoresque*, avril 1844; mais l'auteur de l'article attribue à tort l'invention de cet instrument à Wren, le célèbre architecte de Saint-Paul de Londres.

Au résumé, M. Burnier a imaginé, en 1840, une machine à dessiner fondée sur le même principe que celle de M. Laurent, et qui nous paraît bien plus facile à manier; nous en donnons la figure vue en perspective (fig. 654). On voit très bien que l'artiste ayant l'œil placé fixement dessine sur une tablette verticale, en promenant une longue baguette en laiton dont l'extrémité supérieure sert d'index; au centre de la baguette se trouve le porte-crayon formé d'un tube en cuivre renfermant un ressort à boudin qui pousse le crayon. Ce tube est percé d'une fenêtre longitudinale à travers laquelle on peut retenir le crayon avec l'index.

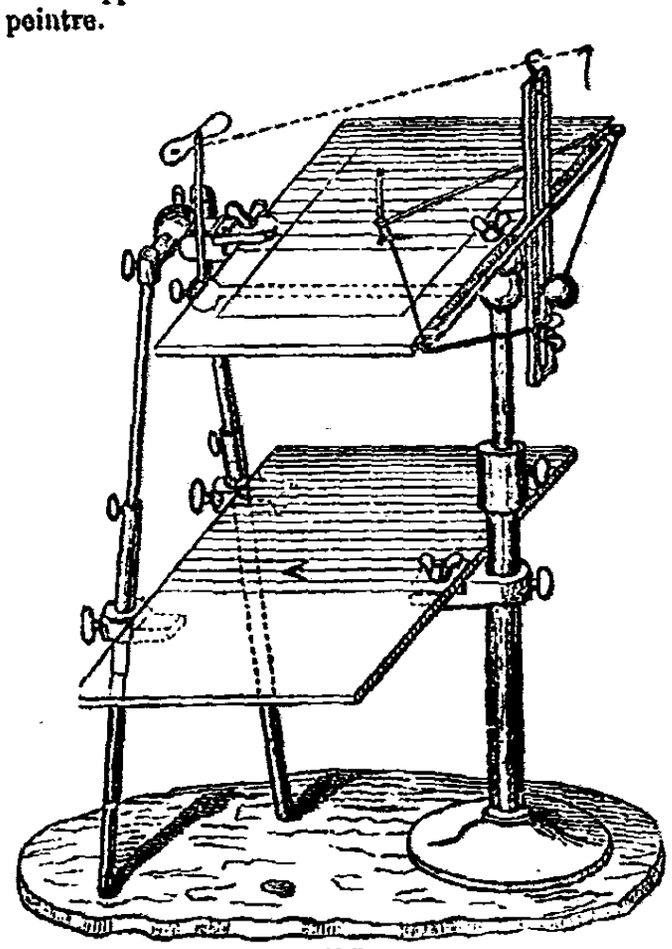


654.

Deux cordons métalliques placés parallèlement en haut et en bas de la tablette maintiennent la baguette contre la planchette à dessiner.

De plus, un volet tourne librement autour de deux gonds fixés sur un montant en bois posé verticalement derrière la planchette. Ce volet porte à ses parties supérieure et inférieure une règle fendue pour livrer passage à la baguette, et pour la maintenir dans une position toujours verticale.

Tout l'appareil est monté sur une espèce de chevalet de peintre.



655.

La figure 655 représente le dessin d'une machine de ce genre que nous avons fait construire pour la Société d'encouragement, d'après des idées qui nous avaient été suggérées par l'un de ses membres les plus distingués.

DESSIN INDUSTRIEL.

Cette machine se compose : 1° D'un pied en bois sur lequel on pose une tablette horizontale, et mobile à volonté, au moyen d'une genouillère en bois;

2° D'un pied à fourchette que l'on fixe à l'aide d'une mâchoire sur le devant de la tablette, afin de l'empêcher de tomber;

3° D'une règle en bois fendue dans toute sa longueur, et mobile dans tous les sens autour d'un point fixe. Cette règle porte à son extrémité supérieure un fil de laiton recourbé servant d'index et de point de mire. Une tringle métallique un peu écartée de la tablette maintient la règle dans la position verticale;

4° D'une ficelle dont les extrémités sont attachées sur un écrou à oreille et qui glisse dans la rainure de la règle en bois; le milieu de cette ficelle, qui est posée sur la tablette à dessiner, porte une boucle dans laquelle on engage un crayon quelconque. Cette ficelle passe en outre dans des pitons en fer fixés sur l'épaisseur de la tablette;

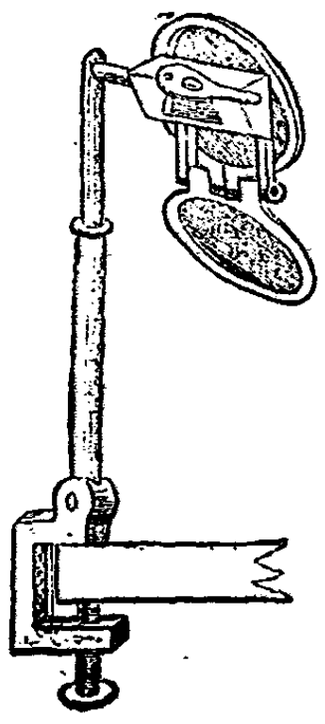
5° D'une tringle en bois rond portant à son extrémité supérieure une plaque de fer blanc percée d'un petit trou servant de point de vue.

Lorsqu'on veut dessiner d'après nature, on règle d'abord l'appareil, de manière que la pointe de l'index et celle du crayon soient perpendiculaires sur le milieu de l'arête de la tablette, et également distantes de ce milieu : ce qu'on obtient facilement en élevant ou en abaissant l'écrou qui retient les bouts de la ficelle. Quand l'appareil est bien réglé, on dessine en suivant les indications données pour l'usage de l'équerre de Cigoli.

Chambre claire à prisme de verre, de Wollaston.

La chambre claire (fig. 656) est un instrument qui permet de voir par double réflexion un objet placé latéralement, tandis que l'œil suit directement la pointe d'un crayon qui trace l'image que l'œil voit sur le papier.

Pour faire usage de cet instrument, il faut fixer la tige de l'appareil invariablement sur une table au moyen d'une vis de pression, et l'incliner de manière que le prisme formé des deux lentilles corresponde au milieu du papier sur lequel on veut dessiner. Puis on allonge la tige, et on tourne le plus grand côté du prisme en face de l'objet à copier, qui est posé verticalement comme la figure l'indique. Ensuite, appliquant l'œil sur le petit trou pratiqué dans la plaque du métal ovale, on continue de faire tourner le prisme sur son axe jusqu'à ce qu'on aperçoive en regardant de haut en bas, l'image droite de l'objet sur le papier sur lequel on doit dessiner et qu'on a soin de fixer avec des épingles ou de la colle à bouche.



656.

Mais cet instrument exige encore une foule de renseignements, de pratiques minutieuses pour avoir des représentations plus ou moins grandes et nettes de l'original; et pour les faire mieux comprendre, nous laisserons parler l'auteur lui-même :

« Il faut que le dessinateur se place dans une position telle qu'une portion seulement de la pupille soit interceptée par l'arête du prisme; alors cette portion de l'œil recevra les rayons émanés des objets éloignés, par la double réflexion prismatique interne, tandis que les rayons venant du papier et du crayon, entreront directement dans la partie de cette même pupille qui est en arrière de l'arête du prisme.

« Selon que l'arête du prisme entame plus ou moins avant le cercle de la pupille, la vivacité relative des deux impressions qui résultent en même temps de la vision directe et des images produites par la double réflexion varie; si l'œil s'avance trop sur le prisme, on ne voit plus que l'image des objets éloignés, le crayon et le papier disparaissent; si, au contraire, l'œil est trop en arrière on ne voit plus que le crayon et le papier, les images des objets extérieurs s'évanouissent. Mais il y a une position intermédiaire de l'œil que l'usage fait bientôt acquérir et dans laquelle on aperçoit en même temps avec un degré de clarté égal et suffisant, les images, le papier et le crayon. Pour éviter les inconvénients qui peuvent résulter des mouvements involontaires de l'œil, on peut chercher à fixer sa position et régler les quantités relatives de la lumière qu'il reçoit à la fois du papier et des images réfléchies, au moyen d'un petit trou pratiqué dans une lame de laiton qui, se mouvant autour d'un point fixe, peut s'adapter à toutes les inégalités de lumière. Le trou de cette lame de laiton se présente sur le bord du prisme, et, en poussant la lame plus ou moins en avant ou en arrière, on trouve par un court tâtonnement, le point le plus convenable pour la double vision, lorsque l'œil est placé tout près de cette ouverture.

« L'instrument devant être situé très près de l'œil, n'a pas besoin de grandes dimensions, et l'on peut réduire de beaucoup son volume, sans nuire à l'effet. C'est d'après ces motifs et quelques autres que je me suis décidé à le construire aussi petit qu'il est possible de le faire avec précision, et que je l'ai exécuté sur une échelle telle que les lentilles n'ont que 20 millimètres de diamètre.

« Bien que ma première intention eût été de faciliter, au moyen de cet appareil, le dessin des objets naturels dans leur véritable perspective, et que ce soit là son principal usage, cet avantage est loin d'être le seul qu'on en puisse tirer; car la même disposition des réflecteurs peut tout aussi commodément s'employer pour copier des dessins déjà faits que pour dessiner d'après nature; et l'instrument peut ainsi aider les commençants à acquérir l'habitude de faire des esquisses correctes. »

Lorsqu'on l'emploie à cet usage, il faut placer le dessin à copier, autant qu'il sera possible, à la même distance de l'appareil que l'est le papier placé au-dessous; dans ce cas, la copie a la même grandeur que l'original, et l'on n'a besoin de lentille ni du côté du dessin à copier, ni du côté du papier sur lequel on dessine.

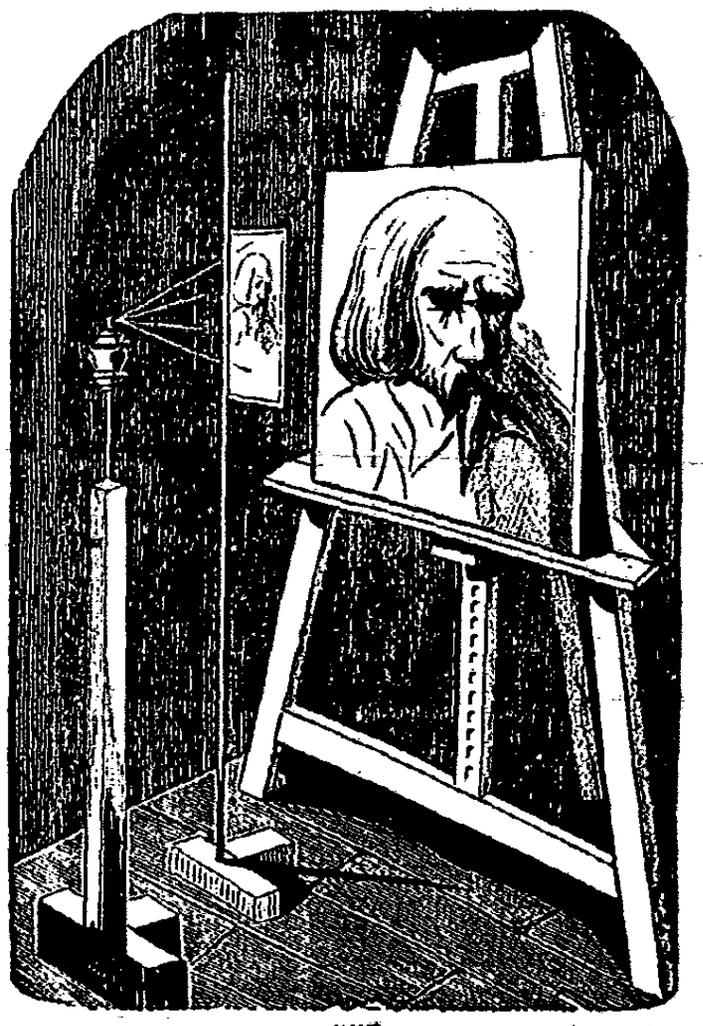
En employant convenablement cet instrument, on peut l'appliquer aux mêmes usages que le pantographe ordinaire; car on peut réduire un tableau dans des proportions données, en le plaçant à une distance qui soit avec celle où se trouve le papier sur lequel on copie, dans le même rapport que la réduction que l'on veut faire; c'est-à-dire que plus on voudra diminuer les dimensions de la copie, plus il faudra éloigner l'original.

Mais, dans ce cas, il faut se servir d'une lentille, pour que l'œil puisse voir d'une manière également distincte à deux distances inégales; et afin qu'une lentille puisse servir à tous les cas, on trouve beaucoup d'avantage à ce que l'intervalle que le prisme peut parcourir sur son pied de haut en bas, et de bas en haut, soit un peu grand, parce que cela donne plus d'étendue à l'échelle des réductions. »

DESSIN INDUSTRIEL.

En plaçant la lentille convexe sur le devant de l'appareil, et en renversant les distances proportionnelles (c'est-à-dire en plaçant l'original à une distance moindre que la distance au papier), l'artiste pourrait dessiner correctement de petits dessins sur une grande échelle, et le naturaliste, en se servant d'une lentille dont le foyer serait très court, pourrait copier de très petits objets dont les images seraient alors considérablement amplifiées. (Extrait du mémoire de Wollaston, inséré dans le *Philosophical magazine*, tome XXVIII, p. 343.)

Moyen imaginé, en 1843, *par M. Amaranthe Rouillet, pour reproduire les dessins amplifiés sur un plan vertical*



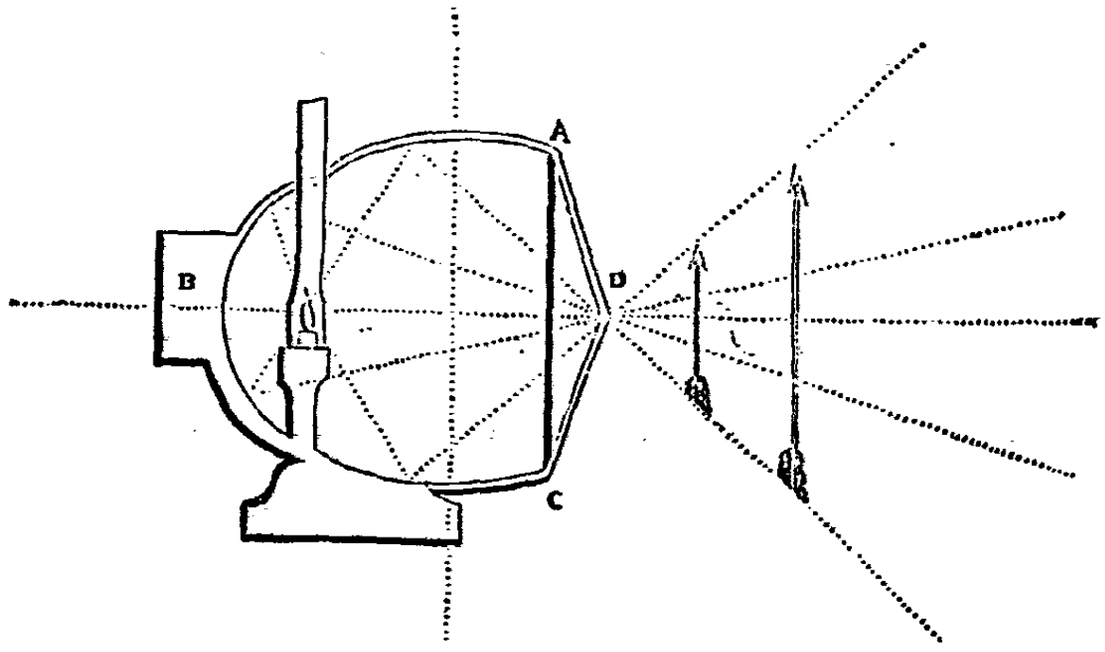
657.

(fig. 657). Pour grandir nettement un dessin, M. Rouillet le trace soit directement, soit en le décalquant sur de la gaze ou de la tarlatane, soit sur une gaze particulière dont on se sert quelquefois pour envelopper les pendules et les flambeaux afin de les préserver des *mouches*. Cette gaze est connue sous le nom de *gaze gommée*. Sur cette gaze on tracera les contours et on marquera les ombres avec de l'*encre lithographique*, puis on disposera l'appareil comme on le voit dans la figure ci-jointe. A défaut de la gaze gommée, on peut employer une vitre.

La lampe est portée sur un pied disposé de manière à pouvoir l'élever ou l'abaisser à volonté. Sa flamme doit être très petite, et se réduire, autant que possible, à un point lumineux. On emploiera donc, si l'on veut, une mèche cylindrique très grêle, ou bien une lampe à mèche plate préparée de la manière suivante : on coupera à l'extrémité de la mèche une bande rectangulaire d'environ deux ou trois millimètres de hauteur, que l'on ôtera en ayant soin de laisser à l'un des angles de la mèche un petit rectangle d'un millimètre de base sur deux ou trois de hauteur; puis on baissera la mèche jusqu'à ce que le petit rectangle fasse seul saillie au-dessus du rebord de la monture en cuivre; on allumera l'extrémité du rectangle, et l'on placera la lampe de manière à ce que la mèche soit dans un plan perpendiculaire au petit cadre sur lequel se trouve le dessin.

Le placement de la lampe exige quelques précautions : il faut que la flamme soit sur une ligne droite horizontale passant par le centre géométrique du dessin, et à une distance convenable pour avoir le grossissement que l'on désire et des contours nets et bien tranchés. Si le dessin que l'on veut amplifier est lui-même de grande dimension, alors les contours seront élargis et mal terminés. Pour obvier à cet inconvénient, on partage mentalement ou en réalité le cadre du dessin en deux rectangles égaux par une ligne horizontale menée par le milieu des deux bords verticaux, on en fait autant sur la toile destinée à recevoir l'image grossie; puis l'on place d'abord la lampe sur une ligne horizontale passant par le milieu du rectangle supérieur, de façon à ce que le rectangle du grand cadre soit complétement rempli par la moitié supérieure de l'image grossie, et l'on calque sur ce cadre la portion de la figure ainsi agrandie; ensuite on abaisse la lampe jusqu'à ce qu'elle se trouve sur la ligne horizontale passant par le milieu du rectangle inférieur, et l'on calque cette partie à son tour. On conçoit que l'on puisse, si cela est nécessaire, partager la figure en quatre, en huit, en seize, etc., parties égales, et obtenir ainsi un grossissement indéfini. Par cet artifice, on évite l'élargissement des traits et les pénombres qui les rendraient incertains.

Le cadre sur lequel on reçoit l'image grossie doit être tendu avec du papier blanc ou une toile préparée pour



658.

peindre, afin que l'ombre noire fasse contraste avec le fond. Les peintres verront qu'on obtient ainsi de très

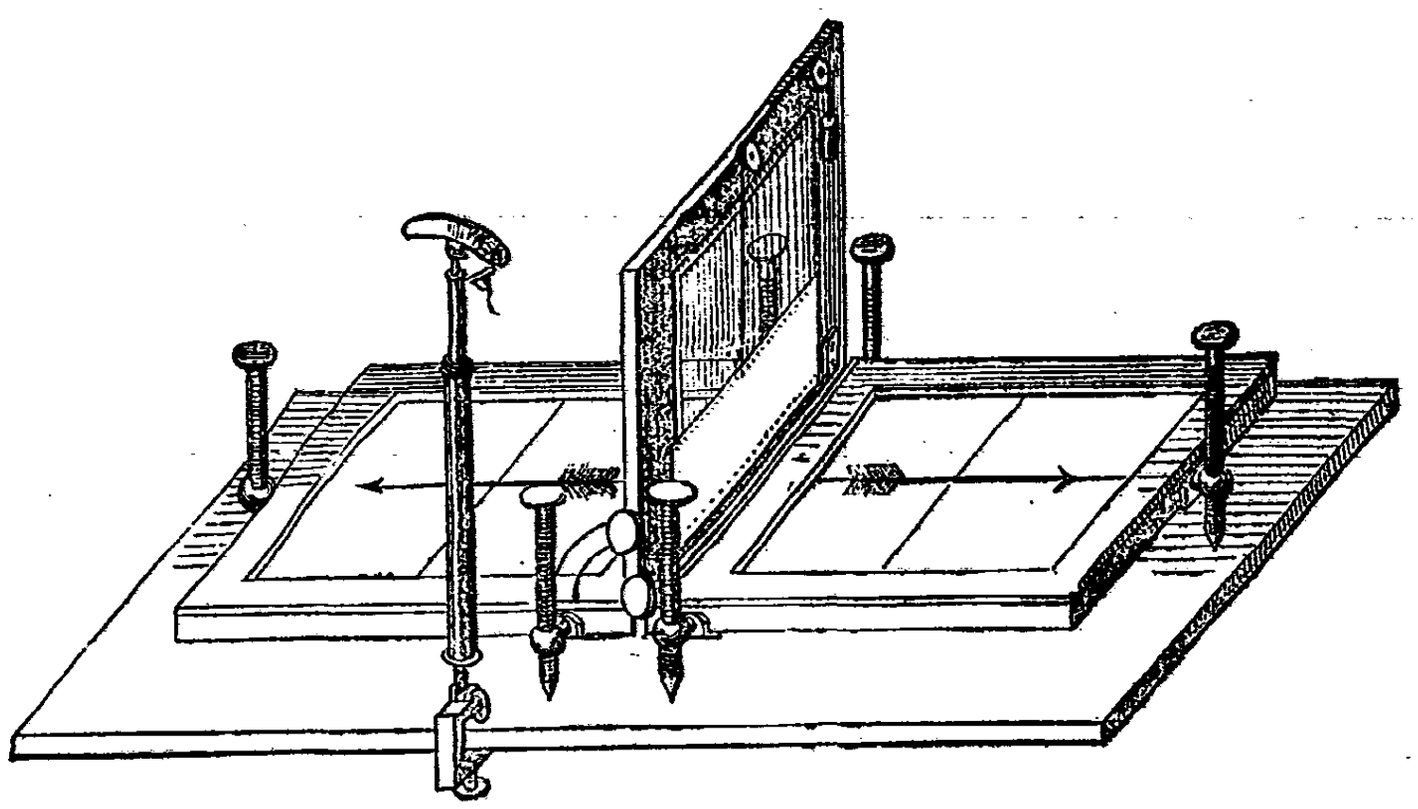
DESSIN INDUSTRIEL.

beaux effets d'ombres portées qu'il serait intéressant de fixer sur le papier. On dirait des dessins grandioses d'un relief extraordinaire et d'un aspect sculptural (*Extrait du journal L'Illustration*, mai 1844, page 146).

M. Lassus, rapporteur de la commission qui a examiné le procédé de M. Rouillet, a perfectionné la lampe employée pour le grossissement des objets. Pour que l'ombre portée sur la toile soit nette, pour qu'il n'y ait point de pénombre, il faut que la flamme soit réduite à un point lumineux (fig. 658). Il place donc la flamme de la lampe au foyer d'un miroir métallique concave en forme d'ellipsoïde de révolution A B C, qui fait converger tous les rayons vers un orifice très étroit D, à travers lequel ils s'échappent, et qui peut être considéré comme un point lumineux.

Chalcographe, dit universel, applicable à la reproduction des dessins de fabrique, par Rouget de Lisle.

La fig. 659 représente l'instrument en perspective



659.

afin de pouvoir mieux saisir l'ensemble de ses diverses parties.

Fonctions de l'instrument. L'appareil est monté d'aplomb sur la table à dessiner; les rayons lumineux tombent sur celle-ci de gauche à droite.

On place le dessin ou le modèle sur le carton à gauche de la glace, et on applique dessus un cadre en carton ou en zinc, qui porte sur le milieu de ses côtés opposés deux fils de soie tendus parfaitement d'équerre. Le papier ou le tissu à dessiner est fixé avec des épingles sur le carton de droite, lequel est recouvert d'un cadre semblable au cadre de gauche.

Cela fait, on appuie le front sur le support fixé sur le devant de la table à dessiner, et on regarde de l'autre côté de la glace en donnant au support le degré d'élévation et d'inclinaison convenable pour obtenir le meilleur point de vision; ce point doit être tel que la vue embrasse le plus grand espace possible.

L'œil étant fixé sur le plan à dessiner placé à droite de la glace, on aperçoit par réflexion l'image du dessin : on peut donc en tracer du premier coup les contours, les ombres et les traits de force avec un crayon ou avec un pinceau et de l'encre d'une couleur tranchante que l'on voit distinctement à travers la glace; seulement l'image réfléchie est moins brillante que le modèle, parce que la glace polie éteint toujours une certaine quantité de lumière.

Lorsque la lumière du jour est trop abondante, on aperçoit une image secondaire qui défigure quelquefois l'image principale en se confondant plus ou moins avec elle. Toutefois, l'image du modèle est suffisamment distincte pour qu'il soit possible d'en dessiner les contours ainsi que les principaux détails. Si l'on éprouve quelque embarras, on compare l'esquisse avec le modèle en les regardant successivement des deux yeux; l'habitude du dessin suffit pour faire cette comparaison et pour apprécier ce qui manque à l'esquisse pour qu'elle représente exactement le dessin original : du reste, on peut encore diminuer la lumière trop vive, soit en lui faisant traverser des milieux plus ou moins transparents, soit en appliquant sur la glace une plaque de verre plus ou moins épaisse.

L'esquisse est dessinée dans le sens contraire à celui qu'occupe le modèle; mais il est facile de l'obtenir dans le sens direct en se servant d'un papier frotté de sanguine ou de mine de plomb et de noir de fumée, qu'on place sous le papier ou l'étoffe à dessiner; dans ce cas, on dessine avec un crayon dur ou avec une pointe émoussée qui trace le dessin sur le revers du papier, c'est-à-dire dans le sens direct et semblable au modèle.

Lorsqu'on esquisse sur du papier ou sur une étoffe blanche qui réfléchit plus ou moins facilement les rayons lumineux, il arrive souvent que l'image se montre trop faible; dans ce cas, il faut projeter de l'ombre sur le papier ou sur l'étoffe à l'aide du store placé au pied de la glace et que l'on déroule successivement en tournant un bouton; mais il est un point qu'il ne faut pas dépasser, afin que l'œil aperçoive également bien la pointe du crayon et l'image produite.

Quelquefois on évite l'emploi du store en copiant un dessin de petite dimension soit sur du papier gris ou noir, soit sur la pierre lithographique, le zinc grené ou la planche vernie pour la gravure, soit enfin sur une étoffe quelconque de couleur terne ou noire qui absorbe et éteint plus ou moins les rayons lumineux.

Règles à observer. 1° Pour obtenir une copie égale et semblable au modèle, il faut que le cadre sur lequel

repose le modèle et la planchette à dessiner soient placés horizontalement par rapport au plan perpendiculaire de la glace, ce que l'on vérifie facilement au moyen d'une équerre ou d'un fil à plomb. Si la glace était légèrement inclinée sur le modèle, l'esquisse obtenue serait plus allongée dans le sens de la longueur, tout en conservent ses dimensions proportionnelles dans le sens de la largeur.

2° Pour produire un dessin plus grand que le modèle, on élève horizontalement l'appareil au-dessus de la planchette à dessiner au moyen de trois vis formant trépied; mais, pour réduire les dimensions de l'esquisse, il faut élever la planchette à dessiner au-dessus du cadre qui porte le modèle; dans tous les cas, on indique les dimensions vraies du modèle par des lignes droites et perpendiculaires entre elles et légèrement marquées; puis on trace de cette façon les dimensions de l'esquisse. Enfin il faut régler la position de l'appareil et de la planchette à dessiner, de manière que les lignes tracées sur le modèle et sur l'esquisse coïncident parfaitement avec les fils d'écartement tendus sur les deux cadres placés sur le modèle et sur le papier à dessiner, et ceux-ci doivent se superposer et ne former qu'une seule croix.

3° Si l'on veut reproduire exactement les contours d'un grand dessin que le champ de vue n'embrasse pas tout entier, il est nécessaire de tracer d'abord sur le modèle et sur le papier ou l'étoffe à dessiner des divisions égales, quand on veut obtenir un dessin semblable; on tire ensuite des lignes horizontales et verticales pour toutes ces divisions, ce qui forme autant de carreaux que l'on numérote au besoin pour les reconnaître; on fixe le modèle et le papier à dessiner sur les cartons, en ayant soin que la vision embrasse toute l'étendue des carreaux du modèle et de ceux correspondant sur le papier à dessiner, que les lignes de division, surtout, coïncident parfaitement : ensuite tout le travail consiste à reproduire successivement les contours compris dans les carreaux qui servent ainsi à guider l'œil et la main.

4° Quand, après avoir tracé plusieurs contours, on change involontairement la position de l'œil et par conséquent le point de vue, la pointe du crayon et les lignes tracées ne répondent plus à l'image; mais il est facile de retrouver le véritable point en cherchant à rajuster la coïncidence des lignes de divisions ou de dimensions tracées sur le modèle et sur l'esquisse. Enfin, pour éviter les inconvénients qui peuvent résulter des mouvements involontaires de l'œil, on rend sa position immobile en appuyant légèrement le front sur le support placé en avant de la glace.

Observations. On peut encore se servir du calcographe pour dessiner un objet vu en perspective. Pour cela, on fixe le support au moyen de la vis, parallèlement à la glace, et regardant par le petit trou pratiqué dans la plaque circulaire et servant d'oculaire l'objet placé verticalement, on dessine son empreinte sur la glace elle-même avec un crayon lithographique, ou avec un pinceau à l'encre lithographique. Il faut ensuite transporter ce dessin sur une feuille de papier humide qu'on applique dessus et qu'on frotte légèrement, soit avec un plioir, soit avec une roulette ou tout autre instrument; mais, comme le dessin est renversé, on en fait au besoin la contre-épreuve, lorsqu'il est encore humide, sur le papier ou sur l'étoffe à dessiner.

Au lieu d'une glace ou d'un verre ordinaire, on peut employer un cadre en carton sur lequel on tend et colle de la mousseline claire et transparente, de la gaze, ou mieux de la toile à blutoir; mais alors on trace seulement les contours et les traits de force avec de la craie tendre, du fusain, ou avec un crayon de pastel très-tendre; puis on reporte ce calque sur le plan à dessiner horizontal, soit dans le sens direct, soit dans le sens contraire, en frappant avec le doigt; ce seul ébranlement fait traverser ou tomber le fusain sur le plan à dessiner, et le dessin est marqué suffisamment; mais, pour qu'il soit semblable à l'objet, il faut que la glace soit parallèle à cet objet : dans toutes les autres positions, il en différera plus ou moins.

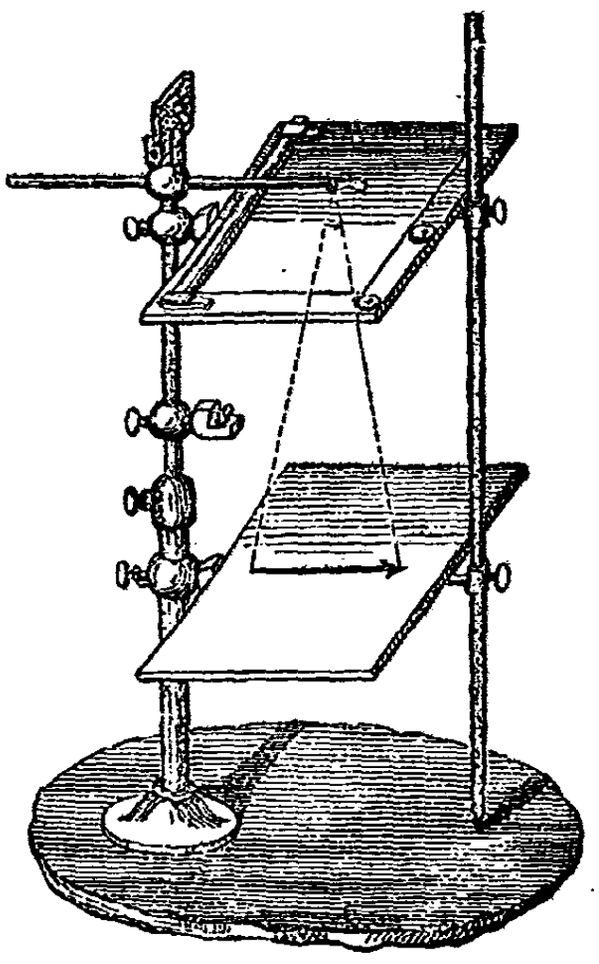
Plus le modèle sera éloigné de la glace, plus la perspective sera petite; toutefois, cette perspective sera plus grande si on éloigne le point de vue de la place.

Ainsi le plus ou le moins de grandeur de l'esquisse exige qu'on éloigne le point de vue ou qu'on rapproche l'objet de la glace. Cependant le point de vue ne doit pas être trop éloigné de la glace, afin qu'on puisse atteindre celle-ci et dessiner dessus sans peine et sans fatigue. L'objet lui-même ne doit pas être trop rapproché de la glace, pour que la perspective puisse s'y peindre entière.

Réciproquement, l'objet étant dessiné sur la glace, on peut le recopier plus ou moins grand sur une tablette verticale appliquée derrière la glace à la distance voulue.

On conçoit qu'on peut aussi dessiner sur un plan horizontal; on y parvient facilement en disposant le point de vue, la glace et la planchette à dessiner sur une tringle ou tablette verticale, au moyen d'ajustements et de vis de pression qui permettent de les élever ou de les abaisser à volonté: alors on dessine en regardant de haut en bas.

La fig. 660 représente cette disposition. La glace est placée en haut et la planchette est au-dessous; le point de vue est fixé à l'extrémité de la tringle horizontale.



660

Ainsi la petite flèche ponctuée représente la position du dessin tracé sur la glace, lorsque l'œil est placé au point de vue, et la grande flèche représente l'esquisse plus ou moins amplifiée.

MACHINES POUR LA MISE EN CARTE DES DESSINS DE CHALES.

Pour faire bien comprendre tous les avantages de

ces machines, il suffit de rappeler comment on compose aujourd'hui la mise en carte des dessins pour châles, et généralement de tous les dessins destinés à être reproduits par le tissage à l'aide du métier à la Jacquart.

On compose et trace d'abord l'esquisse du châle en petit sur le papier ordinaire, et on le colorie par quart ou par moitié avec des couleurs vives et brillantes ; c'est dans cet état que le dessinateur le présente au choix du fabricant.

Lorsque le dessin est choisi ou vendu, on le calque d'abord sur du papier vernis, puis on le reproduit suivant les dimensions déterminées sur du papier quadrillé, et on le colorie avec quatre ou cinq couleurs au plus, que l'on place dans la limite des carreaux. Les petits carreaux colorés indiquent tout à la fois le montage des lisses du métier, et les fils colorés que l'ouvrier tisserand doit employer (voy. TISSUS).

En 1828, M. Bureau, dessinateur à Nîmes, prit un brevet d'invention, aujourd'hui expiré, pour une autre méthode qui est peu répandue.

« On fait graver, dit l'auteur, une planche en cuivre à la réduction des peignes propres à la fabrication des châles, et on s'en sert pour imprimer le papier, qu'on rend transparent par le vernis. On supprime par cette méthode la transposition de l'esquisse sur le grand papier réglé, puisque le dessinateur, appliquant le papier réglé et vernissé sur sa première idée au crayon, fait la mise en carte en faisant l'esquisse peinte. »

Cette méthode procure une grande économie de temps, puisqu'il ne faut que deux jours de travail pour un ouvrage qui en demande ordinairement huit ou dix. L'ouvrier n'a pas plus de difficulté à lire les dessins que par les procédés ordinaires. Dans tous les cas, on pourrait employer une loupe, qui grossirait le papier-réglé vernis dans les mêmes proportions que la règle ordinaire.

Dès l'année 1778, Storer a pris un brevet d'invention en Angleterre pour un appareil optique qu'il appelait le *parfait dessinateur*, destiné à projeter sur un plan horizontal les images représentées, soit par le microscope, soit par la lanterne magique ou la chambre obscure; et personne en France n'avait pensé à appliquer cet appareil à la reproduction des dessins de fabrique (voir *Repertory of arts*, 1796, tome IV, p. 239).

C'est M. Hedde, dessinateur à Saint-Étienne, qui a inventé, en 1821, la première machine propre à la mise en carte des dessins pour les étoffes façonnées, et les rubans de tous les genres, etc.

Cette machine n'est autre chose qu'une lanterne magique, au devant de laquelle on place, entre la lampe d'éclairage et l'appareil optique, un double châssis, dans lequel on fait glisser à volonté une glace non étamée, de haut en bas et de bas en haut, de gauche à droite, et réciproquement. Le dessin est tracé sur cette glace, et divisé en carrés relatifs au carré donné par le champ de l'appareil optique ; ainsi on fait avancer ou remonter la glace au fur et à mesure qu'on a dessiné un carré.

La table sur laquelle on exécute la mise en carte est parallèle à la glace, mais pour la commodité on l'incline sensiblement, ainsi que la lanterne magique. Du reste, on peut voir le dessin et la description de cet appareil dans le tome IV, page 13, des *Descriptions des brevets expirés*.

M. Grillet, en 1843, a perfectionné cette machine avec beaucoup d'adresse et d'intelligence, en y ajoutant des organes qui permettent de dessiner sur un plan horizontal, et de promener le dessin dans tous les sens sans gêne et sans fatigue. A vrai dire, c'est une lanterne magique renversée, de laquelle on peut dire, comme de toutes les inventions, très simples et très originales : *c'était le tout de la trouver*.

DESSIN INDUSTRIEL.

Machine propre à la mise en carte des dessins de châles, inventée par M. Grillet. Cette machine, représentée en élévation vue de face, fig. 661, et en projection latérale, fig. 662, se compose de deux montants A A, réunis par trois traverses B, B, B. La traverse supérieure B porte six poulies C, pour le passage des chaînes D ; à la traverse intermédiaire B sont fixées deux grandes poulies E armées de rochets, servant à enrouler les chaînes qui font monter et descendre les cadres I et J, et qu'on manœuvre à l'aide de manivelles F, fig. 661 ; enfin, la traverse d'en bas B sert à relier les pieds du bâti.

A la partie supérieure du bâti, et au-dessus d'un premier châssis I, est adaptée une lampe à double courant d'air L, dont le réflecteur parabolique projette la lumière de haut en bas, afin d'éclairer le dessin à calquer placé horizontalement sur une vitre H.

Le châssis I monte et descend au moyen de deux chaînes du milieu D D qui s'enroulent sur les grandes poulies E E ; on l'arrête à la hauteur voulue pour la réduction ou l'augmentation du dessin, en engageant les cliquets dans les dents des rochets. L'extérieur de ce châssis est muni de coulisses, dans lesquelles glisse horizontalement un cadre G de droite à gauche et réciproquement, au moyen de cordons qui y sont attachés, et qui passent sur des poulies disposées à cet effet. Ce châssis porte des rainures, dans lesquelles glisse un autre cadre H, garni d'une glace non étamée sur laquelle on pose le dessin à copier. Le double mouvement de va-et-vient d'avant en arrière et de droite à gauche, qui résulte de la disposition de ces cadres, permet de transporter successivement toutes les parties du dessin, de manière à ce qu'elles viennent chacune à leur tour correspondre avec le centre du second châssis I portant l'appareil K ; ce qui a lieu également par des poulies de renvoi et des cordons placés à la portée de l'opérateur.

Le second châssis J monte et descend comme le châssis I, et peut être également fixé à toutes les hauteurs par le même procédé ; il reçoit une planchette à laquelle est fixé un appareil optique de chambre obscure. Cet appareil en cuivre est muni de deux lentilles de verre à plan convexe, dont les faces courbes sont diamétralement opposées. Il est muni d'une crémaillère et d'un bouton O, qu'on fait mouvoir de manière à faire varier la hauteur des lentilles, et à les amener au point que les traits du dessin, projetés par la lumière supérieure, la traversent et soient reçus sur le papier posé sur la table à dessiner N.

On conçoit que le dessin à calquer doit être tracé sur papier végétal, afin que la lumière le traverse assez abondamment pour que les traits du dessin soient projetés avec la netteté suffisante.

Le réflecteur de la lampe est muni d'une crémaillère, au moyen de laquelle on l'élève ou on l'abaisse jusqu'à ce qu'on ait obtenu la clarté la plus vive.

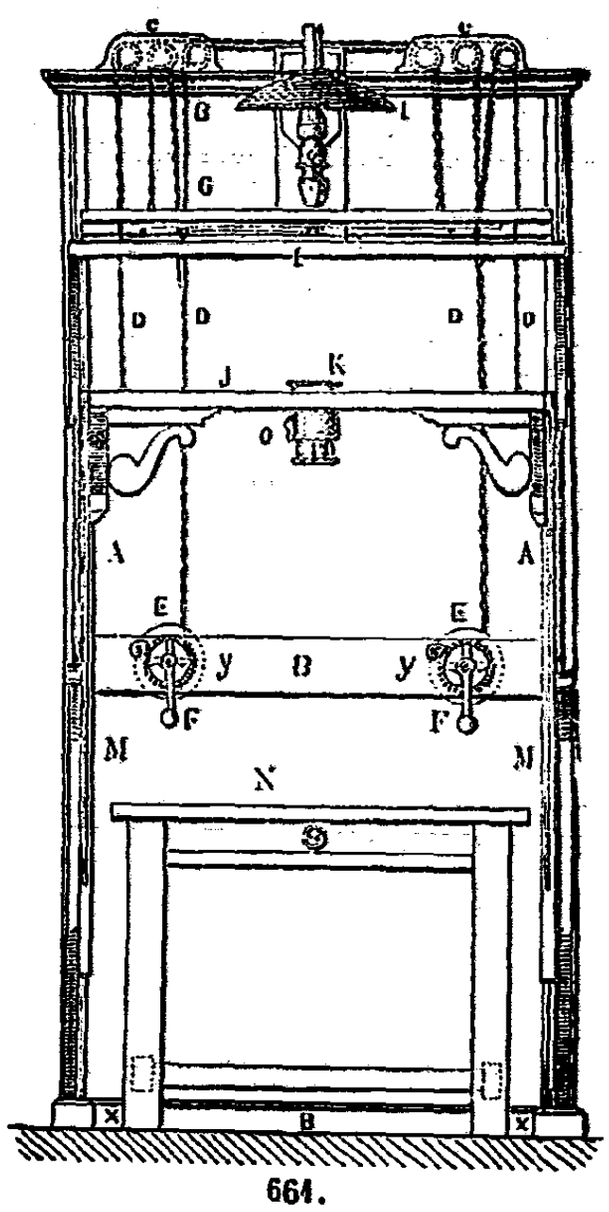
Les deux lentilles sont nécessaires, quand on veut amplifier le dessin de plus du double ; dans le cas contraire, on dévisse la lentille inférieure et on se sert seulement de celle du haut.

Il faut tracer des carrés de 10 à 15 centimètres sur le dessin qu'on veut reproduire, afin de prendre facilement les raccords.

Usage de la machine. On ne travaille avec cet appareil qu'à la lumière de la lampe, ce qui dispense de l'envelopper d'un rideau comme une chambre noire. Le dessinateur se place devant la table.

Lorsqu'il veut reproduire un dessin de la même dimension que l'original, il retire de la chambre noire la lentille inférieure, puis il élève ou abaisse successivement l'un et l'autre châssis I et J, jusqu'à ce qu'il ait trouvé le point de reproduction, en commençant toujours par le châssis inférieur J.

Pour amplifier un dessin du double, on enlève le châssis intérieur, et on cherche le point précis avec le châssis supérieur.



661.

Quant il s'agit de grossir davantage, on remet la lentille inférieure, puis on cherche le point comme nous venons de le dire.

Les cordons M attachés au châssis portant la glace passent sur des poulies de renvoi, et tombent l'un à la droite et l'autre à la gauche du dessinateur : pour faire mouvoir le dessin à droite, on tire un des cordons de gauche ; et pour le faire aller à gauche, un des cordons de droite. Il en est de même pour faire cheminer le dessin d'avant en arrière.

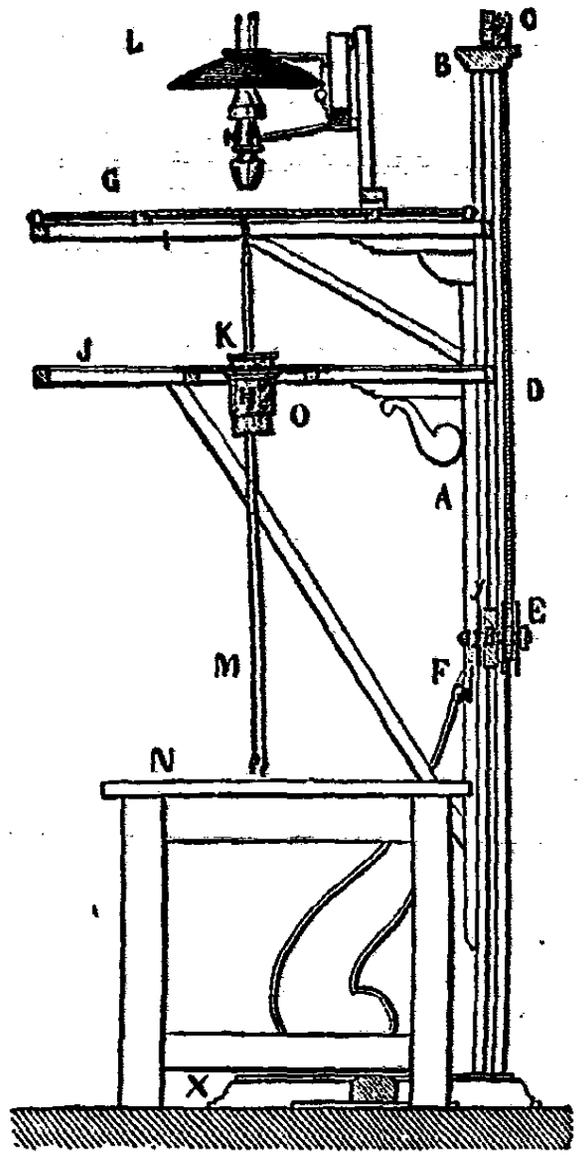
La réduction du dessin s'opère en approchant la chambre noire de la table. En général, pour amplifier un dessin, on élève la chambre noire, et, pour le réduire, on la descend. (*Extrait du Bulletin de la Société d'Encouragement, février* 1845).

INVENTION ET COMPOSITION DU DESSIN DE FABRIQUE. Nous sommes arrivés à la partie la plus importante de l'art du dessin industriel, c'est-à-dire à l'invention et à la composition du sujet ; les machines ne suffisent plus au dessinateur pour accomplir sa tâche : c'est le goût et l'imagination qui inventent, qui créent les dessins de fabrique, et non pas les machines. C'est le goût seul, puissant créateur des belles choses, qui constitue le bon dessinateur, et le goût ne s'apprend pas ; il est pour ainsi dire inné.

Nous citerons à cette occasion un extrait du discours prononcé par M. Belloc, directeur de l'Ecole royale et spéciale de dessin appliqué aux industries, à la distribution des prix, le 8 décembre 1844.

« Mais s'il y a eu beaucoup de fait, il reste encore plus à faire. C'est un des heureux priviléges des arts que de rêver et de chercher partout l'idéal de la perfection. A mesure qu'on avance, la carrière s'allonge, la perspective s'agrandit et recule, vous conviant à avancer toujours, à accomplir tout ce que peuvent le travail,

DESSIN INDUSTRIEL.



662.

la constance, le généreux et infatigable effort humain.

« Gardons-nous donc de nous croire arrivés quand nous ne sommes qu'en route ! — Comme on en a pu juger à l'exposition de 1844, le dessin appliqué à l'industrie a fait de rapides progrès, mais il marche encore d'un pas incertain et chancelant. Il vit plus de réminiscences que d'inspirations. Tantôt il se fait moyen âge, tantôt il se guinde au style Louis XIV, tantôt il se manière et grimace le Louis XV ; trop rarement il est original.

« Souvent aussi, l'ornement n'est point en rapport avec la destination de l'objet orné. C'est là cependant une des premières lois de la bonne ornementation.

« Le goût et la fabrication gagneraient également à ce que le dessinateur s'inspirât toujours de plus en plus des objets qu'il a sans cesse sous les yeux.

« Les plantes de notre pays lui offrent mille gracieux motifs, dès qu'il sait les agencer : elles valent bien le lotus égyptien ou l'acanthe et la palme grecques, et on y trouverait de plus la variété, la souplesse, la vie, qui manquent en général aux compositions d'ornements traditionnels.

« Nos animaux, bien compris, peuvent lutter aussi de grâce et de caractère avec ceux que l'art antique affectionne. Alors sortirait du sol même de notre France un style national, qui aurait de profondes racines dans l'observation populaire, dans les habitudes, dans les affections de la masse du public.

« Au-dessus de ce faisceau d'inspirations vivantes, planerait la figure humaine, si faible à l'exposition de l'industrie, et dont l'étude réclame tout l'homme pour traduire dignement l'homme.

« C'est dans l'espoir de voir surgir un jour ce style *natif*, de le voir vivifier et féconder l'industrie, qu'a été introduite à l'École, depuis 8 à 9 ans, pour le dessin et la sculpture, l'étude de la plante vivante, et cette année, le moulage sur la plante même, dû à un ingénieux procédé et aux soins généreux de M. le professeur Jacquot. » (Voy. ART INDUSTRIEL, *Complément.*)

Maintenant parlons de la composition des dessins. La composition comprend quatre parties, qui sont : l'invention du sujet, la disposition ou l'ordonnance des détails, le dessin au trait ou ombré, et le coloris.

L'invention est le choix des motifs qui doivent entrer dans la composition du dessin.

La disposition est l'arrangement des motifs d'une manière avantageuse et agréable à la vue.

Le dessin consiste à tracer les contours du sujet à l'aide d'un crayon ou d'un fusain, d'une plume ou d'un pinceau, à donner aux images des formes et des dimensions qui doivent satisfaire à des conditions données, à varier et multiplier les esquisses par des raccords, des développements ou changements dans certaines parties.

Le coloris est le mélange des couleurs, l'art de les assortir toutes (voyez CONTRASTE DES COULEURS), et enfin la manière de les employer d'une certaine façon pour produire le plus d'effet possible.

On distingue plusieurs genres de dessins :

Dessin au trait, celui dont les contours sont indiqués au crayon ou à l'encre sans aucune ombre.

Dessin haché ou croquis, celui dont les traits et les ombres sont seulement indiqués par des lignes sensibles et moins finies.

Dessin estompé, celui dont les ombres sont fondues avec du crayon mis en poudre, et à l'aide d'une estompe, (cylindre de papier roulé et taillé en pointe).

Dessin grainé, celui dont les ombres faites avec le crayon, sont composées de points et de petits traits.

Dessin lavé, celui dont les ombres sont faites au pinceau et à l'encre colorée.

PRATIQUE DU DESSIN INDUSTRIEL.

On trace avec un crayon de sanguine, ou blanc, ou noir, et à l'aide de la règle et du compas, les formes et les dimensions extrêmes du dessin ; puis on esquisse, c'est-à-dire on indique par des traits au fusain l'ensemble ou l'idée générale du dessin, sans tâtonnement et sans crainte d'effacer. La composition étant arrêtée, on efface avec de l'amadou tout le fusain inutile ; et s'il s'agit de répéter symétriquement la même composition, on replie convenablement la feuille sur elle-même et on la frotte à l'envers avec l'ongle ou un plioir ; alors les traits au fusain s'impriment sur la partie correspondante du papier. Ensuite, on commence à dessiner les traits au pinceau ou à la plume et à l'encre, en ayant soin de dessiner avec la plus grande régularité et le plus de finesse possible, si le dessin est destiné à être colorié. Les contours des modèles pour les tapisseries à l'aiguille, au contraire, sont dessinées au trait, plus ou moins fort et noir, de manière à bien faire sentir les ombres et les lumières. Les lignes du côté qui reçoit la lumière sont fines ; celles du côté qui en est privée sont plus grosses, et cette grosseur est plus ou moins forte, selon le plus ou moins de relief que l'on veut donner à l'objet.

Généralement on suppose que la lumière part de l'angle supérieure à gauche du dessin et forme avec sa base un angle égal à la moitié d'un angle droit. On considère de plus que la lumière est formée de plusieurs rayons qui se propagent en lignes droites et parallèles. Il résulte donc que les parties qui se trouvent dans l'ombre sont celles que les rayons lumineux ne peuvent atteindre.

Mais, dans les dessins pour tapis, parquet en mosaïque, et généralement pour tous les objets que l'on pose horizontalement, et sous les pieds, il convient de faire partir les rayons lumineux du centre de l'objet, autrement le dessin est nuageux et sans vigueur.

Lorsque l'esquisse est terminée, on applique les ombres et les demi-teintes, de sorte que celles-ci se fondent bien ensemble, pourtant, sans se confondre ni se mêler, ce qui nuirait à la beauté et à l'effet général du dessin. Il faut autant que possible poser du premier coup les teintes convenables, et n'être pas obligé de les augmenter ou de les diminuer, afin de ne point altérer leur pureté et d'éviter aussi les pertes de temps, qui, pour le dessinateur, sont une perte d'argent. Il faut observer aussi de placer sur les endroits culminants ou creux et privés de lumière, des teintes plus ou moins sombres, tandis que les points culminants ou creux et éclairés seront plus lumineux et plus brillants ; enfin, comme les corps opaques projettent toujours une ombre sur une surface quelconque, on l'indique par une teinte sombre distincte et directement opposée à la lumière qui l'a produite ; cette teinte, toutefois, ne doit pas être absolument noire, parce que l'ombre ne produit jamais le noir proprement dit.

Les dessinateurs de fabrique, tels que ceux pour les étoffes imprimées et brochées, les châles, les tapis, les tapisseries et broderies de commerce, etc., ont l'habitude de colorier artistement leurs dessins à l'imitation des aquarelles ; mais ce n'est là qu'une pratique adroite qui a pour objet de flatter seulement l'œil de l'acheteur, et qui ne donne pas d'ailleurs une idée exacte et vraie *du dessin fabriqué*. On doit blâmer cet usage ; de pareils dessins n'apprennent rien au fabricant sur l'effet réel et possible du dessin manufacturé. De là viennent cette foule de déceptions, de dessins détestables qui demeurent improductifs et invendables entre les mains du fabricant ou du détaillant qui a eu l'imprudence de les acheter. Or donc pour éviter ou atténuer le mal autant que possible, il faut exécuter et colorier les dessins tels que la fabrication peut et doit les reproduire.

Pratique du dessin pour la broderie et la tapisserie. Comme nous l'avons dit à l'article BRODERIE (v. ce mot), les dessins sont de plusieurs espèces et composés par des dessinateurs spéciaux. On les reproduit même par des procédés différents selon la nature de l'étoffe.

Ainsi, pour reproduire un dessin soit sur une étoffe légère, comme de la mousseline, de la gaze, du satin, du gros de Naples, soit sur une étoffe très lisse, telle que le stoff, la bombazine, le lasting, soit enfin sur les draps, le casimir et la flanelle, on emploie généralement dans la fabrique le poncis et la poudre résineuse que l'on fixe en promenant un fer chaud sur l'étoffe ; mais pour les dessins destinés à être brodés par les dames, on trace le dessin après qu'il a été poncé, avec une plume et avec une encre composée de gomme arabique, d'un peu de sucre et de fiel de bœuf. On use la pointe et les côtés de la plume avec une pierre ponce afin de faciliter l'écoulement de l'encre.

Lorsqu'on veut avoir un dessin sur le canevas, on place dessous le dessin nécessairement fait sur le papier selon la grandeur voulue ; puis on suit avec un pinceau et un excipient coloré en noir ou en bistre tous les contours du dessin vus et apparents à travers les carreaux ou mailles du canevas ; puis on *ombre* avec une brosse en poils de sanglier coupés courts, en ayant soin de poser la couleur avec un petit *pinceau de peintre* que l'on tient entre les doigts. On conçoit aisément que cette manière de dessiner exige du temps, de la patience et une bonne vue ; du reste, il n'est pas toujours facile de voir le dessin à travers les mailles d'un canevas fin, à la lumière surtout. Dans tous les cas, on peut toujours employer avec un grand avantage le calcographe, qui dispense d'employer le double tracé du calque et du décalque, les poncis, ou tout autre procédé préliminaire.

Moyen de composer des dessins de tapisserie à points

comptés. Le kaléidoscope, que tout le monde connaît, fournit des images multipliées qu'on veut utiliser dans l'impression des *indiennes*, la broderie, etc. (voyez KALÉIDOSCOPE).

Moyen de former ou tourner une bordure en coin, et de copier en sens inverse, soit un coin ou la moitié d'un carré, soit un dessin entier imprimé sur le papier. Il suffit de placer une glace étamée perpendiculairement sur la bordure ou le dessin que l'on veut former en coin, et obliquement par rapport à l'œil du dessinateur, de manière que celui-ci aperçoit l'image de la bordure réfléchie par la glace et formant un coin régulier. Le dessin placé en avant de la glace et coupé par elle, est la partie qu'il faut répéter en sens inverse pour former les coins. On répète de même, soit un coin pour former la moitié d'un carré, soit la moitié d'un carré pour former un carré régulier, soit un dessin tout entier.

Enluminure des dessins. La condition essentielle que doit remplir un dessin enluminé, est que la forme des objets soit élégante et vraie; que les détails se présentent aux yeux sans confusion, sans crudité, avec des couleurs vives et le plus contrastées possible, afin que les lignes qui circonscrivent les objets soient plus distinctes, que les lumières et les ombres soient plus différentes. Pour atteindre le but sans peine et sans tâtonnement, il ne suffit pas de suivre les règles qui se rapportent à la composition du dessin, il faut encore appliquer fidèlement le contraste simultané des couleurs, qui sert à diriger vers ce qui est beau et vrai (voyez CONTRASTE). ROUGET DE LISLE.

DÉTENTE. Lorsqu'on cherche à convertir en travail mécanique la chaleur incorporée dans la vapeur d'eau, ce que la théorie démontre aujourd'hui être le but qu'on peut atteindre à l'aide de la machine à vapeur (voyez MACHINE A VAPEUR), on ne peut approcher des limites fixées par la théorie que par une action complète, c'est-à-dire un double effet de la vapeur telle qu'elle se présente lors de sa formation sous un volume déterminé, à une pression donnée; c'est-à-dire le travail produit en surmontant la pression qu'elle rencontre, ce qui produit un travail P V, P étant la pression et V le volume; puis le travail qu'elle peut engendrer par un accroisement ultérieur de volume, la pression décroissant de P à zéro. Cette quantité ne peut être utilisée que partiellement dans la pratique, les derniers accroissements de volume répondant à des volumes énormes pour des pressions minimes.

La théorie mécanique de la chaleur montre, comme nous le verrons, que la seconde partie du travail, dont nous venons de parler, répond au moins aux 3/4 du travail de la chaleur, ce qui fait bien concevoir comment l'emploi un peu étendu de la détente est le plus grand progrès qui ait été accompli dans ces dernières années, qui a procuré des résultats de la plus haute importance au point de vue de l'économie du combustible.

Dans le présent article, nous ne nous occuperons que des dispositions mécaniques employées pour obtenir des détentes plus ou moins étendues.

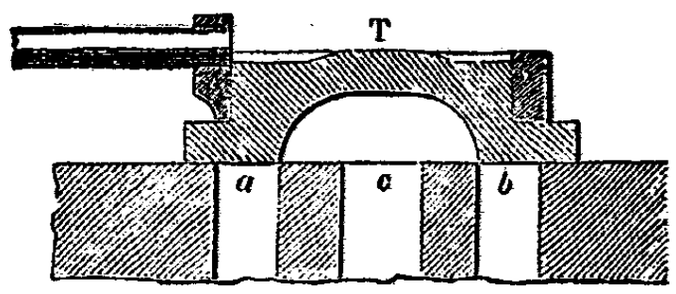
Si on considère les machines à vapeur, on voit que dans les plus simples, la vapeur agit à pleine pression, c'est-à-dire qu'elle est introduite derrière l'une ou l'autre des faces du piston pendant toute la durée de sa course, et c'est au moment même où cette course se termine que les deux extrémités du cylindre sont mises en communication, l'une avec le condenseur ou l'atmosphère, l'autre avec la chaudière (voyez MACHINE A VAPEUR). Ce mode d'action de la vapeur présente de nombreux inconvénients qu'indique la théorie et que nous allons énumérer en peu de mots : 1° Il ne permet pas d'utiliser la *détente* de la vapeur, c'est-à-dire le travail qu'elle est susceptible de développer par son expansion dans le cylindre, entre certaines limites; 2° la communication avec le condenseur ne commençant à s'ouvrir qu'aux extrémités de la course du piston, la condensation ou l'évacuation de la vapeur n'est pas assez rapide, pour qu'il n'en résulte pas un travail résistant très appréciable, pendant la première partie de la course du piston; 3° enfin, la vapeur agissant constamment à pleine pression, il en résulte, aux extrémités de la course du piston, des efforts considérables qui consomment en pure perte une grande quantité de force et tendent à disloquer la machine. Ces vices peuvent être singulièrement aggravés par un léger défaut d'ajustage, ou un dérangement des parties de la machine, et depuis longtemps on a cherché à y porter remède.

Sous le rapport du mode de distribution de la vapeur, on peut diviser les machines à vapeur en deux grandes classes, suivant que cette distribution y est réglée par des soupapes ou des tiroirs. Les premières qui sont des machines fixes, ordinairement de très fortes dimensions et employées sur les mines pour l'épuisement des eaux, sont souvent à simple effet; en fixant à différentes hauteurs les tasseaux qui servent à décrocher les soupapes, on peut admettre la vapeur pendant toute la durée de la course du piston, ou seulement pendant telle partie que l'on voudra de cette course. Dans ces machines, qui ne sont guère répandues que dans le Cornouailles, on utilise la détente dans une très forte proportion, en admettant la vapeur dans le cylindre que pendant 1/8 à 1/4 de la course du piston. Pour éviter autant que possible les déperditions de chaleur, on enveloppe d'une chemise de vapeur le cylindre de la machine, et on recouvre l'enveloppe extérieure en fonte de corps mauvais conducteurs du calorique, tels que la sciure de bois, qui ont pour but de diminuer autant que possible le refroidissement de la chemise de vapeur. On prévient ainsi, lors de la détente, la liquéfaction d'une partie de la vapeur motrice, qui aurait lieu par suite de l'abaissement de température dû au rayonnement des parois et à la dilatation même de la vapeur. D'un autre côté, la présence de l'enveloppe de vapeur maintenant la température sensiblement constante dans l'intérieur du cylindre, l'eau entraînée mécaniquement à l'état vésiculaire par la vapeur, et dont la quantité s'élève quelquefois jusqu'aux 25 centièmes du poids de celle-ci, se vaporise pendant la détente au fur et à mesure que la pression diminue, aux dépens de la chaleur qu'elle prend aux parois du cylindre, et vient par suite augmenter d'autant le travail développé et la limite au delà de laquelle il n'y a plus avantage à prolonger la détente.

Parlons maintenant des machines les plus usitées, dans lesquelles la distribution de la vapeur est réglée par des tiroirs mus par des excentriques; dans les machines sans détente ces excentriques sont calés sur l'arbre du volant à angle droit avec la manivelle, de manière à ce qu'aux limites de la course du piston, le bord intérieur du tiroir coïncide exactement avec le bord extérieur de l'orifice correspondant; lorsque cela n'a pas lieu, on dit qu'il y a *avance* ou *retard* à l'admission de la vapeur. On donne généralement une légère avance à l'admission de la vapeur, lorsque le piston doit prendre un mouvement très rapide, comme dans les machines locomotives. Le piston éprouvant ainsi, à la fin de sa course, une résistance considérable de la part de la vapeur, sa vitesse s'éteint sans qu'il en résulte une forte pression sur l'arbre coudé, qui, dans les locomotives, est l'essieu des roues mouvantes, et sur les paliers qui le supportent : la vapeur se comprime d'ailleurs derrière le piston, au point d'avoir acquis une tension presque égale à celle de la chaudière, au moment où la vapeur motrice est admise, de sorte que la pression sur

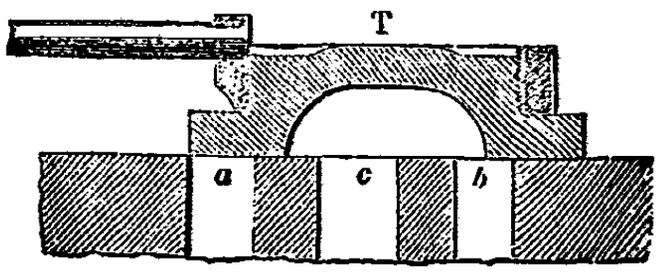
le piston varie d'une manière continue ; sous ce rapport, l'avance à l'admission peut être favorable à la conservation de l'appareil. Si dans l'établissement des autres machines on donne une faible avance, c'est uniquement pour éviter un retard accidentel à l'admission, qui pourrait résulter d'un léger défaut d'ajustage, ou d'un petit dérangement des pièces du mécanisme.

Le moyen le plus simple de tirer parti de la détente dans une assez forte proportion, est de donner aux rebords du tiroir A (fig. 663), une largeur plus grande



663.

que celle des orifices qu'ils doivent masquer et démasquer alternativement, en laissant l'intervalle vide qui les sépare égal à celui compris entre les bords internes des orifices *a* et *b*, qui communiquent avec les deux extrémités du cylindre. L'amplitude des excursions du tiroir est égale à la somme des largeurs de ses rebords ; enfin, on cale l'excentrique sur l'arbre du volant, de telle sorte que l'orifice d'admission de la vapeur commence à être démasqué, au moment où le piston, arrivé à la limite de sa course, doit commencer à rétrograder, disposition que représente la fig. 664. On voit qu'à ce



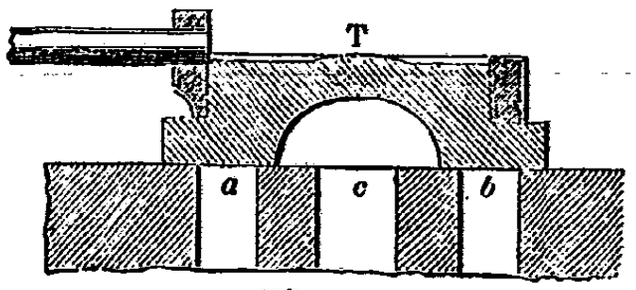
664.

moment l'ouverture *b* est déjà plus ou moins démasquée, pour laisser écouler la vapeur dans le condenseur par l'ouverture *c*. Lorsque le piston est arrivé à l'une des extrémités de sa course, le tiroir devra, d'après le calage de l'excentrique, avoir dépassé le milieu de sa course (fig. 664) d'une quantité égale à la largeur du *recouvrement*, c'est-à-dire de l'excédant de largeur de ses rebords sur l'un des orifices *a* et *b*, et la vapeur cessera d'être admise derrière le piston lorsque le tiroir, après être revenu à la position indiquée par la fig. 664, a encore à effectuer une course en arrière égale au double de la longueur du recouvrement, avant que le piston soit arrivé à l'extrémité de sa course, comme il est facile de le voir en examinant la figure. Il n'y aura donc pas de détente s'il n'y a pas de recouvrement, et la détente sera d'autant plus grande que le recouvrement sera plus considérable ; mais elle ne croîtra pas proportionnellement, parce que la vitesse du piston et celle du tiroir sont variables. Soit *m*, le rapport entre la largeur du recouvrement et celle des orifices *a* et *b*, $\frac{1}{n}$, la fraction de la course du piston pendant laquelle on veut

que la vapeur soit admise, on aura pour déterminer *m*, l'équation $m = n - 1 + \sqrt{n(n-1)}$; de sorte que si *l* est la largeur de l'orifice *a*, la largeur du rebord du tiroir A sera $L = l(1+m) = l\left(n + \sqrt{n(n-1)}\right)$; si, par exemple, on veut que la vapeur soit admise pendant les 0,75 de la course du piston ; $n = 4/3$ et $L = 2l$; la course du tiroir sera dans ce cas de 4 *l*. L'échappement de la vapeur commencera lorsque le tiroir aura encore à parcourir une longueur égale à celle du recouvrement, avant la fin de la course du piston ; mais, par suite des vitesses variables du tiroir et du piston, il aura toujours lieu dans une fraction variable de la course de ce dernier. Soit *k* cette fraction, elle sera donnée par la formule :

$$k = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{l}{L}\right)^2}\right),$$

dans le cas que nous avons cité $k = 0{,}065$, de sorte que la détente n'aura lieu que pendant 0,15—0,065 ou 0,085 de la course du piston. On augmente quelquefois la détente, en retardant le moment de l'échappement de la vapeur, au moyen d'un léger recouvrement intérieur que l'on donne aux rebords du tiroir, comme il est indiqué fig. 665. Cette disposition n'est guère adoptée



665.

que lorsqu'on veut obtenir, au moyen d'un seul tiroir à recouvrement, une détente considérable.

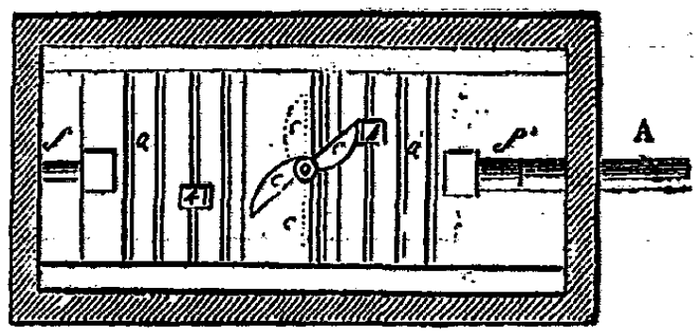
Le tiroir simple à recouvrement est actuellement d'un emploi général, et les bords du tiroir sont réglés de manière à supprimer la vapeur aux 7 à 8/10es de la course du piston.

Lorsqu'on emploie un tiroir simple ou à recouvrement, il n'y a d'autres moyens de proportionner la puissance de la machine aux résistances variables qu'elle a à surmonter, que de laisser tomber la tension de la vapeur dans la chaudière, ou de rétrécir à l'aide du régulateur la communication entre la chaudière et le cylindre, moyens qui équivalent à la destruction en pure perte d'une partie de la puissance motrice que la vapeur pourrait développer.

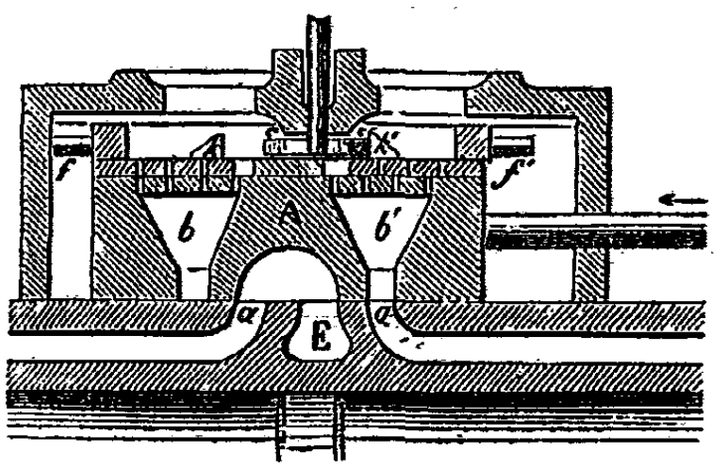
M. Stéphenson a employé dans ses locomotives un système propre à faire varier la course du tiroir à recouvrement, ce qui permet de faire également varier la fraction de la course du piston pendant laquelle la vapeur est admise, ainsi que celle de la détente ; mais ces systèmes, qui se recommandent d'ailleurs par une grande simplicité, ne donnent pas des résultats aussi avantageux que la détente variable obtenue par les mécanismes du genre de ceux que nous allons décrire (voyez LOCOMOTIVE).

M. Farcot est le premier constructeur qui, dès 1834, ait appliqué à ses machines un système de détente variable. Les fig. 666, 667, 668 et 669 donnent les détails du premier système qu'il emploie. Les fig. 666 et 667 donnent le plan et la coupe de la boîte à vapeur, lorsque le piston du cylindre est arrivé au milieu de sa course. La fig. 668 donne la coupe de cette même boîte à vapeur, lorsque le piston est arrivé à l'extrémité de sa course et est sur le point de changer de mouvement, et la fig. 669 en donne une troisième coupe, lorsque le piston est arrivé au milieu de sa course en sens inverse. L'organe principal de la distribution est un tiroir A,

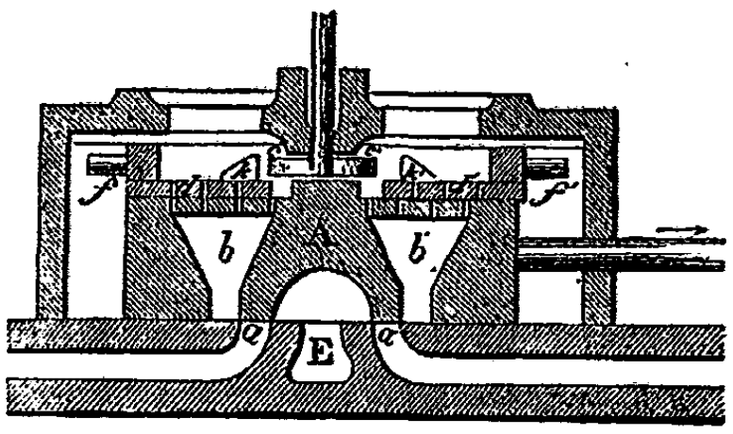
sur lequel se placent deux glissières *d*, *d'*, percées de plusieurs ouvertures rectangulaires, pouvant correspondre avec d'autres ouvertures pratiquées sur le dos du tiroir et communiquant dans des cabinets *b*, *b'*; ces ou-



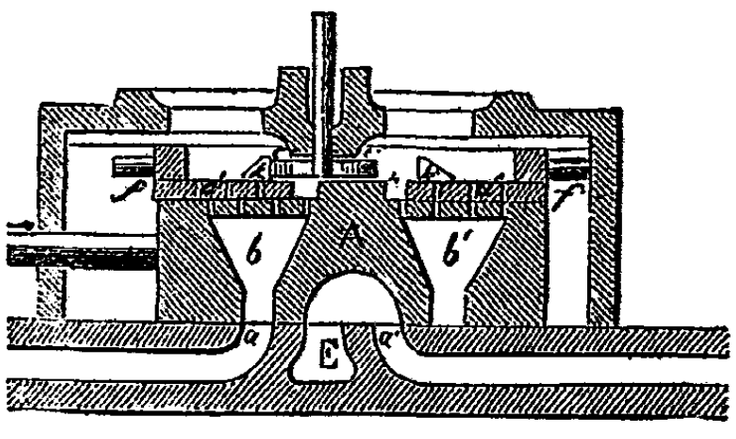
666.



667.



668.



669.

vertures ont une faible largeur dans le sens de la longueur du tiroir et s'étendent sur presque toute sa largeur; leur écartement est égal à la largeur des ouvertures *a*, *a'*, d'admission de la vapeur aux deux extrémités du cylindre, ou à la moitié de l'excursion totale du tiroir A. Lorsque les ouvertures des glissières

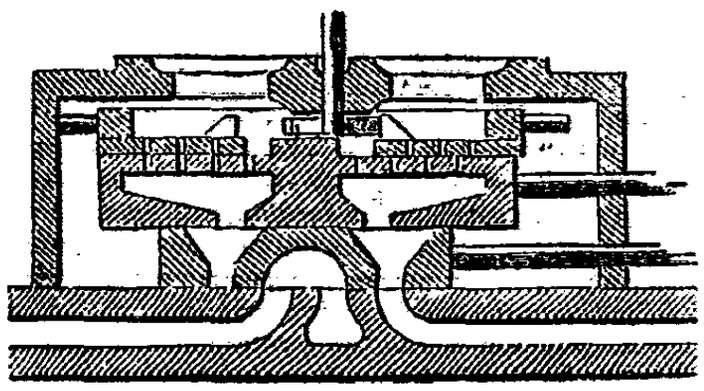
sont mises en regard avec celles du dos du tiroir, la vapeur entre dans les cabinets *b*, *b'*, et peut arriver aux cheminées *a*, *a'*, qui la conduisent sur les faces du piston, quand elles sont découvertes par le mouvement alternatif du tiroir A. Les glissières *d*, *d'*, sont entraînées avec le tiroir, tant qu'elles ne sont pas arrêtées soit par les goujons *f*, *f'*, qui viennent buter contre les extrémités de la botte à vapeur, soit par les talons *k*, *k'*, lorsqu'ils rencontrent la touche *cc*. La longueur des goujons *f*, *f'*, est calculée de manière à replacer les ouvertures des glissières en face de celle du tiroir chaque fois que ce dernier, dans son mouvement alternatif, arrive à la fin de sa course. La touche *c c* (fig. 666) est une double came mobile autour de son axe qui, suivant sa position angulaire, arrête plutôt ou plus tard les talons *k*, *k'*, et par conséquent intercepte plutôt ou plus tard la communication de la botte à vapeur avec les cabinets *b*, *b'*, et par suite avec le cylindre à vapeur; c'est donc en variant la position de la double came que l'on fait varier l'étendue de la détente. Le mouvement du tiroir étant réglé par un excentrique et n'étant pas par conséquent semblable à celui du piston, il faut, pour que les longueurs d'introduction de la vapeur soient égales de chaque côté du piston, indépendamment de l'obliquité des bielles qui transmettent son mouvement, que les courbures des deux côtés de la double came ne soient pas semblables et aient un tracé spécial pour chaque côté du piston. Pour que la vapeur puisse arriver dans le cylindre au commencement de la course du piston, il faut que les ouvertures des glissières et du dos du tiroir soient encore en regard, comme l'indique la fig. 668, lorsque le tiroir a déjà parcouru la moitié de sa course. Le talon *k* venant ensuite buter plutôt ou plus tard contre la came *cc*, la vapeur cessera d'être admise dans le cylindre, et comme l'espacement des ouvertures de la glissière est égal à la demi course du tiroir, elles ne pourront découvrir de nouveau celles du tiroir pendant la fin de son mouvement; lorsque ensuite le tiroir reviendra en sens contraire, le talon *k* quittera la came et la glissière *d* sera entraînée par le tiroir, sans découvrir les ouvertures pratiquées sur le dos de celui-ci; ces ouvertures ne seront découvertes par l'effet du goujon *f*, que lorsque la vapeur ne pourra plus passer du cabinet *b* dans la cheminée *a*, par suite du mouvement progressif du tiroir, comme le représente la fig. 667. Lorsqu'on voudra marcher à pleine pression et sans détente, il suffira d'amener la double came dans la position *c' c'*, indiquée en lignes ponctuées sur la fig. 666; les talons *k*, *k'*, ne pourront plus venir toucher la came pendant l'excursion du tiroir, les glissières seront toujours entraînées avec le tiroir et la vapeur affluera constamment dans les cabinets *b*, *b'*, de sorte que l'on se trouvera tout à fait dans le cas d'un tiroir simple.

Il est à remarquer que ce système de détente ne permet de supprimer l'admission de la vapeur que pendant la première moitié de la course du piston, et que par suite la détente minimum que l'on puisse obtenir est de 1/2; cette latitude est bien suffisante pour le plus grand nombre de cas, lorsqu'on veut que les machines fonctionnent avec économie de combustible.

Si l'on veut que la détente puisse varier pendant toute la course du piston, il faut aussi que les talons *k*, *k*, marchent, ainsi que le tiroir qui les porte, pendant toute la durée de cette course, vers la double came *cc*. Ce résultat a été obtenu par M. Farcot, par la disposition aussi simple qu'ingénieuse indiquée fig. 670, en plaçant les glissières sur un second tiroir glissant sur le dos du premier tiroir, et mené par un excentrique placé à angle droit de celui qui commande le premier tiroir.

Les glissières de M. Farcot laissent facilement passer la vapeur qui peut ainsi arriver sur le piston à une pres-

sion voisine de celle des générateurs ; elles interceptent rapidement le passage au moment où l'on veut com-



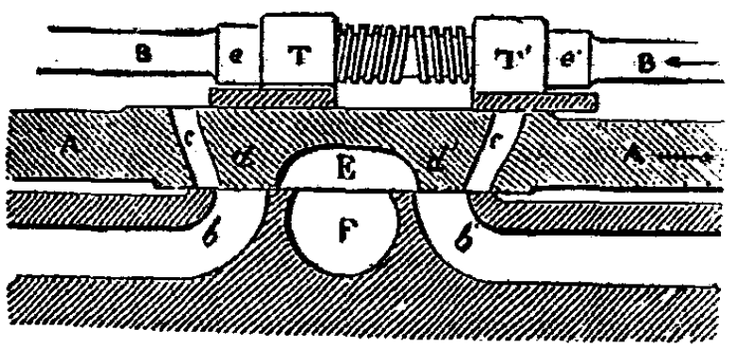
670.

mencer la détente, et permettent de faire varier celle-ci à la main ou au moyen du modérateur, pendant la marche de la machine ; les longueurs d'introduction qu'elles procurent sont à volonté égales de chaque côté du piston, ou inégales si l'on veut avoir égard à la surface perdue par la tige du piston, d'après la forme donnée à chacune des cames de détente. Enfin, on peut avoir des fermetures encore plus rapides que celles dues à l'excentrique circulaire en employant des excentriques à bosses ; mais ceux-ci ne sont pas à recommander, parce qu'ils sont plus compliqués, plus sujets à l'usure, difficiles à réparer, et qu'en définitive l'avantage qu'ils offriraient dans les machines de M. Farcot serait à peine sensible.

Il est facile d'apprécier tout l'avantage que l'on trouve à faire conduire la détente par le régulateur. En effet, quand la résistance que surmonte la machine varie, qu'elle diminue, par exemple, momentanément, la détente augmentant de suite, la pression diminue ; le mouvement reste régulier, et la consommation de vapeur est la moindre possible.

Cet ingénieux système de détente variable, le meilleur de ceux actuellement employés, a valu à son auteur une médaille d'or à la dernière exposition. M. Farcot adopte en outre à toutes ses machines une double enveloppe, l'une de vapeur et l'autre d'air stagnant ; disposition qui sans en augmenter de beaucoup le prix donne lieu à une économie notable de combustible en réduisant considérablement les pertes de chaleur. Ce même constructeur vient de prendre un brevet pour une nouvelle chaudière, d'une disposition très simple, que l'expérience a fait voir comme très avantageuse, l'eau d'alimentation y circulant en sens inverse de la fumée.

Le système de détente variable employé par M. Meyer sur les locomotives, système qui lui a également valu une médaille d'or à l'Exposition de 1849, offre beaucoup d'analogie avec le précédent. La fig. 671 que nous



671.

empruntons au rapport de M. Combes sur les locomotives de M. Meyer, donnera une idée de ce système. Les rebords du tiroir de distribution ordinaire ont une largeur telle qu'ils ne découvrent jamais les lumières, et la vapeur est admise par des ouvertures rectangulaires ménagées dans ces rebords, lorsque celles-ci correspondent aux lumières. E, est l'ouverture d'échappement ; *b*, *b'*, sont les ouvertures des lumières qui aboutissent aux extrémités du cylindre ; *c*, *c'*, les ouvertures rectangulaires ménagées dans les rebords du tiroir A pour l'introduction de la vapeur. On voit que ce tiroir équivaut à un tiroir ordinaire qui, quand il est au milieu de sa course, comme l'indique la figure, masque les deux lumières *b*, *b'*, par les parties pleines *d*, *d'*. Le tiroir A est mené par un excentrique ordinaire calé sur l'arbre des roues motrices, de manière à ce qu'il y ait une très faible avance à l'admission de la vapeur.

Pour obtenir la détente, c'est-à-dire pour supprimer l'admission de la vapeur dans le cylindre, après que le piston a parcouru une fraction déterminée de son excursion totale, M. Meyer a ajouté deux plaques planes ou *glissières, enchâssées dans des cadres qui tiennent aux* deux taquets T, T', fixés sur une même tige B. Ces plaques glissent sur le dessus du tiroir et viennent masquer à propos et alternativement les deux ouvertures rectangulaires ménagées dans les bords de ce tiroir. Les taquets T, T', sont enfilés sur des parties de la *tige B, qui sont filetées en vis à filets carrés*, dont les écrous sont taraudés dans l'épaisseur des taquets. Les spires des deux vis serpentent autour de la tige en sens inverse. Il résulte de cette disposition qu'en imprimant à la tige B un mouvement de rotation autour de son axe, les taquets qui ne peuvent participer à ce mouvement de rotation prennent nécessairement un mouvement longitudinal sur cette tige, en s'approchant ou en s'écartant l'un de l'autre, suivant le sens de la rotation imprimée à la tige. Les taquets peuvent ainsi être amenés jusqu'au contact, et leur écartement intérieur peut varier depuis zéro jusqu'à une limite supérieure déterminée par des bagues *e*, *e'*, fixées sur la tige. La fig. 671 représente les taquets à leur maximum d'écartement.

La tige B traverse les deux parois antérieure et postérieure de la boîte à vapeur. Son prolongement, du côté de l'essieu coudé de la locomotive, est lié par un fourreau cylindrique ou un genou sphérique à une bielle fixée en dessous de la machine, qui reçoit de la tige du piston, par l'intermédiaire d'un petit balancier à bras inégaux, un mouvement rectiligne alternatif qu'elle transmet à la tige B et aux taquets T, T' ; mouvement toujours en sens inverse de celui du piston. Le second prolongement de la tige B, au-delà de la paroi antérieure de la boîte à fumée, porte une roue dentée commandée par une chaîne sans fin qui vient passer sur une seconde roue dentée, que le mécanicien peut faire tourner sur son axe au moyen d'un système de tiges tournant dans des colliers fixés aux parois de la chaudière. La tige qui arrive sur le devant de la chaudière *se termine par une manivelle* sur laquelle le mécanicien agit, quand il veut faire varier, pendant la marche, l'écartement des taquets et l'étendue de la détente qui dépend de cet écartement. Cette étendue est indiquée par une aiguille qui se meut sur un limbe convenablement gradué. L'aiguille indicatrice est commandée, au moyen d'une roue dentée montée sur son axe, par le filet d'une vis sans fin adaptée à la tige que le mécanicien fait tourner, pour agir sur la détente.

La fig. 671 indique clairement le jeu du mécanisme qui produit la détente variable. Supposons, par exemple, le piston à l'origine de sa course directe, le tiroir A a déjà un peu dépassé le milieu de sa course directe, et les glissières fixées aux taquets T, T', sont à l'extrémité de leur excursion directe, prêtes à commencer leur course rétrograde. La lumière *b*, est déjà démasquée de quelques millimètres par le rebord du tiroir : son bord postérieur se trouve un peu au-delà du bord anté-

rieur *c*. Quant à la lumière *b'*, elle est sous l'échappement du tiroir A; par conséquent, la vapeur commence à entrer dans la partie postérieure du cylindre, pour pousser le piston en avant, tandis que la vapeur contenue dans la partie antérieure du cylindre s'écoule, à travers la lumière *b'*, vers le tuyau d'échappement. Le piston du cylindre, marchant en avant, ainsi que le tiroir A, la tige B marche en sens inverse, de sorte que l'ouverture rectangulaire *c* et la plaque T se rapprochent l'une de l'autre. La première se trouve ainsi masquée par la plaque T, et l'admission de la vapeur est supprimée, après que le piston a fait une partie de son excursion d'autant moins étendue que le taquet T est placé plus en arrière sur la tige B, ou que les taquets sont plus écartés l'un de l'autre. L'étendue de la détente augmente donc avec l'écartement des taquets.

Dans le système que nous venons de décrire, on ne peut faire varier la détente qu'entre certaines limites, au-delà desquelles la vapeur serait admise de nouveau dans le cylindre avant la course du piston; mais, en conduisant la tige des taquets de détente par un excentrique, au lieu de la conduire par un balancier lié à la tige du piston, on peut parvenir à admettre la vapeur pendant une fraction quelconque de la course du piston. Cette modification a été du reste introduite par M. Meyer dans la construction de ses machines les plus récentes.

Enfin, nous ferons remarquer que si les dimensions des taquets sont réglées de manière à ce que, pour un certain degré, la détente soit la même sur les deux faces du piston, elle ne sera plus symétrique pour un autre degré quelconque de détente, inconvénient essentiellement inhérent au système employé, et que l'on ne pourrait faire disparaître en donnant aux deux vis des pas inégaux.

Le système de détente variable de M. *Galifant* consiste dans l'emploi d'un tiroir analogue à celui de M. Meyer, mais dans lequel les deux cheminées pratiquées dans le tiroir et destinées à admettre la vapeur dans le cylindre sont courbes et viennent se réunir à une même ouverture placée au milieu du dos du tiroir, par laquelle elles communiquent avec la boîte à vapeur. Un seul taquet mû par un excentrique glisse sur le dos du tiroir. La détente varie suivant le calage de l'excentrique de détente.

Enfin le système de détente variable de M. *Trésel* consiste en un premier tiroir tout à fait semblable à celui de M. Meyer, mené par un excentrique circulaire, sur le dos duquel se meut, au lieu de taquets, un tiroir de détente construit comme un tiroir de distribution ordinaire et mené par un excentrique à bosses; les courbes des bosses de cet excentrique sont calculées de manière à opérer très rapidement l'ouverture et la fermeture complète des cheminées du premier tiroir, avantages que l'on obtient du reste d'une manière plus simple et tout aussi efficace par le système de M. Farcot. On fait varier la détente, comme dans le système précédent, en faisant varier la position de l'excentrique sur l'arbre de rotation. L'inconvénient que présente ce système, du reste très habilement étudié, consiste dans l'emploi d'excentriques à bosses, emploi que l'on doit rejeter toutes les fois qu'il est possible de s'en passer, à cause de leur complication, des causes d'usure qu'ils présentent et de la difficulté de les réparer facilement; ce n'est que dans les filatures qu'on doit s'en servir parce qu'il est impossible de faire autrement.

En outre, dans ces deux derniers systèmes, on ne peut régler la détente au moyen du modérateur de la machine, lorsque celle-ci est en marche, comme cela s'exécute si aisément avec les systèmes de MM. Farcot et Meyer.

P. DEBETTE.

DEXTRINE. Voyez AMIDON.

DIAMANT (*angl.* diamond, *all.* diamant). D'après les expériences de Guyton-Morveau et de Dumas, le diamant est du carbone parfaitement pur qui, chauffé à une haute température dans de l'oxygène, brûle sans résidu en se transformant en acide carbonique. C'est le plus dur de tous les corps; il possède un éclat extrêmement vif et caractéristique connu sous le nom d'éclat adamantin. La densité est de 3,50 à 3,55. Par le frottement il acquiert l'électricité positive. Il cristallise dans le système régulier; on le trouve ordinairement en octaèdres, en cubes, en tétraèdres ou en dodécaèdres rhomboïdaux à faces très souvent curvilignes. Il possède quatre clivages principaux qui conduisent à l'octaèdre régulier et un grand nombre de clivages secondaires, ce qui le rend très facile à pulvériser malgré sa dureté. L'existence de ces clivages est d'une grande importance pour le lapidaire, en lui permettant d'abréger considérablement le travail de la taille. Il existe des diamants dits *diamants de nature* qui se trouvent à l'état brut sous forme sphéroïdale, qui ne possèdent aucun clivage et qu'on n'a pu parvenir jusqu'ici à tailler par aucun procédé; on les pulvérise pour faire de l'égrisée : l'étude de cette variété de diamants est encore à faire et serait fort intéressante; ce sont probablement des diamants macles.

Le diamant possède un pouvoir réfringent et un pouvoir dispersif très considérable, ce qui avait fait présumer à l'illustre Newton que c'était un corps combustible bien avant que l'analyse fût venue vérifier ce fait. Ce sont ces propriétés auxquelles le diamant taillé doit ses magnifiques effets de lumière.

Le diamant est le plus communément incolore et transparent, cependant on en trouve de légèrement colorés, et même il y en a de noirs et presque opaques. Après les diamants jaunes, les verts sont les plus communs; les bleus sont beaucoup plus rares et ne sont presque jamais d'une belle eau. Les diamants roses sont les plus estimés des diamants colorés, et lorsqu'ils sont sans défaut et d'une belle nuance, ils sont même d'un prix plus élevé que les diamants incolores. Cependant les diamants incolores sont les plus chers.

Le diamant devient phosphorescent lorsqu'on le chauffe presque au rouge, ou par l'insolation, c'est-à-dire lorsqu'on l'expose à l'action des rayons solaires, et dans ce dernier cas, il conserve sa phosphorescence pendant un certain temps après qu'il a été soustrait à l'action de la lumière; ce sont les rayons bleus du spectre solaire qui lui donnent la phosphorescence la plus durable.

La taille du diamant date de 1476. Elle est fondée sur l'observation faite par *Louis de Berquem*, que deux diamants frottés mutuellement l'un contre l'autre s'usent et se réduisent mutuellement en poussière. On exécute cette opération au moyen d'une plate-forme en acier très doux. Le diamant à polir est soudé avec de la soudure d'étain dans une coquille en cuivre, qui est elle-même pincée dans une tenaille en acier. Cette tenaille, qu'on tient chargée d'un poids, presse le diamant sur la plate-forme à laquelle on imprime un mouvement de rotation très rapide, et qu'on a préalablement arrosée avec de la poussière de diamant ou *égrisée* délayée dans de l'huile. On use et on polit successivement toutes les faces. Pour former les facettes, on présente toujours la pierre à la meule dans le sens du fil. Nous définirons plus loin le sens de cette expression.

M. Halphen, le riche et intelligent marchand de diamants, a donné dans le *Dictionnaire du commerce et de la navigation* de curieux renseignements sur le travail et le commerce des diamants; nous emprunterons quelques détails intéressants à cette étude.

La meule donne au diamant la forme par facettes et le poli; mais très-souvent le diamant doit subir l'opé-

ration préliminaire du *clivage*. Cliver un diamant, c'est le fendre en deux parties à l'aide d'un couteau d'acier sur lequel on imprime un choc très-sec à l'aide du marteau. Le diamant se clive toujours suivant une surface parfaitement nette. Les cliveurs appellent ces directions le *fil* de la pierre, et les minéralogistes les nomment faces de clivages. En chaque point d'une pierre, un lapidaire exercé trouve toujours le fil.

Ainsi, il y a beaucoup de diamants qui subissent les trois opérations suivantes : on les clive, on les facette et on les polit. Les trois opérations constituent la taille.

Avec les diamants bruts on obtient par la taille des pierres de formes variées qui constituent dans le commerce autant de marchandises diverses.

Les trois grandes divisions sont : le *brillant double taille*, le brillant simple taille et la rose.

Le brillant affecte une forme qu'on obtient par le procédé suivant :

Qu'on imagine un octaèdre régulier (forme la plus fréquente du diamant), saisi par deux sommets ou *deux pointes* opposées, et qu'on divise par la pensée en six parties égales la distance de ces deux pointes, ou en trois parties chaque demi-distance. On supprime au sommet supérieur deux parties en coupant le diamant; on formera ainsi la table ou face supérieure. Au sommet inférieur et à partir du sommet on en coupera une partie seulement; on formera ainsi la culasse ou facette inférieure. Le diamant aura deux faces parallèles et seize pans coupés, dont huit inclinés dans un sens et huit inclinés symétriquement en sens inverse.

Les huit pans supérieurs reçoivent chacun quatre petites facettes, et leur réunion forme ce qu'on appelle la *couronne*. Les huit pans inférieurs reçoivent également quatre facettes chacun, et leur réunion forme le *pavillon*. Ces petites facettes sont ou des triangles ou des losanges. *Dans un brillant*, il y a donc 64 facettes, une table et une culasse.

Le brillant ainsi taillé est dit à *double taille*. Si on n'a fait que 13 facettes sur le dessus et 9 sur le dessous, il est dit à *simple taille*. Cette dernière taille n'est usitée que pour les diamants de petites dimensions.

Le *demi-brillant* est une pierre plate par dessous et ayant à sa partie supérieure une table ou une couronne, en un mot c'est *un brillant scié en deux* parties égales.

Les *pendeloques* ont la forme d'une demi-poire ; elles ont une table et une culasse, et sont surchargées de facettes du côté de la culasse.

La *rose* a le dessous plat et le dessus s'élève en dôme taillé à facettes au nombre de 24. La pointe du dôme pyramidal est formée par la réunion de six faces triangulaires. Six autres triangles appliqués base à base aux précédents ont leurs sommets sur le contour de la table inférieure. Les six intervalles laissés par ces triangles sont taillés chacun en deux facettes. Une rose ainsi faite s'appelle *rose de Hollande*. La rose *demi-Hollande* n'a que 18 facettes. La *rose de Brabant* en a 12 seulement.

Ceci se rapporte au diamant cristallisé. — Le diamant cristallin, formé de petits cristaux enchevêtrés, ne peut se tailler, est réduit en poudre, sert à polir les premiers et a reçu le nom de *bord*.

Le diamant amorphe est gris d'acier ou noir; il n'a de valeur que pour tailler le diamant, quoique moins avantageux que le bord, et comme outil très-dur, pouvant servir à tailler et tourner le granit, emploi qu'il a reçu avec grand succès.

Les petits diamants que l'on enchâsse dans des tiges et que l'on emploie pour couper le verre doivent présenter un angle curviligne, autrement ils ne feraient que rayer le verre sans le couper. Il faut au contraire rejeter ceux qui présentent cet angle, lorsqu'on veut seulement graver sur le verre. (*Voy. Complément*, article DIAMANT.)

Enfin, on fait des lentilles simples achromatiques en diamant, d'un prix très-élevé il est vrai, mais qui jouissent d'un grossissement considérable, et présentent, par suite d'un grand pouvoir réfringent que possède le diamant, une image beaucoup mieux éclairée que les microscopes ordinaires.

Le diamant tient le premier rang parmi les pierres précieuses par son éclat, sa dureté et son prix. On compte dans le commerce son poids en *carats* qui se divisent en quatre grains. Le carat vaut 205 milligrammes.

Le prix des diamants, toujours très-élevé, est cependant susceptible de grandes variations : lorsqu'ils ne sont pas propres à la taille, on les vend en général de 30 à 40 fr. le carat. Dans le cas contraire, quand leur poids est au-dessous d'un carat, ils se vendent à un prix variable; faisons les calculs pour le prix de 1840, à savoir 48 fr. le carat. Si leur poids dépasse un carat, on obtient la valeur du diamant en multipliant le carré de son poids, exprimé en carats, par le prix du carat. Toutefois ces bases ne sont applicables qu'aux diamants bruts; lorsqu'ils sont taillés, leur valeur est beaucoup plus élevée, et varie avec la forme, le poids, la teinte, etc. En général, on admet qu'un diamant brut perd la moitié de son poids à la taille et que, par conséquent, un diamant taillé a une valeur quadruple d'un diamant brut de même qualité et de même poids. D'après cela, la valeur d'un diamant taillé

de	1	carat . .	serait de	192	francs.
—	2	— . .	—	768	—
—	3	— . .	—	1,728	—
—	4	— . .	—	3,072	—
—	5	— . .	—	4,800	—
—	6	— . .	—	6,912	—
—	7	— . .	—	9,408	—
—	8	— . .	—	12,288	—
—	9	— . .	—	15,552	—
—	10	— . .	—	19,200	—
—	20	— . .	—	76,800	—

Au delà de 10 carats, le prix des diamants croît plus rapidement qu'il n'a été dit. Le carat au lieu de 48 vaut 90 à 100 fr. aujourd'hui.

Le plus gros diamant connu est celui du rajah de Bornéo; il est d'une très-belle eau et pèse 367 carats, et a la forme d'un œuf. Vient ensuite celui que possédait le Grand-Mogol et qui pesait 279 carats, d'après Tavernier qui l'estimait à 11 millions 1/2 de fr. Le diamant de l'empereur de Russie est brut, de la grosseur d'un œuf de pigeon, et pèse 193 carats; il a été acheté par l'impératrice Catherine 2,360,000 fr. comptant et une rente viagère de 115,000 fr. Le diamant de l'empereur d'Autriche est légèrement jaunâtre et pèse 139 carats; il est estimé 2 millions 1/2. Le plus beau des diamants connus est le Pitt ou le Régent, qui appartient à la couronne de France et pèse 136 carats; il en pesait plus de 400 avant d'être taillé; il est estimé 4 millions 1/2 de fr., quoiqu'il n'en ait coûté en réalité que 2 millions 1/2. Le Koh-i-Now, appartenant à la reine d'Angleterre, pesait avant la taille 180 carats et après 103. Le plus gros diamant trouvé jusqu'ici au Brésil, car les autres viennent de l'Inde, est l'Étoile du Sud à MM. Halphen; il pesait avant la taille 254 carats, taillé 125.

Les diamants se rencontrent au Brésil et dans plusieurs contrées des deux Indes, principalement dans les royaumes de Visapour et de Golconde, et l'île de Bornéo; on a aussi rencontré isolément, dans l'Oural, quelques diamants, mais en trop faible quantité pour donner lieu à une exploitation. Les terrains dans les-

quels on les trouve sont toujours des terrains d'alluvion très-modernes. Au Brésil, ces terrains sont principalement formés par la destruction des roches ferrugineuses qui appartiennent à la formation du schiste argileux, et on connaît même quelques rares échantillons de diamants enchâssés dans l'hématite brune (fer oxydé hydraté) subordonnée à cette formation. On en retire le diamant par le lavage.

Les diamants qui présentent une croûte verdâtre sont, en général, les meilleurs, et sont ceux qui possèdent la plus belle eau après la taille.

On estime que le Brésil produit annuellement de 20,000 à 30,000 carats, ou de 4 à 6 kilogrammes de diamants bruts, et les frais d'extraction s'élèvent moyennement à 32 fr. 20 c. par carat.

DIASTASE. La diastase, découverte par MM. Payen et Persoz, est un ferment très-remarquable contenu dans l'orge germé ou malt, et qui lui communique la propriété de transformer l'amidon en dextrine et en sucre de raisin (voyez AMIDON et FERMENTATION). On l'obtient ainsi qu'il suit : on fait digérer du malt d'orge broyé avec une petite quantité d'eau froide ; on exprime ensuite le malt, on filtre la liqueur, et on la chauffe au bain-marie à 70° C., afin de coaguler la plus grande partie de l'albumine végétale que l'on sépare ensuite par filtration. On ajoute à la liqueur filtrée de l'alcool pour en précipiter la diastase ; on la recueille sur un filtre, on la redissout dans l'eau, et on la précipite de nouveau par l'alcool ; enfin, on la dessèche à une douce chaleur. La diastase ainsi obtenue est une substance blanche, solide, très-soluble dans l'eau et *insoluble* dans l'alcool *concentré*. Sa dissolution aqueuse n'a aucune réaction acide ou alcaline et est presque sans saveur ; au contact de l'air, elle se décompose à la longue et devient acide ; elle se décompose également à la température de l'ébullition.

DIFFÉRENTIEL (MOUVEMENT). Si l'on produit par action extérieure un déplacement de partie seulement d'une machine (*il n'y a nul intérêt à examiner* le cas d'un mouvement imprimé à la machine tout entière), en général la communication cessera entre cette partie de la machine et les autres. Il ne peut en être autrement, qu'autant que les mouvements que prennent les guides des pièces sont tels que celles-ci continuent à agir l'un sur l'autre comme lorsque les axes et les guides sont fixes. Ce dernier cas n'est donc qu'un cas particulier d'un problème plus général, celui où la vitesse des guides des pièces se réduit à zéro. C'est ce que nous allons rendre clair par un exemple.

Lorsqu'une vis se meut, la vitesse du mouvement de rotation de la tête de la vis est à son mouvement rectiligne dans le rapport du rayon du filet au pas de la vis. Mais ceci suppose que l'écrou est fixe, ce qui n'est qu'un cas particulier du mouvement, celui qui correspond à la vitesse zéro ; si, au contraire, il pouvait se mouvoir comme la vis, la vitesse de celle-ci serait évidemment modifiée ; si, par exemple, il tournait en même temps que la vis avec une vitesse de rotation variant de zéro à celle de la vis, la translation rectiligne de celle-ci dans le même temps varierait de la longueur du pas à zéro.

On voit que par une disposition semblable la vitesse absolue d'un organe change suivant la vitesse des guides du mouvement.

Les mouvements produits dans les systèmes qui réalisent ce genre de disposition sont généralement appelés *mouvements différentiels*, parce que la vitesse absolue est souvent une différence, plus généralement une combinaison de deux vitesses comme dans l'exemple donné plus haut, et que ce n'est que par un mouvement de même nature que celui de l'organe que les guides peuvent modifier la vitesse de celui-ci. Nous voyons que l'étude de ces systèmes revient à la solution de ce problème :

Déterminer le rapport des vitesses dans un organe de transformation de mouvement lorsque le guide de l'organe prend un mouvement de même nature que celui de cet organe, d'où résulte avance ou retard du mouvement, combinaison de vitesses.

Le problème ainsi nettement posé va nous permettre de réunir dans une même étude des systèmes fréquemment utilisés, dont l'analogie n'a jamais été clairement indiquée.

Passons en revue les diverses transformations du mouvement et les types des organes qui servent à les produire. Nous en déduirons l'indication des systèmes possibles de mouvements différentiels.

I. Mouvement rectiligne en mouvement rectiligne.

Plans inclinés. On sait qu'à l'aide de deux plans inclinés on peut transmettre le mouvement rectiligne de la barre AB à la barre CD. Pour cela le plan incliné P étant fixé à la barre AB (fig. 1), le plan

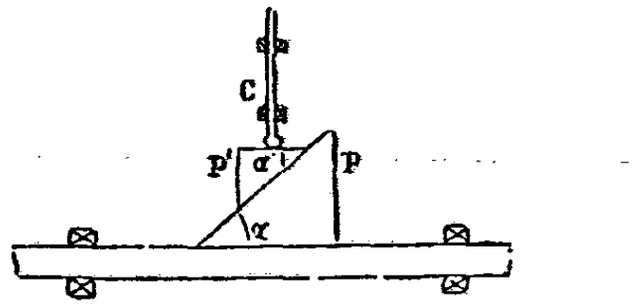


Fig. 1.

incliné P', qui repose sur le premier, est assujetti à ne pouvoir que s'élever dans la direction de CD. Mais s'il devient libre, si on lui donne la faculté de se mouvoir aussi dans la direction de AB (qui est celle des guides de cette pièce), qu'il ait un mouvement propre parallèle à AB, il est clair que le mouvement de CD résultera de la somme ou de la différence des mouvements des deux plans inclinés suivant qu'ils iront l'un vers l'autre ou s'éloigneront.

Poulies mobiles. — La poulie mobile, dont le mouvement jouit de propriétés si évidentes à priori, qu'on peut faire reposer sur elles, à l'exemple de Lagrange, tout l'édifice de la théorie de la mécanique analytique, est essentiellement un organe différentiel. Le mouvement rectiligne de l'axe de rotation de la poulie vient s'y ajouter au mouvement semblable de la corde qui porte la poulie. En effet, dans la poulie mobile, l'une des extrémités de la corde est fixée en un point A, la poulie repose sur la corde, et à sa chape est suspendu d'ordinaire un poids qu'il s'agit d'élever, est attachée la résistance qu'il s'agit de surmonter. Les cordons étant parallèles, on voit que si l'extrémité B s'élève de la quantité BB', le point C, où le poids est suspendu, s'élèvera aussi verticalement d'une certaine quantité *CC'*.

Or, quand le point B sera parvenu en B', la portion de la corde soutenant la poulie, comprise entre le point A et le point B fixe dans l'espace, se sera raccourcie de la quantité BB', mais ce raccourcissement se répartissant également sur deux cordons parallèles, chacun d'eux ne se sera raccourci que de la moitié de BB', et la figure restant la même, la poulie, par suite le point C, se seront élevés verticalement d'une quantité égale à cette moitié. Ainsi $CC' = \frac{1}{2} BB'$, et la vitesse rectiligne de l'axe de rotation sera moitié de celle du point B.

Mouffles. — On obtient un rapport quelconque de vitesse par la répétition d'éléments semblables, ce qui

DIFFERENTIEL.

constitue une moufle. Celle-ci se compose d'un système de poulies fixes P' P'' P''', dont les axes sont supportés par une pièce fixe appelée chape, qui supporte l'axe commun (fig. *1 bis*); d'un second système Q, Q', Q'' de poulies mobiles réunies dans une même chape mobile, à laquelle est suspendue la résistance à vaincre qui est habituellement un poids à soulever, et qui pourrait être une résistance quelconque. La corde, fixée par une de ses extrémités à la chape fixe en P, passe alternativement sur une poulie de chaque système dans l'ordre P, Q, P', Q', P''.

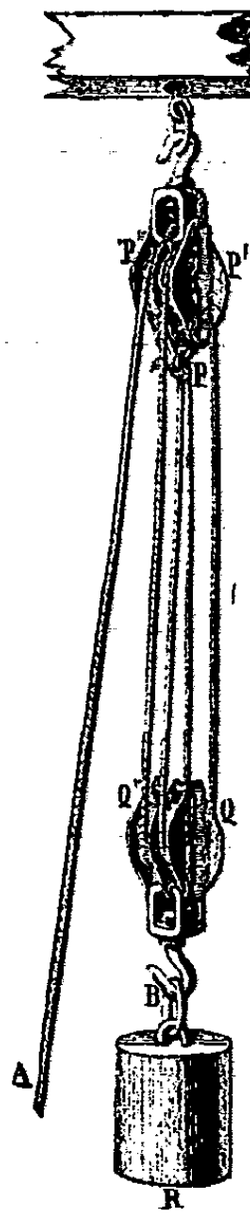


Fig. *1 bis*.

Lorsque l'extrémité A de la corde s'abaisse verticalement de la quantité AA', le point B où le poids est suspendu s'élève de la quantité BB', qui est égale au quotient de AA' par le nombre des cordons. En effet, quand le point A sera parvenu en A', la portion de la corde comprise entre le point d'attache et le point géométrique A fixe dans l'espace, se sera raccourcie de la quantité AA'; mais ce raccourcissement étant réparti également sur tous les cordons à cause de la symétrie de la figure, le mouvement d'un point de l'axe mobile sera égal au quotient de AA' par le nombre des brins passant autour des poulies mobiles, la chape mobile et par suite le point B se seront donc élevés d'une quantité égale à ce quotient. Donc n étant le nombre des cordons, on a $BB' = \frac{AA'}{n}$. La vitesse du point B est donc n fois moindre que celle du point A, puisque dans le même temps il parcourt un espace n fois moindre. Disons de suite que les résistances dues à la roideur des cordes diminuent les avantages de ce système dans la pratique.

III. Mouvement circulaire en mouvement rectiligne.

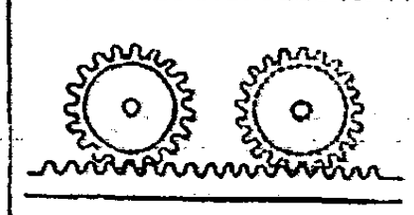
Les organes qui servent à cette transformation peuvent fournir deux systèmes différentiels, suivant qu'on considère le mouvement circulaire ou le rectiligne, et qu'on laisse prendre au guide de l'un des éléments le mouvement de l'autre.

PREMIER CAS. — GUIDES A MOUVEMENT RECTILIGNE.

1° *Du mouvement circulaire.*

Le moyen d'astreindre l'axe du mouvement circulaire à se mouvoir en ligne droite consiste à le rendre solidaire d'une pièce glissant dans des guides rectilignes, de faire par exemple porter les coussinets par une pièce qui glisse sur une barre rectangulaire. Disons en passant que cette combinaison d'un mouvement rectiligne et d'un mouvement circulaire fournit un instrument simple propre à tracer le cycloïde, si un point du cercle est muni d'un traçoir, et que l'axe du cercle soit porté par un petit bâti dans lequel est pratiquée une douille qui glisse sur une règle.

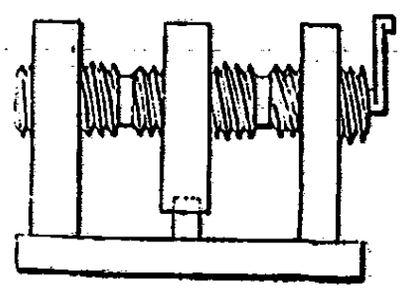
Si la roue dont l'axe est ainsi mis en mouvement, est munie de dents qui engrènent avec une crémaillère (fig. 2) dont la direction est parallèle à la ligne que décrit le centre de la roue, on aura un mouvement différentiel, et le mouvement C de la crémaillère pour un tour de la roue et un déplacement l de son axe, sera :



2.

$$C = 2\pi r \pm l.$$

Vis différentielle. Si l'axe du mouvement circulaire est à angle droit avec la direction du mouvement rectiligne, la vis fournira un système différentiel en faisant prendre un mouvement rectiligne parallèle à l'axe, aux collets de la vis que l'on suppose fixes dans la disposition ordinaire. Le moyen le plus naturel d'obtenir ce résultat consiste à fileter les collets de la vis et à transformer en écrou les coussinets qui les reçoivent, ce qui fournit le système inventé par M. Prony, et auquel il a donné le nom de *vis différentielle* (*fig. 3*). *Il consiste dans* un arbre portant deux pas de vis; ceux-ci traversent deux supports formant écrous, et par suite l'axe avance d'un pas par chaque tour de manivelle; si le milieu de l'axe est formé d'une vis d'un pas différent du précédent, et porte un écrou qu'un guide empêche de tourner, celui-ci montera par chaque tour d'une quantité égale au pas de la vis. Son mouvement absolu, égal au transport de l'axe moins son mouvement propre, sera donc égal à la différence des deux pas de vis ($h - h'$), quantité qu'on peut obtenir aussi petite qu'on le voudra, en conservant au filet de la vis toute la solidité nécessaire.

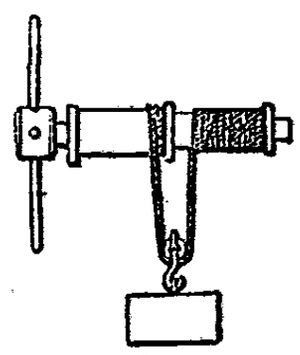


3.

2° *Du mouvement rectiligne.*

Treuil différentiel. On appelle ainsi un treuil tel que le mouvement rectiligne de la résistance à surmonter s'y trouve la différence de deux mouvements rectilignes, produits par les enroulements des deux bouts de la corde.

Considérons un treuil employé à soulever un fardeau, la corde est guidée en ligne droite par la pesanteur lors de son enroulement autour du cylindre. Si le poids est suspendu à une poulie mobile soutenue par une corde pliée en deux parties, dont les extrémités s'enroulent dans deux sens opposés sur le cylindre du treuil (fig. 4), et que ce cylindre soit formé de deux parties de diamètres différents, on aura le treuil différentiel. Le fardeau n'est plus alors soulevé pour chaque tour que de la moitié de la différence des deux chemins parcourus par la corde sur les deux cylindres,



4.

ou par tour de $e = 2\pi\left(\frac{R - r'}{2}\right) = \pi(R - r)$.

Le travail résistant dû à la raideur de la corde détruit les avantages apparents de ce système.

DIFFÉRENTIEL.

DEUXIÈME CAS. — GUIDES A MOUVEMENT CIRCULAIRE.

Considérons maintenant le cas où l'on donne un mouvement circulaire à la pièce mue d'un mouvement rectiligne.

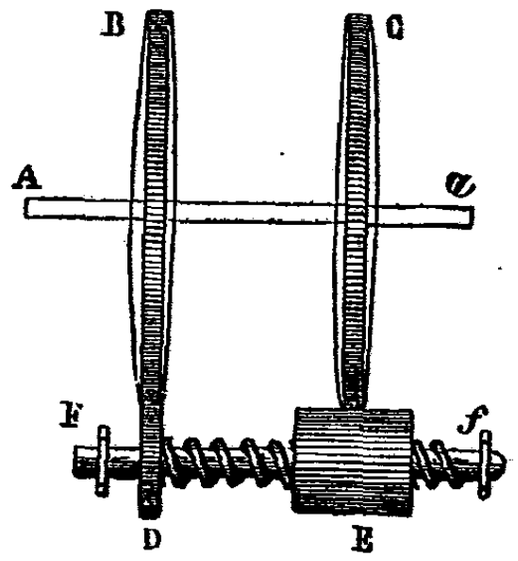
Soit d'abord le cas d'une crémaillère. Si on fait tourner celle-ci autour de l'axe de rotation de la roue en montant ses guides sur un disque tournant autour de cet axe, on voit :

1° Que si le disque a la même vitesse angulaire que la roue, la crémaillère n'aura qu'un mouvement de rotation ;

2° Que si cette vitesse angulaire est différente, la crémaillère aura en même temps un mouvement de rotation et un de progression, ce dernier étant pour deux angles ω, ω' parcourus en un même temps $r(\omega' - \omega)$. Si $\omega' = 2\omega$, rapport bien facile à établir par deux engrenages moteurs, cette progression sera $r\omega$, et, en roulant sur la circonférence, la crémaillère tracera par un de ses points les développantes du cercle primitif; dans tous les cas, des développantes allongées ou raccourcies.

Soit maintenant le cas de la vis, et supposons que l'écrou ait la liberté de tourner autour du même axe que la vis. Cette disposition pourra être réalisée en montant sur l'axe moteur deux roues qui engrènent, l'une avec une roue montée sur la tête de la vis, l'autre avec le contour extérieur de l'écrou formant pignon.

A a est l'axe moteur (fig. 5) sur lequel sont montées



5.

les deux roues B et C, F f est l'axe de la vis tournant sur deux collets; vers sa tête est montée une roue D, et elle porte un pignon E dont l'intérieur est taillé en écrou, qui peut par suite avancer ou reculer en tournant autour de la vis.

Si les roues B, C, D, E étaient égales deux à deux, il est clair que l'écrou et la vis tourneraient ensemble comme s'ils ne faisaient qu'une seule pièce; mais si les rayons sont différents, il en résulte un mouvement relatif, un mouvement différentiel, dont la vitesse résulte de la différence des vitesses des mouvements composants.

En effet, représentons par B, C, D, E, les nombres de dents des roues représentées par les mêmes lettres, et par P le pas de la vis. Les rotations simultanées des axes A a, F f et de l'axe de l'écrou étant L, L_r, L_e, on a :

$$L_e = \frac{LC}{E}, \quad L_r = \frac{LB}{D}.$$

Mais si la vis fait L_r rotations et l'écrou L_e dans le même sens, la vis et l'écrou font $L_r - L_e$ rotations l'un par rapport à l'autre, et par suite le déplacement de l'écrou parallèlement à l'axe de la vis, dont le pas est P, est :

$$(L_r - L_e)\,P = L\,P\left(\frac{B}{D} - \frac{C}{E}\right),$$

quantité qu'on peut rendre très petite par rapport à L.

Cette combinaison est employée dans quelques alésoirs (soit qu'on fasse déplacer la vis, soit que ce soit l'écrou qui se déplace); M. Poncelet en a fait une application à un dynamomètre à ressort. (Voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.)

III. Mouvement circulaire en mouvement circulaire.

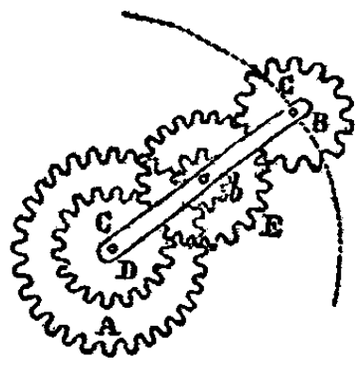
Le mouvement différentiel existera dans un système de roues ou de pièces douées d'un mouvement de rotation, lorsque l'on donnera à l'axe de rotation d'un des systèmes un mouvement de rotation autour de l'autre axe. C'est évidemment d'une combinaison de roues dentées que pourra résulter ce mouvement de rotation.

DES DIVERS SYSTÈMES ÉPICYCLOÏDAUX.

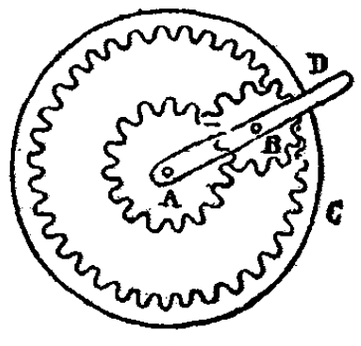
Nous appellerons trains épicycloïdaux les systèmes dérivant du mouvement de rotation de l'axe d'une roue dentée autour de l'axe d'une autre roue dentée avec lequel la première engrène; c'est le seul mouvement que l'on puisse donner, lorsque les roues sont dans un même plan, pour que l'action d'engrènement continue.

Il y a dans un système épicycloïdal trois parties essentielles à considérer; les deux roues extrêmes, et le levier concentrique à l'une d'elles qui porte l'axe de l'autre; les relations de positions différentes de ces trois éléments donnent lieu aux systèmes représentés dans les figures suivantes :

1° Les roues sont extérieures, le plus souvent l'axe de la première (fig. 6) étant fixe, le mouvement est imprimé à l'autre roue extrême B et au levier;

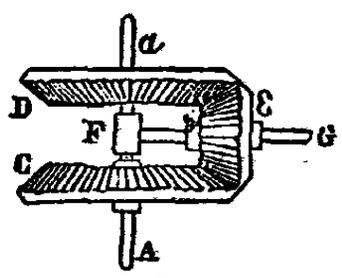


6.



7.

2° L'une des roues est intérieure à l'autre, généralement l'axe de la roue extrême (fig. 7) extérieure est fixe; le mouvement est imprimé au levier qui entraîne la première roue A;



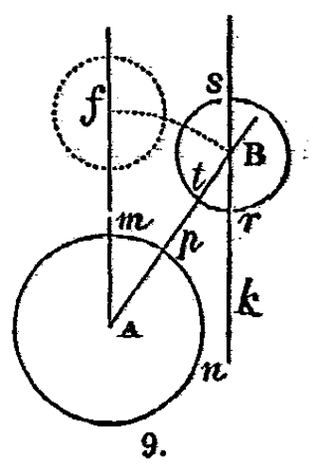
8.

3° Enfin les deux roues ne sont plus situées dans un même plan, elles sont parallèles et montées sur un même axe, le mouvement de la roue D (fig. 8) montée sur l'arbre A a, imprimera par l'intermédiaire de la roue E supportée par le levier, un mouvement à la roue C qui tourne librement sur l'axe A a.

DÉTERMINATION DES RAPPORTS DE VITESSE DANS LES SYSTÈMES ÉPICYCLOÏDAUX.

Soit AB un levier tournant autour de A (fig. 9) et conduisant un train dont la première roue est A concentrique au levier, et dont la dernière B peut être concentrique ou non concentrique avec A. Ces deux roues

sont réunies par un nombre quelconque de roues dentées transportées par le levier AB. Les révolutions d'un point de ces roues doivent être estimées : 1° par rapport à la position initiale du levier, ce qui s'obtient en mesurant la distance angulaire d'un rayon passant par le point décrivant avec la ligne fixe A*f*, ou si cette roue est excentrique comme B, avec une ligne B*k* parallèle à A*f*; 2° par rapport au levier qui transporte les axes. Le premier arc mesure les révolutions absolues, le second les révolutions relatives ou par rapport avec le levier en mouvement. Le levier transportant le train de la position A*f* à AB, et pendant ce même temps le point *m* de la roue A arrivant en *n* par une action extérieure, le point *r* de la roue B passe en *s* en vertu de la connexion de cette roue avec la roue A (nous supposons que ces mouvements ont lieu dans le même sens). *m*A*n*, *r*B*s* sont les mouvements absolus des points correspondants sur les roues A et B, et *p*A*n*, *t*B*s* sont leurs mouvements par rapport au levier.



9.

Mais $mAn = mAp + pAn$ et $rBs = rBt + tBs = mAp + tBs$; mAp étant le mouvement du levier.

Si les roues se meuvent dans des directions opposées,

$$mAn = pAn - mAp \text{ et } rBs = tBs - mAp.$$

Relation qui subsiste, quelle que soit la grandeur des angles décrits, et est vraie toutes les fois que les rapports des vitesses angulaires sont constants, comme il arrive avec les roues dentées. Ce qui revient à dire que les révolutions absolues des roues d'un système épicycloïdal sont égales à la somme de leurs révolutions par rapport avec le levier et de celles de ce levier lui-même, quand les directions sont de même sens, et égales à la différence de ces deux quantités quand elles sont de sens contraire.

Soient *a*, *m*, *n* les révolutions absolues simultanées du levier, de la première et de la dernière roue, et soit *s* la raison du train épicycloïdal, c'est-à-dire le quotient du nombre des révolutions relatives de la dernière roue divisé par le nombre de celles de la première. *s* est une quantité de la forme $\frac{T_m}{T_1}$, identique à celle obtenue pour un système de roues fixes, car elle se rapporte aux mouvements estimés par rapport au levier.

Puisque les révolutions relatives de la première roue par rapport au levier $= m - a$ et celles de la seconde roue $= n - a$, les mouvements du train considérés par rapport au levier étant les mêmes que ceux d'un système ordinaire de roues dentées, on a :

$$n - a = s\,(m - a) \text{ ou } s = \frac{n-a}{m-a} \text{ d'où :}$$

$$a = \frac{ms - n}{s - 1}\,(1),\quad n = a + (m - a)\,s\,(2),\quad m = a + \frac{n-a}{s}\,(3).$$

Appliquons ces formules à divers cas simples :

1° Si la première roue du train est fixe, comme il arrive le plus souvent, le nombre *m* de ses révolutions absolues est 0, et on a :

$$a = \frac{n}{1 - s} \text{ et } n = (1 - s)\,a;$$

2° Si c'est la dernière qui est fixe $n = 0$, et on a :

$$a = \frac{ms}{s - 1} \text{ et } m = \left(1 - \frac{1}{s}\right)a.$$

Enfin 3° quand aucune des roues n'est fixe :

$$a = \frac{ms - n}{s - 1} = \frac{ms}{s-1} + \frac{n}{1 - s}\,[4],$$

c'est-à-dire que les révolutions du levier sont égales à la somme des révolutions qu'il fait quand on suppose successivement fixes les roues extrêmes.

Dans ces formules les rotations sont considérées comme étant toutes du même sens; s'il en est autrement, pour celles de sens opposé, le signe de *m*, *n*, ou *a* doit être différent.

Prenons pour application des formules précédentes, les trains épicycloïdaux représentés dans les fig. 6, 7 et 8, et supposons que les lettres qui désignent les roues représentent les nombres de dents.

Le train formé des roues A, B, C, dans la fig. 7, est tel de sa nature que les roues A et C tournent en sens opposé, par suite *s* est négatif; de même dans le système de la fig. 8; mais dans celui de la fig. 6, les roues extrêmes tournent dans le même sens, et par suite *s* est positif. D'ailleurs, on a pour le système de la fig. 6 :

$$s = +\frac{AE}{bB}\text{; dans la fig. 7, } s = -\frac{A}{C},$$

$$\text{et fig. 8, } s = -\frac{C}{D} = -1.$$

Lorsque la première roue des trains est fixe, c'est-à-dire lorsque $m = 0$, on a, d'après la formule (2) :

Pour le système fig. 6, $n = \left(1 - \frac{AE}{bB}\right)a$,

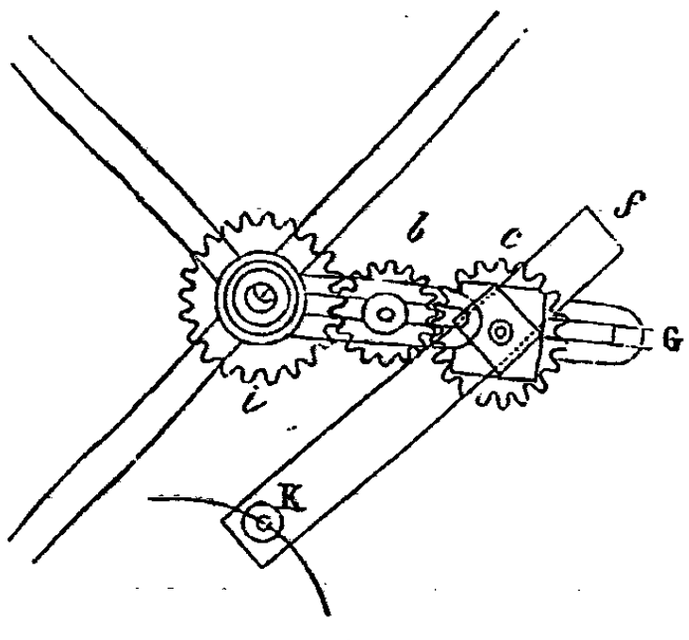
Pour le système fig. 7, $n = \left(1 + \frac{A}{C}\right)a$,

Pour le système fig. 8, $n = 2a$,

n et *a* étant respectivement les rotations simultanées de la dernière roue et du levier.

Les trains épicycloïdaux ont de curieuses applications; nous allons en donner les exemples les plus remarquables. On les emploie :

1° Pour des mécanismes dont la production du mouvement épicycloïdal est le but, comme la plume géométrique qui sert pour le tracé des courbes épicycloïdales, et que représente la fig. 10. Ce n'est que le système de la fig. 6, si on applique un crayon à une barre portée par l'extrémité du levier, ou dans des système qui offrent la même disposition que dans ce cas (voy. TRACÉ DES COURBES);



10.

2° Pour établir un rapport de vitesse déterminé avec une grande exactitude entre deux axes de position

fixe, lorsque ce rapport est composé de termes qu'on ne peut faire entrer dans un train de roues dentées à axe fixe ;

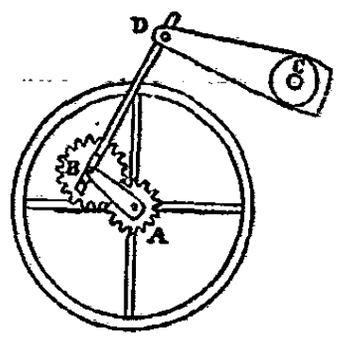
3° Pour produire un mouvement différentiel, une accélération ou retard d'un *mouvement de rotation* ;

4° Pour concentrer l'effet de deux ou plusieurs pièces différentes et indépendantes sur une même roue, quand l'action d'une ou plusieurs de ces pièces est variable.

Le levier ou barre qui porte les axes reçoit diverses formes. En général, la partie qui se meut doit être aussi légère que possible, et comporter un petit nombre de roues, surtout quand la révolution se fait dans le plan vertical, parce qu'à cause de l'excentricité le poids est une cause de dérangement, à moins qu'il ne soit exactement equilibré. En général, quand le train excentrique est nécessairement lourd, on en dispose les axes verticalement.

Premier système de trains épicycloïdaux.

Mouche ou roue planétaire. La disposition que nous prenons ici pour exemple avait d'abord été employée par Watt pour convertir le mouvement alternatif du piston de la machine à vapeur en mouvement circulaire. Sur l'axe du volant est montée une roue dentée A (fig. 11), qui engrène avec une roue dentée B fixée à l'extrémité de la bielle DB, le centre B étant réuni au centre A par le levier BA qui maintient le contact des deux roues. Quand le piston, par son action exercée sur le balancier, entraîne le levier BA, celui-ci tournerait autour du centre A comme une manivelle ordinaire, si la roue B, attachée à la bielle DB, ne venait modifier cette action.



11.

En effet, les roues A, B, avec le levier AB, constituent un train épicycloïdal, dans lequel $\frac{A}{B} = \varepsilon$ est négatif, puisque les roues tournent dans des directions opposées, et la dernière roue n'a pas de rotation absolue puisqu'elle est fixée à la bielle. La formule générale qui est : $m = a + \frac{n-a}{\varepsilon}$, deviendra donc en faisant $n = 0$ et $\varepsilon = -\frac{A}{B}$, $\frac{m}{a} = 1 + \frac{B}{A}$.

Dans la machine de Watt les roues sont égales, par suite $m = 2a$, et le volant fait deux tours pour un de la manivelle.

Cet appareil est curieux et susceptible de quelques applications pour obtenir simplement des multiplications de vitesses.

Son effet s'analyse facilement à priori en calculant les vitesses angulaires.

Soit V_1 la vitesse angulaire avec laquelle le centre B se meut autour de A, R le rayon de chacune des roues dentées, $2RV_1$ sera le chemin parcouru en une seconde par le centre de la roue B. Puisque cette roue est fixée invariablement à la bielle, tous les chemins parcourus simultanément par tous les points de cette roue sont égaux à celui que parcourt son centre, sont transportés comme lui. Ainsi $2RV_1$ sera aussi le chemin parcouru par la roue B à son point de contact avec la roue A. Soit V'_1 la vitesse angulaire de cette dernière, le chemin parcouru par le point de contact, en tant qu'il appartient à la roue A, sera représenté par V'_1R. Donc $V'_1R = 2V_1R$ ou $V'_1 = 2V_1$; c'est-à-dire que la vitesse angulaire ou le nombre des tours du volant est double de la vitesse angulaire de l'extrémité de la bielle, ou du nombre des oscillations complètes de celle-ci.

Et en général, si

$$AB = (n+1)\,R, V'_1 = (n+1)\,V_1.$$

Ainsi les vitesses des deux roues de rayons R et R', l'une fixée à la bielle, l'autre montée sur l'arbre du volant, étant dans le rapport de 1 à $1 + \frac{R}{R'}$.

On voit que pour :

$R = R'$, chaque oscillation donne 2 tours du volant,
$R = 2R'$, — 3 —
$R = \frac{1}{2}R'$, — $1 + \frac{1}{2}$ —

et ainsi de suite.

On aura donc ainsi un nombre de tours du volant plus grand que le nombre d'oscillations de la bielle et dans le rapport que l'on voudra, pourvu que le mouvement de la bielle ait une amplitude convenable.

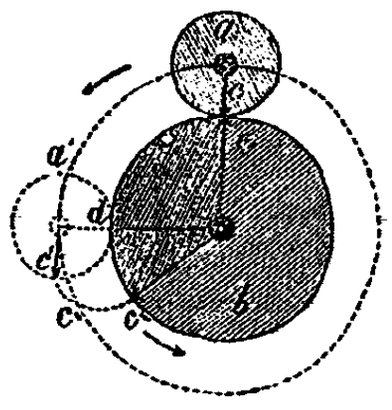
Si l'on voulait obtenir un nombre de rotations inférieur à celui des oscillations de la bielle, on ne pourrait y parvenir par le système précédent. Mais si, comme le propose M. *Saladin*, de Mulhouse, qui a analysé ces mouvements, on interpose entre les deux roues une roue intermédiaire quelconque, l'effet de cette roue est de changer le sens de la rotation due à l'engrènement, et le rapport des vitesses devient $1 - \frac{R}{R'}$. En effet, si la roue fixée à la bielle tourne dans un sens, l'engrenage au moyen de la roue intermédiaire communique une rotation inverse, et le résultat définitif sera la différence de ces deux mouvements.

Ainsi $R = R'$ donne zéro, le balancier marchant, l'arbre du volant n'aura pas de rotation ; $R = 2R'$ donne -1 ou un tour en arrière ; $R = \frac{R'}{2}$ donne $\frac{1}{2}$ tour dans le sens du mouvement de la bielle.

On voit ainsi comment, pour un même mouvement de la bielle, l'arbre du volant peut rester fixe, ou tourner soit à droite, soit à gauche, avec une vitesse qu'on est libre de varier avec les engrenages.

Les mêmes effets peuvent s'obtenir au moyen de poulies et de courroies ou de cordes. Si la courroie est croisée, l'effet est le même qu'avec deux roues de mêmes rayons que les poulies, tandis que la courroie non croisée répond au même système augmenté d'une roue intermédiaire.

Nous empruntons à M. Saladin deux figures qui indiquent bien les circonstances du mouvement.



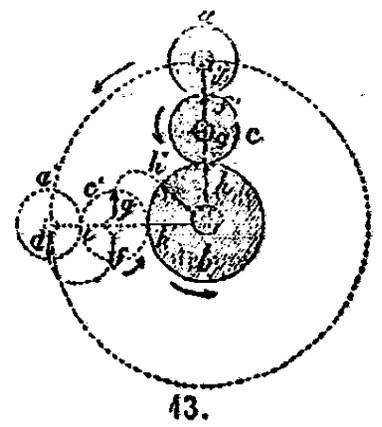
12

Ainsi, dans le système représenté fig. 12, dans lequel la roue fixe est double de la roue stellaire, la rotation du volant est de un tour et demi pour une oscillation du balancier. En effet, considérons la roue stellaire après qu'elle a parcouru un quart de circonférence : le rayon vertical ac est toujours vertical en $a'c'$, puisque la roue ne tourne pas. Cherchons ce qu'est devenu le point c sur la roue b.

Si le disque a, au lieu d'être fixé à la bielle, eût été fixé à la manivelle, le cercle b eût tourné d'un quart de circonférence et le point de contact fût resté cons-

tant. Mais comme cette roue a est fixée à la bielle, le point de contact primitif s'est éloigné par l'effet des dents des roues, en parcourant des longueurs égales sur les deux circonférences à partir du point de contact. Si donc on développe dc' et qu'on enveloppe cet axe sur la circonférence b, c'' sera la nouvelle position du point c, et la rotation de b pour celle de $\frac{1}{4}$ de a sera $\frac{1}{4} + \frac{1}{2}\frac{1}{4} = \frac{3}{8}$, puisque $dc'' \frac{1}{4} a = \frac{1}{8} b$. Le rapport des vitesses sera donc de 1 à $\frac{3}{2} = 1 + \frac{1}{2}$.

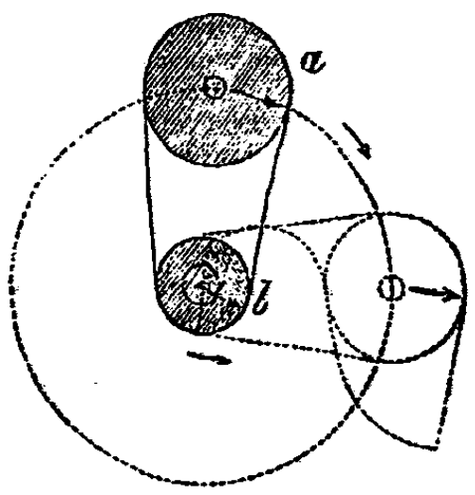
La fig. 13 représente un système à trois roues, a roue de commande et à translation, c roue intermédiaire aussi à translation, b roue commandée d'un rayon double de celui de la roue motrice. Lorsque le disque a est venu en a', son rayon d restant vertical sera venu en d'. Si du point de contact e comme centre de mouvement, nous développons l'arc ed' pour le porter sur le disque c', nous trouvons que le rayon f du disque c est venu en f', et que le rayon opposé g est venu en g'; si enfin du point de contact h' nous reportons sur b l'arc développé $g'h'$, la développante qui part du point g' rencontrera b en h'', et le rayon vertical de b aura parcouru $\frac{1}{4} - \frac{1}{2}\frac{1}{4} = \frac{1}{8}$ seulement de tour pour $\frac{1}{4}$ de tour de a, soit $\frac{1}{2}$ tour de b pour un tour de a.



13.

On voit que si les rayons de a et b étaient égaux, b resterait immobile, les deux mouvements en sens contraire étant égaux, et qu'enfin si la roue stellaire était celle du plus grand rayon, le mouvement serait rétrograde.

La fig. 13 représente le cas d'un tour en arrière en employant des courroies non croisées, et une roue a d'un rayon double de celui de la roue b. Après un quart de tour, les positions relatives de points situés au départ sur des rayons perpendiculaires au même brin, s'obtiendront en enroulant sur la circonférence de a, à partir de la position du rayon primitif, une longueur de la courroie égale à un quart de circonférence et l'enroulant autour de la seconde par la rotation de celle-ci; c'est-à-dire en traçant deux arcs de développantes. La rotation définitive sera :



14.

$\frac{1}{4} - \frac{1}{4} \times 2 = -\frac{1}{4}$, puisque $\frac{1}{4}$ de $a = \frac{2}{4}$ de b.

Pour une rotation complète de a, la rotation de b sera donc de -1, ou un tour en arrière.

Nous avons supposé que la bielle restait toujours parallèle à elle-même, était infinie; les tracés précédents montrent comment, quand la bielle est courte, les inégalités de la vitesse de rotation croissent avec les inclinaisons de la bielle, et que cette vitesse est plus grande dans les parties placées au-dessus du diamètre horizontal que pour celles placées au-dessous. Cela résulte de la position du rayon vertical de la roue stellaire au point de contact, qui reste toujours dans la direction de la bielle, ce qui rend l'arc à retrancher ou à ajouter plus grand ou plus petit que dans le cas de la bielle infinie.

Second système des trains épicycloïdaux.

Nous allons étudier l'emploi des trains épicycloïdaux pour établir un rapport exact de vitesse angulaire entre deux axes par des sommes ou des différences de vitesses, lorsqu'il ne peut être obtenu par le seul emploi de roues dentées, et lorsqu'une grossière approximation est inadmissible.

Nous avons vu que si ε est la raison d'un train épicycloïdal et si l'axe menant est réuni avec la première roue par un système dont la raison est μ, et avec la dernière roue par un système dont la raison est ν, μp et νp étant les rotations simultanées de ces deux roues, p celles de l'arbre moteur, on a [4] :

$$\frac{a}{p} = \frac{\mu}{1 - \frac{1}{\varepsilon}} + \frac{\nu}{1 - \varepsilon},$$

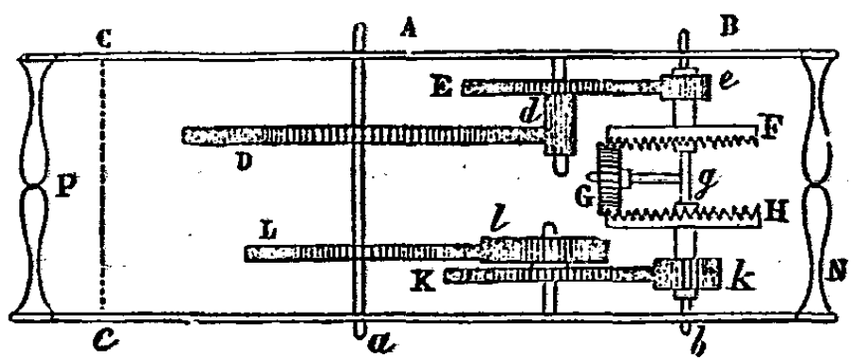
quand a et p sont les rotations simultanées du levier portant le train et de l'axe qui conduit; c'est-à-dire que l'effet des deux trains μ et ν est concentré sur l'axe du levier.

Ce système est appliqué sous une forme simple dans la disposition représentée sur la fig. 15.

Bb est un axe sur lequel est monté le levier Gg, qui porte la roue G; celle-ci engrène avec deux roues égales F et H, qui sont concentriques avec l'axe Bb, mais sont montées sur des tubes qui tournent librement autour de celui-ci.

Le train épicycloïdal consiste donc en trois roues F, G, H; F pouvant être considérée comme la première roue et H comme la dernière.

Aa est l'axe moteur, qui porte les deux roues B D et L; D sert à mettre l'axe en rapport avec la première roue F du train épicycloïdal (avec le tube qui la porte) au moyen du système de roues dentées et pignons d, E, e; de même L constitue avec l, K et k un système de roues dentées qui réunit l'axe Aa avec la dernière roue H. On a par suite :



15.

$$\mu = \frac{DE}{de} \text{ et } \nu = \frac{LK}{lk}.$$

Le mouvement du train épicycloïdal étant considéré par rapport au levier, on voit que les roues extrêmes

DIFFÉRENTIEL.

F et H se mouvent dans des sens opposés, par suite ε est négatif et égal à :

$$-\frac{F}{H}=-\varepsilon$$

Par suite :

$$\frac{a}{p}=\frac{1}{2}(\mu+\nu)=\frac{1}{2}\left(\frac{PE}{de}+\frac{LK}{lk}\right).$$

Si donc le rapport $\frac{a}{p}$ est donné, que son numérateur ou son dominateur, ou tous les deux, ne soient pas décomposables en facteurs premiers, il devient facile de déterminer deux fractions décomposables dont la somme soit égale à la fraction proposée, et de les employer pour former un système semblable à celui de la figure.

Cet emploi des systèmes épicycloïdaux a été décrit par M. Francœur, auquel nous empruntons les calculs ci-après, et est indispensable pour la haute horlogerie. Il attribue ce mécanisme à MM. Pecqueur et Perrelot, qui l'ont employé en 1823 ; la première idée de ces méthodes, suivant M. Willis, est due à Mudge, qui a construit vers 1767 une horloge qui donnait le mouvement lunaire par trains épicycloïdaux.

Appliquons ces résultats aux cas pour lesquels le système simple de roues dentées ne suffit plus, ce qui a lieu quand $\frac{T_m}{T_1}=\alpha$, α n'étant plus un nombre commensurable et que les deux termes ne peuvent se décomposer en nombres premiers.

Premier cas. Soit $\frac{a}{p}$ une fraction dont le dominateur est décomposable en facteurs, mais non le numérateur.

Soit le dénominateur $p=fgh$, la fraction qui représente le rapport des vitesses est $\frac{a}{fgh}$. Le dénominateur pouvant souvent se décomposer en trois facteurs de diverses manières, chacun fournit une solution distincte du problème.

On décomposera $\frac{a}{fgh}$ en deux fractions convenables, en posant :

$$\frac{a}{fgh}=\frac{fx}{fgh}+\frac{gy}{fgh},$$

c'est-à-dire $a=fx+gy$.

Il est facile de résoudre cette équation en nombres entiers pour x et y, et d'obtenir une infinité de valeurs de x et y, qui satisfont au problème et donnent :

$$\frac{a}{fgh}=\frac{x}{gh}+\frac{y}{fh},$$

Soit, par exemple, la fraction $\frac{271}{216}$. Puisque $216=4\times9\times6$, nous poserons $271=9x+4y$ ou $f=9, g=4$. Les méthodes ordinaires de l'analyse indéterminée donnent pour toutes les valeurs qui satisfont à ces équations les deux expressions $x=31-4t$ $y=9t-2$, t étant tout nombre entier positif ou négatif.

On a ainsi : $x=27, 23, 19\ldots 31, 45, 39$
$y=7, 16, 25\ldots -2 -11 -20$
pour les valeurs de t, 1 3 3 . . — 0 — 1 — 2

Comme $gh=24$, $fh=54$, la fraction $\frac{271}{216}$ est donc égale à :

$$\frac{27}{24}+\frac{7}{54}, \frac{23}{24}+\frac{16}{54}, \frac{19}{24}+\frac{25}{54},$$

ou encore à :

$$\frac{31}{24}-\frac{2}{34}, \frac{35}{24}-\frac{11}{54}, \frac{39}{24}-\frac{20}{54},$$

et ainsi de suite.

La première série se rapportant au cas où les roues tournent dans la même direction ; la seconde, quand les sens de rotation sont différents.

Le dénominateur 216 peut aussi être décomposé en $8\times3\times9$ et en posant $271=8x+3y$, on a :

$x=3t-1$ $y=93-8t$,
d'où $x=2, 5, 8\ldots -1 -4 -7$
$y=85, 77, 69\ldots 93, 101, 109,$

ce qui fournit les nouvelles décompositions :

$$\frac{2}{27}+\frac{83}{72}, \frac{5}{27}+\frac{77}{72}, \frac{8}{27}+\frac{69}{72}, \frac{93}{72}-\frac{1}{27}\ldots\ldots$$

et ainsi de suite pour d'autres solutions.

En général, le dénominateur de la fraction proposée pouvant être décomposé en facteurs premiers et mis sous la forme $m\alpha^n\beta^p\gamma\ldots$, chaque paire de ces diviseurs peut être prise pour les quantités f et g, pourvu qu'ils soient premiers l'un par rapport à l'autre, puisque a est premier par hypothèse. Si donc alors on résout l'équation $a=fx+gy$ en nombres entiers, on a les valeurs des fractions composantes $\frac{x}{gh}+\frac{y}{fh}$, dans lesquelles h est le produit du reste des facteurs du dénominateur après qu'on a retiré f et g.

Second cas. On suppose dans ce cas que le numérateur et le dominateur sont tous deux premiers.

Formons deux fractions $\frac{a}{A}$ et $\frac{a_1}{A}$ a, a_1 étant le numérateur et le dénominateur de la fraction proposée et A une quantité arbitraire commodément décomposable en facteurs ; obtenons pour chacune de ces fractions les sommes ou les différences de deux fractions qui lui sont égales, comme nous avons fait ci-dessus.

Soit un axe Aa (fig. 15) réuni à un autre Bb par des roues dentées et un train épicycloïdal comme dans la figure, et en outre avec un autre axe Cc par un système semblable. Les rotations simultanées des axes Aa, Bb, Cc seront A, a, a_1 ; μ, ν seront les raisons des trains réunissant Aa avec Bb, et μ_1 ν_1 celles des trains réunissant Aa avec Cc. On aura donc :

$$\frac{a}{A}=\frac{\mu+\nu}{2} \text{ et } \frac{a_1}{A}=\frac{\mu_1+\nu_1}{2} \text{ et } \frac{a}{a_1}=\frac{\mu+\nu}{\mu_1+\nu_1}$$

pour rapport des rotations simultanées de Bb et Cc. Nous allons voir comment l'introduction de ce double système ou de A rend la solution du problème facile.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de faire faire à un axe 17324 tours quand un autre en fait 11643 ; les deux nombres étant premiers la fraction $\frac{17324}{11743}$ est irréductible et indécomposable en facteurs premiers.

Prenons un diviseur $5040=7\times8\times9\times10$, et formons deux trains dont les vitesses soient représentées par $\frac{17321}{5040}$ et $\frac{11743}{5040}$.

Pour la première, on obtient par la méthode précédente :

$$\frac{17321}{5040}=\frac{1480}{630}+\frac{783}{720}=\frac{148}{63}+\frac{87}{80},$$

d'où les trains $\frac{296}{63}$ et $\frac{87}{40}$ comme dans la précédente méthode, puisque la moitié de ces nombres égalera $\frac{a}{p}$.

Pour le second train :

$$\frac{11743}{5040}=\frac{830}{633}+\frac{729}{720}=\frac{83}{63}+\frac{81}{80},$$

DIFFÉRENTIEL.

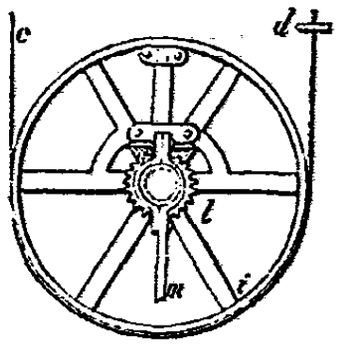
d'où les trains $\frac{166}{63}$ et $\frac{84}{40}$. Le problème consistant à obtenir les deux mouvements demandés sera ainsi complétement résolu.

Troisième système des trains épicycloïdaux.

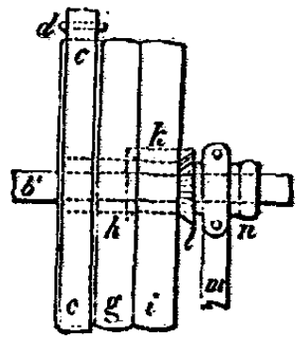
Nous avons dit que cette troisième application avait pour objet de produire un mouvement accéléré ou retardé. Le premier problème trouve son application dans les bancs à broches à mouvement différentiel.

Nous allons en décrire la disposition, d'après M. Saladin, de Mulhouse.

Transmission à deux vitesses. Le mouvement est imprimé à un axe (fig. 16 et 17) par une courroie *c*, pas-



16.



17.

sant sur une poulie folle *e* montée sur l'arbre moteur; *d* guide de la courroie; *g* poulie fixée sur l'arbre; *h* roue d'angle fixée sur la douille de cette poulie; *i*, poulie folle de même diamètre que les deux premières, servant à la double vitesse; *k*, deuxième roue d'angle portée transversalement par la poulie *i*, engrenant avec la première *h*; *l*, troisième roue d'angle à douille, de même nombre de dents que la première *h*, engrenant avec la seconde *k*, et montée librement sur l'arbre *b'*; *m*, frein pouvant être serré sur la douille de la roue d'angle *l*, et pouvant la rendre fixe.

Lorsque la courroie *c* passe de la poulie folle *e* sur la poulie fixe *g*, elle transmet à cette dernière la vitesse qu'elle reçoit du tambour moteur *b*; mais lorsqu'elle commande la poulie *i*, l'arbre tourne avec une vitesse double.

En effet, le système devient alors tout à fait semblable à celui de la fig. 8, pour lequel nous avons trouvé $n = 2a$, lorsque la roue *l* devient immobile. Si on fait abstraction de la roue *l*, et qu'on suppose pour un instant la poulie *i* assemblée sur l'arbre, les poulies *g*, *i*, tourneront ensemble d'une même vitesse, et les deux roues d'engrenage tourneront avec elles sans agir. Mais lorsque, par l'action du frein, la roue *l* cesse de tourner avec l'axe, la vitesse de la circonférence de la poulie restant constante, la roue *k* tourne, et elle est ici la roue supportée par le levier dans le train épicycloïdal, dont la première roue *l* est fixe.

Si, au lieu d'être immobile, la roue *l* avait une vitesse angulaire *v*, la vitesse de l'arbre deviendrait $v \pm 2v'$ (*v'* étant la vitesse angulaire de l'arbre communiquée par la courroie), suivant que le mouvement initial de la roue *l* serait en sens contraire ou dans le même sens que celui imprimé par la courroie. C'est ce que donne la formule (2) : $n = a + (m - a)\,s$, dans laquelle on fait $s = \pm 1$, d'où $n = -m \pm 2a$.

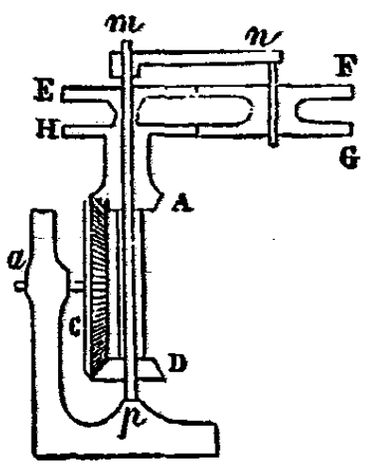
Il faut observer que lorsque la double vitesse commence, le frein doit laisser glisser un peu la roue *l*, lorsque l'effort est trop grand, dans le but d'éviter le changement instantané de vitesse et les ruptures qui pourraient en résulter.

Second exemple. — Compteurs. Voyons maintenant l'emploi des trains épicycloïdaux pour produire un mouvement très lent.

Reportons-nous à la formule $\frac{a}{p} = \frac{\mu s - \nu}{s - 1}$, dans laquelle tous les termes sont considérés comme positifs. Si, au contraire, *s* est négatif, μ et ν de signes différents, la formule devient : $\frac{a}{p} = \frac{\mu s - \nu}{s + 1}$, dans laquelle en choisissant convenablement les systèmes de roues, *a* peut être très petit par rapport à *p*, et par suite le levier tourner très lentement.

Si au contraire on veut faire tourner l'axe, dont les révolutions sont *p*, lentement par rapport au levier, alors le numérateur de la fraction $\frac{a}{p}$ doit être une somme et le dénominateur une différence voisine d'une unité, c'est-à-dire que *s* doit être positif dans l'expression $\frac{a}{p} = \frac{\mu s - \nu}{s - 1}$ et très voisin de l'unité, μ et ν avoir des signes différents.

La fig. 18 représente une combinaison qui répond à cette disposition. *mp* est un axe fixe autour duquel tourne un long tube dont l'extrémité inférieure porte la roue D et l'extrémité supérieure la roue E. Un tube plus court tourne autour du premier, et porte à ses extrémités les roues A et H. La roue C engrène à la fois avec les roues D et A, et le levier *mn*, qui tourne librement autour de *mp*, porte sur un axe *n* les roues réunies F et G.



18.

Dans le train épicycloïdal, composé des roues E, F, G et H, *s* est évidemment positif, les roues extrêmes E, H tournant dans la même direction, A étant la première roue du train épicycloïdal, et on a :

$$s = \frac{HF}{GE}.$$

D'ailleurs, $\mu = \frac{C}{A}$ et $\nu = \frac{C}{D}$, et ont des signes différents, puisque A et B tournent dans des sens différents, donc :

$$\frac{a}{p} = \frac{\frac{C}{A} \cdot \frac{HF}{GH} + \frac{C}{D}}{\frac{HF}{GE} - 1}$$

Si, par exemple, A = 10, C = 100, D = 10, E = 61; F = 49, G = 41, H = 51, on aura : $\frac{a}{p} = 25000$, c'est-à-dire qu'il se produira 25000 rotations du levier *mn* pour un tour de la roue C.

Généralement la première roue du train épicycloïdal est fixe; dans ce cas, la formule qui convient est $\frac{n}{a} = 1 - s$.

Si *s* est positif et très voisin de l'unité, cette valeur sera très petite, et *n* petit par rapport à *a*, c'est-à-dire que le mouvement de la dernière roue du train est lent par rapport à celui du levier.

Des formes simples des trains épicycloïdaux des figures 6, 7 et 8, les deux dernières ne sont pas propres à réaliser ce système, parce que *s* est négatif, mais la disposition de la fig. 6 peut être employée; A étant fixe et $\frac{a}{n} = 1 - \frac{AE}{bD}$; pour avoir le

DIFFÉRENTIEL.

plus petit mouvement possible, il faut poser $AE - bD = \pm 1$.

Soit $\varepsilon = \frac{111 \times 9}{100 \times 10}$, $\frac{n}{a} = \frac{1}{1000}$, ou $\varepsilon = \frac{31 \times 129}{32 \times 129}$, $\frac{n}{a} = \frac{1}{1000}$.

Quatrième système des trains épicycloïdaux.

Cette dernière application se rapporte aux systèmes qui ont pour but de concentrer les effets de deux ou d'un plus grand nombre de systèmes de rotation sur une pièce unique.

Comme exemple de cette application, nous prendrons l'équation des horloges, curieux problème dont la solution occupe une place importante dans l'histoire de l'invention des mécanismes, et a été l'objet de nombreux travaux depuis une époque reculée jusqu'à nos jours.

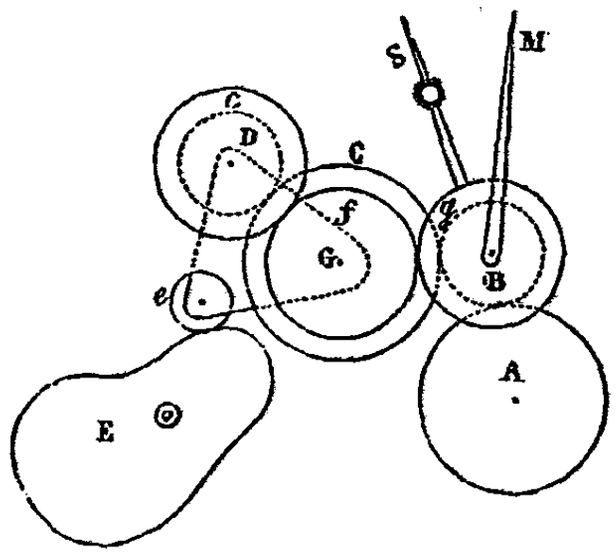
Le but à atteindre est de faire marquer à l'aiguille d'une horloge non seulement l'heure, mais aussi le temps vrai. Pour cela, on agit comme les astronomes pour analyser le mouvement du soleil, c'est-à-dire qu'on divise ce mouvement en deux mouvements élémentaires, l'un uniforme qui correspond au temps moyen, et l'autre qui correspond à la différence du temps moyen et du temps vrai ou à l'équation du temps. On réunit deux mécanismes, l'un celui d'une horloge ordinaire, et l'autre disposé de manière à communiquer un mouvement lent correspondant à l'équation du temps, et on concentre les effets des trains séparés sur une seule aiguille à l'aide d'un train épicycloïdal. Il y a trois arrangements possibles :

Le mouvement de l'équation peut être communiqué à une extrémité du train et le mouvement moyen à l'autre, le levier possédera alors le mouvement solaire (Lebon proposait un système semblable en 1722).

Le mouvement de l'équation peut être communiqué à une extrémité du train, et le mouvement moyen au levier ; l'autre extrémité du train donnera le mouvement solaire.

Enfin, le mouvement de l'équation peut être communiqué au levier ; le temps moyen à une extrémité du train, l'autre extrémité recevra le mouvement solaire (c'est le système des horloges de Du Tertre, 1742, et d'Enderlin). Nous allons décrire cette dernière disposition.

La fig. 19 permet de voir la disposition des roues dentées et de l'équation qui communiquent le mouvement aux aiguilles.



19.

G est le centre de mouvement du train épicycloïdal, GD*e* le levier sur lequel sont montés les axes. Les roues *f* et C tournent librement autour de l'axe *e*G, et l'axe D est entraîné par le levier ainsi que les deux roues *c*, D qui tournent avec lui et qui engrènent respectivement avec *f* et C. Le train épicycloïdal consiste donc en quatre roues C, *c*, D, *f*, et C est la première roue. Maintenant si on suppose la roue C menée par la roue B, dont le mouvement dérive de celui de la roue A faisant partie d'une horloge ordinaire, et si l'aiguille des minutes est montée sur l'axe de B, elle indiquera le temps moyen à la manière ordinaire.

Le mouvement de l'équation est communiqué à la pièce GD*e* comme il suit :

E est un excentrique dont la révolution s'accomplit en une année. Un rouleau de frottement adapté au levier repose sur le contour de cet excentrique, et est maintenu en contact par un poids ou un ressort. L'excentrique est taillé de manière à faire prendre au levier un mouvement angulaire convenable.

La première roue du train reçoit le mouvement moyen ; l'autre extrémité engrène avec une roue *g*, concentrique avec la roue à minutes M, et tourne librement autour de son axe ; l'aiguille solaire S est fixée au tube qui porte cette roue et reçoit la combinaison du mouvement moyen et de l'équation.

La formule applicable à ce cas est $n = a(1-\varepsilon) + m\varepsilon$, dans laquelle ε est positif et égal à $\frac{Cc}{Df}$. Si nous désignons les relations simultanées de l'aiguille des minutes M et de C par M et *m* respectivement, on a : $m = M\frac{B}{C}$, et celles de *f* et *g* par *n* et *s*, on a : $n = s\frac{g}{f}$; substituant ces valeurs dans la formule, on a :

$$s = a\frac{Df - Cc}{Dg} + M\frac{Bc}{Dg},$$

dont la première partie se rapporte à l'équation et la deuxième partie au mouvement moyen.

Mais le mouvement moyen de S doit être le même que celui de M, on doit donc avoir $\frac{Bc}{Dg} = 1$. Et pour la partie du mouvement de S due à l'équation, l'expression $a\frac{Df - Cc}{Dg}$ montre le rapport qui doit exister entre la vitesse angulaire du levier portant les axes et celle de l'aiguille.

Si le levier se meut avec la même vitesse angulaire que l'aiguille, alors $\frac{Df - Cc}{Dg} = 1$, ce que l'on peut obtenir en faisant $f = c = g$ et $C = 2D$; d'ailleurs puisque $Bc = Dg$, si $c = g$, on a $B = D$; ce sont les proportions employées par Enderlin.

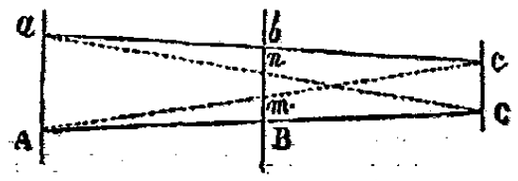
Si on veut que le levier se meuve d'un angle plus petit que l'aiguille, moitié par exemple, il faut alors poser $C = 3D$, et ainsi de suite.

IV. Mouvements alternatifs en mouvements alternatifs.

Dans ce qui précède, nous nous sommes occupés des organes de transformation de mouvement qui correspondent aux mouvements circulaires et rectilignes. Nous avons ainsi étudié les roues dentées, les plans inclinés, les cordes, qui servent généralement pour les mouvements continus, mais aussi dans beaucoup de cas pour des transformations de mouvements alternatifs ; il nous reste à étudier, au point de vue du mouvement des guides, les leviers et les bielles, éléments principaux de transformation des mouvements alternatifs.

Soit une longue bielle ABC (fig. 20), B un de ses points, son milieu par exemple, je suppose qu'un petit mouvement A*a*, perpendiculaire à sa longueur soit

communiqué à son extrémité A, l'autre extrémité C



20.

restant en repos, le point B décrira sensiblement l'espace $Bn = \frac{Aa}{2}$.

Si au contraire A restant en repos, on eût imprimé à C un petit mouvement Cc transversal à la barre, le point B aurait décrit sensiblement le chemin $Bm = \frac{Cc}{2}$.

Donc si les deux mouvements en question sont communiqués, soit simultanément, soit successivement aux deux extrémités, le centre B parcourt le petit chemin $Bb = \frac{Aa + Cc}{2}$, ou si ces deux mouvements imprimés étaient de sens contraire, de manière à amener la bielle dans la position aC, le milieu de la bielle décrivant le petit chemin mn $\frac{Aa - Cc}{2}$.

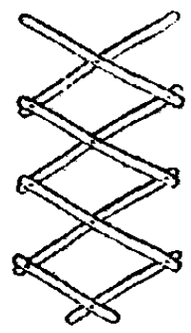
Il est clair qu'on suppose ici la barre assez longue pour que Cc, Aa, Bb puissent être considérés tous trois comme perpendiculaires à la bielle.

Donc si l'on communique deux mouvements virtuels ou élémentaires indépendants, aux extrémités d'une bielle perpendiculairement à sa direction, son milieu décrit la moitié de leur somme ou de leur différence, suivant que ces mouvements sont de même sens ou de sens contraire.

Si ce sont les points A et B auxquels on fait décrire successivement de petits chemins, le point C décrit alors un chemin égal à celui que parcourt A, mais en sens contraire, et deux fois le chemin que parcourt B, dans le même sens que ce dernier point.

Un système fondé sur ces propriétés, dit *zigzag*, permet de transformer, par une combinaison de leviers, un double mouvement circulaire alternatif en un mouvement rectiligne.

Ce système dérive de celui de la transformation du mouvement circulaire alternatif en rectiligne alternatif à l'aide de la bielle et de la manivelle, si l'on change les bielles, en les prolongeant, en deux autres leviers oscillant autour d'un centre mis en mouvement par le premier système. On obtient ainsi la disposition de la fig. 21, dans laquelle le point de rencontre des deux premiers leviers est le seul point fixe.



21.

Ce système se trouve ainsi formé d'une réunion de parallélogrammes par l'articulation de barres parallèles deux à deux.

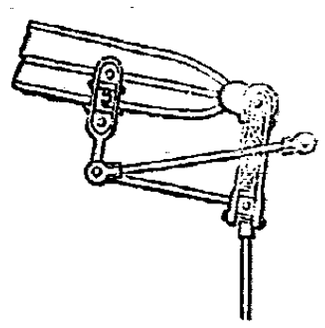
Il est facile d'évaluer les vitesses dans cet appareil. Pour un seul losange, le système n'est que celui de la bielle comme nous l'avons vu, c'est-à-dire pour passer de l'angle ω à l'angle ω' du levier avec la diagonale, l étant la longueur entre deux articulations, r la longueur des leviers moteurs, le mouvement angulaire sera $r(\omega - \omega')$, et le mouvement rectiligne deviendra $2l(\cos\omega' - \cos\omega)$.

Appelons a cette quantité, elle se répétera pour chaque parallélogramme, et s'il y en a n égaux entre eux, le chemin parcouru par le point extrême sera $2na$.

Les deux limites du mouvement sont $2nl$ lorsque les

bielles sont parallèles à la diagonale passant par l'articulation fixe et se touchent, et $n\,p$, p étant l'épaisseur des barres lorsqu'ils sont en ligne droite et que toutes les barres sont en contact. Le chemin total, qui pourra être parcouru par l'articulation extrême, pour un mouvement angulaire de 0° à 90°, est donc $2n(l - \frac{1}{2}p)$.

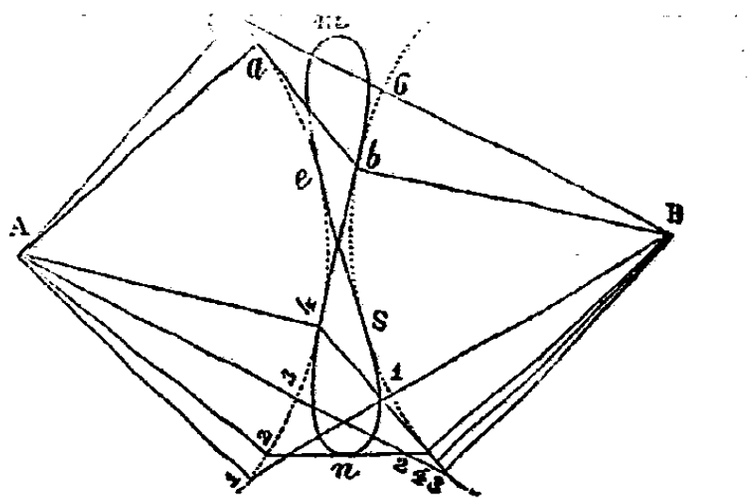
Parallélogramme de Watt. C'est surtout pour fournir des guides du mouvement rectiligne, comme moyen de produire par le mouvement circulaire alternatif un mouvement rectiligne alternatif, que le système des articulations est employé par diverses méthodes qui dérivent de celles que Watt a le premier appliquées à la machine à vapeur (fig. 22).



22.

Considérons d'abord une bielle dont les deux extrémités sont assemblées à deux leviers ou rayons décrivant des arcs de cercle, système employé dans la plupart des machines à vapeur ou à piston en général, piston dont on cherche toujours à diriger sensiblement en ligne droite la tige assemblée à un point de cette bielle.

Aa, Bb sont les deux bras ou rayons qui tournent autour des centres A et B, ab est la bielle articulée à



23.

leurs extrémités mobiles; la fig. 23 indique diverses positions du système.

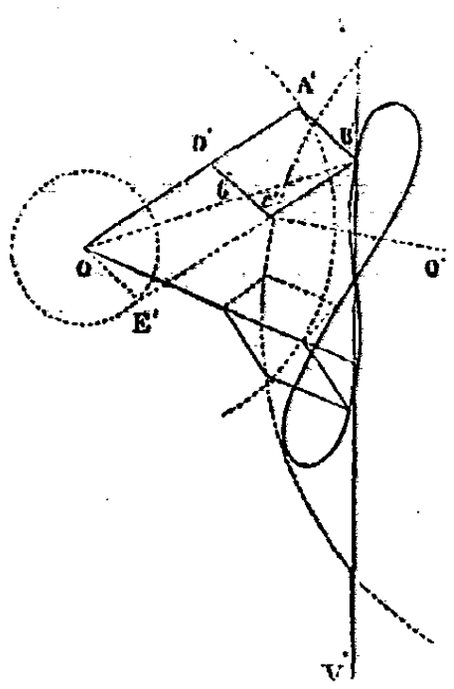
Un point c pris vers le milieu de la bielle décrit la courbe en forme de 8, mcn; et le chemin qu'il décrit est une courbe connue sous le nom de *courbe à longue inflexion*, qui se confond très sensiblement dans une partie du mouvement avec une droite.

M. de Prony a donné l'équation complète de cette courbe, mais elle est beaucoup trop complexe pour être d'aucune utilité dans la pratique, et il est bien plus simple et suffisamment exact, au lieu d'en faire usage, de recourir aux approximations que nous avons données dans notre TRAITÉ DE CINÉMATIQUE.

Cette courbe est souvent considérée comme tracée par le sommet libre du parallélogramme, dont un des sommets se meut sur une circonférence, et son étude offre quelque intérêt au point de vue géométrique. On la décrit facilement en donnant au point C toutes les positions qu'il peut prendre (même en retournant le parallélogramme). Cette courbe est encore la courbe en 8 dont nous avons déjà parlé; la partie de celle-ci qui se confond sensiblement avec une ligne droite appartient à la tangente au point d'inflexion.

Il est facile de démontrer que cette ligne est la même que celle décrite par un point d'une droite mobile de longueur constante, dont les extrémités glissent sur deux circonférences fixes; c'est par un semblable mouvement que nous y avons été conduits précédemment.

En effet, si par le centre O (fig. 24) on mène une



24.

parallèle au côté DC, elle rencontrera le prolongement du côté BC en un point E, et l'on aura OE = D'C' = constante, et de même E'C' = OD' = constante. Donc la droite C'E', de longueur constante, se meut de manière que ses extrémités glissent sur deux circonférences ayant leurs centres en C et O' et pour rayons O'E', O'C'. Le point B' de la droite prolongée parcourt la courbe en question.

Le parallélogramme de Watt peut guider en ligne droite deux tiges à la fois. En effet, la droite OB' rencontre le côté D'C' en un point *b* qui reste le même sur cette droite, quelle que soit la position du parallélogramme; et ce point *b* décrit une ligne semblable à celle décrite par le point B', ces deux lignes ayant leur centre de similitude au point O. Il s'ensuit que la seconde approche d'une ligne droite de même que la première.

La démonstration est facile; en effet, on a :

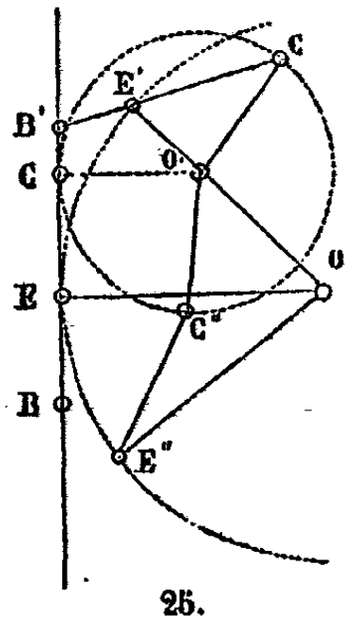
$$\frac{D'b'}{A'B'} = \frac{OD'}{OA'}, \text{ ou } D'b' = \frac{OD' \times A'B'}{OA'} = \text{constante},$$

à cause de la similitude des triangles OD'b', OA'B.

On a de même $\frac{Ob'}{OB'} = \frac{OD'}{OA'} = \text{constante}$; les deux courbes sont donc semblables.

Puisque les points C' et E' se meuvent sur deux circonférences, il suffira de lier (fig. 25) ces points aux rayons des deux cercles par des articulations, en supprimant les côtés du parallélogramme et les remplaçant par le rayon OE' qui devient le balancier. Le mécanisme ayant moins de solidité, il faut rapprocher le point B' du balancier OE'.

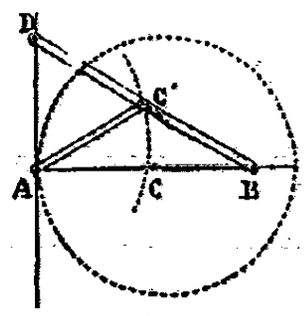
La fig. 25 représente cette disposition, qui est celle dont nous sommes partis d'abord, le tracé devant comprendre les points extrêmes de la course.



25.

Un autre système, dû à la combinaison d'un guide plan et d'une articulation, a été quelquefois employé. Bien qu'il soit défectueux au point de vue de la solidité de la construction, nous

l'indiquerons sommairement; c'est le parallélogramme d'Olivier Evans (fig. 26).



26.

Soit BD une barre assemblée à l'extrémité D avec une tige AD qui doit se mouvoir en ligne droite, et dont l'extrémité B peut se mouvoir horizontalement sur la ligne AB.

Une barre AC', dont la longueur est égale à la moitié de BD, peut tourner autour d'un point fixe A et est assemblée à charnière avec le milieu C' de BD; menons la ligne AD perpendiculaire à AB.

Quelle que soit la position du point C' sur l'arc de cercle CC', l'angle DAB est toujours droit.

En effet, les trois points D, A, B étant situés à égale distance du point C', appartiennent à une circonférence décrite du point C' comme centre avec C'B pour rayon. Les deux points B et D' étant les extrémités d'un même diamètre, l'angle inscrit DAB est droit.

Le point D se trouvant constamment sur la perpendiculaire AD élevée sur AB, se meut en ligne droite.

On voit donc que BD étant un balancier, le point D se meut en ligne droite s'il est porté par une tige articulée autour d'un point fixe A, et si les coussinets de l'axe placé en B sont assujettis à se mouvoir dans une glissière. Comme le mouvement rectiligne du point B est peu étendu dans le cas des machines à vapeur, on le remplace par un petit arc de cercle décrit par un support qui porte les coussinets de B, et qui oscille autour d'une articulation placée à sa partie inférieure.

CH. LABOULAYE.

DILATATION (*angl.* dilatation, *all.* ausdehnung). La chaleur, en agissant sur les corps, augmente l'écartement de leurs molécules, les *dilate*. Si l'on considère une des dimensions des corps, le rapport de l'accroissement de cette dimension à sa longueur primitive constitue ce qu'on appelle leur *dilatation linéaire*. Dans les corps non cristallisés, cette dilatation linéaire est la même dans toutes les directions, et par suite, comme elle est très faible, on peut admettre sans erreur appréciable que la *dilatation cubique*, ou augmentation de volume d'un corps par l'effet de la chaleur, est triple de la *dilatation linéaire*. Entre certaines limites, la dilatation des corps est proportionnelle à la température. L'eau seule fait exception à cette règle, et présente un maximum de contraction à 4°,1. Nous renvoyons aux traités de physique pour la description des procédés divers employés pour mesurer la dilatation des solides, des liquides et des gaz, et nous nous contenterons d'en donner ici les résultats.

Dilatation linéaire des solides.

SUBSTANCES.	DILATATION linéaire de 0° à 100°.		NOM de l'observateur.
Baguettes de verre.	0,00080833	1/1237	Roy.
Tubes de verre. . .	0,00083333	1/1175	Smeaton.
dito.	0,00077645	1/1289	Roy.
dito.	0,00082800	1,1116	Deluc.
dito.	0,00086130	1/1148	Dulong et Petit.
dito.	0,00081166	1/1228	Lavoisier et Laplace.
Verre à vitres. . .	0,00089089	1/1122	dito
Crown-glas. . . .	0,00087572	1/1142	dito
dito.	0,00089760	1/1114	dito
dito.	0,00091751	1/1090	dito

SUBSTANCES.	DILATATION linéaire de 0° à 100°.		NOM de l'observateur.
Bois de sapin. . .	0,00077615	1/1289	Roy.
Platine.	0,00085655	1/1150	Borda.
dito.	0,00088420	1/1131	Dulong et Petit.
dito.	0,00099180	1/1008	Troughton.
Palladium.	0,00100000	1/1000	Wollaston.
Antimoine.	0,00108333	1/923	Smeaton.
Fonte (prisme de).	0,00111000	1/901	Roy.
Acier.	0,00118990	1/840	Troughton.
dito (verge d'). .	0,00114450	1/874	Roy.
dito (poule). . . .	0,00115000	1/870	Smeaton.
dito (trempé). . .	0,00122500	1/816	dito
dito (non trempé).	0,00107880	1/927	Lavoisier et Laplace.
dito dito. . .	0,00107915	1/927	dito
dito dito. . .	0,00107960	1/926	dito
dito (trempé jaune et recuit à 65°. .	0,10123956	1/807	dito
Fer.	0,00115600	1/871	Borda.
dito.	0,00125833	1/795	Smeaton.
dito (doux, forgé).	0,00122045	1/819	Lavoisier et Laplace.
dito (rond), passé à la filière.	0,00123504	1/812	dito
dito.	0,00118210	1/846	Dulong et Petit.
Bismuth.	0,00139467	1/719	Smeaton.
Or de départ. . . .	0,00146606	1,682	Lavoisier et Laplace.
dito (au titre de Paris, recuit). . . .	0,00151301	1,661	dito
dito (au titre de Paris, non recuit). .	0,00155155	1/645	dito
Cuivre rouge. . . .	0,00171220	1/584	dito
dito.	0,00171733	1/582	dito
dito.	0,00172240	1/581	dito
dito (battu). . .	0,00170000	1/588	Smeaton.
dito. . . .	0,00191880	1/521	Troughton.
dito. . . .	0,00171820	1/582	Dulong et Petit.
Cuivre jaune au laiton.	0,00186670	1/535	Lavoisier et Laplace.
dito.	0,00187821	1/533	dito
dito.	0,00188970	1/529	dito
dito (fondu).	0,00187500	1/533	Smeaton.
dito (en fil).	0,00193333	1/517	dito
dito, de Hambourg. . .	0,00185550	1/539	Roy.
dito, anglais.	9,00189296	1/528	dito
dito dito	0,00189450	1/528	dito
Alliage de cuivre 8 p., étain 1 p. .	0,00181667	1/550	Smeaton.
Métal des miroirs de télescopes. . .	0,00193333	1/517	dito
Soudure de cuivre 2 p., étain 1 p. .	0,00205833	1/486	dito
Argent.	0,00208260	1/480	Troughton.
dito (au titre de Paris).	0,00190868	1/524	Lavoisier et Laplace.
dito (de coupelle).	0,00190974	1/524	dito
Étain de Malacca.	0,00193765	1/516	dito
dito, de Falmouth.	0,00217298	1/462	dito
dito, fin.	0,00228333	1/438	Smeaton.
dito, en larmes. .	0,00248333	1/403	dito
Soudure blanche, étain 1 p., plomb 2 p.	0,00250533	1,399	Smeaton.
Alliage de zinc 8 p., étain 1 p., un peu forgé.	0,00269167	1/372	dito
Plomb.	0,00284836	1/351	Lavoisier et Laplace.
dito.	0,00286667	1/349	Smeaton.
Zinc fondu.	0,00294167	1/340	dito
dito, allongée au marteau de 1/12e.	0,0031 0833	1/322	dito

DILATATION.

Dilatation cubique des liquides.

SUBSTANCES.	DILATATION cubique de 0° à 100°.		NOM de l'observateur.
Mercure.	0,018018	1/55,5	Dulong et Petit.
dito (dilatation apparente dans le verre).	0,015432	1/65	dito
Eau (de 4°,1 à 100°).	0,043320	1/23	Kirwan.
dito dito.	0,042133	1/24	Hallstrœm.
Acide hydro-chlorique d'une densité de 1,137.	0,060000	1/17	Dalton.
— sulfurique — 1,85.	0,060000	1/17	dito
— nitrique — 1,40.	0,110000	1/9	dito
Huiles grasses. . . .	0,080000	1/12,5	dito
Essence de térébenthine.	0,070000	1/14	dito

Les gaz se dilatent, ainsi que les vapeurs, sensiblement d'une même quantité pour une même augmentation de température. Selon M. Regnault, la dilatation de l'air de 0° à 100° est de 0,366 ou 3/8 de son volume primitif.

On peut utiliser la dilatation et la contraction des corps solides doués d'une grande ténacité, comme le fer, pour produire des efforts mécaniques considérables; car ces efforts sont les mêmes que ceux qu'il faudrait exercer sur ces corps, pour les allonger ou les comprimer de la même quantité (voyez ÉLASTICITÉ). C'est ainsi que M. Molard, l'un des principaux fondateurs du Conservatoire des arts et métiers, est parvenu à redresser les pieds-droits d'une des salles du Conservatoire, qui s'étaient déversés par suite de la pression de la voûte, en les reliant par des tirants en fer chauffés au rouge et boulonnés : la contraction des tirants, due à leur refroidissement, ramena les pieds-droits dans leur position primitive.

DIORAMA. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS DE PEINTURE ET D'ÉCLAIRAGE INVENTÉS PAR M. DAGUERRE. Ces procédés ont été principalement développés dans les tableaux de la *Messe de minuit*, l'*Éboulement dans la vallée de Goldau*, le *Temple de Salomon* et la *Basilique de Sainte-Marie de Montréal*. Tous ces tableaux ont été représentés avec des effets de jour et de nuit. A ces effets étaient jointes des décompositions de formes, au moyen desquelles, dans la *Messe de minuit*, par exemple, des figures apparaissaient où l'on venait de voir des chaises, ou bien, dans la *Vallée de Goldau*, des ro-

chers éboulés remplaçaient l'aspect pittoresque de la vallée.

Procédé de peinture La toile devant être peinte des deux côtés, ainsi qu'éclairée par réflection et par réfraction, il est indispensable de se servir d'un corps très transparent, dont le tissu doit être le plus égal possible. On peut employer de la percale ou du calicot. Il est nécessaire que l'étoffe que l'on choisit soit d'une grande largeur, afin d'avoir le plus petit nombre possible de coutures, qui sont toujours difficiles à dissimuler, surtout dans les grandes lumières du tableau.

Lorsque la toile est tendue, il faut lui donner de chaque côté au moins deux couches de colle de parchemin.

Premier effet. Le premier effet, qui doit être le plus clair des deux, s'exécute sur le devant de la toile. On fait d'abord le trait avec de la mine de plomb, en ayant soin de ne pas salir la toile, dont la blancheur est la seule ressource que l'on ait pour les lumières du tableau, puisque l'on n'emploie pas de blanc dans l'exécution du premier effet. Les couleurs dont on fait usage sont broyées à l'huile, mais employées sur la toile avec de l'essence, à laquelle on ajoute quelquefois un peu d'huile grasse, seulement pour les vigueurs, que du reste on peut vernir sans inconvénient. Les moyens que l'on emploie pour cette peinture ressemblent entièrement à ceux de l'aquarelle, avec cette seule différence que les couleurs sont broyées à l'huile, au lieu de gomme, et étendues avec de l'essence au lieu d'eau. On conçoit qu'on ne peut employer ni blanc, ni aucune couleur opaque quelconque, par épaisseurs, qui feraient, dans le second effet, des taches plus ou moins teintées, selon leur plus ou moins d'opacité. Il faut tâcher d'accuser les vigueurs au premier coup, afin de détruire le moins possible la transparence de la toile.

Deuxième effet. Le second effet se peint derrière la toile. On ne doit avoir, pendant l'exécution de cet effet, d'autre lumière que celle qui arrive du devant du tableau en traversant la toile. Par ce moyen, on aperçoit en transparent les formes du premier effet; ces formes doivent être conservées ou annulées.

On glace d'abord, sur toute la surface de la toile, une couche d'un blanc transparent, tel que le blanc de Clichy, broyé à l'huile et détrempé à l'essence. On efface les traces de la brosse au moyen d'un blaireau. Avec cette couche, on peut dissimuler un peu les coutures, en ayant soin de la mettre plus légère sur les lisières dont la transparence est toujours moindre que celle du reste de la toile. Lorsque cette couche est sèche, on trace les changements que l'on veut faire au premier effet.

Dans l'exécution du second effet, on ne s'occupe que du modelé en blanc et noir sans s'inquiéter des couleurs du premier tableau qui s'aperçoivent en transparent; le modelé s'obtient au moyen d'une teinte dont le blanc est la base, et dans laquelle on met une petite quantité de noir de pêche pour obtenir un gris dont on détermine le degré d'intensité en l'appliquant sur la couche de derrière et en regardant par devant pour s'assurer qu'elle ne s'aperçoit pas. On obtient alors la dégradation des teintes par le plus ou moins d'opacité de cette teinte.

Il arrivera que les ombres du premier effet viendront gêner l'exécution du second. Pour remédier à cet inconvénient et pour dissimuler ces ombres, on peut en raccorder la valeur au moyen de la teinte employée plus ou moins épaisse, selon le plus ou moins de vigueur des ombres que l'on veut détruire.

On conçoit qu'il est nécessaire de pousser ce second effet à la plus grande vigueur, parce qu'il peut se rencontrer que l'on ait besoin de clairs à l'endroit où se trouvent des vigueurs dans le premier.

Lorsqu'on a modelé cette peinture avec cette différence d'opacité de teinte, et qu'on a obtenu l'effet désiré, on peut alors la colorer en se servant des couleurs les plus transparentes broyées à l'huile. C'est encore une aquarelle qu'il faut faire; mais il faut employer moins d'essence dans ces glacis, qui ne deviennent puissants qu'autant qu'on y revient à plusieurs reprises et qu'on n'emploie plus d'huile grasse. Cependant, pour les colorations très légères, l'essence seule suffit pour étendre les couleurs.

Éclairage. L'effet peint sur le devant de la toile est éclairé par réflection, c'est-à-dire seulement par la lumière qui vient du devant, et le second reçoit sa lumière par réfraction, c'est-à-dire par derrière seulement. On peut, dans l'un et l'autre effet, employer à la fois les deux lumières pour modifier certaines parties du tableau.

La lumière qui éclaire le tableau par devant doit autant que possible venir d'en haut; celle qui vient par derrière doit arriver par des croisées verticales; bien entendu que ces croisées doivent être tout à fait formées lorsqu'on voit le premier tableau seulement.

S'il arrivait qu'on eût besoin de modifier un endroit du premier effet par la lumière de derrière, il faudrait que cette lumière fût encadrée de manière à ne frapper que sur ce point seulement. Les croisées doivent être éloignées du tableau de deux mètres au moins, afin de pouvoir modifier à volonté la lumière en la faisant passer par des milieux colorés, suivant les exigences de l'effet; on emploie le même moyen pour le tableau du devant.

Il est reconnu que les couleurs qui apparaissent des objets en général ne sont produites que par l'arrangement des molécules de ces objets. Par conséquent, toutes les substances employées pour peindre sont incolores; elles ont seulement la propriété de réfléchir tel ou tel rayon de la lumière qui porte en elle-même toutes les couleurs. Plus ces substances sont pures, plus elles réfléchissent les couleurs simples, mais jamais cependant d'une manière absolue, ce qui, du reste, n'est pas nécessaire pour rendre les effets de la nature.

Pour faire comprendre les principes sur lesquels ont été faits et éclairés les tableaux du Diorama ci-dessus mentionnés, voici un exemple de ce qui arrive lorsque la lumière est décomposée, c'est-à-dire lorsqu'une partie de ses rayons est interceptée :

Couchez sur une toile deux couleurs de la plus grande vivacité, l'une rouge et l'autre verte, à peu près de la même valeur, faites traverser à la lumière qui devra les éclairer un milieu rouge, tel qu'un verre coloré, la couleur rouge réfléchira les rayons qui lui sont propres et la verte restera noire. En substituant un milieu vert au milieu rouge, il arrivera au contraire que le rouge restera noir tandis que le vert réfléchira la couleur verte. Mais ceci n'a complétement lieu que dans le cas où le milieu employé refuse à la lumière le passage de tous ses rayons excepté un seul.

Cet effet est d'autant plus difficile à obtenir entièrement, qu'en général les matières colorantes n'ont pas la propriété de ne réfléchir qu'un seul rayon; néanmoins dans le résultat de cette expérience, l'effet est bien déterminé.

Pour en revenir à l'application de ce principe aux tableaux du Diorama, bien que dans ces tableaux il n'y ait effectivement de peints que deux effets, l'un de jour peint par devant, et l'autre de nuit peint par derrière, ces effets, ne passant de l'un à l'autre que par une combinaison compliquée des milieux que la lumière a à traverser, donnent une infinité d'autres effets semblables à ceux que présente la nature dans

ses transitions du matin au soir et *vice versâ*. Il ne faut pas croire qu'il soit nécessaire d'employer des milieux d'une couleur très intense pour obtenir de grandes modifications de couleur, car souvent une faible nuance suffit pour opérer beaucoup de changement.

On comprend, d'après les résultats qui ont été obtenus au Diorama par la seule décomposition de la lumière, combien il est important d'observer l'état du ciel pour pouvoir apprécier la couleur d'un tableau, puisque les matières colorantes sont sujettes à des décompositions si grandes. La lumière préférable est celle d'un ciel blanchâtre, car lorsque le ciel est bleu, ce sont les tons bleus et en général les tons froids qui sont les plus puissants en couleur, tandis que les tons colorés restent ternes. Il arrive au contraire, lorsque le ciel est coloré, que ce sont les tons froids qui perdent de leur couleur, et les tons chauds, le jaune et le rouge par exemple, qui acquièrent une grande vivacité. Il est facile de conclure de là que les rapports d'intensité des couleurs ne peuvent pas se conserver du matin au soir; on peut même dire qu'il est physiquement démontré qu'un tableau ne peut pas être le même à toutes les heures de la journée. C'est là probablement une des causes qui contribuent à rendre la bonne peinture si difficile à faire et si difficile à apprécier, car les peintres, induits en erreur par les changements qui s'opèrent du matin au soir dans l'apparence de leurs tableaux, attribuent faussement ces changements à une variation dans leur manière de voir, tandis qu'ils ne sont souvent causés que par la nature de la lumière.

DISTILLATION (*angl.* distillation, *all.* branntweinbrennerei). Sous ce titre nous n'entendons parler ici que de la préparation des liqueurs spiritueuses et alcooliques, nous revenons sur la théorie à l'article DISTILLATION (*Complément*).

L'eau-de-vie est un mélange d'eau et d'ALCOOL; ce dernier est produit par la FERMENTATION vineuse ou alcoolique des liqueurs sucrées et amylacées. La préparation des eaux-de-vie est fondée sur ce fait, qu'en soumettant à une distillation partielle ces liqueurs fermentées, l'alcool plus volatil se concentre dans les premiers produits de la distillation, tandis que les matières organiques, les sels et la plus grande partie des matières aqueuses, restent dans les *vinasses* ou résidus de la distillation. Le sucre est la seule substance qui se transforme en alcool par la fermentation; l'amidon se transforme d'abord en sucre de raisin. Le VIN, le CIDRE, la BIÈRE et les autres liqueurs fermentées, donnent à la distillation des eaux-de-vie qui ne diffèrent que par la présence d'une faible proportion d'huiles volatiles diverses qui leur communiquent des saveurs différentes.

Les sucs de fruits doux renferment tous une espèce de ferment qui leur fait éprouver peu à peu la fermentation; les décoctions de céréales brutes ou maltées, au contraire, n'entrent en fermentation qu'après l'addition d'une certaine quantité de levure, matière qui se produit dans la fermentation même. Lorsqu'il s'agit de préparer du vin et de la bière, on arrête la fermentation avant la complète transformation du sucre en alcool, afin que la liqueur conserve un certain goût sucré, et qu'il ne s'y développe pas la moindre trace de fermentation acéteuse. Lorsque l'on veut au contraire préparer de l'eau-de-vie, on cherche à obtenir la plus grande quantité possible d'alcool, et, par suite, on pousse la fermentation jusqu'à ce que la transformation du sucre en alcool soit complète, et même qu'il commence à se former un peu d'acide acétique, lequel se sépare par la distillation et donne naissance à une petite quantité d'éther acétique qui rend l'eau-de-vie plus agréable au goût. Tantôt, comme en Angleterre, on prépare à l'aide des céréales un extrait limpide, qui, soumis à la fermentation, puis distillé, donne des eaux-de-vie plus exemptes d'huiles essentielles; tantôt, comme dans le nord de l'Europe, on les laisse dans la liqueur à fermenter et on soumet le tout à la distillation.

En résumé, la fabrication des eaux-de vie se divise, d'après la nature des matières premières, en deux branches principales que nous allons examiner :

I. FABRICATION DE L'EAU-DE VIE AU MOYEN DE SUCS VÉGÉTAUX SUCRÉS. La première substance dont nous avons à parler est le *vesou*, ou jus exprimé de la canne à sucre, qui contient 12 à 16 p. 100 de sucre, et qui, de même que le suc de raisin, éprouve de lui-même la fermentation vineuse sans l'addition d'un ferment, puis qui, soumis à la distillation, donne le *rhum*, liqueur spiritueuse qui doit sa saveur particulière à une certaine huile volatile renfermée dans le jus de la canne à sucre.

Quoique, comme nous venons de le dire, le vesou éprouve de lui-même la fermentation vineuse, celle-ci marche si lentement et d'une manière si irrégulière, que l'on y ajoute ordinairement un peu de ferment pour l'accélérer. A cet effet, on suspend dans la liqueur des chiffons de laine qui s'imprégnent du ferment qui se forme, et que l'on laisse ensuite sécher jusqu'à la récolte suivante pour les ajouter alors au vesou que l'on veut faire fermenter. Très souvent, au lieu d'employer le vesou, on fabrique le rhum en faisant fermenter un mélange de mélasse, d'écumages de la fabrication des sucres, d'eaux provenant du lavage du sucre brut ou terré, et même quelquefois de sucre cristallisé, puis soumettant le tout à une ou deux distillations dans des alambics simples.

Le suc de palmier, le lait de coco, etc., traités comme le vesou, donnent des liqueurs spiritueuses qui portent le nom d'*urrack*, etc. Le miel étendu d'eau et traité de même fournit l'hydromel.

Les vins, le cidre, le poiré, etc., fournissent diverses sortes d'eau-de-vie par la distillation. Le jus de cerises fermenté et distillé donne la liqueur connue sous le nom de *kirsch-wasser*.

Beaucoup de racines sucrées, telles que les betteraves, les carottes, etc. (voyez *Complément*, DISTILLATION DE BETTERAVES), sont susceptibles de produire des liqueurs spiritueuses.

II. FABRICATION DE L'EAU-DE-VIE AU MOYEN DES MATIÈRES AMILACÉES. Déjà à l'article BIÈRE nous avons traité de la transformation de l'amidon en sucre de raisin et en alcool, il nous restera donc ici peu de chose à dire.

1° *Eau-de-vie de grains*. Toutes les céréales propres à la fabrication de la bière, le froment, le seigle, l'orge et l'avoine, servent à la fabrication de l'eau-de-vie, ainsi que le blé de Turquie ou maïs. La quantité d'eau-de-vie qu'on en retire est en proportion de celle de l'amidon qu'elles renferment. La différence qu'elles présentent consiste surtout dans le prix d'achat des 100ᵏ par exemple. L'orge et le seigle sont les plus employés. On emploie l'orge en tout ou en partie à l'état de malt, tandis que l'on ne fait subir aucune préparation aux autres céréales, et qu'on se contente d'y ajouter une certaine quantité de malt d'orge pour fournir la DIASTASE nécessaire pour opérer la transformation de l'amidon en sucre. Ordinairement, lorsqu'on n'emploie que de l'orge, on en prend 1/3 à 1/6ᵉ à l'état de malt, et lorsqu'on se sert d'autres céréales, on y ajoute 1/6ᵉ à 1/8ᵉ de malt d'orge. L'avoine a l'avantage de rendre l'opération plus facile. Dans les meilleures distilleries d'Ecosse on emploie le mélange suivant :

	En volume.	En poids.
Avoine.	400	8
Malt d'orge.	468	42
Seigle.	400	9
Orge.	632	78
	1,000	107

La préparation du malt se fait comme nous l'avons indiqué à l'article BIÈRE ; mais il doit être pâle et très faiblement torréfié, sous peine de communiquer à l'eau-de-vie un arrière-goût désagréable.

L'extraction du moût se fait comme pour la bière, à cette différence près, que l'on réduit d'abord les céréales en farine sous des meules ordinaires, et que l'on se contente de concasser grossièrement le malt entre des cylindres broyeurs.

Le moût ainsi obtenu s'aigrit beaucoup plus facilement que le moût de bière préparé avec du malt d'orge seulement, et doit, par conséquent, être refroidi le plus rapidement possible, et ramené à une température de 18 à 20°. On en accélère ensuite la fermentation par l'addition à plusieurs reprises d'une certaine quantité de levure de bière ; la densité de la liqueur diminue peu à peu, et on reconnaît que la fermentation alcoolique est terminée, lorsque le liquide prend une réaction acide et rougit d'une manière permanente le papier de tournesol. On se sert souvent de l'aréomètre pour juger des progrès de l'opération ; celle-ci s'opère d'une manière d'autant plus régulière et plus complète, que les cuves de fermentation sont plus grandes.

Lorsqu'on n'emploie que du malt d'orge, on se contente de le concasser grossièrement avant l'extraction du moût, que l'on traite ensuite comme il est dit ci-dessus.

Le moût fermenté est d'abord distillé dans un grand ALAMBIC, souvent avec une faible addition de savon, et le produit obtenu est soumis à une seconde distillation. On met de côté les premiers et les derniers produits de cette distillation, lesquels ont une apparence laiteuse et où se concentre une huile essentielle particulière d'un goût extrêmement désagréable. On distille de nouveau ces résidus à plusieurs reprises avec de l'eau, pour en séparer l'alcool.

Lorsqu'on emploie des grains gâtés pour la fabrication de l'eau-de-vie, celle-ci acquiert une propriété enivrante et irritante très grande ; chauffée, elle irrite fortement l'odorat et les yeux, et offre beaucoup d'analogie avec une dissolution alcoolique d'acide hydro-cyanique ; il n'y a cependant pas de traces de cet acide dans la liqueur. L'huile volatile particulière qui donnait lieu à ces réactions, se décompose peu à peu d'elle-même, et au bout de quelques mois l'eau-de-vie a repris ses propriétés habituelles.

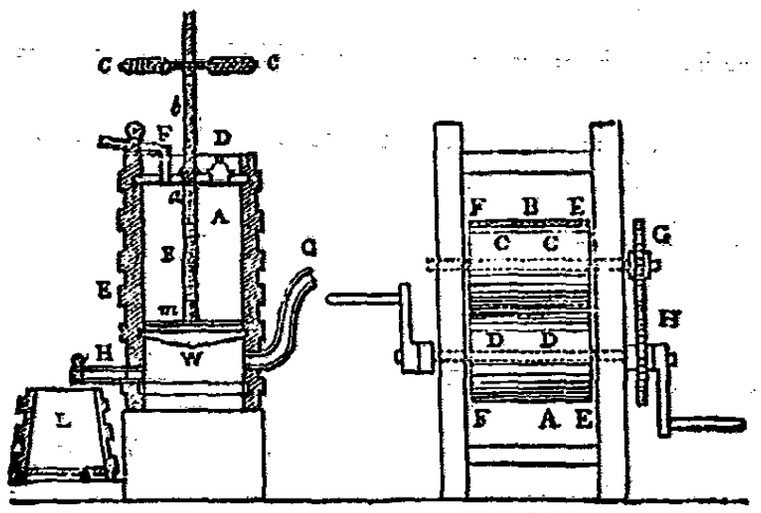
Genièvre. La fabrication du genièvre diffère de celle de l'eau-de-vie de grains : 1° en ce qu'on arrête la fermentation du moût avant que tout le sucre se soit converti en alcool, ce qui cause, il est vrai, une perte considérable sur le produit, mais empêche d'un autre côté la production de cette huile volatile qui communique un goût si désagréable aux eaux-de-vie de grains ; 2° en ce que l'on ajoute au moût, soit avant la fermentation, soit seulement après, et avant la première ou la seconde distillation, une certaine quantité de genièvre.

Eau-de-vie de pommes de terre. Les pommes de terre, en raison de leur bas prix et de leur richesse en amidon, qui s'élève de 16 à 22 p. 100 de leur poids, sont très employées pour la fabrication de l'eau-de-vie.

On commence par laver les pommes de terre dans un appareil semblable à celui employé pour le lavage des betteraves (voyez SUCRE) ; puis on les cuit à la vapeur dans une cuve à double fond. On les retire de la cuve dès quelles sont cuites, et on les réduit immédiatement en une pâte homogène au moyen de l'appareil représenté en plan fig. 673, et qui se compose de deux cylindres A et B en toile métallique et ouverts par les deux bouts, de 0m,50 de long sur 0m,36 de diamètre, mus par les roues dentées G et H, qui ont l'une 18 et l'autre 24 dents. Les pommes de terre tombant d'une trémie placée au-dessus des cylindres, s'écrasent et sont forcées de passer à travers les mailles qui les recouvrent.

DISTILLATION.

Avec cette machine on réduit en pâte 600k de pommes de terre par heure. Cette pâte est aussitôt brassée avec de l'eau et une certaine quantité de farine d'orge ou de froment et de malt concassé, puis abandonnée à la fermentation.



672. 673.

Au lieu d'employer cette machine qui refroidit la pâte et la rend plus difficile à délayer dans l'eau, il vaut mieux réduire les pommes de terre en pâte dans le vase même où s'opère leur cuisson. L'appareil de Siemens, représenté en coupe *fig.* 672, remplit très bien ce but. Il se compose : d'une tonne A, en fortes douves de bois cerclées de fer, à 0m,30 du fond de laquelle est placé un double fond en fonte W, percé d'ouvertures coniques de 2 à 3 millimètres seulement de diamètre à leur partie inférieure, et espacés de 2 à 3 centimètres. Une vis de 5 cent. de diamètre, manœuvrée au moyen des barres C, C, se meut dans un écrou *a*, et porte à sa partie inférieure une croix en fer *m*, dont les bras sont armés en dessus de couteaux tranchants, et en dessous de brosses métalliques. H et E, sont des portes que l'on peut ouvrir pour retirer les résidus, et pour fixer la croix sur la vis *b*. D, est l'ouverture par laquelle on introduit les pommes de terre ; F, un tube latéral pour laisser échapper la vapeur non condensée ; G, le tube d'arrivée de la vapeur sous le disque W.

On descend la vis de manière à ce que la croix *m* touche le double fond W, on jette par dessus des pommes de terre jusqu'à 0m,30 de la partie supérieure de la tonne A, on ferme l'orifice D, et on laisse arriver la vapeur par le tube G, jusqu'à ce que la cuisson soit suffisante. En agissant alors sur les leviers C, C, on fait alternativement monter et descendre la vis *a*, on découpe les pommes de terre avec les couteaux, et on les fait passer en bouillie épaisse à travers le double fond à l'aide des brosses ; on facilite cette dernière opération en versant de l'eau chaude par la partie supérieure de la tonne ; la bouillie qui en résulte tombe par la canelle H dans la cuve L, où on la mélange encore avec une faible quantité d'eau bouillante, et 1/1000e de potasse à la chaux, afin de redissoudre la matière albumineuse coagulée par la chaleur, et de rendre la masse homogène. On ajoute ensuite du malt concassé, dans la proportion de 1/20e du poids des pommes de terre, et de l'eau en quantité suffisante pour ramener la température du mélange à 75°. On brasse le tout pendant deux heures, puis on ajoute de l'eau froide jusqu'à ce que la température se soit abaissée à 25°, et on transvase le mélange dans la cuve à fermenter, en y ajoutant environ 3 à 4 p. 100 de levure. La fermentation marche très rapidement, et produit beaucoup de levure.

On a remarqué qu'après le mois de décembre, le rendement des pommes de terre en alcool diminue, et qu'il se réduit à très peu de chose aussitôt qu'elles commencent à germer, ce qui restreint de beaucoup la fabrication de l'eau-de-vie de pommes de terre. A Vienne on

a employé avec succès le procédé suivant : on soumet les pommes de terre lavées à l'action d'une forte presse hydraulique ; elles perdent ainsi près des 4/5 de leur poids, se dessèchent ensuite facilement, et peuvent être conservées en cet état pendant des années. Pour s'en servir on les réduit en farine, que l'on mélange avec de l'eau et du malt, et on opère ensuite comme à l'ordinaire.

Le meilleur procédé connu pour enlever aux eaux-de-vie de grains et de pommes de terre l'huile volatile qui leur communique un goût désagréable est de les faire passer sur plusieurs filtres successifs en charbon, en faisant circuler le liquide de bas en haut. On parvient ainsi avec un nombre suffisant de filtres (6 à 8) à purifier complétement l'eau-de-vie.

ALCOOL DE BETTERAVES. Voy. *Complément*, article DISTILLATION, pour l'exposition des procédés perfectionnés de cette industrie si utile aux progrès de l'agriculture en France.

DOCIMASIE (*angl.* docimasy, *all.* probierkunst). La docimasie est l'art d'essayer les divers minéraux employés dans l'industrie et les produits qui résultent de leur traitement. Elle comprend : 1° les essais par la voie sèche, et 2° les essais par la voie humide.

On dit que l'on fait un essai par la voie sèche lorsque, pour reconnaître la nature d'une substance minérale, pour constater quelques-unes de ses propriétés, ou pour rechercher la proportion de l'un quelconque de ses éléments, on n'emploie que l'action de la chaleur et des flux ou fondants. Par suite des immenses progrès qu'a faits de nos jours la chimie, il est généralement plus exact de procéder par voie humide, en employant comme agents chimiques des réactifs liquides ou en dissolution, ce qui permet de déterminer exactement la nature et la proportion de tous les éléments d'une substance minérale quelconque. Mais l'analyse par voie humide, à laquelle les arts chimiques doivent un grand nombre de découvertes importantes, exige des connaissances tellement étendues que nous sommes forcés de renvoyer à cet égard aux traités spéciaux, et notamment au savant *Traité d'analyse chimique de M. H. Rose.*

S'il est vrai de dire que l'on ne peut presque jamais déterminer la composition complète d'un minéral qu'en l'analysant par la voie humide, la voie sèche, de son côté, présente des avantages qui lui sont propres :

1° Il y a quelques métaux que l'on sépare de leurs combinaisons avec plus de facilité et d'exactitude par la voie sèche que par la voie humide, et dont il serait même extrêmement difficile de reconnaître la présence par ce dernier procédé, s'ils ne se rencontraient qu'en très petite proportion, tels sont l'argent, l'or, le platine, etc...

2° Par la voie sèche, on parvient, au moyen d'opérations simples et expéditives, à séparer un grand nombre de métaux des substances terreuses et des métaux très oxydables avec lesquels ils peuvent être mélangés ou combinés. Lors même qu'on n'aurait ainsi qu'un résultat approché, ce n'en serait pas moins une méthode très utile, pourvu que l'on ait soin de l'appliquer toujours de la même manière, parce qu'alors les résultats sont comparables, et qu'il suffit de constater, par quelques expériences précises, la perte que l'on éprouve, pour calculer avec une exactitude suffisante la proportion cherchée.

3° Par les opérations de la voie sèche, on expulse plusieurs substances volatiles dont la présence complique celles de la voie humide ; et l'on parvient souvent à simplifier l'analyse, en changeant le mode de combinaison des divers éléments qui se trouvent réunis dans la matière minérale à essayer et les séparant en plusieurs groupes distincts.

4° Les opérations ordinaires de la voie sèche ayant de grands rapports, avec ce qui se pratique en grand dans les usines, cette méthode a l'avantage, et c'est un des plus importants pour l'ingénieur et pour l'exploitant, de mettre à même de prévoir ce qui arrivera lorsque l'on traitera, dans les ateliers métallurgiques, la matière soumise à l'essai ; de connaître immédiatement la proportion des substances qu'on en extraira, et d'éclairer sur le choix des fondants, etc., qu'il faudra employer.

5° Enfin, la voie sèche, permettant d'imiter en petit presque toutes les opérations métallurgiques qui se pratiquent en grand, on peut se livrer par ce moyen à des essais variés et multipliés, presque sans frais, tandis que les expériences faites en grand sont toujours extrêmement dispendieuses, et compromettent souvent la fortune de ceux qui les exécutent. Considérée sous ce point de vue, la voie sèche a déjà rendu et peut encore rendre de très grands services aux arts métallurgiques.

Nous ne pouvons entrer ici dans tous les détails de ce vaste sujet pour lesquels nous renverrons à l'excellent *Traité des essais par la voie sèche de M. Berthier ;* nous nous contenterons de donner quelques généralités sur les opérations que nécessitent les essais industriels et en particulier les essais par la voie sèche, en renvoyant à l'article de chaque métal pour la manière de procéder à ces essais, habituellement employée dans les usines ou ateliers métallurgiques.

Les opérations que nécessitent les essais par la voie sèche sont de deux sortes : les unes mécaniques, les autres chimiques ; nous allons les examiner successivement :

OPÉRATIONS MÉCANIQUES. *Cassage* : a pour but de concasser la matière à essayer pour en faciliter soit le triage, soit la pulvérisation ultérieure ; s'exécute à l'aide de marteaux. On a souvent besoin de casser des culots métalliques très petits et très tenaces pour en connaître le grain ; dans ce cas, pour éviter toute projection, on les enveloppe dans une feuille de tôle ou de fer-blanc assez épaisse pour résister au choc, et cependant assez mince pour pouvoir être repliée sur elle-même.

Pulvérisation. S'exécute dans des mortiers en fonte, en acier, en bronze, en porcelaine, en verre, en agate ou en porphyre, suivant la dureté des substances à pulvériser. Lorsque la substance à réduire en poudre est très dure et inaltérable par la chaleur, il est avantageux de l'*étonner*, c'est-à-dire de la faire chauffer au rouge et de la plonger à cet état dans l'eau froide, avant de la piler, elle se fendille alors en tous sens et devient très fragile.

Tamisage. Se fait au moyen de tamis en crin ou en soie, et a pour but de séparer la poudre plus ou moins ténue provenant de la pulvérisation, des matières qui ne sont pas encore assez pulvérisées et que l'on remet dans le mortier. Lorsqu'on veut réduire un corps en grains d'une certaine grosseur et éviter de le réduire en poussière fine, il faut tamiser très fréquemment, afin de soustraire au choc du pilon les particules qui ont déjà atteint une ténuité suffisante pour passer à travers les mailles du tamis. On se sert souvent de tamis emboîtés, pour classer la matière pulvérisée en poudres de diverses grosseurs.

Triage. Cette opération, qui a pour but de séparer les matières mécaniquement mélangées, s'exécute à la main sur la substance concassée, lorsque cela est possible ; au moyen du barreau aimanté, lorsque l'une des substances est magnétique ; en pilant fortement, lorsque l'une des substances est très ductile et les autres cassantes : la première se réduit seule en paillettes qui restent sur le tamis ; et enfin par le lavage.

Lavage. Le lavage s'exécute, soit par suspension dans une eau tranquille et décantation, c'est-à-dire par *lévigation*, soit en soumettant la matière pulvérisée à l'action d'un courant d'eau.

La *lévigation* est employée pour séparer des substances qui peuvent rester longtemps en suspension dans l'eau, d'autres substances qui se précipitent très lentement. On l'emploie dans les arts pour purifier l'argile, séparer l'émeri, l'azur, etc., en diverses sortes suivant leur degré de finesse, etc. Cette opération est fondée sur ce fait que : les corps abandonnés à l'action de la gravité dans un liquide en repos, éprouvent une résistance à leur chute, proportionnelle à leur surface, quels que soient leur volume et leur densité; d'où il suit : 1° qu'à volumes égaux les plus lourds tombent le plus rapidement; 2° que dans les grains de même forme, les surfaces étant proportionnelles aux carrés des dimensions, et les poids aux cubes de ces mêmes longueurs, ce sont, à densité égale, les grains les plus gros qui se meuvent avec le plus de vitesse; 3° qu'à densités et à volumes égaux, les particules écailleuses ou lamellaires, éprouvent plus de résistance dans leur mouvement que celles qui, approchant de la forme sphérique, ont une surface moindre.

Le lavage proprement dit, est fondé sur cet autre principe, que : dans un fluide en mouvement l'impulsion que reçoivent différents corps est proportionnelle seulement à leur surface. Il en résulte que, à volumes égaux, les corps les moins denses sont ceux qui acquièrent la plus grande vitesse et se déposent le plus tard; qu'à densités égales les grains les plus petits sont ceux qui sont transportés le plus loin; et qu'enfin à densités et à volumes égaux, les particules qui par leur forme offrent le plus de surface, parcourent un plus grand espace que les autres. Il est évident d'après cela qu'il faut réduire les matières à laver en grains assez petits d'une grosseur aussi uniforme que possible. Les grains assez fins pour pouvoir rester pendant quelque temps en suspension dans l'eau, ne peuvent pas être recueillis par ce moyen; il faut donc toujours commencer par les séparer par lévigation, opération qui, dans ce cas, prend le nom de *débourbage*.

Le lavage, qui se fait en grand dans des appareils très variés que nous décrirons à l'article MÉTALLURGIE, s'exécute ordinairement en petit dans une *auge* ou sébille en bois qui se manœuvre à la main, et requiert une certaine habitude.

Quelquefois deux substances, qui dans leur état naturel ne pourraient pas être séparées l'une de l'autre par le lavage, peuvent l'être après qu'elles ont été grillées : dans ce cas l'une d'elles n'éprouve aucune altération, tandis que l'autre se décompose et se change en une matière beaucoup plus légère. C'est ce qui a lieu, par exemple, pour les mélanges d'oxyde d'étain et de matières pyriteuses : par le grillage les pyrites perdent leur soufre et de l'arsenic quand elles en renferment; elles augmentent de volume, deviennent beaucoup plus légères et friables, et se séparent alors avec la plus grande facilité par le lavage.

Porphyrisation. La pulvérisation et le tamisage, ne réduisent pas toujours une substance en poudre assez fine pour qu'elle puisse être immédiatement soumise aux opérations chimiques; on la réduit alors à un état de ténuité extrême en la porphyrisant à l'eau sur des plaques en porphyre ou en agate avec des molettes de la même nature, ou dans des mortiers très évasés quand on n'opère que sur de très petites quantités.

OPÉRATIONS CHIMIQUES. — *Calcination* (voyez ce mot).

Grillage. Le grillage est une opération dans laquelle on chauffe un corps avec le contact de l'air, soit pour l'oxyder, soit le plus souvent pour en séparer à l'état gazeux, par le concours de la chaleur et de l'oxygène contenu dans l'air, des substances que la chaleur seule ne pourrait en dégager. Ces substances sont : le carbone, le soufre, le sélénium, le tellure, l'arsenic, l'antimoine et quelquefois le chlore. Un grillage dans lequel il y a fusion, s'appelle *scorification* ou *coupellation*. Le grillage des combustibles prend le nom d'*incinération*, parce qu'il a presque toujours pour objet de déterminer la nature et la proportion des cendres qu'il produit.

Le grillage se fait ordinairement dans de petits vases plats en terre cuite ou *têts à rôtir*, que l'on frotte souvent à l'intérieur avec un morceau de sanguine, pour prévenir l'adhérence de la matière, et que l'on chauffe soit sur des charbons, soit même sous la moufle d'un fourneau de coupelle. Il est essentiel, pour que le grillage soit complet, de remuer fréquemment la matière, afin de renouveler les surfaces, et d'empêcher qu'elle n'éprouve un commencement de fusion ou qu'elle ne s'agglomère. Dans ce dernier cas, il faut retirer la matière du têt, la pulvériser, et la soumettre à un nouveau grillage dans le même têt.

La plupart des substances que l'on grille pour en séparer le soufre ou l'arsenic, sont très fusibles par elles-mêmes, mais elles le deviennent de moins en moins à mesure que le grillage avance (la galène ou sulfure de plomb fait exception à cette règle : elle est fusible et la litharge, produit du grillage, l'est encore plus); il faut donc généralement ménager beaucoup la chaleur dans le commencement de l'opération, d'autant plus que les premières portions du soufre et de l'arsenic se dégagent toujours avec une grande facilité. En général on doit effectuer le grillage à la température la plus basse possible, et n'augmenter le feu que lorsque tout dégagement de vapeur à une température plus basse cesse d'avoir lieu.

Dans le cas seulement où la matière renferme de l'arsenic, il convient d'ajouter dans le têt, aussitôt qu'il ne se dégage plus de vapeurs, une certaine quantité de charbon pulvérisé que l'on mélange avec la matière; on recouvre le têt, et on donne un coup de feu pour ramener à l'état d'arséniures les arséniates indécomposables par l'action combinée de la chaleur et de l'air, qui s'étaient formés pendant le grillage; il se volatilise en même temps une certaine quantité d'arsenic; on découvre ensuite le têt, et on recommence le grillage; l'expérience prouve que quel que soit le nombre des grillages et réductions successives que l'on fasse subir à une matière arsénicale, il est impossible d'en chasser tout l'arsenic. Il est encore plus difficile de se débarrasser de l'antimoine; nous pensons cependant que l'on pourrait séparer, du moins presque complétement, l'arsenic et l'antimoine de beaucoup de minerais, les *cuivres gris*, par exemple, que personne n'a pu traiter jusqu'ici, en les grillant à plusieurs reprises avec une faible quantité de sel marin comme si on voulait les amalgamer, et même en employant dans le grillage un courant de vapeur d'eau, comme nous l'avons vu pratiquer il y a quelques années à Freiberg en Saxe, où ce mode de grillage est à présent généralement adopté pour les minerais d'argent.

Pour l'incinération des combustibles, on se sert ordinairement de capsules en platine.

Réduction. C'est une opération par laquelle on enlève l'oxygène à un oxyde ou à une combinaison oxydée quelconque; elle s'effectue en chauffant à une température plus ou moins élevée le corps à réduire, avec du charbon, du gaz hydrogène, ou quelquefois un corps métallique ayant une beaucoup plus grande affinité pour l'oxygène. Ce dernier procédé ne peut être employé que dans des cas tout à fait particuliers; la réduction par le gaz hydrogène quoique très commode, est rarement employée dans les essais; la réduction par le charbon donnant des produits analogues à ceux de nos usines, est au contraire très usitée. Elle s'exécute comme une fusion proprement dite, soit en mélangeant intimement le charbon avec le corps à réduire, soit par voie de cémentation; dans le premier cas, il faut toujours employer un excès de charbon, ce qui est souvent

nuisible, en empêchant le métal de se réunir en un seul culot; le second procédé qui se fait au CREUSET *brasqué* ne présente pas cet inconvénient, et doit être préféré toutes les fois qu'il est praticable, ce qui a souvent lieu.

Fusion. On fait fondre une substance minérale avec ou sans addition : 1° pour déterminer approximativement son degré de fusibilité; 2° pour connaître l'aspect et les propriétés qu'elle acquiert, quand elle a été fondue ensuite plus ou moins lentement; 3° pour rechercher si elle perd quelque chose de son poids : dans ce cas, l'opération est en même temps une fusion et une calcination; 4° pour la combiner avec d'autres substances et ainsi la rendre plus attaquable par les acides, etc.; 5° enfin, et c'est le cas le plus fréquent, on fond une substance hétérogène, soit pour en extraire un métal ou un alliage, soit pour séparer une combinaison métallique d'une combinaison pierreuse : dans ce dernier cas, on dit qu'on fait une *fonte crue*, si les deux combinaisons fondent toutes les deux, et une *liquation*, si l'une d'elles seulement (ordinairement la combinaison métallique) entre en fusion. Quand on réduit en même temps un oxyde ou une combinaison oxydée, on dit que l'on fait une *réduction;* enfin, quand on a pour but d'extraire les métaux de leurs sulfures, l'opération prend le nom de *désulfuration*. On opère la fusion dans des CREUSETS en argile nus ou *brasqués*, que l'on recouvre d'un couvercle pour empêcher l'accès de l'air, et s'opposer à ce qu'il y tombe des cendres ou des charbons. Ces couvercles, que l'on lute quelquefois avec de l'argile grasse, sont ordinairement percés à leur centre d'une petite ouverture pour donner issue aux gaz qui se dégagent. Pour que le fond des creusets ne soit pas constamment refroidi par le courant d'air froid qui traverse la grille du fourneau d'essai, on les élève à une certaine hauteur, en les plaçant sur des supports cylindriques ou *fromages* en argile cuite, sur lesquels on les lute, lorsque les essais (ceux de fer par exemple) exigent une très forte chaleur.

Quand on juge que l'essai est terminé, on cesse d'ajouter du combustible; et dès que celui-ci, en se consumant, laisse les creusets à découvert, on les retire à l'aide de pinces courbes, et on les laisse refroidir lentement et complétement avant d'en extraire le contenu; cependant on les coule quelquefois immédiatement dans des lingotières graissées, puis chauffées modérément.

Distillation, sublimation. Distiller et sublimer, c'est chauffer une substance pour vaporiser cette substance ou seulement une partie des éléments qui la composent, et condenser en même temps les vapeurs qui la forment, de manière à pouvoir recueillir le composé liquide ou solide qui en résulte. On appelle l'opération *distillation*, lorsque les vapeurs se condensent à l'état liquide, et *sublimation*, quand elles se condensent à l'état solide. C'est, dans tous les cas, une calcination en vase clos qui s'opère ordinairement dans des CORNUES.

Il se produit quelquefois, pendant la distillation ou la sublimation, outre des vapeurs condensables, des gaz permanents. On les recueille en faisant passer ces derniers, à l'aide de tubes en verre recourbés, dans des cloches ou des flacons renversés sur une cuve pneumatique; on prévient les fuites qui pourraient avoir lieu par les jointures des appareils de distillation, en les garnissant avec des luts appropriés. Les luts les plus employés sont les deux suivants : 1° le *lut à la farine de graine de lin*, qui se fait en pétrissant cette farine avec ou sans un peu de suif et de l'eau, du lait, de l'eau de chaux, une dissolution de colle-forte ou de l'empois : ce lut est bien ductile et imperméable, lorsqu'il a été fait avec soin; mais il ne supporte pas une chaleur de plus de 250° à 300°; 2° le *lut d'âne*. On prend de la chaux vive, à laquelle on ajoute la quantité d'eau nécessaire pour la réduire en poudre sèche; on la mélange intimement et rapidement avec du blanc d'œuf délayé dans son volume d'eau; on l'étend immédiatement sur des bandes de toile que l'on applique sur les jointures, et on le saupoudre avec de la chaux vive. Au lieu de blanc d'œuf, on emploie quelquefois avec la chaux, du fromage blanc, une dissolution de colle, du sang, etc. Ce lut contracte promptement une grande dureté et adhère fortement au verre; mais il a le défaut de n'être pas flexible. On se sert aussi très souvent, pour réunir deux tubes de verre, de tuyaux flexibles en CAOUTCHOUC.

FOURNEAUX D'ESSAI. Ces fourneaux se divisent en deux classes, les fourneaux dans lesquels le courant d'air s'établit par aspiration, et ceux à courant d'air forcé ou *forges*.

La première classe de fourneaux renferme :

1° Les *fourneaux de calcination*. Ordinairement cylindriques, de 0m,12 à 0m,18 de diamètre, et dont la grille d'une seule pièce peut se placer à volonté à une profondeur de 0m,10 ou 0m,20; ils n'ont pas de cheminée fixe; et lorsqu'on veut produire une forte chaleur, on les recouvre d'une cheminée en tôle légèrement conique; une cheminée de 0m,60 de hauteur suffit pour les essais de plomb, et une cheminée de 1m,20 pour ceux de cuivre.

2° Les *fourneaux à réverbère*. Fourneaux portatifs en terre cuite, ronds ou ovales, que l'on peut à volonté recouvrir d'un *dôme* ou *réverbère*, et qui ne servent guère que pour opérer des distillations ou des sublimations.

3° Les *fourneaux à vent*. Fourneaux tout à fait analogues pour la forme à ceux employés pour la fabrication de l'ACIER *fondu*, mais de plus faibles dimensions; ils sont exclusivement employés à l'Ecole des Mines de Paris pour les essais de fer.

4° *Forges*. On peut au besoin se servir d'un feu de maréchal ordinaire; mais ordinairement on se sert, soit de la *forge d'Aikin*, soit de celle de *Selfstrœm*.

La *forge d'Aikin* est construite avec des grands creusets de plombagine d'Allemagne, qui ont la propriété d'être peu fusibles, et de supporter des alternatives quelconques de chaleur et de froid sans se casser. Ce fourneau est portatif et se compose de trois pièces : 1° la partie inférieure est formée du fond d'un creuset de graphite coupé à une hauteur telle, qu'il y reste une cavité d'environ 25mm de profondeur, et percé latéralement d'un trou cylindrique dans lequel on introduit le tuyau du soufflet qui doit donner le vent; 2° la seconde pièce ou la cuve est un creuset entier de 0m,20 environ de diamètre à la partie supérieure, dont le fond est percé de six ouvertures symétriquement disposées autour du centre, et que l'on place sur la pièce inférieure, de telle sorte que tout le vent passe au travers du creuset; 3° la partie supérieure est un creuset renversé de même dimension que le précédent, percé latéralement d'une ouverture pour laisser échapper la flamme, et munie de l'autre côté d'un manche qui permet de l'enlever à volonté : cette dernière partie n'est pas indispensable, et on s'en passe souvent. Au lieu de faire arriver l'air dans le creuset à travers son fond, on peut, comme le propose M. Berthier, l'y introduire par une ouverture latérale, et placer, à quelques centimètres au-dessus de cette ouverture, une grille sur laquelle on pose le creuset : cette disposition rend inutile la pièce inférieure du fourneau d'Aikin.

Forge de Selfstrœm. Cette forge, qui produit une température extrêmement élevée et qui est très employée en Allemagne, consiste en deux cylindres de tôle forte, solidement réunis ensemble, à leur partie supérieure, par une plaque annulaire, et dont les fonds sont séparés par un intervalle égal à celui qui existe entre les

parois latérales. Le petit cylindre est la cuve dans laquelle on met les creusets et le combustible; l'espace compris entre cette cuve et le grand cylindre sert d'appareil à chauffer l'air, et il reçoit le vent du soufflet par une ouverture latérale qui laisse passer *la tuyère*. L'air pénètre dans la cuve par 8 ouvertures qui sont pratiquées dans les parois, à peu près au niveau du fond des creusets. On garnit les parois intérieures de la cuve d'une couche épaisse d'argile réfractaire qu'on y fait adhérer solidement, ou bien on remplace cette couche d'argile par un creuset réfractaire de mêmes dimensions, dans lequel on perce des trous qui correspondent exactement aux ouvertures. Quand l'essai est terminé et qu'on a retiré le creuset, on retourne le fourneau sens dessus dessous, pour vider et nettoyer la cuve. Il faut avoir soin d'entretenir le courant d'air lancé par les soufflets dans l'espace annulaire du fourneau, jusqu'à complet refroidissement; sans cela les parois en tôle s'échaufferaient très rapidement, aux dépens de la chaleur accumulée dans la cuve, et par suite s'oxyderaient et le détruiraient très vite.

RÉACTIFS DE LA VOIE SÈCHE OU FLUX. Ces réactifs peuvent se partager en cinq classes :

1° *Réductifs*. Les plus employés sont l'hydrogène, le charbon, et le fer métallique; ce dernier est peu employé.

2° *Oxydants*. L'oxygène de l'air, pendant les opérations du grillage, de la scorification et de la coupellation, agit comme oxydant.

La litharge ou oxyde de plomb oxyde facilement la plupart des métaux, excepté les métaux nobles, l'or, l'argent, le platine, etc., et le mercure, et elle forme en général des combinaisons très fusibles avec les oxydes métalliques; ces deux propriétés en font un réactif excellent pour séparer l'or et l'argent de toutes les substances avec lesquelles ils se trouvent mélangés ou combinés. (Voyez ESSAIS.)

Les alcalis caustiques et les carbonates alcalins ont la propriété d'oxyder quelques métaux, comme le fer, le zinc, etc., par la décomposition de l'eau de combinaison ou de l'acide carbonique qu'ils renferment. Les carbonates alcalins n'attaquent ni le plomb, ni le cuivre, ni l'antimoine.

3° *Désulfurants*. L'oxygène de l'air agit comme désulfurant dans l'opération du grillage; le soufre se dégage alors à l'état d'acide sulfureux.

Le carbone agit sur quelques sulfures, comme ceux de mercure, d'antimoine et de zinc, qu'il réduit, en formant avec le soufre qu'ils renferment du sulfure de carbone volatil.

Le fer métallique est très employé pour réduire les sulfures de plomb et d'antimoine, soit dans les essais, soit dans le traitement en grand de ces mêmes minerais.

La litharge, employée en quantité suffisante, réduit tous les sulfures métalliques, et le métal passe dans le culot de plomb réduit, ou se combine à l'état d'oxyde avec la litharge non réduite, ce qui est le cas le plus rare. Ces propriétés font de la litharge un réactif très précieux dont on se sert presque exclusivement pour faire l'essai des matières qui renferment des *métaux fins*, que l'on obtient ainsi à l'état d'alliages avec du plomb, dont on les sépare ensuite par la coupellation.

Les alcalis caustiques décomposent tous les sulfures; il en est de même des carbonates alcalins, mais seulement dans quelques cas avec un mélange de charbon (voyez plus loin *flux noir*); il se forme des sulfures alcalins qui retiennent toujours en combinaison une quantité plus ou moins considérable de sulfure employé.

Enfin le nitrate de potasse ou nitre en excès attaque tous les sulfures; le soufre est transformé en acide sulfurique et tous les métaux sont oxydés, à l'exception de l'or et de l'argent. On le mélange ordinairement avec 2 parties de carbonate de soude pour tempérer son action, et prévenir la projection d'une partie des matières hors du creuset.

4° *Sulfurants*. Le soufre ne sert guère que pour préparer les sulfures alcalins.

Le sulfure d'antimoine était autrefois employé pour l'affinage des matières d'or et d'argent; l'argent, le cuivre, etc., passaient à l'état de sulfure dans les mattes et scories, et l'or se combinait avec l'antimoine réduit.

Les persulfures alcalins peuvent sulfurer tous les métaux *sans exception*; on les remplace ordinairement, ce qui revient au même, par un mélange de soufre et de carbonates *alcalins*; on opère généralement dans des creusets brasqués.

5° *Fondants* ou *flux*. Les réactifs de cette classe ou agissent seulement comme fondants pour former avec les matières étrangères des *combinaisons* fusibles, ou jouent en mêmes temps le rôle de réactifs oxydants ou réductifs. Nous allons les examiner *successivement* en commençant par les premiers.

Le borax est un fondant excellent et presque *universel*, parce qu'il a la propriété de former des combinaisons très fusibles tant avec la silice qu'avec les bases, mais comme il est très notablement volatil à une température élevée, il est impossible de tirer du poids du culot et des scories une vérification de l'exactitude des essais. Comme à l'état hydraté il se boursouffle beaucoup lorsqu'on le chauffe, il ne faut l'employer que récemment fondu, et même il est bon de ne le pulvériser qu'au fur et à mesure que l'on en a besoin.

La silice est très employée pour déterminer la fusion des gangues basiques dans les essais qui se font à une température élevée, les essais de fer par exemple. On la remplace souvent avec avantage par de l'argile qui, renfermant une certaine proportion d'alumine, rend les gangues calcaires plus fusibles; cela est plus simple que d'ajouter un mélange de silice et d'alumine, et vaut mieux. On ajoute au contraire du carbonate de de chaux aux gangues argileuses et siliceuses; dans ce *dernier cas on* ajoute en outre de l'alumine ou une argile très alumineuse.

Le *spath fluor* ou chaux fluatée forme avec les sulfates terreux, et en particulier avec les sulfates de chaux et de baryte, *des combinaisons* très fusibles; c'est également un bon fondant pour les matières siliceuses dont il dégage une partie de la silice à l'état de fluorure de silicium. Ces deux propriétés peu employées dans les essais, sont mises à profit dans la plupart des usines à plomb et à cuivre de l'Angleterre, dans les mines à cuivre du Mansfeld, etc., pour scorifier les gangues terreuses.

Les carbonates alcalins, outre leur action oxydante et désulfurante sur beaucoup de métaux, sont d'excellents fondants pour les gangues siliceuses ou argileuses; ils se combinent également avec un grand nombre d'oxydes métalliques, mais ces combinaisons qui sont fusibles sont généralement décomposées par l'eau; enfin, leur grande fusibilité leur permet de tenir en suspension une assez grande quantité de matières infusibles, disséminées, telles que de la chaux, du charbon, etc., en poudre fine, sans perdre leur fluidité.

Le nitre, en se décomposant au blanc en potasse caustique, agit comme un fondant très énergique et à peu près comme les carbonates alcalins.

Le *flux noir* est un réactif à la fois réductif, désulfurant et fondant des plus employés. C'est un mélange *intime* de carbonate de potasse et de charbon, que l'on prépare en allumant dans un vase en fer ou même un creuset en terre, un mélange de 2 ou 3 parties de tartre brut ou de crème de tartre (bi-tartrate de potasse) et de 1 partie de nitre. Aussitôt que la combustion est

achevée, on retire la matière, on la pulvérise, on la passe à travers un tamis de crin serré pendant qu'elle est encore chaude, et on la conserve dans des flacons bien bouchés, afin de la préserver de l'humidité qui la ferait promptement tomber en déliquescence. On l'emploie surtout pour les essais de plomb et de cuivre.

La litharge est employée comme réactif désulfurant et fondant dans les essais à une basse température pour métaux fins.

Les pyrites de fer sont employées comme réactifs sulfurants et comme fondants dans les usines, mais très rarement dans les essais. L'oxyde de fer sert de même dans nombre d'usines comme fondant ou désulfurant; dans ce dernier cas, il est d'abord ramené à l'état métallique par le charbon.

Voir, pour le complément de cet article, au mot ESSAIS, et en général aux noms de tous les métaux et des diverses matières premières ou produits chimiques.

DORURE (*angl.* gilding, *all.* vergoldung). La dorure est une opération industrielle qui a pour but de recouvrir d'une couche d'or des objets de diverses natures, mais d'une valeur incomparablement moins élevée que ce métal précieux, afin de leur donner le vif éclat et de les douer à leur surface de l'inaltérabilité que présentent les objets faits intégralement en or. On dore le marbre, la pierre, la porcelaine, le bois, le plâtre, le carton, le papier, ainsi que tous les métaux usuels, l'argent, le cuivre, le fer, l'étain, le zinc et leurs alliages, tels principalement que le bronze et le maillechort. Il en résulte plusieurs arts différents, que nous allons examiner successivement en commençant par la dorure sur métaux.

DORURE SUR MÉTAUX. A cause de sa rareté et de ses propriétés remarquables, l'or fut, dès l'origine des sociétés, réservé pour les choses divines, ou monopolisé par les dominateurs des nations, et son emploi, même dans les temples et les palais, fut bientôt limité, dans la plupart des cas, à l'ornement extérieur des objets sacrés ou de luxe. On ne connaissait pas la dorure proprement dite du temps de Moïse; mais il est dit (Exod., XXVI, 10, 19), à l'occasion de la construction du tabernacle : « Vous couvrirez les ais de lames d'or; — vous couvrirez aussi ses barres de lames d'or. » On commença donc, dans l'origine, à revêtir de lames d'or ces objets, à l'aide d'une simple opération mécanique. Ce métal se prêtait à merveille à cette opération par sa grande malléabilité. A mesure que l'on sentit davantage la nécessité d'économiser l'or dont l'emploi se multipliait indéfiniment, tandis que sa production était limitée, on fit les lames de plus en plus minces, et peu à peu elles devinrent des feuilles d'une ténuité extrême que prépare le BATTEUR D'OR (voyez ce mot). Ces feuilles minces sont appliquées, collées sur les objets à dorer, par des procédés que nous donnerons plus loin et qui ne sont plus que rarement en usage pour la dorure des métaux, parce que cette dorure mécanique n'offre pas assez de durée. Pour qu'il y ait adhérence entre le métal de peu de valeur et le métal précieux qui lui sert comme de vêtement, il faut se servir d'un *intermédiaire* qui fasse quelque peu pénétrer l'or dans le métal qu'on veut dorer, ou d'une *force*, ou d'un *agent physique* qui établisse une union suffisamment intime. L'intermédiaire qu'on emploie est le mercure, et on a la *dorure au mercure;* la force est l'affinité dans la *dorure par immersion;* l'agent physique est le courant électrique produit par une pile dans la *dorure galvanique*. Nous allons examiner successivement ces trois méthodes de dorure, dont la première est fort ancienne, mais dont les deux autres n'ont été découvertes que dans ces dernières années.

I. *Dorure au mercure*. Le mercure a la propriété de dissoudre l'or; en employant des proportions convenables, que nous dirons tout à l'heure, de l'un et l'autre métal, on obtient l'amalgame d'or. Comme le mercure attaque aussi l'argent et le cuivre, on répand une couche de l'amalgame sur ces métaux, et quand on chasse par l'action du feu le mercure qui est volatil, les objets restent dorés. « La véritable méthode de dorer le cuivre consiste dans l'emploi du vif-argent, dit Pline (*Hist. nat.* XXXIII); à cet effet, on décape d'abord parfaitement le cuivre, en le chauffant et en l'éteignant dans un mélange de sel, de vinaigre et d'alun. On lui applique ensuite les feuilles d'or, amalgamées avec du vif-argent et mêlées de poudre de pierre de ponce et d'alun. » Cette méthode est applicable aux alliages de cuivre, comme le laiton et le bronze. La dorure du bronze constitue une des industries les plus importantes de Paris, où cinq à six cents ouvriers sont employés à cette opération. Quant au fer, qui n'est pas attaqué par le mercure, cette méthode ne pouvait s'y appliquer, et ce n'est que plus tard qu'on est parvenu à le dorer. Pour cela on revêtit le fer d'un métal intermédiaire, du cuivre, sur lequel l'or fut fixé. « On plonge, dit Boyle (*Usefulness of philosophy*, vol. I, pag. 72), le fer dans une dissolution chaude de sulfate de cuivre; la mince couche de cuivre qui s'y dépose suffit pour qu'on applique dessus l'amalgame d'or. » Malgré cette affirmation, il est probable que la dorure obtenue n'était point de bonne qualité, puisque l'on ne trouvait point, dans le commerce, d'objets en fer ou en acier doré avant la découverte des procédés galvaniques.

Les procédés dont on se sert pour dorer les bronzes, à l'aide du mercure, sont les mêmes que ceux que l'on emploie dans la fabrication du *vermeil* ou argent doré. Nous nous contenterons donc de décrire la dorure des bronzes qui est, d'ailleurs, celle que l'on fait le plus habituellement.

Rarement le cuivre pur est employé dans les arts; bien plus rarement encore on le soumet à la dorure au mercure, où il prend un ton noirâtre. Le laiton se dore bien, mais, le plus souvent, on soumet à l'opération de la dorure des ornements ou des objets d'art fondus et qui sont, par conséquent, en bronze.

Le bronze destiné à la dorure doit présenter des qualités particulières et diffère essentiellement du bronze des canons. Il doit être facilement fusible afin de bien prendre toutes les empreintes du moule, et il doit présenter une continuité parfaite, parce que les *piqûres*, *gerçures*, et autres défauts à peine sensibles dans les pièces de bronze ordinaire, deviennent très apparents quand les objets sont dorés, et en outre parce que ces défauts font perdre beaucoup d'or, considération toujours importante pour les industriels, mais qui, aujourd'hui que le prix de la dorure est tombé, par suite de la concurrence des nouveaux procédés, à un prix extrêmement bas, est d'une extrême gravité. Il faut en outre que le bronze puisse être facilement tourné et ciselé. La composition chimique des bronzes du commerce est très variable, parce que les fondeurs ne les préparent que rarement avec des métaux purs. Ils se servent de vieux bronzes dédorés, de pièces de rebut, et des vieux objets hors de service, tels que chaudières, chaudrons, etc., qui sont connus sous le nom de *mitraille pendante;* ils les fondent avec un mélange de cuivre jaune et de cuivre rouge, couvert d'étamage et de soudure; l'habitude leur indique les proportions qui doivent les conduire au but qu'ils se proposent. Selon M. D'Arcet, les proportions normales de l'alliage qui est le plus approprié à la dorure sont : cuivre, 82; zinc, 18; étain 3 ou 4; plomb, 1, 5 ou 3. Pour les petits objets qui ont besoin de plus de densité, et réclament moins de ténacité, il est préférable d'employer moins d'étain et plus de plomb, par conséquent les dernières proportions de M. D'Arcet. (Voir pour plus de détails le mot BRONZE). Nous diviserons en quatre parties les opérations de la dorure au mercure : 1° préparation de l'amalgame

d'or ; 2° préparation des bronzes ; 3° dorure ; 4° mise en couleur, où nous comprendrons le brunissage, le *matage*, etc.

1° *Préparation de l'amalgame d'or.* L'or que l'on veut employer doit être dans le plus grand état de pureté possible ; trop d'argent allié à l'or donne à la dorure un ton vert ; le cuivre donne un ton rouge, outre que l'amalgame est grenu et s'étend mal sur le bronze. On lamine l'or afin de rendre sa combinaison avec le mercure plus facile. Quand l'or est pesé, l'ouvrier le met dans un creuset, et à l'instant où ce creuset passe au rouge sombre, il y verse 8 parties de mercure pur pour 1 d'or. Il remue alors le mélange avec une tige de fer recourbée à son extrémité, en laissant le creuset sur le feu, jusqu'à ce qu'il trouve que tout l'or est dissous. Alors l'ouvrier verse l'amalgame dans une terrine qui contient de l'eau ; il le lave avec soin, et le comprimant avec les deux pouces contre les bords de la terrine, il en exprime tout le mercure excédant. L'amalgame doit être assez pâteux pour conserver les traces de la pression des doigts. Dans cet état il se compose, pour 100 parties, de 9 à 11 d'or et de 91 à 89 de mercure. On le renferme alors dans un sac de peau de chamois où on le comprime avec les mains ; il rend beaucoup de mercure, et il reste en définitive un amalgame composé d'environ 33 de mercure et 67 d'or. Le mercure qui est resté au fond de la terrine, ainsi que celui qui a filtré à travers le sac contiennent des quantités assez considérables d'or, et on les emploie pour former un nouvel amalgame.

Toutes les opérations précédentes sont fort dangereuses pour la santé des ouvriers, soit à cause des vapeurs mercurielles produites dans la dissolution de l'or, et dont on évite l'effet nuisible en se servant du fourneau décrit plus loin, soit à cause du contact du mercure avec la peau des ouvriers, qui doivent, pour cette raison, être munis de gants de peau, de vessie ou de taffetas ciré.

On ne peut appliquer l'amalgame sur les pièces qu'après qu'elles ont été imprégnées d'une dissolution de nitrate de mercure acide. Cette dissolution se prépare en prenant 100 parties en poids de mercure et 100 d'acide nitrique pur, marquant 36° à l'aréomètre, et chauffant le tout ensemble, à une douce chaleur, dans un matras de verre ; on laisse échapper dans la cheminée les vapeurs nitreuses qui se forment durant l'opération. On ajoute à la dissolution vingt-cinq fois son poids d'eau distillée, et on la tient en réserve dans des bouteilles bouchées.

2° *Préparation des bronzes.* Les pièces de bronze sortant des mains du fondeur doivent subir plusieurs opérations avant de recevoir la dorure. Elles sont d'abord *recuites*, puis *dérochées*, et enfin *décapées*.

Le *recuit* a surtout pour but de débarrasser les pièces de toutes les matières grasses dont elles ont pu être imprégnées durant les travaux auxquels elles ont déjà été soumises. M. D'Arcet pense qu'en outre, on ramène les couches extérieures à l'état de cuivre rouge par la volatilisation d'une certaine quantité de zinc, et que l'amalgame se combine alors plus facilement avec ces couches. Il se pratique en plaçant les bronzes dans une espèce de mouffle cylindrique en briques, que les ouvriers appellent *moufle* ; un grillage en fer placé à une certaine distance des briques maintient le charbon, et laisse intérieurement un espace cylindrique vide où l'on suspend les objets. On se sert, pour combustible de charbon de bois, de charbon de terre, ou de mottes, selon les localités ; le feu doit être égal tout autour des pièces, et on doit avoir soin de ménager les parties minces. On opère de préférence dans un lieu un peu obscur. Quand l'ouvrier voit que la pièce est chauffée au rouge cerise, il l'enlève avec des pinces longues et la laisse refroidir lentement à l'air.

Pendant le recuit, les pièces se sont chargées d'une couche d'oxyde qu'on enlève en très grande partie par le *dérochage*, opération qui consiste à les plonger dans un bain d'acide sulfurique très étendu d'eau, où on les laisse assez longtemps pour que l'oxyde se détache. Alors on les frotte avec une brosse dure, on les lave à l'eau propre, et on les fait sécher dans de la sciure de bois légèrement chauffée.

La surface des pièces est encore irisée, on fait disparaître toutes les taches par le décapage dans de l'acide nitrique (l'eau-forte impure ordinaire du commerce, pourvu qu'elle ne contienne pas de plomb) ; l'acide nitrique pur ne réussit pas bien. Après avoir plongé les pièces dans l'eau-forte, et avoir laissé l'acide mordre suffisamment, on les plonge rapidement, pour les *éclaircir*, dans un bain d'eau-forte, où on ajoute une poignée de sel de cuisine et de la suie ; on les lave ensuite à grande eau. Quand l'eau-forte n'est pas assez concentrée et n'agit pas assez vivement sur les pièces, on la *remonte* par une addition d'acide sulfurique. On sèche les pièces dans de la sciure de bois. Elles doivent être d'un beau jaune pâle et légèrement grenu.

3° *Opération de la dorure.* L'ouvrier doreur plonge son *gratte-bosse*, espèce de pinceau fait avec des fils de laiton assez fins, dans la dissolution de nitrate de mercure, le passe sur la pièce à dorer, placée dans une terrine de terre non vernissée ; il prend ensuite avec l'extrémité du gratte-brosse un peu d'amalgame d'or, qu'il applique à son tour sur le bronze. L'ouvrier répète ces opérations autant de fois qu'il le faut pour que la surface entière du bronze soit revêtue d'une couche convenable de l'amalgame. Alors il lave la pièce à grande eau, la sèche, et l'expose au feu pour volatiliser le mercure. Quand l'épaisseur de l'or n'est pas jugée suffisante, on lave la pièce et on lui applique de la même manière une nouvelle couche d'amalgame.

La volatilisation du mercure est une opération délicate et qui demande beaucoup de soins. Pour l'effectuer, l'ouvrier saisit la pièce avec des pinces longues, et l'expose petit à petit à l'action d'un feu de charbon de bois. Il la retourne en tous sens, et a bien soin d'éviter la liquéfaction de l'amalgame qui serait produite par l'application brusque d'un feu trop ardent. La pièce échauffée est retirée du feu ; l'ouvrier la saisit par la main gauche, garnie d'un gant épais, la tourne en tous sens, et la frappe de la main droite avec une brosse à longs poils, afin de répartir bien également l'amalgame. Il recommence la même opération jusqu'à ce que le mercure soit entièrement volatilisé, ce qu'il reconnaît, par habitude, au bruit que produit une goutte d'eau qu'il jette dessus, et au temps que cette goutte met à s'évaporer. Pendant que la volatilisation du mercure s'effectue de cette façon, l'ouvrier corrige les endroits défectueux. Quand la pièce est terminée, elle est lavée, puis gratte-brossée avec soin au moyen d'eau acidulée par du vinaigre.

Si la pièce doit être brunie en entier, on la chauffe sans épargne, et on la plonge un peu chaude dans de l'acide sulfurique très étendu d'eau, on la lave, et enfin on la brunit.

Lorsque la pièce doit avoir certaines parties *brunies*, et d'autres parties *mates*, on réserve les parties à brunir en les couvrant au moyen d'un pinceau de la mixture qu'on appelle *épargne* ; c'est un mélange de blanc d'Espagne, de cassonade et de gomme, le tout délayé dans l'eau. Les épargnes faites, l'ouvrier doreur fait sécher la pièce, et la chauffe de nouveau à une chaleur indiquée par la couleur que prend l'épargne. Il la plonge ensuite, tandis qu'elle est encore un peu chaude, dans de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique, la lave, la sèche, et la livre à la brunisseuse.

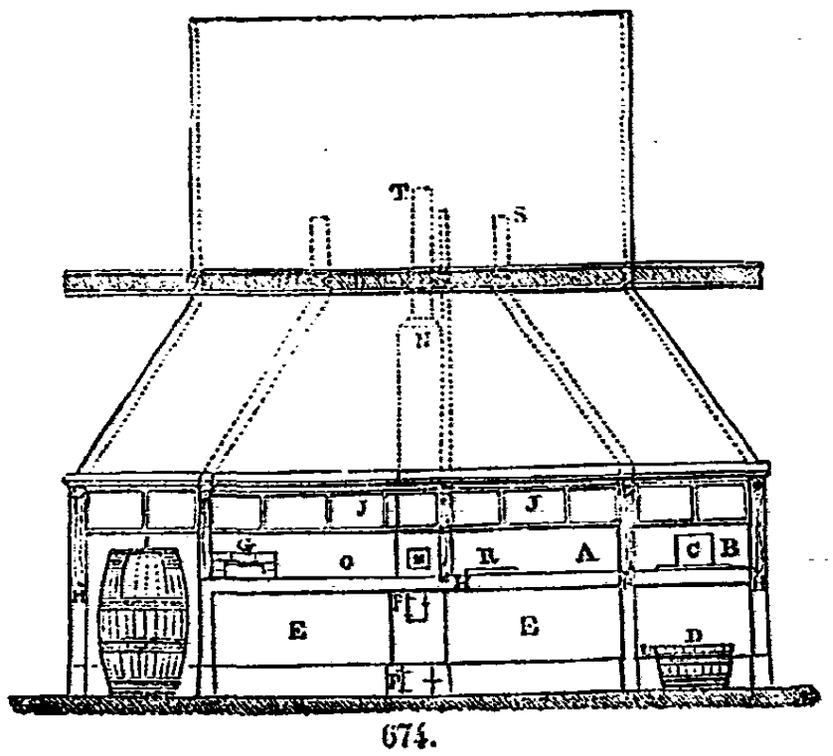
Dans les opérations précédentes, le mercure, soit à l'état liquide, soit à l'état de vapeur, entoure de toutes

parts les ouvriers doreurs, qui respirant ce métal par tous les pores ne tardent pas à en éprouver les terribles effets, quand on ne prend pas des précautions suffisantes pour les soustraire à l'action pernicieuse de ce poison. L'influence du mercure sur les ouvriers doreurs compromet gravement leur santé, et expose quelquefois leur vie; elle se manifeste, soit par un tremblement nerveux qui va jusqu'à les empêcher de porter les aliments à la bouche, soit par la perte de la mémoire, une difficulté extrême de s'exprimer, et la paralysie de la langue.

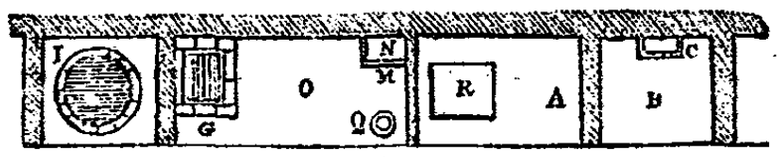
Un art aussi insalubre a attiré depuis longtemps l'attention des hommes qui ont à cœur l'amélioration du sort des ouvriers. L'Académie des sciences de Paris a couronné, en 1783, un mémoire de H.-A. Gosse, de Genève, qui s'était appliqué à augmenter le tirant des cheminées pour entraîner plus vite et plus complétement les émanations mercurielles. En 1818, un prix de 3,000 francs, fondé par un ancien fabricant de bronze, M. Ravrio, a été décerné par la même Académie à M. D'Arcet, qui a fait un travail complet sur l'art de la dorure, et lui a appliqué un système de ventilation dont tout le monde s'accorde à vanter les heureux effets.

Nous allons donner la description du fourneau d'appel que M. D'Arcet a fait construire dans un grand nombre d'ateliers, mais que tous les maîtres doreurs n'ont pas l'humanité de faire établir, tant il est encore vrai que, dans notre société, la santé de l'ouvrier n'est point mise en balance avec le faible revenu d'un petit capital enfoui dans un appareil préservatif.

Les fig. 674 et 675 représentent l'élévation et le plan d'une forge complète à dorer.



674.



675.

P, fourneau d'appel, servant en même temps à chauffer le poêlon à mater.

F, cendrier de ce fourneau

N, T, cheminée du même fourneau, construite en briques jusqu'au rétrécissement de la grande cheminée S de la forge, et terminée par un tuyau de tôle s'élevant de 2 ou 3 mètres au-dessus de ce rétrécissement.

B, forge à recuire les bronzes, à sécher les pièces dorées, et à pratiquer les diverses opérations qu'il peut être nuisible de faire à l'air libre.

C, cheminée de communication entre la forge à recuire B et l'espace D placé au-dessous de cette forge, où l'on pratique le décapage et le dérochage, dont les vapeurs acides sont ainsi entraînées.

U, baquet de décapage.

A, forge à passer l'amalgame sur les pièces.

R, tablette à brosser.

E, E, charbonnier.

O, forge à passer au mat.

G, fourneau pour la même opération.

M, ouverture pratiquée au bas de la cheminée d'appel, ordinairement fermée par un tampon, mais par laquelle, en ôtant le tampon, on fait partir les vapeurs acides données par la dissolution mercurielle en y plaçant le col du matras où cette dissolution se prépare, ainsi que les vapeurs mercurielles de la préparation de l'amalgame en plaçant au-dessous de l'ouverture le creuset où elle se fait.

I, tonneau dans lequel on plonge les pièces dorées mises au mat; les vapeurs qui s'en dégagent s'échappent par la cheminée générale.

J, J, châssis garnis de vitres, et à coulisses verticales, rétrécissant l'ouverture des âtres, permettant à l'ouvrier de voir facilement sous le foyer, et le mettant à l'abri des émanations nuisibles.

H, H, rideaux de cotonnade qui peuvent se fermer à volonté, en tout ou en partie, pour une ou plusieurs des forges, et qui servent à augmenter le tirage.

Q, ouverture pratiquée dans le fourneau d'appel, et qui sert à chauffer le poêlon à mater.

Il n'est pas besoin d'ajouter que les différentes forges indiquées sont alimentées par des soufflories convenables.

4° *Mise en couleur.* Nous comprenons sous ce titre les opérations variées qui s'effectuent après la dorure proprement dite, pour donner aux pièces les divers aspects réclamés par le commerce.

Quand on veut que la surface dorée soit parfaitement lisse et ait l'éclat et le brillant métalliques, on la *brunit*, c'est-à-dire qu'on la frotte fortement avec le brunissoir, instrument qui est ordinairement une dent de loup ou de chien, et plus souvent de l'hématite, appelée vulgairement sanguine, emmanchée dans du bois. La brunisseuse trempe l'instrument dans de l'eau vinaigrée, et frotte jusqu'à ce que l'éclat convenable soit atteint. On lave alors dans l'eau froide, on essuie avec un linge fin, et on sèche lentement sur un feu très doux.

On obtient des effets très heureux en mélangeant le *brillant* au *mat*; on orne ainsi les bronzes de dessins fort recherchés. Pour *mater* l'or appliqué sur les bronzes, il faut simplement le conserver avec les nombreuses aspérités que le procédé de dorure a créées. Le mercure en se volatilisant a laissé sur le bronze non pas une couche continue, mais une espèce de crible dont le brunissoir bouche les trous en les comblant par les aspérités. L'épargne étendue sur les parties réservées a donc résolu le problème. Il s'agit seulement d'enlever l'épargne sans employer le grattoir qui brunirait. Pour cela, on chauffe la pièce au point de carboniser l'épargne, puis on recouvre les parties épargnées, ayant alors une belle couleur d'or, avec un mélange de 10 parties de sel marin, 25 parties de nitrate de potasse, et 35 parties d'alun, fondu dans l'eau de cristallisation de ce dernier sel. La pièce est remise au feu, et chauffée jusqu'à ce que la couche saline qui la couvre devienne homogène, transparente, et se fonde. Elle est alors retirée du feu et plongée subitement dans l'eau froide, qui détache la couche saline et l'épargne. La pièce est enfin passée dans de l'acide nitrique faible,

lavée à grande eau et séchée avec un linge fin, ou en l'exposant quelque temps au-dessus d'un réchaud.

Quand on veut donner à une pièce de bronze dorée la couleur que l'on appelle or *moulu*, on la frotte moins fort avec le gratte-brosse qu'à l'ordinaire, et on l'expose à une chaleur un peu moins élevée que pour donner le mat. Sur la pièce un peu refroidie, en ayant soin de ne pas toucher aux parties brunies, on étend avec un pinceau une composition de sel marin, d'alun et d'hématite, délayés dans du vinaigre. La pièce est alors chauffée sur des charbons ardents, un peu excités par un soufflet, jusqu'à ce que la couleur commence à brunir; elle doit être assez chaude pour qu'une goutte d'eau projetée à sa surface produise un sifflement. On la plonge alors dans l'eau froide, on la lave, et on la frotte avec une brosse imbibée de vinaigre si la pièce est unie, et d'acide nitrique étendu si elle est ciselée ou gravée; dans tous les cas, elle est enfin lavée et séchée à un feu modéré.

Pour donner à un bronze la teinte d'or *rouge*, on suspend la pièce par un fil de fer, au moment où elle sort toute chaude de la forge où elle a été chauffée avec l'amalgame, dans une composition connue sous le nom de cire de dorure et formée de cire jaune, d'ocre rouge, de vert-de-gris et d'alun. On l'expose ensuite à l'action d'un feu vif, qu'on anime encore, quand la combustion de la couche de cire est assez avancée, en y jetant quelques pincées du mélange employé. Quand le feu cesse de flamber, on plonge la pièce dans l'eau froide, on la lave et on la gratte-brosse avec du vinaigre. Si la teinte obtenue n'est pas belle, on couvre la pièce de vert-de-gris dissous dans du vinaigre, on fait sécher à un feu doux, on plonge dans l'eau, on lave et on gratte-brosse avec du vinaigre, ou même avec de l'acide nitrique, lorsque la pièce présente une teinte trop foncée. La pièce est alors lavée, brunie, puis encore lavée, essuyée avec un linge fin, et enfin séchée sur un feu modéré.

Nous ne donnerons pas de plus amples détails sur l'art insalubre de la dorure au mercure; nous espérons d'ailleurs que ces détails vont devenir complétement inutiles, et qu'ils n'auront plus bientôt qu'un simple intérêt historique. Dans notre *conviction*, cet art dangereux devrait être supprimé, car on a maintenant des procédés qui n'offrent plus que les dangers inhérents au décapage, et qui donnent certainement, quand ils sont exécutés par des industriels consciencieux, ne cherchant point l'écoulement de leurs produits dans un rabais indéfini, une dorure satisfaisant à tous les besoins du commerce. Nous croyons qu'il serait du devoir de l'autorité de défendre la dorure au mercure, parce qu'un art qui ne satisfait, après tout, que les besoins du luxe, ne doit point mettre en danger la vie et la santé des hommes. Ce sont là des choses qui ne devraient pas être sacrifiées aux jouissances de quelques-uns. Nous savons quelles objections s'élèvent contre notre pensée. Supprimer la dorure au mercure, dira-t-on, c'est donner pendant quelques années le monopole de toutes les dorures aux possesseurs de brevets pris pour les nouveaux procédés, et plonger dans la misère tous les doreurs qui achètent le pain au prix de leur santé, qui aiment mieux devenir paralytiques que mourir de faim. A cette première objection la réponse est facile : le gouvernement qui a acheté l'invention du daguerréotype, invention qui pouvait être monopolisée quinze ans sans danger pour la société, puisqu'elle ne nuisait à aucune industrie, sans utilité pour la science, puisque son achat ne fera pas faire un pas aux arts avant plus de quinze ans, le gouvernement, proscrivant la dorure au mercure, devrait s'imposer comme premier devoir l'achat des brevets de la dorure par immersion et de la dorure galvanique.

Une seconde objection est soulevée à cette occasion : les travaux de M. D'Arcet ont supprimé tout à fait, dit-on, les dangers de l'emploi des procédés de dorure au mercure; c'est une assertion fausse, et un passage que nous empruntons à une brochure de la société de secours formée par une portion des ouvriers doreurs de Paris, le prouve surabondamment.

1840 — 100 sociétaires : 21 malades, dont 2 morts.
Sur ces 21 malades, 8 sont atteints du mercure.
1841. — 99 sociétaires : 17 malades, dont 9 atteints du mercure.
1842. — 111 sociétaires : 24 malades, dont 1 mort.
Sur les 24 malades, 10 sont atteints du mercure.
1843. — 108 sociétaires : 19 malades, dont 2 morts.
Sur ces 19 malades, 7 sont atteints du mercure.

Ainsi la dorure au mercure continue ses ravages parmi les ouvriers qui se livrent à cet art. Lors même que cette industrie donnerait de bons produits, de meilleurs produits que les inventions nouvelles, ce qui est fort contestable et ce que nous ne croyons pas, on ne saurait se prévaloir de cette raison pour permettre plus longtemps son exercice, mais à la condition, nous le répétons, de livrer les nouveaux procédés au domaine public. C'est pourquoi nous allons développer en détail les découvertes de la dorure par immersion et de la dorure galvanique, sans nous attacher plus longtemps à décrire des méthodes surannées.

II. *Dorure par immersion* ou *au trempé*. Nous entendons par ce mot un procédé de dorure, qui consiste à plonger les objets convenablement préparés dans une dissolution d'or, d'où on les retire quelques instants après complétement dorés.

Ce procédé, applicable seulement aux bijoux de cuivre, consiste à plonger ces bijoux, parfaitement décapés, dans une dissolution bouillante de chlorure d'or dans un carbonate alcalin.

Depuis longtemps les horlogers se servent d'une dissolution d'or pour dorer quelques petites pièces de cuivre ou d'acier. Leur méthode ordinaire consiste uniquement à plonger les pièces dans la dissolution de l'or par l'eau régale. Comme on le voit, l'or se précipitant à l'état métallique, se dépose sur les pièces. Mais en même temps, comme la dissolution d'or n'est presque jamais sans excès d'acide, cet acide non saturé agit sur les pièces, en détruit les vives arêtes, et leur ôte la précision que l'ouvrier leur avait donnée. C'est en vain que Baumé a imaginé de préparer une liqueur aussi neutre que possible, en faisant évaporer la dissolution d'or dans l'eau régale jusqu'à cristallisation, en pressant ensuite les cristaux dans du papier Joseph pour les dessécher complétement, et les dissolvant enfin dans de l'eau distillée. Si au premier instant une telle dissolution n'attaque pas aussi fortement que les liqueurs précédemment employées, les pièces qui y sont plongées, bientôt, par suite du dépôt d'or, l'acide mis en liberté vient à réagir, et les inconvénients qu'on a cherché à éviter reparaissent complétement. Il est évident *à priori* qu'on doit remédier à ces inconvénients en se servant d'une dissolution alcaline d'or, car si une certaine quantité d'acide est alors mise en liberté par suite de la précipitation de l'or, aussitôt cet acide est neutralisé par l'alcali en excès, et par conséquent il ne saurait exercer son action corrosive sur les pièces plongées. Cette solution du problème paraît bien simple aujourd'hui qu'elle est connue; il faut cependant arriver jusqu'en 1836 pour en trouver la réalisation. Les choses simples sont les plus difficiles à découvrir.

La dissolution de l'or dans les carbonates alcalins est connue depuis longtemps; elle est signalée en termes suffisamment clairs dans le *Dictionnaire de chimie* de Macquer. Proust reconnaît qu'une dissolution alcaline d'or abandonnée dans un vase de métal durant 24 heures, dore ce vase d'une manière brillante. Duportal et Pelletier plongeant une lame d'étain dans une liqueur semblable, la voient se recouvrir d'une couche

DORURE.

d'or. Tels sont les seuls faits qui ont précédé l'invention de la dorure par immersion ou au trempé. Nous n'avons pas la liberté de discuter la valeur de ces faits, étant appelés à prononcer judiciairement sur leur portée ; *nous devons nous borner à les mentionner*, en ajoutant seulement, parce que c'est un fait, qu'avant le jour où M. Elkington a importé le nouveau procédé d'Angleterre en France, personne n'avait songé qu'il serait possible de dorer commercialement, c'est-à-dire de revêtir d'une couche d'or continue et adhérente un objet en métal, en se servant d'une dissolution analogue à celle que nous allons décrire, dans le but de protéger ce métal. Macquer, qui connaissait le fait de la dissolution de l'or dans les carbonates alcalins, ne soupçonnait pas son emploi pour la dorure, et Baumé, qui chercha à remédier aux inconvénients de la méthode usitée dans l'horlogerie, ne songea pas davantage à ajouter du carbonate de potasse ou de soude à la dissolution d'or. Nous devons dire enfin que M. Elkington a obtenu, le 15 décembre 1836, un brevet d'importation de 15 ans, et que, par conséquent, la dorure par immersion ne sera, en France, dans le domaine public que le 15 décembre 1851.

Dans la dorure par immersion, il y a quatre opérations distinctes : préparation du bain, préparation des bijoux, dorure, mise en couleur.

1° *Préparation du bain.* On prend 100 parties d'or laminé et on les dissout dans une eau régale composée de 250 parties d'acide nitrique pur, à 36°, 250 d'acide hydro-chlorique également pur et enfin de 250 d'eau distillée. On opère dans un matras d'essayeur et on laisse échapper les vapeurs nitreuses dans la cheminée du fourneau.

Cette dissolution d'or étant faite, on fait chauffer 20 litres d'eau dans une marmite de fonte dorée intérieurement, parce qu'elle a reçu un vieux bain épuisé, et prenant 6 kilogrammes de bi-carbonate de potasse, on en verse la moitié dans l'eau et on jette l'autre moitié par petites portions dans la dissolution régale versée dans une grande capsule de porcelaine; il se produit une grande effervescence, et quand elle est terminée, on vide tout le contenu de la capsule dans la marmite. On laisse la liqueur bouillir pendant deux heures, en ayant soin de remplacer par de l'eau chaude, l'eau perdue par l'évaporation.

2° *Préparation des bijoux.* Pour mettre les bijoux en état d'être dorés par la simple immersion dans le bain précédent, il faut les soumettre au dérochage, au décapage et enfin à un ravivage. Le dérochage et le décapage se font exactement comme pour la dorure au mercure par les procédés décrits plus haut. Après le dérochage, on attache plusieurs bijoux ensemble avec du fil de laiton, de manière à en faire de petits paquets que l'on peut suspendre au crochet du doreur. Ce crochet est tout simplement une baguette en verre recourbée ou mieux une tige de fer également recourbée; il sert à plonger les bijoux dans les acides du décapage, et de ce que nous appelons un ravivage. Cette dernière opération qui précède immédiatement l'immersion dans le bain d'or, a pour but de rendre plus neuves les surfaces des bijoux décapés, de les mettre dans un état analogue à ce qu'on appelle en chimie *état naissant*, de telle sorte que l'or précipité du bain alcalin s'y applique plus intimement et que l'adhérence soit parfaite. On peut effectuer le ravivage dans la liqueur du décapage composée d'acide nitrique, de suie et de sel de cuisine, mais à *moins d'une très grande habitude du temps nécessaire* pour que l'effet cherché soit produit, on ne réussit pas facilement, et quand on plonge les bijoux dans le bain d'or, ils prennent souvent une teinte rouge, brune, et ils ne sont plus acceptables par le commerce. Il est donc de beaucoup préférable d'employer un acide composé. Depuis longtemps, un mélange en proportions assez variables d'acides nitrique, sulfurique et hydrochlorique, est employé en Angleterre pour le décapage des cuivres, et c'est à ces mélanges divers que les cuivres estampés anglais doivent l'éclat qui a fait leur *réputation. Cette supériorité a naturellement* excité l'émulation de l'industrie française, et il y a dix ans environ, M. Bouchet a découvert les proportions les plus propres à obtenir les effets désirés. Maintenant ces sortes de mélanges sont en usage chez tous les estampeurs et les passeurs à l'eau forte de Paris. Pour que la dorure par immersion réussisse complétement, il faut avoir recours à un mélange de cette espèce. La composition suivante réussit parfaitement : 40 parties d'acide sulfurique à 60°, 40 d'acide nitrique à 36°, 1 de sel marin. Il faut que le mélange soit fait au plus tard la veille de l'opération pour que son action soit suffisamment énergique.

L'aspect brillant ou mat dépend, dans la dorure par immersion, du mode de décapage ; on brillante par les moyens que nous venons d'indiquer. Pour obtenir le mat, il faut plonger les bijoux déjà décapés dans une liqueur formée de parties égales d'acide nitrique et d'acide sulfurique, auxquelles on ajoute du sulfate de zinc, ou bien dans les acides qui ont déjà servi au ravivage, et les tenir immergés pendant une demi-minute environ, un peu plus ou un peu moins, selon l'état du cuivre et selon l'état du bain matant ; on retire les bijoux rapidement et on les lave immédiatement, puis on les met sécher dans de la sciure de bois chaude. Quand les bijoux sont ainsi décapés mats, il faut prendre garde d'enlever cette apparence par le ravivage; la précaution qu'il suffit de prendre, consiste à plonger rapidement les paquets non mouillés dans le bain acide, à les retirer aussitôt et à les laver. Si on ne veut avoir qu'un demi-mat, on plonge les paquets dans l'eau avant de raviver, et on laisse les acides mordre un peu plus.

Souvent le ravivage n'est pas assez parfait pour que la dorure soit suffisamment belle ; dans ce cas, il faut plonger les paquets, avant la dorure, dans une très faible dissolution de nitrate de mercure. Cette immersion dans le nitrate de mercure peut souvent même réparer quelques paquets venus imparfaitement. Pour cela, on les plonge au sortir du bain d'or dans l'eau, puis dans le nitrate, et immédiatement de nouveau dans le bain d'or. Il se dépose une nouvelle couche d'or qui consolide la première.

3° *Dorure.* Les détails précédents étant bien compris, rien n'est plus simple que l'opération de la dorure. Si le bain a précipité une poudre noire, ce qui arrive assez souvent, on arrête un moment l'ébullition, on laisse reposer et on décante ; il est alors bon à être employé. On dispose à droite de la marmite où bout le bain d'or, une terrine contenant la liqueur à raviver, deux terrines d'eau, une terrine contenant la dissolution de nitrate de mercure, et une nouvelle terrine d'eau ; à gauche on place deux ou trois terrines d'eau. Un nombre suffisant de paquets de bijoux étant enfilés dans le crochet, le doreur les plonge successivement dans la terrine à raviver, dans les terrines d'eau, la terrine de nitrate de mercure, la dernière terrine d'eau, enfin dans le bain bouillant et toujours tenu à peu près au même point, par l'eau chaude qu'on y ajoute de temps à autre; le doreur tient les paquets plus ou moins longtemps dans le bain, selon l'épaisseur de la couche qu'il veut déposer, mais rarement plus d'une demi-minute, car au bout de ce temps la couche déposée n'augmente plus; il les retire, les lave dans les terrines de gauche, et les fait sécher dans de la sciure de bois chaude. On continue ainsi jusqu'à ce que le bain soit épuisé; on s'en aperçoit par l'habitude, à la quantité d'ouvrage déjà fait, et à l'éclat de la dorure. On peut prolonger l'emploi du même bain, et l'épuiser davantage en y ajoutant quelques gouttes de nitrate

DORURE.

d'argent ; alors la dorure prend un ton un peu vert. En ajoutant une quantité suffisante de nitrate d'argent à un bain épuisé, on peut argenter par immersion ; on n'a pas encore tiré un parti industriel de cette remarque.

4° *Mise en couleur*. Pour donner à l'or déposé plus de brillant et d'éclat et assurer la conservation de la dorure, on pratique la mise en couleur. On emploie la formule suivante : 6 parties de nitrate de potasse, 2 p. de sulfate de fer et 1 p. de sulfate de zinc dissoutes dans une quantité d'eau bouillante suffisante pour que le mélange soit liquide. On y plonge les objets dorés, on les fait sécher sur un feu clair, jusqu'à ce que les sels deviennent d'une couleur brune, et on les replonge dans l'eau.

Par le même procédé, que nous venons de décrire, on peut aussi exécuter le platinage sur objets en cuivre. On commence par dissoudre le platine ; on prend 1 p. de platine que l'on attaque par 30 p. d'eau régale formée de parties égales d'acide nitrique, d'acide hydrochlorique et d'eau. On laisse évaporer les acides après la dissolution jusqu'à la moitié ou aux trois quarts. On ajoute 2 litres d'eau pure et 48 parties de bi-carbonate de soude ; on fait bouillir jusqu'à ce que la soude soit dissoute ; on ajoute alors par portion 16 p. de bi-carbonate de potasse, et on laisse encore bouillir durant une heure.

A cette liqueur ainsi préparée, pour que l'on puisse s'en servir pour platiner, il faut ajouter une dissolution d'or que l'on fait, comme nous l'avons indiqué plus haut, en employant une demi-partie d'or. Lorsque le mélange des deux liqueurs est opéré, on y plonge immédiatement les objets préparés aussi comme nous l'avons vu.

La légère couche de platine déposée sur les bijoux permet d'obtenir des effets variés ; avec un pinceau, on recouvre d'un vernis ou de gomme laque certaines parties qui ne doivent pas être dorées, et on trempe les pièces dans une dissolution d'or faite par l'eau régale tout simplement. On pratique la mise en couleur, et on gratte le vernis ; on obtient ainsi l'or en relief sur un fond blanc.

Les avantages de la dorure par immersion sur la dorure au mercure sont manifestes. Nous mettons d'abord de côté, comme hors de discussion, l'avantage de ne point employer le mercure et de sauver les ouvriers des atteintes de ce poison ; on a prétendu qu'on les tirait d'une atmosphère mercurielle que pour les plonger dans une atmosphère pleine de vapeurs acides et non moins dangereuse ; cela est faux, car les vapeurs acides sont produites par le décapage employé également dans les deux procédés. La méthode du trempé supprime complétement de l'atmosphère habituelle dans laquelle travaillent les doreurs les émanations mercurielles, et évidemment l'atmosphère restante est moins insalubre.

Le procédé du trempé est d'une rapidité extraordinaire ; il permet de dorer des objets délicats, tels que les toiles métalliques, dont le léger réseau serait détruit par l'action corrosive du mercure, et des objets de forme très accidentée, tels que boucles d'oreilles, fleurs, fruits et bijoux de toute nature présentant un vide interne, dont les creux ne pouvaient être atteints par l'amalgame d'or. Il s'applique du reste aussi bien aux grandes pièces. Les premiers essais qu'on a faits n'ont pas été heureux, parce qu'on a plongé les grandes pièces froides dans le bain, qui en a été trop refroidi pour que la dorure pût s'effectuer ; on réussit en ayant soin de placer d'abord les pièces dans l'eau bouillante pour les mettre à peu près à la température du bain d'or. Toutefois, on ne peut dorer par immersion que les objets estampés, c'est-à-dire en cuivre laminé. Certaines fontes de cuivre refusent de prendre la dorure, et par conséquent, pour les grands bronzes, il faudrait encore avoir recours au mercure, si on n'avait la dorure galvanique.

Avec 150 grammes d'or on peut dorer au trempé 50 kilogr. de bijoux, et encore le bain n'est pas épuisé ; il y reste environ un tiers de l'or, qui ne s'y trouve plus en assez grande quantité pour se déposer en couche continue. On dépose donc au plus 2 grammes d'or par kilogramme de bijoux.

Le prix de la dorure du kilogramme est de 20 fr. Par l'ancien procédé, il était de 50 fr. le kilogramme pour les objets estampés, et coûtait jusqu'à 120 fr. pour les objets délicats, tels que les chaînes, qui, n'offrant pas de résistance à l'action corrosive des métaux, exigeaient un très grand nombre de précautions.

On distingue les objets dorés au trempé des objets de même forme dorés au mercure, en les attaquant comparativement par de l'acide nitrique très étendu, de telle sorte que la dissolution se fasse très lentement. Tout le cuivre est dissous, et il reste une pellicule d'or qui conserve dans les deux cas la forme primitive de l'objet. Cette pellicule est brillante sur les deux faces pour l'objet trempé ; elle est couverte d'une pellicule d'un rouge brun, du côté interne, pour l'objet doré au mercure. De plus, si on regarde la dernière pellicule en la plaçant entre l'œil et la lumière, elle est comme criblée d'un grand nombre de trous, ce qui provient de ce que le mercure a été obligé de s'évaporer et a laissé une couche discontinue. Quand la dorure au trempé a été faite trop légèrement, l'or ne conserve pas la forme de l'objet après l'attaque par l'acide nitrique, mais il tombe en petites parcelles brillantes sur les deux faces. Dans ce cas, la dorure n'est pas suffisamment solide pour préserver les bijoux qui, par exemple, ne peuvent pas franchir les mers sans être corrodés. Il est donc tout à fait opposé aux intérêts du commerce de faire une dorure faible ; mais l'appât du lucre est si grand, que nous avons vu bien des bijoux qui contenaient au plus un gramme d'or par kilogramme.

III. *Dorure galvanique*. Nous allons considérer le problème d'une manière beaucoup plus générale que nous n'avons fait jusqu'à présent. Ce ne sera plus seulement du dépôt de l'or sur un métal commun, sur le cuivre, dont nous nous occuperons, mais bien du dépôt d'un métal quelconque sur un autre métal quelconque. Nous considérerons la dorure, l'argenture, le platinage, le cuivrage, le zincage, le cobaltisage, le plombage, etc. ; mais nous ferons surtout l'application du principe général à la dorure et à l'argenture, qui industriellement sont les deux opérations principales. La pratique industrielle n'a tiré, on peut dire, aucun parti des métaux autres que l'or et l'argent. Le procédé galvanique est trop coûteux pour s'appliquer à un revêtement d'un métal par un autre qui n'a pas une valeur plus grande. Le zincage du fer, par exemple, n'eût pas trouvé toutes ses utiles applications si on n'eût pu le produire à bas prix en immergeant simplement le fer dans un bain de zinc fondu (voyez ÉTAMAGE).

Le problème peut s'énoncer ainsi : appliquer un métal sur un autre en couches continues, adhérentes et inséparables, avec toutes les conditions du brillant métallique, et de l'apparence commerciale des objets faits intégralement avec le métal appliqué seulement à la surface. La solution du problème consiste à dissoudre ce dernier métal dans des agents convenables et à le précipiter ensuite sur le premier, en se servant de l'électricité développée par une pile comme agent de la précipitation.

La condition pour le métal précipité, de former une couche continue et adhérente au métal qu'elle recouvre, distingue complétement l'invention actuelle des travaux, qui ont pour but de faire cristalliser ou de séparer analytiquement les métaux de leurs minerais,

DORURE.

franche qui a été l'objet des travaux de MM. Gay-Lussac, Becquerel et de plusieurs autres physiciens.

Cette même condition distingue aussi complétement la méthode considérée de la GALVANOPLASTIE, dont le but est de précipiter des métaux sur d'autres corps, en couches continues, mais point adhérentes, afin de prendre des moules ou des empreintes de ces corps.

C'est M. de La Rive qui le premier est parvenu à exécuter les précipitations galvaniques adhérentes. Il avait pour but la dorure. « D'abord il essaya de faire « passer le courant d'une forte pile à travers une solu- « tion de chlorure d'or, en mettant au pôle positif un « fil de platine et au pôle négatif le métal à dorer. « Ses premiers essais ne furent pas heureux; il ne put « par ce moyen dorer que du platine, *dorage* qui était « d'une bien minime utilité. Il est vrai que ce dorage « était fort beau, et que les plus fins connaisseurs pre- « naient pour de l'or du platine ainsi doré. Quant au « laiton et à l'argent, il ne réussit point à les dorer; « l'action chimique qu'exerçait sur ces métaux la so- « lution d'or, toujours très acide, les dissolvait eux- « mêmes, et empêchait l'or d'adhérer à leur surface. « (*Annales de Phys. et de Chimie*, t. LXXIII, p. 399.) » Pour réussir à dorer l'argent et le laiton, M. de La Rive songea à employer de faibles courants électriques, et il renonça alors à se servir d'une pile ordinaire, ou plutôt il lui substitua une pile dont faisaient partie intégrante les objets à dorer. Il renfermait une dissolution assez étendue de chlorure d'or dans un sac de baudruche, et plaçait ce sac au centre d'un vase en verre, contenant une eau faiblement acidulée où baignait une lame de zinc. A cette lame, il attachait un fil métallique qui, par son autre extrémité, soutenait l'objet à dorer plongé dans la dissolution d'or.

L'eau acidulée peut être mise dans l'intérieur du sac, et la dissolution d'or en dehors. Alors dans le sac plonge un cylindre de zinc qui est joint à la pièce à dorer, placée en dehors, au moyen d'un fil métallique.

Dans tous les cas, le zinc et la pièce à dorer constituent un élément voltaïque, dont le pôle positif est le morceau de zinc et le pôle négatif la pièce à dorer. Il se produit un faible courant à travers les liqueurs qui ne peuvent se mélanger à cause de la baudruche; ce courant décompose la solution d'or et amène l'or, molécule par molécule, sur le métal qui sert de pôle négatif.

La baudruche présente des inconvénients inhérents à sa nature; M. Becquerel les a évités en lui substituant des vases en porcelaine dégourdie ou en terre poreuse qui ne permettent pas aux liqueurs de se mélanger, tout en laissant passer le courant électrique. Il en résulte que l'on n'est plus exposé aux pertes d'or que les sacs en baudruche avaient le désavantage de causer.

Vers le commencement de 1840, après avoir pris connaissance des travaux de M. de La Rive, M. Smee, en Angleterre, chercha à en faire l'application à l'argenture. Après avoir bien nettoyé la pièce à argenter, M. Smee la plonge dans une dissolution de sulfate, d'acétate ou d'hypo-sulfite d'argent très étendu, mêlé avec une petite quantité d'acide sulfurique également étendu. Mais en employant toutes les précautions indiquées par M. Smee, et de son aveu même, on ne parvient que très difficilement à obtenir une mauvaise argenture (*Manuel Roret, Traité de Galvanoplastie*, pag. 105).

On doit reconnaître dans ces essais de dorure et d'argenture les mêmes tâtonnements qui ont précédé l'emploi industriel de la dorure par immersion. Les bains ne duraient pas commercialement, parce qu'ils étaient acides; M. Elkington est venu détruire l'acidité en composant un bain alcalin. De même, les inconvénients principaux des procédés galvaniques dont nous venons de parler consistent surtout en ce que, la dissolution d'or et d'argent étant acide, elle agit sur les pièces qu'on veut dorer ou argenter, de telle sorte qu'à moins de très grandes précautions, qu'il n'est pas possible de prendre quand on opère en grand, toute la surface des pièces n'est pas recouverte. M. Elkington a encore remédié à ces inconvénients, non plus en introduisant dans les liqueurs une grande quantité de sel alcalin qui aurait compliqué le mode d'action du courant galvanique, mais en remplaçant l'acide corrosif par un acide qui n'exerce pas d'action sur les métaux à dorer; il a substitué le cyanure d'or au chlorure d'or, et cette substitution a doté l'industrie d'un de ses plus merveilleux procédés.

Nous avons souvent fait cette remarque qu'il y a des époques qui semblent désignées pour voir éclore telle ou telle découverte. Les temps étaient venus, dirons-nous, pour la dorure galvanique. A peine M. Elkington avait pris son brevet pour le nouveau procédé, que l'on voit surgir presque dans tous les pays des hommes qui font la même découverte ou lui apportent de notables perfectionnements; mais aucun, à notre connaissance du moins, n'a publié ses procédés avant M. Elkington, et même n'a montré publiquement des échantillons de ses produits. M. Perrot, inventeur de la machine à imprimer les étoffes à laquelle on a donné le nom de perrotine, a déposé, le premier, dès le mois de janvier 1841, à l'Académie de Rouen et à l'Académie des sciences de Paris, de nombreuses pièces d'argent, de cuivre, d'acier, de fer, parfaitement dorées. Cet ingénieur avait même généralisé le problème en zincant, platinant et cuivrant le fer. M. Louyet dora dans un cours public à Bruxelles. Enfin M. de Ruolz prit au mois de juin 1841 le premier de ses brevets, où l'on trouve des procédés galvaniques pour la dorure, l'argenture, le cuivrage, etc. M. de Ruolz a eu le mérite de poser nettement les conditions nécessaires pour que l'opération réussisse complétement. Elles peuvent se resumer ainsi :

1° Les éléments électro-négatifs des liqueurs doivent être sans action sur les métaux à recouvrir, c'est-à-dire que les corps, qui sont transportés par le courant galvanique ou pôle négatif, ne doivent tendre en aucune façon à attaquer les métaux qui s'y trouvent placés pour être recouverts; les liqueurs elles-mêmes ne doivent point agir sur le métal à recouvrir,

2° Sous l'influence de la pile, il ne doit se précipiter aucun autre corps que le métal à déposer;

3° Les liqueurs doivent être suffisamment conductrices du courant galvanique.

M. de Ruolz présenta un résumé de ses brevets à l'Académie des sciences, et dès lors il s'ouvrit sur la dorure et l'argenture galvaniques, une espèce de concours dont M. Dumas fut le rapporteur. M. Dumas fit comprendre tout le parti qu'on pouvait tirer des nouveaux procédés dans l'intérêt de l'industrie et du commerce, et de la salubrité des ateliers de dorure. Nous avons donné à l'article ALLIAGES un extrait de ce rapport remarquable, qui nous dispense d'entrer ici dans plus de détails sur le parti que l'on peut tirer, dans l'intérêt général, de la découverte dont nous venons de faire l'histoire. Ce rapport éveilla l'attention publique, et dut vivement encourager M. Ch. Christoffe, cessionnaire des brevets de MM. Elkington et de Ruolz, à consacrer de grands capitaux à faire faire aux procédés galvaniques tous les progrès nécessaires pour les amener à l'état pratique. C'est ainsi qu'en moins de deux ans fut créée en France une industrie qui prendra certainement un très grand développement, et qui, nous le pensons, n'a pas dit son dernier mot. Beaucoup de personnes s'en occupent et doivent y apporter de notables perfectionnements.

DORURE.

Nous allons décrire les procédés dont l'exécution est la plus commode et la plus usitée, ces procédés n'ayant pu être compris dans le rapport de M. Dumas fait à l'origine de la découverte.

Ainsi que dans toutes les opérations de dorure ou d'argenture, nous devrions considérer la préparation des objets, celle du bain, l'opération de la dorure et enfin la mise en couleur. Mais ce que nous avons dit de la dorure par immersion nous dispense d'entrer pour le moment dans aucun détail sur la préparation des objets et sur la mise en couleur. Le dérochage et le décapage se font comme nous l'avons indiqué; il n'y a pas de ravivage; la mise au mat s'effectue par le procédé des acides mélangés indiqué pour la dorure par immersion, avant la dorure ou l'argenture, et en plongeant, au moment de l'opération, les objets dans une dissolution de nitrate de mercure très faible. On peut aussi obtenir le mat, après le dépôt métallique, par les moyens usités dans la dorure au mercure. On met rarement en couleur; le plus souvent on se contente de brunir les objets complétement desséchés dans de la sciure de bois chaude. Comme on peut déposer, par la pile, des couches du métal précieux aussi épaisses que l'on veut, il est nécessaire de se rendre compte de la quantité d'or ou d'argent dont on a revêtu les pièces. Deux pesées suffisent pour cela; l'une est faite sur les pièces décapées et séchées, l'autre sur les pièces sortant du bain mais déjà séchées. Très souvent on ne dore ou n'argente que certaines parties des objets, afin, par exemple, de déposer de l'or sur un fond de platine ou d'argent. Pour réussir on fait des réserves avec une épargne qui est tout simplement du chrômate de plomb délayé dans une eau gommée.

on peut les remplacer par des plaques de cuivre dorées par les procédés galvaniques.

Voici comment on dispose l'appareil pour l'exécution en grand des procédés galvaniques.

Prenons pour exemple la dorure.

Figure 676, plan de l'appareil.

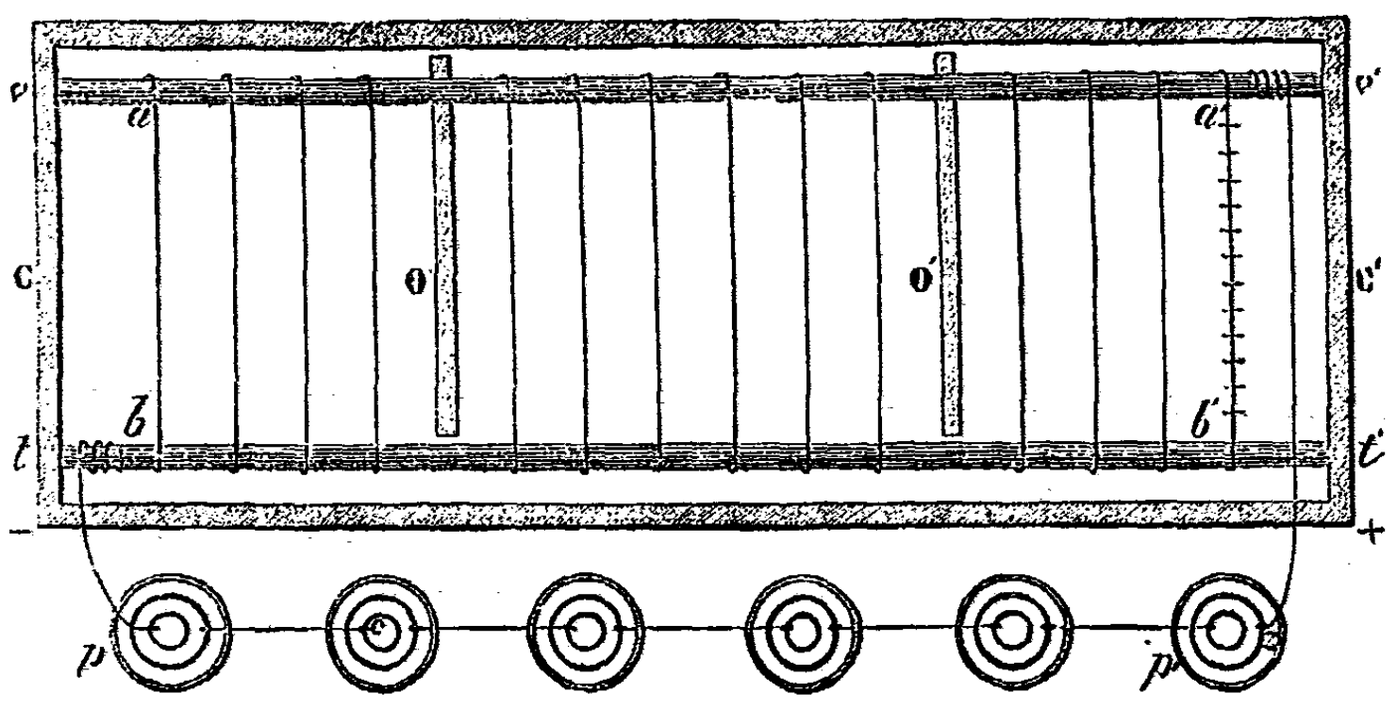
C C', grande cuve en bois, convenablement mastiquée, contenant le bain à dorer.

t t', *v v'*, tiges métalliques dorées, traversant la cuve dans toute sa longueur, placées un peu au-dessous du niveau supérieur du liquide, et mises en communication : *t t'* avec le pôle négatif, *v v'*, avec le pôle positif.

O, O', deux lames d'or partageant la cuve en trois compartiments égaux, en communication avec la tige longitudinale *v v'*, et qui se dissolvent à mesure que la dorure s'opère.

a b, tiges mobiles en laiton doré qui s'appuient sur les tiges *v v'*, *t t'*, et sur lesquelles on accroche par des fils de laiton dorés les objets que l'on veut recouvrir.

p, piles disposées en nombre convenable le long de la cuve C C'. Elles se composent d'un seau en bois mastiqué, où l'on place deux cylindres concentriques qui ne se touchent pas. Le cylindre extérieur *z* est en zinc amalgamé; le cylindre intérieur *c* est en cuivre. On met le zinc de chaque pile en communication avec le cuivre de la pile suivante, au moyen d'un fil de laiton qui est attaché à la partie supérieure de chaque cylindre à l'aide d'une petite clef se composant : 1° de deux mâchoires qui serrent le métal au moyen d'une vis de pression, et 2° d'une tête armée d'une vis qui serre le fil de laiton. On charge les piles avec de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique, et marquant 5° à l'aréomètre de Beaumé.



676.

Les bains se composent généralement de cyanure de potassium, et de cyanure, ou d'oxyde, ou d'un sel du métal à déposer, le tout dissous dans l'eau; nous donnerons tout à l'heure les proportions de ces divers ingrédients. Les dissolutions durent, pour ainsi dire, éternellement, quand on a soin d'attacher au pôle positif de la pile des lames du métal à précipiter, précieuse découverte revendiquée par M. Boquillon, qui a pris aussi de nombreux brevets pour la galvanoplastie et l'électrotypie; à mesure que le métal en dissolution se dépose sur les objets en communication avec le pôle négatif, il se dissout du côté du pôle positif une quantité équivalente de ce métal, si la surface des lames métalliques est à peu près égale à celle des objets à recouvrir. Comme il se pourrait qu'on fût forcé d'employer de très grandes lames d'or pour la dorure, ce qui serait fort coûteux,

Le temps de l'immersion varie selon l'épaisseur de la couche d'or que l'on veut déposer.

On entretient durant l'hiver les bains à une température constante de 15 à 20 degrés, au moyen de tuyaux où s'écoule de l'eau chaude; on emploie le même moyen d'échauffement pour certaines opérations qui s'effectuent à chaud.

Avant de donner les proportions des bains, nous rappelons qu'elles sont brevetées, ainsi que toutes proportions analogues, par MM. Elkington et de Ruolz; il est de notre devoir de ne point induire le public dans des procès en contrefaçon, en le laissant dans l'ignorance de ce fait. Nous serions désolé que l'espèce d'indiscrétion que nous commettons, dans l'intérêt général, et à laquelle d'ailleurs nous sommes autorisé, puisse nuire à des intérêts privés. Enfin, nous reproduisons le regret que

nous avons manifesté en rendant compte de la dorure par immersion; il est fâcheux que le gouvernement n'ait pas pris des mesures pour mettre dans le domaine public des procédés d'une utilité aussi grande.

Dorure. Le bain préférable pour la dorure se compose de 100 parties d'eau distillée, 10 p. de cyanure de potassium, 1 p. de cyanure d'or.

On prétend qu'on peut employer les autres dissolutions suivantes, mais nous ne les avons pas toutes vérifiées:

100 parties d'eau distillée, 12 p. de cyanure de potassium, 1 p. d'oxyde d'or;

200 p. d'eau distillée, 10 p. de cyano-ferrure jaune de potassium, 1 p. de cyanure d'or; on peut substituer au cyano-ferrure jaune, du cyano-ferrure rouge, ou même de la potasse ou de la soude;

100 p. d'eau distillée, 6 p. de cyano-ferrure jaune de potassium, 1 p. de chlorure d'or neutre; et après avoir filtré on ajoute 50 p. d'eau distillée, et par petites portions une solution de potasse à l'alcool jusqu'à ce que la liqueur soit faiblement alcaline;

125 grammes de cyanure de potassium ou autre cyanure soluble; 31,25 gr. d'oxyde d'or ou d'or métallique, et 8 litres d'eau;

1 p. de chlorure double d'or et de sodium, 100 p d'une solution de soude à l'alcool marquant 10 degrés à l'aréomètre;

1 p. de chlorure double d'or et de potassium, 100 p. d'eau distillée, 15 p. de cyanure de potassium;

500 p. d'une solution de potasse caustique à 10° de l'aréomètre; 1 p. d'oxyde d'or, et dans la liqueur faire passer un courant d'hydrogène sulfuré, jusqu'à ce que la réaction alcaline n'en soit que très faible;

150 p. d'eau distillée, 24 p. de cyanure de potassium, 1 p. de chlorure d'or sec;

100 p. d'eau distillée, 10 p. d'iodure de potassium, 1 p. d'iodure d'or;

1 p. d'oxyde d'or qu'on fait dissoudre à l'aide d'une chaleur de 100 degrés dans 40 p. d'eau de baryte marquant 3 degrés à l'aréomètre;

1 partie de sulfure d'or, 300 p. d'eau, 40 p. d'hypo sulfite de soude;

1 p. de cyanure d'or, 150 p. d'eau, 15 p. d'hypo sulfite de soude;

1 p. de sulfure d'or, 400 p. d'eau, 40 de ferro-cyanure jaune de potassium;

1 p de sulfure d'or, 24 p. de cyanure de potassium, 400 p. d'eau.

A ces nombreuses dissolutions, on pourrait certainement en joindre d'autres encore; pour cela il n'y aurait qu'à chercher parmi toutes les solutions que la chimie donne le pouvoir de composer, celles qui satisfont aux trois conditions que nous avons posées plus haut. C'est ainsi que dans ces derniers temps, M. Zaleski a proposé de remplacer les cyanures par les cyanates. Mais, nous le répétons, nous n'avons pas encore été mis en position de vérifier jusqu'à quel point ces différentes dissolutions donnent des dorures convenables, ni de les comparer entre elles.

Pour obtenir différentes nuances d'or, il faut attacher au pôle positif des lames d'or allié d'argent ou de cuivre, ou mélanger à la dissolution d'or une solution destinée au cuivrage.

Pour produire le mat, dit M. de Ruolz, il est préférable d'employer la dissolution déjà indiquée et qu'on obtient, en prenant 20 litres d'eau distillée, 1200 gram. de cyanure de potassium, et du sulfure d'or humide, et récemment précipité, résultant du traitement de 42 gram. d'or métallique par l'eau régale, et ensuite par un courant d'hydrogène sulfuré; le tout mis en digestion pendant 24 heures, à une chaleur de 50 à 60°.

Quand on a besoin d'oxyde d'or, il est préférable de le préparer, au moyen de la magnésie; on prépare le chlorure d'or par l'eau régale, et on le traite par la magnésie caustique; il se forme un aurate de magnésie qu'on lave; par un acide, on en précipite ensuite l'oxyde d'or, et la magnésie se dissout.

Pour préparer le cyanure de potassium, on pulvérise le cyano-ferrure de potassium avec soin, on le chauffe dans un vase en fer couvert, jusqu'à la chaleur rouge cerise; on laisse refroidir à l'abri du contact de l'air; et on pile la masse à moitié fondue et poreuse. Cette masse, traitée par de l'alcool étendu et bouillant, laisse déposer le cyanure de potassium parfaitement pur, par le refroidissement.

Le cyanure d'or s'obtient en traitant l'or par l'eau régale, évaporant lentement à siccité, et dissolvant ensuite dans une solution récente de cyanure de potassium. Le précipité blanc-jaunâtre qui se forme est le cyanure d'or qu'on lave et sèche. Un excès de cyanure de potassium le dissout, et c'est alors qu'on l'emploie pour la dorure.

Tous les procédés précédents peuvent être employés pour dorer l'argent, le bronze, le laiton et le maillechort. Pour le fer, l'acier, le zinc, l'étain et le plomb, il est préférable de déposer à l'avance une couche de cuivre, pour que la couche d'or ait plus de solidité.

Jusqu'à la découverte des procédés galvaniques, on n'avait pas doré le fer et l'acier d'une manière durable. On comprend tout le service que ces procédés rendent aux arts en les dotant ainsi d'objets précieux qui leur manquaient jusqu'à présent. Une bonne dorure galvanique, nous l'avons éprouvé, peut éviter la rouille. Toutefois, on a prétendu que l'or déposé à la surface des objets ne les préservait qu'imparfaitement, et on a cité pour exemple une capsule de cuivre doré qui se laisse dissoudre par l'acide nitrique. Le fait est vrai, mais à la condition que l'on n'avait pas pris toutes les précautions pour avoir une dorure bien résistante. Il faut, en effet, assimiler la couche d'or déposée à une espèce de tissu métallique dont les mailles sont très serrées; à travers cette toile, l'acide nitrique peut filtrer, et par suite il vient attaquer le métal insuffisamment recouvert. Mais soumettons à un martelage la première couche déposée, et exposons de nouveau la capsule à l'action galvanique, la nouvelle toile métallique ne sera plus disposée comme la première; les vides des nouvelles mailles ne coïncideront pas avec les vides primitifs. En opérant plusieurs fois de cette manière, on obtiendra évidemment une dorure suffisamment préservatrice, et ainsi que nous l'avons vu, on pourra faire bouillir impunément de l'acide nitrique dans une capsule de cuivre dorée galvaniquement.

Certes, avec la dorure au mercure, on n'aurait jamais pu espérer d'arriver à un tel résultat. Dans tous les cas, la dorure sur fer, acier, étain, zinc, est une opération toute nouvelle qui doit rendre de grands services, ainsi que doivent l'avouer ceux mêmes qui conservent le plus de doutes sur la durée des dépôts métalliques. Ils ne comprennent pas bien, disent-ils, comment il peut se produire une grande adhérence: nous ne le comprenons pas bien non plus, mais nous voyons que cela est, et d'ailleurs nous n'imaginons pas pourquoi la force, le courant galvanique, ayant la propriété de dissoudre les grandes pièces métalliques fort résistantes, placées au pôle positif, n'aurait pas la propriété contraire de déposer au pôle négatif des couches aussi fort résistantes.

Qu'il y a loin, du reste, de la facilité et de la puissance industrielle des procédés galvaniques à ceux employés jusqu'à présent! Jusqu'à présent, les essais de dorure sur le fer où l'acier n'avaient consisté qu'en une espèce de peinture fort peu adhérente. Outre la dorure par simple immersion dans le chlorure d'or, dont

nous avons parlé, et à laquelle on avait à peu près renoncé dans ces derniers temps, on employait la dissolution éthérée d'or. Après avoir chassé, autant qu'il est possible de le faire, l'excès d'acide de la dissolution de l'or dans l'eau régale, on redissolvait le per-chlorure d'or dans l'eau, et on agitait ensuite la liqueur avec de l'éther sulfurique qui enlevait l'or et surnageait avec lui. On appliquait avec une brosse l'éther aurifère sur le fer ou l'acier bien brunis, et brunissant de nouveau on chassait tout l'éther par la chaleur développée par le frottement, et on fixait ainsi l'or. Une autre méthode, peu supérieure, consistait à appliquer des feuilles d'or avec le brunissoir sur le fer, l'acier ou le cuivre chauffés à la température qui donne à l'acier l'aspect bleuâtre. Enfin, on exécutait la dorure au bouchon; on dissolvait dans l'eau régale 60 parties d'or fin, et 12 p. de cuivre; puis on versait la dissolution sur des chiffons de toile, de telle sorte qu'elle fût tout entière absorbée; on brûlait ensuite les chiffons séchés, et on obtenait une cendre qu'on appliquait avec un bouchon, sur les pièces dérochées, décapées, et brunies; on brunissait de nouveau quand on trouvait la surface suffisamment recouverte. Nous pensons que ces détails encore fort utiles à connaître, en 1841 ou 1842, n'ont plus aujourd'hui qu'un intérêt historique.

Argenture. L'argenture galvanique a peut-être encore plus d'importance que la dorure; elle se substituera certainement à l'argenture à l'amalgame, au pouce, à la voie humide (voir le mot ARGENTURE) et au PLAQUÉ; elle peut s'appliquer à tous les métaux, ce qu'on n'obtenait pas par les anciens procédés. En ce moment on la pratique sur une échelle très étendue pour recouvrir le maillechort. Cet alliage déjà blanc, étant recouvert d'une couche d'argent suffisamment épaisse, donne des couverts qui remplacent, au point qu'on s'y méprend, les couverts d'argent. 60 grammes d'argent par douzaine de couverts suffisent pour garantir le maillechort durant 4 à 5 ans d'usage.

Pour pratiquer l'argenture galvanique, on prépare les pièces par les mêmes moyens que nous avons indiqués pour la dorure. On prépare les bains de la même manière en remplaçant seulement le cyanure d'or ou l'oxyde d'or par le cyanure d'argent ou l'oxyde d'argent. On peut aussi employer, dit-on, un grand nombre de dissolutions variées; voici celles qui n'ont point d'analogues dans la dorure :

100 parties d'eau distillée, 10 de cyanure de potassium, 1 de carbonate d'argent;

100 d'eau distillée, 10 de cyanure de potassium, 1 de ferro-cyanure d'argent;

100 d'eau distillée, 10 d'hypo-sulfite de soude cristallisé, ou de potasse, de chaux, de baryte, de strontiane, 1 de chlorure d'argent sec;

100 d'eau distillée, 10 d'hypo-sulfite de soude, 1 de phosphate d'argent;

100 d'eau distillée, 44 d'hypo-sulfite de soude, 3 d'oxyde d'argent sec;

La même dissolution où l'on remplace l'oxyde d'argent par la même quantité de borate ou de tartrate d'argent;

100 d'eau distillée, 15 de ferro-cyanure jaune de potassium, 1 de borate d'argent;

Les pièces argentées sont d'un blanc parfait au sortir du bain, mais elles deviennent ternes et souvent jaunâtres si on n'y applique pas un mat particulier. Voici celui imaginé par M. Mourey.

On fait dissoudre, au moyen de la chaleur, du borax dans de l'eau, de manière à en former une bouillie claire, où on plonge les pièces qui en sortent recouvertes d'une couche de borax. On les expose ensuite à une température rouge cerise dans une moufle. On laisse refroidir les pièces, on les plonge dans une eau aiguisée d'acide sulfurique, et on les sèche.

Pour argenter le fer, l'acier, le zinc, l'étain, il est préférable de cuivrer d'abord légèrement. Pour l'acier, il est nécessaire de passer les pièces décapées dans le nitrate de mercure.

Préparation du cyanure de potassium. Pour obtenir économiquement du cyanure de potassium simple propre à faire les dissolutions aurifères ou argentifères, il suffit de calciner au rouge, dans un creuset, du cyano-ferrure jaune de potassium, ou prussiate jaune du commerce. Après la calcination, on pile le sel et on obtient une matière pulvérulente que l'on conserve jusqu'au moment de s'en servir. Pour faire un bain, on traite cette matière par l'eau, qui ne dissout que le cyanure de potassium; on filtre la liqueur, qui est un dissolvant très convenable à la préparation des bains.

Moyen d'assurer la perpétuité des bains. L'emploi des anodes solubles placés au pôle positif de la pile, c'est-à-dire de plaques d'or ou d'argent qui se dissolvent à mesure que, au pôle négatif, de l'or ou de l'argent se déposent sur les objets à recouvrir, ne suffit pas pour assurer la perpétuité des bains. En effet, par suite du passage du courant électrique, il se forme de l'acide carbonique, et conséquemment du carbonate de potasse. La conductibilité de la liqueur pour l'électricité change ainsi beaucoup, en même temps que dans les bains d'argent il se précipite du carbonate d'argent. Une addition de cyanure de potassium ferait bien disparaître ce dernier inconvénient, mais elle ne ferait aussi que rendre plus difficile le passage du courant électrique; le dépôt métallique n'aurait donc lieu que dans de mauvaises conditions. Il fallait trouver le moyen de faire disparaître l'acide carbonique, tout en le remplaçant par une quantité suffisante d'acide cyanhydrique. M. de Ruolz, dans cette vue, avait proposé d'ajouter ce dernier acide en nature, mais il se décompose facilement dans l'eau en carbonate d'ammoniaque, dont la présence est très nuisible; la question n'était donc pas résolue. Un ouvrier, M. Duchemin, a imaginé de verser dans les bains une dissolution de cyanure de calcium; l'acide carbonique est précipité par ce sel à l'état de carbonate de chaux; il se régénère une quantité équivalente de cyanure de potassium, et il ne se forme pas de carbonate d'argent. Depuis cette heureuse innovation, on n'a, pour ainsi dire, à pourvoir qu'à la perte causée par l'évaporation des bains.

Théorie de la dorure et de l'argenture galvaniques. On a beaucoup discuté sur la question de savoir quel était, dans les bains d'or ou d'argent, le véritable agent de l'opération. La nature de l'agent décomposé par la pile change-t-elle lorsqu'on substitue au cyanure simple de potassium (prussiate blanc) le cyano-ferrure de potassium (prussiate jaune), ou le cyano-ferride de potassium (prussiate rouge)? La question a été résolue d'une manière heureuse par M. Henri Bouilhet, ancien élève de l'école centrale des arts et manufactures, directeur actuel des ateliers de dorure et d'argenture de M. Christofle. M. Bouilhet a constaté que les bains d'argent préparés, soit avec le cyano-ferrure, soit avec le cyano-ferride de potassium, contiennent précisément le sel double produit dans des circonstances semblables, par le cyanure de potassium, c'est-à-dire du cyanure double de potassium et d'argent (KCy, AgCy).

Voici ce qui se passe dans ces trois circonstances :

1° Quand on mélange du cyanure d'argent avec du cyanure de potassium, le sel double se forme immédiatement.

2° Quand on mélange du cyanure d'argent avec du cyano-ferrure de potassium, quoique l'on ait employé des sels neutres, la liqueur devient immédiatement alcaline, et il se forme du cyanure de potassium et du cyano-ferrure d'argent; ce dernier sel se décompose par

l'ébullition en cyanure de fer et en cyanure d'argent. Ce cyanure d'argent ainsi formé se combine avec le cyanure de potassium d'abord produit, et on obtient le sel double en question.

3° Si on met en contact du cyanure d'argent avec du cyano-ferride de potassium, il se forme du cyano-ferride d'argent et du cyanure de potassium; le cyano-ferride d'argent se décompose ensuite en sesqui-cyanure de fer et en cyanure d'argent, et le cyanure double d'argent et de potassium se forme immédiatement.

Quand on substitue au cyanure d'argent un autre sel, tel que de l'azotate, etc., la réaction est un peu différente, mais aboutit toujours au même résultat. Le cyanure double de potassium et d'argent est toujours le résultat final de l'opération. En général, dans tous les procédés d'argenture galvanique proposés, la substitution d'un équivalent à un autre ne change pas les réactions; on argente toujours par les mêmes principes; on forme un sel double d'oxyde d'argent et d'une base alcaline, lequel sel double est décomposé par la pile. La formation de ce sel double fait le mérite de l'invention de M. Elkington. On a cherché à changer, tantôt l'acide, tantôt la base, à substituer à l'acide cyanhydrique de l'acide hyposulfureux, par exemple, et à la potasse de l'*ammoniaque*. Ce sont là des changements sans aucun mérite réel.

L'emploi de sels doubles pour l'argenture avait été essayé anciennement, mais dans de mauvaises conditions. On fait plutôt un blanchiment à l'argent qu'une véritable argenture, en trempant des objets de cuivre ou de laiton décapés dans un mélange de chlorure d'argent et de sels divers où domine le chlorure de sodium. En Italie on a essayé, après les travaux de Brugnatelli, à se servir de dissolutions ammoniacales d'argent pour argenter avec la pile: ces dissolutions sont trop instables pour présenter de l'avantage. Dans le courant de 1840, M. Bœttger, chimiste de Francfort, a fait quelques nouveaux essais dans ce genre avec du nitrate double d'argent et d'ammoniaque, contenant un léger excès d'ammoniaque; ces essais ont échoué. Les efforts tentés par MM. Émile Thomas et Delisle, dans la même voie, n'ont pas été plus heureux. Ces messieurs pensaient avoir fait une découverte en montrant que l'alcalinité n'était pas une condition essentielle de l'argenture, parce qu'un acide faible, comme l'acide sulfureux, ne l'empêchait pas de se produire. Cette expérience avait été faite avant eux par M. Roseleur. La vérité est qu'un acide faible, comme l'acide sulfureux et l'acide acétique, ne fait absolument rien dès que le sel double s'est constitué. Cet acide faible est inutile, s'il n'est pas absolument nuisible. Le procédé de MM. Émile Thomas et Delisle est le suivant, d'après leur propre description : « A. Faites bouillir de la chaux éteinte et du soufre en poudre en quantité convenable dans l'eau, jusqu'à formation suffisante de polysulfure de calcium; filtrez. B. Faites passer dans la liqueur claire A un courant d'acide sulfureux, jusqu'à décoloration et saturation fortement acide. C. Précipitez la chaux dans la liqueur B, par addition successive de carbonate d'ammoniaque jusqu'à réaction alcaline; lavez pour ne rien perdre après avoir filtré. D. Faites passer dans la liqueur claire C un courant d'acide sulfureux, jusqu'à réaction franchement acide. La liqueur D sera un mélange d'hyposulfite acide, de bisulfite d'ammoniaque et d'acide sulfureux; elle dissoudra très-rapidement à froid les oxydes ou sels d'argent, et donnera immédiatement une bonne argenture au trempé ou à la pile. » Il nous est impossible de voir autre chose dans cette préparation qu'un sel double d'argent et d'ammoniaque, très-facilement décomposable à l'air.

Une fois que le sel double, d'un alcali et d'un métal à déposer, est constitué, on obtient toujours le dépôt de ce métal en couche continue sur un autre métal, lorsque celui-ci plongé dans la liqueur est préalablement mis en contact avec du zinc pour constituer un élément voltaïque.

Platinage. M. de Ruolz donne pour le platinage les cinq dissolutions suivantes; nous ne croyons pas qu'on pratique l'opération commercialement. Le platinage s'effectue sur le fer, l'acier, le cuivre, le laiton, le bronze et aussi sur l'étain, mais par l'intermédiaire d'une couche de cuivre.

100 parties d'eau distillée, 1 de chlorure de platine, 2 de cyanure de potassium, en joignant une chaleur de 80 à 90 degrés à l'action de la pile;

100 d'une dissolution de potasse marquant 10 degrés à l'aréomètre, et du chlorure double de platine et de potassium, récemment précipité, et à l'état humide, en quantité équivalente à 1 partie du même chlorure sec,

100 d'eau distillée, 1 de chlorure de platine sec, et ajouter peu à peu de la soude caustique jusqu'à ce que la liqueur soit franchement alcaline;

200 d'eau distillée, 20 d'iodure de potassium, 1 de chlorure de platine sec;

Pour le laiton, le cuivre et le bronze seulement : 1 partie de chlorure double de platine et d'ammoniaque sec, 60 d'eau distillée, 30 d'acide hydro-chlorique pur, et après avoir fait bouillir durant dix minutes, ajouter 50 d'eau distillée, et filtrer.

Cuivrage. Pour cuivrer tous les métaux, on emploie : 100 d'eau distillée, 1 de cyanure de cuivre, 10 de cyanure de potassium;

150 d'eau distillée, 24 de cyanure de potassium sec, 1 de chlorure de cuivre cristallisé;

5000 d'eau distillée où on ajoute, en faisant bouillir, du bi-tartrate de potasse cristallisé jusqu'à saturation, et du carbonate de cuivre, jusqu'à ce qu'il ne se produise plus d'effervescence; on ajoute encore 5000 parties d'eau et on laisse refroidir.

Pour cuivrer le fer et l'étain seulement, on peut employer les bains suivants :

100 d'eau ordinaire, 4 de bi-oxalate de potasse, 7 de bi-oxyde de cuivre;

100 d'eau distillée, 10 d'hypo-sulfite de soude cristallisé, 1 de nitrate de cuivre.

Pour cuivrer le fer seulement :

Du carbonate de cuivre par petites portions jusqu'à saturation d'une solution concentrée de bi-carbonate de soude ou de potasse;

100 d'eau distillée, 10 d'hypo-sulfite de soude, 1 de sulfate de cuivre cristallisé.

Cuivrage jaune. 1500 d'eau distillée, 130 de cyanure de potassium, 13 de cyanure de cuivre, 43 de cyanure de zinc.

Bronzage. 500 d'eau, assez de cyanure de potassium pour que la liqueur marque 4 degrés à l'aréomètre, la température étant de 15 à 20 degrés, 25 de cyanure de cuivre, 8 de bi-oxyde d'étain. Au pôle positif de la pile, une lame de bronze composée de 85 de cuivre et 15 d'étain.

Zincage pour le fer, le bronze et le laiton. 100 d'une dissolution de potasse ou de soude marquant 35 degrés à l'aréomètre, 1 d'oxyde de zinc sublimé, 50 d'eau distillée;

100 d'eau distillée, 40 de sulfate de zinc, 5 de sel marin, et ajouter un léger excès d'acide sulfurique pour obtenir une plus belle couleur;

Dans une dissolution de soude à la chaux marquant 15 degrés, dissoudre par l'ébullition autant d'oxyde ou de chlorure de zinc que possible;

Mêler à froid, poids égaux d'une solution de chlorure de zinc à 39° et d'une solution de sel marin à 25°, ou bien d'une dissolution de sel ammoniac à 8°.

Les sels de zinc peuvent être mélangés, sans inconvénient, de parties égales des sels analogues de fer.

Nous devons rappeler que M. Sorel a été breveté pour les dissolutions précédentes ou des dissolutions analogues, avant ou concurremment avec M. de Ruolz.

Plombage sur cuivre, laiton, fer. Employer une solution de potasse ou de soude à la chaux, à 30° de l'aréomètre, et de protoxyde de plomb (massicot) en quantité égale au vingtième de l'alcali employé.

Étamage. 100 d'une solution de soude caustique à 40° de l'aréomètre, et 5 de protochlorure d'étain cristallisé.

Nickelage du cuivre, du laiton, du bronze. 100 d'eau distillée, 10 de cyanure de potassium, 1 de cyanure ou de carbonate de nickel; 35 de chlorure de nickel sec, 500 d'eau, 1150 d'une solution d'hydro-chlorate d'ammoniaque à 10°.

Pour nickeler le fer, il est bon de le recouvrir préalablement d'une couche de cuivre.

Cobaltisage du cuivre, du laiton, du bronze et du fer; 100 d'eau distillée, 10 de cyanure de potassium, 1 de cyanure ou de carbonate de cobalt; 200 d'une solution de chlorure de cobalt à 30°, 300 d'eau et 500 d'une solution de sel ammoniac à 10°.

Le nickelage et le cobaltisage n'ont pas été, à notre connaissance, pratiqués commercialement. Le nickel et le cobalt jouissant de propriétés remarquables, d'une belle couleur, d'une grande *résistance à l'air*, devront donner lieu par la suite à d'importantes applications.

Tel est l'ensemble des procédés généraux d'application des métaux les uns sur les autres à l'aide de l'action décomposante de la pile sur les dissolutions des métaux à déposer. Ces procédés sont encore incomplets sans doute; il y a trop peu de temps qu'ils ont été découverts et qu'ils sont employés industriellement pour qu'on puisse faire un choix absolument certain parmi toutes les nombreuses dissolutions que nous avons indiquées. Mais il ne se passera pas longtemps avant que ces procédés sortent de l'état d'empirisme.

Après avoir parlé longuement de l'application des métaux sur d'autres métaux plus oxydables pour préserver ceux-ci de l'influence des agents atmosphériques, nous devons dire quelques mots de la tentative faite par M. Becquerel, pour substituer aux métaux déposés, des oxydes inaltérables, tels que les peroxydes de plomb et de fer; tentative qui a mené ce physicien à la découverte de colorations très remarquables, dont on a pu voir, à l'Exposition de l'industrie de 1844, plusieurs échantillons, tels que boutons et fleurs. Toutefois, le dépôt des couleurs ne se fait encore qu'au hasard, de telle sorte qu'on n'est pas maître des effets produits.

On dissout dans un ballon 200 grammes de potasse caustique dans 2 litres d'eau distillée, on y ajoute 150 gram. de litharge, on fait bouillir pendant une demi-heure et on laisse reposer la dissolution. On verse cette dissolution froide, étendue de son volume d'eau, dans un vase cylindrique en porcelaine dégourdie. Ce vase est plongé dans un bocal contenant de l'eau acidulée par 1/20 de son poids d'acide nitrique environ, dans laquelle plonge une lame de platine communiquant avec le pôle négatif d'une pile faible. Le pôle positif est mis en relation avec la pièce à recouvrir d'oxyde. Il ne faut qu'un couple voltaïque ou deux, et on doit suivre l'opération attentivement, car elle ne dure quelquefois qu'une minute et encore moins. Les pièces sont en or ou en cuivre doré, de telle sorte qu'on obtient sur le jaune successivement les teintes rouge clair, rouge de feu, rouge foncé, violet, bleu, et enfin des teintes très foncées. Il faut retirer continuellement les pièces du bain, afin de pouvoir obtenir les teintes que l'on a en vue. Si l'action galvanique est trop forte, il se forme du protoxyde hydraté de plomb, qui se précipite en flocons jaunes dans la dissolution, sans production de couches colorées. Il est donc nécessaire, dit M. Becquerel, de

DORURE.

surveiller à chaque instant l'opération, qui est si facile que l'on peut agir sur un grand nombre d'objets en peu de temps, et toujours avec un égal succès. On augmente ensuite l'éclat des couches déposées par le bruni, qu'elles supportent très bien parce qu'elles ont une très grande adhérence.

DORURE SUR BOIS. Les procédés de dorure sur bois s'appliquent aussi au plâtre, à la pierre, au carton pâte, etc.

Dorure à l'huile. La dorure à l'huile est ainsi nommée parce qu'on se sert principalement d'huile comme fluide; elle est très employée pour toutes sortes d'ornements

I. Procédé de dorure pour les dômes, les combles des églises, les statues, les grilles, les balcons, les rampes d'escaliers, etc.

1° On donne une couche d'*impression*, c'est-à-dire une couche de blanc de céruse, d'abord broyé à l'huile de lin, dans laquelle on a fait bouillir de la litharge, et ensuite détrempé avec de l'huile de lin dans laquelle on a mis un peu d'huile grasse et très peu d'essence de térébenthine. Trois ou quatre couches doivent être ensuite données avec de la céruse broyée fin à l'huile et détrempée à l'essence sur les ornements et les parties qui doivent être dorées avec le plus de soin.

2° On applique un mordant sur les pièces. Le mordant se compose d'*or-couleur* et d'huile cuite dégraissée, mêlés en proportion égale. L'or-couleur n'est pas autre chose que le reste des couleurs broyées et détrempées à l'huile qui se trouvent dans le vase où les peintres nettoient leurs pinceaux, et qu'ils nomment *pincelier*. Cette substance grasse et gluante est bien broyée et passée à travers un linge fin.

3° Quand le mordant est assez sec pour happer l'or en feuilles, on doit étendre les feuilles sur un coussin, les couper en morceaux et les appliquer soigneusement avec du coton; dans les fonds on fait pénétrer l'or avec un pinceau de poil de putois;

L'opération est terminée, si les dorures sont exposées en dehors, comme sur les balcons, les grilles les statues, etc. Si les dorures sont destinées aux intérieurs des appartements, on les vernit.

4° Un ouvrier étend sur la couche d'or un vernis à l'esprit de vin, tandis qu'un autre ouvrier le suit en promenant sur les pièces un réchaud sans s'arrêter au même endroit de crainte de faire bouillonner le vernis. Cette chaleur fait revenir l'or, en rendant le vernis transparent. On applique ensuite un vernis gras.

Quand on veut dorer un marbre, on se dispense de mettre les couches d'impression; on lessive, on met une couche de vernis gras à polir, une couche de mordant et on dore.

II. Procédé de dorure pour les équipages, les meubles, les cadres, etc.

1° On donne une couche d'impression avec une mixture ainsi préparée: on broie séparément, et très fin, 2 parties de céruse, 1 p. d'ocre jaune et un peu de litharge, on détrempe le tout avec de l'huile grasse coupée d'essence de térébenthine.

2° La couche d'impression étant sèche, on donne 10 ou 12 couches de *teinte dure*, céruse calcinée à l'huile grasse et détrempée avec l'essence. On laisse s'écouler un jour entre l'application de chaque couche; on met assez de couches pour bien masquer les pores du bois.

3° On *adoucit* d'abord avec une pierre ponce et de l'eau, ensuite avec une serge et de la ponce en poudre très ténue, jusqu'à ce que la teinte dure soit unie comme une glace.

4° On donne avec une brosse de poil de blaireau 4 ou 5 couches au moins, et quelquefois jusqu'à 12 couches d'un vernis à la laque, en promenant doucement le réchaud.

5° Le vernis étant sec, on *polit* d'abord avec de la prêle, ensuite avec de la potée d'étain ou du tripoli détrempé dans l'eau.

6° On donne une très mince couche d'or-couleur.

7° On *pose l'or au livret* sur l'or-couleur suffisamment sec, en ouvrant un livret d'or, posant le bord de la feuille sur le *mordant*, et la lâchant quand elle est appliquée.

8° On époussette l'or avec une brosse plate de blaireau, et on laisse sécher plusieurs jours.

9° On pose un vernis à l'esprit de vin, comme dans le premier procédé.

10° On donne sur ce premier vernis, quand il est bien sec, deux ou trois couches d'un vernis gras, au copal, en laissant deux jours d'intervalle entre chaque couche.

11° Enfin, on polit avec une serge imbibée de tripoli et d'eau, et on lustre avec la paume de la main, frottée d'un peu d'huile d'olive.

En Angleterre, on ne met pas de vernis, mais on brunit les feuilles d'or avec de l'agate ou une dent de chien.

Dorure en détrempe. On dore en détrempe sur le bois, le plâtre et le marbre, dans des ateliers où on peut se garantir des grandes chaleurs et de l'humidité. Le procédé complet pour avoir une bonne dorure se compose de 17 opérations successives ; souvent, on se dispense de quelques-unes, mais alors on obtient un ouvrage d'une *mauvaise* qualité.

1° *Encollage.* Cette opération a pour but de dégraisser et en même temps de préserver le bois de la piqûre des vers. On fait bouillir dans un litre d'eau une poignée de feuilles d'absinthe et deux ou trois têtes d'ail. Le liquide étant réduit à moitié est passé dans un linge, et alors on lui ajoute une demi-poignée de sel de cuisine et 2 décilitres de vinaigre. Sur le marbre, on ne met pas de sel, lequel présente des inconvénients dans les lieux humides.

2° *On apprête de blanc* successivement avec 10 ou 12 couches de blanc d'Espagne tamisé très fin, et mêlé à de la colle de parchemin très forte. On n'applique une couche qu'autant que la précédente est sèche. On adoucit légèrement avec une brosse la dernière couche donnée un peu chaude et plus claire que les précédentes.

3° On *rebouche* les petits creux et défectuosités qui se trouvent dans le bois avec un mastic formé de blanc et de colle pétris ensemble, qu'on appelle *gros blanc;* on passe ensuite une peau de chien, et on ôte les barbes du bois.

4° On *adoucit* la surface mouillée par petites parties avec de l'eau très fraîche, au moyen de pierres ponces plates ou arrondies, et de petits bâtons très minces afin d'aller dans toutes les moulures.

5° On *répare* la sculpture pour donner à l'ouvrage toute sa perfection artistique.

6° On *dégraisse*, c'est-à-dire qu'on lave avec une éponge douce.

7° On frotte avec de la *prêle* les parties unies, afin de les rendre plus douces, en *ayant soin* de ne pas user le blanc.

8° On met ensuite une couche de *jaune* afin de remplir les fonds où quelquefois l'or ne peut pénétrer; cette couche sert aussi de mordant. Ce jaune se prépare avec un quart de litre de colle de parchemin, dans laquelle on délaie 60 grammes d'ocre jaune broyé très fin à l'eau. On laisse reposer et on décante la liqueur qu'on fait chauffer et qu'on applique chaude avec une brosse douce.

Quand le jaune est sec, on *égraine*, c'est-à-dire qu'on frotte légèrement avec de la prêle tout l'ouvrage pour en ôter tous les grains et les inégalités.

10° On donne ensuite trois couches d'*assiette* avec une brosse de soie de porc, longue et mince, en évitant d'en mettre sur les fonds. C'est sur l'assiette qu'on pose l'or; elle se compose de 500 grammes de bol d'Arménie, 60 grammes de sanguine, et autant de mine de plomb. Ces substances broyées séparément à l'eau sont mélangées et rebroyées avec une cuillerée d'huile d'olive. On détrempe ensuite la matière dans de la colle de parchemin légère et tamisée, et on l'applique un peu chaude.

11° On frotte avec un linge sec, quand les couches d'assiette sont bien sèches, les parties qui doivent rester mates. Dans les parties qui doivent être brunies, on donne de nouveau deux *couches* de la *même* assiette détrempée à la colle, à laquelle on ajoute un peu d'eau.

12° L'ouvrage étant alors bon à dorer, on découpe les feuilles d'or sur le coussin du doreur; on mouille l'ouvrage avec de l'eau pure et très fraîche, et on applique les feuilles avec un pinceau, en ayant soin qu'il y ait dessous une légère couche d'eau. Avec un pinceau sec, on retire l'eau en excès, quand la feuille d'or est appliquée.

13° On brunit avec le brunissoir d'hématite.

14° On *matte*, en passant légèrement une couche de colle sur les endroits qui ne doivent pas être brunis.

15° Si, tandis qu'on dorait, on a oublié de mettre de l'or dans de petits fonds, ou si on a enlevé quelques parties d'or, en mattant, on *ramende*, c'est-à-dire qu'on pose de petits morceaux d'or, après avoir mouillé la place. Le ramendage ayant séché, on passe un peu de colle sur les endroits touchés.

16° On passe ensuite sur l'ouvrage, pour donner à l'or un beau reflet, une couche de *vermeil*. Pour faire le vermeil, on met bouillir, dans un litre d'eau, 60 grammes de rocou, 30 de gomme-gutte, 30 de vermillon, 15 de sang-dragon, 30 de cendres gravelées et 1 de beau safran. Quand par l'ébullition à petit feu la liqueur est réduite au quart, on la passe à travers un tamis de soie ou de mousseline. Avec un pinceau très doux, on glisse légèrement du vermeil sur tous les refends, les carrés et les petites épaisseurs.

17° Enfin, sur les parties mates, on passe une seconde couche de colle à matter plus chaude que la première, et la dorure est terminée.

On peut facilement varier les tons de la dorure, les faire, par exemple, d'*or vert* ou d'*or citron*. On ne change rien aux huit premières opérations que nous venons de décrire. Seulement au lieu de tout *jaunir*, on réserve en blanc les parties que l'on veut mettre en or vert ou en or citron.

Pour l'or vert, on donne sur le blanc réservé une couche d'une mixture de blanc de céruse broyé très fin à l'eau, d'un peu de bleu de Prusse et de jaune dit *stil de grain*, également bien broyés. On détrempe le mélange avec la colle de parchemin, on laisse reposer et on se sert de la liqueur décantée.

Pour l'or citron, on ne mêle à la céruse que le stil de grain.

Ces fonds appliqués, on continue comme précédemment; seulement l'ouvrage fini, il faut faire aussi des vermeils verts ou citrons, ce à quoi l'on réussit en introduisant dans le vermeil ordinaire de la gomme-gutte et du bleu de Prusse.

Il arrive quelquefois qu'on désire avoir des fonds sablés dans des parties dorées d'or bruni. Pour les obtenir on passe une couche du blanc *précédemment* décrit sur les endroits qui doivent être sablés, et on les saupoudre ensuite du sable fin passé au tamis, on retourne les pièces et on les frappe légèrement pour faire tomber le sable qui ne tient pas. Quand la pièce est sèche, on passe une nouvelle couche de blanc et on peut ensuite jaunir et continuer comme précédemment.

On argente en détrempe, absolument comme on

dore; seulement on ne jaunit pas, on applique directement sur le blanc les feuilles d'argent.

DORURE DES LIVRES. On dore sur le vélin en y plaçant une légère couche de gomme sur laquelle on couche ensuite la feuille d'or qui s'y colle et qu'on brunit avec de l'agate.

On dore la tranche d'un livre relié, collé, rogné et poli, et fortement serré dans la presse à rogner, en lui donnant une légère couche de blanc d'œuf battu, et on laisse sécher. On donne ensuite une légère couche de la composition suivante : on broie à sec et ensemble parties égales de bol d'Arménie et de sucre candi, on y ajoute un peu de blanc d'œuf bien battu et on broie de nouveau. Quand cette couche est sèche, on rifle et on polit; puis avant d'appliquer l'or, on mouille la tranche avec un peu d'eau pure, et on appuie les feuilles d'or avec un pinceau. On polit avec la dent de loup, lorsque les feuilles sont sèches.

Pour imprimer des lettres d'or sur la couverture des livres, dont la reliure est terminée, on passe du blanc d'œuf battu sur les places que l'on veut dorer, et ensuite la composition dite assiette décrite au n° 10 du procédé de dorure en détrempe; on applique l'or en feuilles et on le fixe au moyen d'instruments qu'on appelle fers, et qui sont en cuivre gravés en relief. On fait chauffer ces fers, et partout où ils touchent, l'or est fixé invariablement. L'or excédant est enlevé par du coton. (Voir le mot RELIURE).

DORURE SUR CUIR. Autrefois on pratiquait beaucoup la dorure des cuirs pour tentures des appartements. On employait le plus souvent les peaux de mouton battues et convenablement détirées. Après leur avoir donné une forme régulière, on les recouvrait de deux couches de colle de parchemin avec la paume de la main, et on appliquait par-dessus des feuilles d'argent qu'on tamponnait avec une queue de renard. L'argenture faite, on n'y mettait pas d'or, mais bien un vernis, une couleur d'or dont voici la composition : 2 kilogr. 500 d'arcanson, autant de résine ordinaire et de sandaraque et 1 kilogr. d'aloès, le tout concassé; on chauffait sur un feu de charbon dans un pot de terre jusqu'à fusion, alors on versait sept litres d'huile de lin et on remuait constamment jusqu'à ce que le vernis eût la consistance d'un sirop épais. On étendait le vernis sur le cuir avec les doigts et on l'égalisait avec la paume de la main. On imprimait ensuite les peaux en relief.

DORURE SUR PORCELAINE. Quoique la dorure sur porcelaine paraisse, au premier abord, être un cas particulier de la décoration des poteries, nous allons exposer ici les procédés de son application, parce qu'ils n'ont pas une connexion aussi étroite qu'on le croit généralement avec la fabrication même de la porcelaine. C'est encore une couche très mince du métal précieux qui recouvre les objets, afin qu'ils aient l'apparence d'être faits intégralement en or. Pour qu'un métal puisse être étendu sur les poteries, il faut qu'il soit malléable et qu'ensuite il soit inaltérable par l'action du feu et de l'air. Quatre métaux seuls jouissent plus ou moins de ces propriétés; ce sont l'or, le platine, l'argent et le cuivre. Toutefois, les vapeurs sulfureuses répandues dans nos habitations altérant promptement l'éclat et la couleur du cuivre et de l'argent, il en résulte que le cuivre n'est employé que comme lustre, et que l'usage de l'argent pour cet objet est fort limité; nous avons cependant vu fabriquer en Allemagne une assez grande quantité de tasses et de soucoupes argentées. Nous nous occuperons spécialement de l'application de l'or et du platine. L'excellent ouvrage si complet, qu'a publié il y a quelques années M. Alex. Brongniart, l'illustre directeur de la manufacture royale de Sèvres, nous permettra de traiter complétement la question.

On applique les métaux réduits en poudre très fine par le pinceau, à la manière des couleurs. On recuit ensuite les pièces à la moufle, et enfin on *brunit* ou on *lustre* selon l'épaisseur que l'on veut donner à la couche. Le lustre ne consiste qu'en une couche d'une minceur telle que les métaux reflètent quelquefois les couleurs de l'iris. La couche doit être beaucoup plus épaisse, lorsqu'elle doit supporter le bruni. Nous distinguerons trois opérations dans l'application des métaux sur les poteries, la préparation des métaux, leur application et leur cuisson, enfin le brunissage ou le polissage.

1. *Préparation des métaux.* Nous allons d'abord nous occuper de la préparation des poudres métalliques propres à donner des couches susceptibles d'être brunies.

A. *Préparation de l'or.* On prépare la poudre d'or en la précipitant de la dissolution d'or dans l'eau régale, soit par le sulfate de fer, soit par le proto-nitrate de mercure, soit par des procédés mécaniques qui donnent l'or en coquilles.

1° *Par le sulfate de fer.* C'est le procédé qui donne les dorures les plus solides, quoique les plus chères. On dissout 100 grammes d'or dans 1800 grammes d'eau régale formée de deux parties en poids d'acide hydrochlorique du commerce pour une partie d'acide nitrique ordinaire. On laisse la dissolution se faire toute seule, on l'étend d'une grande quantité d'eau, et on y verse, jusqu'à ce qu'elle ne précipite plus, une dissolution très étendue de sulfate de protoxyde de fer récemment préparée et filtrée. On laisse le précipité se rassembler au fond du vase, on décante et on lave à l'eau bouillante. On dessèche ensuite lentement au bain-marie.

2° *Par le nitrate de mercure.* On traite 150 grammes de mercure distillé par 400 grammes d'acide nitrique ordinaire, sans aucune addition et en laissant la réaction s'opérer lentement et autant que possible sans le secours de la chaleur. On dissout en même temps 25 grammes d'or dans 450 grammes de la même eau régale que dans la première préparation. On verse dans cette dernière dissolution, la première, tandis que les liqueurs sont encore à la température à laquelle elles ont été portées par suite de la chaleur développée dans l'action chimique. Le mélange se trouble et dépose de nombreux flocons d'or métallique d'une couleur brun-jaune. On lave le précipité à l'eau bouillante et on le dessèche au bain-marie.

3° *Or en coquilles.* On broie des feuilles d'or battu sur une glace avec du miel, du sucre, du sel marin ou tout autre divisant que l'eau puisse facilement enlever; un homme exercé à ce travail ne peut broyer que 60 grammes d'or en un jour. Quand l'or est broyé, on le met dans un vase avec de l'eau bien chaude, et on agite pour dissoudre toutes les matières solubles dans l'eau. On met ainsi en suspension dans l'eau les parcelles d'or les plus ténues; on décante l'eau chargée de l'or le plus fin en laissant au fond du vase l'or qui l'est moins; on continue ce lavage en décantant jusqu'à ce que tout le divisant soit emporté. On laisse déposer l'or des eaux de lavage, on décante l'eau claire, et on sèche le précipité au bain-marie. On obtient par cette voie de l'or mat qui est très beau lorsqu'il reçoit une cuisson convenable, ordinairement inférieure à celle que l'on donne à l'or précipité; mais la façon double presque le prix de l'or. On lui donne le nom d'*or en coquilles*, parce qu'on a l'habitude de le conserver dans des coquilles de moules.

4° On prépare enfin l'or du *lustre d'or* en précipitant une dissolution d'or dans l'eau régale, par l'ammoniaque. Le composé qui se précipite est *l'or fulminant*; mais le précipité ne jouit de cette propriété que quand il est sec. On ne le fait donc point sécher, mais on le mêle humide avec de l'huile essentielle de térébenthine.

B. *Préparation du platine.* Le platine destiné à être bruni se prépare soit par dissolution, soit mécaniquement; on fait aussi du lustre de platine.

1° *Par dissolution.* On dissout le platine par l'eau

régale, et on précipite la dissolution par le sel ammoniac. Il se précipite un sel jaune composé de sel ammoniac 24,1, bi-chlorure de platine 75,9 et qui contient 44,32 de platine pour 100. On met le précipité dans un creuset de terre et on l'expose à une température incandescente. Il se dégage de l'azote, de l'acide hydrochlorique et du sel ammoniac, et il reste du platine en éponge très pur. Quand toutes les vapeurs ont cessé de se dégager, on arrête le feu, et on retire du creuset la masse spongieuse, qu'on broie très facilement.

2° *Le platine en coquilles* se prépare exactement comme l'or; il offre un brillant métallique assez vif et inaltérable.

3° Le lustre de platine se compose simplement d'une dissolution concentrée de chlorure de platine mêlée avec de l'essence de lavande.

II. *Application des métaux*. L'or et le platine, mis en ornements ou en fond sur les poteries doivent y être fixés par l'action du feu, mais cette action ne suffirait pas pour les faire adhérer sur les poteries dont les glaçures sont terreuses, comme la porcelaine dure, quelques grès, etc., parce que ces glaçures ne se ramollissent pas à la température convenable à la cuisson des métaux. On ajoute un fondant qui sert de lien entre le métal et la poterie.

Le *fondant* le plus convenable est l'oxyde de bismuth précipité par l'eau de sa dissolution dans l'acide nitrique. Il ne faut pas employer pour cette précipitation le carbonate de potasse, comme on le fait quelquefois; les oxydes de nickel et de cuivre que contient souvent le bismuth métallique se précipitent alors aussi; la présence de quelques millièmes de cuivre empêche l'or de donner un beau mat. On ajoute à l'oxyde de bismuth 1/12 de borax fondu. On se sert de 1/10 à 1/15 de ce fondant pour 1 d'or; on y ajoute un peu de borax pour le platine et 1/10 pour l'argent.

A Paris, on se sert aussi pour fondant d'un simple mélange de carbonate de plomb et de borax, ou d'acide borique; quelques doreurs n'emploient même que du carbonate de plomb.

L'émail ou le vernis des poteries à couvertes plombifères, telles que les faïences grossières, les faïences fines, les porcelaines tendres, etc., est un fondant suffisant pour les métaux qu'on y place.

On n'emploie pas de fondant pour les lustres.

Pour que les métaux puissent être employés au pinceau, il faut qu'ils soient, après l'addition du fondant, délayés et broyés dans un véhicule visqueux, qui est, suivant les circonstances, ou de l'essence de térébenthine *mêlée d'essence grasse, ou de l'eau fortement gommée*. Le broyage se fait sur une glace. On doit avoir bien soin de ne pas agréger les molécules, et de ne pas régénérer de paillettes d'or sous la molette.

Pour rendre l'or plus coulant, on y ajoute un peu de noir de fumée. Cette addition est indispensable quand on dore sur le vert de chrôme au grand feu, pour qu'on puisse voir, avec moins de difficulté, les traits que l'on fait.

Les peintres doreurs se servent de pinceaux de blaireau ou de martre à poils fins et longs, qu'on peut manier sans une grande habileté pour faire des contours fins et déliés.

Lorsque la dorure est terminée, on cuit la pièce à la moufle; il faut une température un peu supérieure à celle qui est nécessaire pour la cuisson des couleurs ordinaires les plus dures. Aussi on doit, dans une bonne fabrication, cuire la dorure avant même l'ébauche d'aucune peinture.

L'inconvénient des dorures est d'être chères lorsqu'elles sont assez solides, à cause du combustible nécessaire pour la cuisson. Quand on cuit faiblement, et qu'en outre à cette première économie on ajoute celle de l'or, qu'on réduit en y mêlant de l'argent ou en le

mettant très-mince, ce qui se fait par l'emploi de l'or au mercure et par addition du noir de fumée, on obtient des dorures brillantes au sortir de l'atelier, mais qui n'ont presque pas de durée à l'usage. M. Rousseau a trouvé un procédé qui permet de mettre très-peu d'or sur le bord des assiettes, des tasses, etc., et cependant de lui donner une très-longue durée.

M. Salvetat a décrit ce procédé à l'article DÉCORATION CÉRAMIQUE du *Complément*.

Au lieu d'appliquer l'or au pinceau, on l'applique aussi par *impression*. On grave de préférence sur des planches d'acier. On emploie une huile d'impression qu'on prépare avec de l'huile de lin chauffée jusqu'à s'enflammer, puis refroidie et chauffée de nouveau, de telle sorte qu'elle absorbe du noir de fumée. On broie sur une glace cette huile avec de l'or dissous, portant son quinzième de fondant, et mélangé d'un tiers de noir de fumée. On charge la planche avec l'encre ainsi obtenue, et ensuite on tire.

On effectue le tirage de trois manières, sur papier et glaçure, sur papier et biscuit, sur gélatine.

Le premier tirage a pour but d'imprimer sur la poterie déjà revêtue de sa couverte; on tire sur papier joseph humecté convenablement; on enduit la glaçure *avec une mixture* composée d'essence de térébenthine et d'un douzième de vernis de copal, et on fait sécher à l'étuve; on prend alors le papier qui porte l'épreuve de la planche, et dont on a enlevé l'eau en excès, en le faisant égoutter sur une plaque de porcelaine dégourdie, et on l'applique sur la pièce, de manière que le dessin soit à la place qui lui convient; on décalque la gravure, en appuyant sur le papier avec un tampon de feutre ou un petit rouleau; le papier s'enlève avec facilité. Il faut ensuite ajouter de l'or aux empreintes qui, après le passage au feu de moufle, ne donneraient que des traits ou surfaces maigres et grenus. On met dans un petit caisson de papier à lettre, de l'or en poudre très fine et très sèche, contenant seulement 3 pour 100 de fondant et broyée à l'eau seulement; pendant que l'impression est encore visqueuse, on prend dans ce petit caisson, avec un pinceau fin, un peu de la poudre d'or, et on passe ce pinceau sur toutes les impressions qui, par leur viscosité, retiennent l'or. Avec un blaireau fin, on repasse ensuite pour enlever l'or non adhérent : on cuit enfin à la moufle et on donne le bruni.

L'impression sur papier et biscuit se fait en tirant, comme précédemment, mais sur du papier ayant une telle ténacité qu'on puisse difficilement le déchirer, et qui, tordu comme une corde, en acquiert la force. On ne sait bien le faire qu'en Angleterre. On décalque sur le biscuit des faïences fines et de la porcelaine tendre, sans aucune préparation, en appliquant la gravure; le papier ne s'enlève que par un long séjour dans l'eau. On saupoudre d'or et on cuit, afin de chasser toute la matière grasse avant de mettre en émail ou en vernis.

L'impression à la gélatine se fait en tirant sur papier et décalquant sur une feuille de gélatine, ou en tirant directement sur gélatine. Ensuite, on applique la feuille de gélatine sur la poterie, où le dessin qui est à l'huile se fixe complétement et très nettement. On enlève la plaque de gélatine, et on saupoudre d'or.

III. *Brunissage*. L'or posé au pinceau à l'état métallique est mat après la cuisson. Quand on veut que le mat entre dans l'ornementation, on le polit seulement par partie, ce qu'on appelle brunir à l'effet. Si l'or doit être brillant, on le brunit à plat, en le frottant fortement et régulièrement, d'abord pour dégrossir avec des brunissoirs en agate, et pour terminer avec des brunissoirs en sanguine.

Quand le brunissage est effectué, on nettoie l'or

avec du blanc d'Espagne très bien lavé, pour qu'il ne reste aucune partie sableuse.

On abrége le brunissage en Allemagne, dans les manufactures de porcelaine de Meissen et de Berlin, au moins pour les filets d'assiettes, en plaçant ces pièces sur la tête d'un *tour en l'air*, de manière à faire passer la circonférence de l'assiette sous le *brunissoir* tenu par l'ouvrier.

Pour les lustres d'or et de platine, on ne brunit pas; les liqueurs qui tiennent en suspension ces métaux sont étendues avec un pinceau sur le vernis des poteries, et, après qu'on a passé dans des moufles de fonte à une *température* rouge cerise, le métal adhère et prend son brillant. On se contente d'augmenter ce brillant, en frottant fortement avec un linge. Ce genre de décoration est surtout employé à Meissen, où il a été introduit vers 1836; il a eu une grande vogue. On ne connaît généralement sa préparation que depuis 1843. Quand on emploie cet or sur le biscuit, il donne un assez beau mat et tient bien. Appliqué sur vernis, il est très brillant, mais il n'a aucune solidité.

On emploie encore quelques autres lustres qui ont eu un succès de vogue aujourd'hui passé. D'abord se présente le *lustre burgos*, qui a le chatoyant rosâtre et en même temps jaunâtre de quelques coquilles; il n'est pas opaque et laisse voir la couverte. On le prépare en fondant ensemble du soufre, de l'or et de la potasse, dissolvant le tout dans l'eau et précipitant par un acide faible. On recueille le précipité qu'on conserve à l'état de sirop épais dans de l'essence de lavande. On le broie avec une petite quantité de fondant, et on l'étend en couche très mince sur le vernis de la poterie à laquelle il est destiné. La cuisson suffit pour lui donner son éclat.

Le *lustre cantharide* s'obtient en faisant un mélange de vernis vitrifiable et plombifère ou verre de plomb, d'un peu d'oxyde de bismuth et de chlorure d'argent, qu'on applique au pinceau. On passe la pièce de poterie au feu de moufle, et lorsqu'elle est rouge, on l'expose à la fumée d'un combustible minéral ou végétal. L'argent et le plomb étant ainsi revivifiés, les parties lustrées prennent toutes les couleurs vertes, rougeâtres, bleuâtres de l'iris.

On ne connaît pas bien la manière de faire le *lustre de litharge* et le *lustre cuivreux*. Le lustre de litharge ne se voit que sur les poteries très grossières venant de l'orient de l'Allemagne. C'est un lustre ayant un éclat métallique d'or recouvert de teintes irisées où le jaune domine. M. Brongniart pense que c'est un vernis très chargé d'oxyde de plomb dont on a revivifié le métal par l'enfumage.

Le lustre cuivreux se trouve principalement sur les faïences communes d'Espagne, de Marcassen près Valence; il offre l'aspect et le chatoiement rosâtre et jaunâtre du lustre burgos, mais un peu plus purpurin; son éclat et sa richesse ne le cèdent en rien à ceux qu'on obtient avec l'or lui-même. M. Brongniart pense qu'il se compose d'une pellicule inappréciable de silicate de protoxyde de cuivre. Il l'a reproduit de la manière suivante qui doit être fort analogue à celle employée à Valence. Ayant fait rougir dans une petite moufle des tessons de faïence, il a introduit, par une petite ouverture, du papier contenant de l'oxyde de cuivre et a refermé aussitôt, et, lutant bien toutes les ouvertures, il a laissé refroidir. Lorsqu'on vint à défourner, on vit les tessons recouverts, par places, d'un lustre qui ne différait en rien des plus beaux lustres des vases d'Espagne.

DORURE SUR VERRE. On revêt le verre d'une couche métallique d'or, d'argent ou de platine, par les mêmes procédés que les poteries. Le borax, mélangé aux poudres métalliques tenues en suspension dans un véhicule gras mais coulant d'essence, étant fondu par un feu de moufle, l'or, l'argent ou le platine sont fixés sur le verre par cet intermédiaire, et il n'y a plus qu'à brunir avec l'agate et la sanguine. On brunit à l'effet ou complétement, comme nous l'avons indiqués, pour la porcelaine et les poteries.

On applique aussi l'or sur le verre en collant les feuilles d'or à l'aide d'un vernis d'ambre dissous dans de l'huile grasse et un peu de céruse. Quand on a appliqué le vernis avec un pinceau sur le verre, on y fait attacher la feuille d'or avec du coton, on laisse sécher et durcir le vernis; enfin on polit avec le brunissoir. C'est par ce procédé que le plus souvent on écrit sur le verre, on comprend qu'il donne une dorure bien moins solide que la dorure au feu et au borax. BARRAL.

DOUBLAGE DES NAVIRES. Le doublage a pour but de préserver la carène des navires de l'attaque des vers marins qui rongent le bois, et de la débarrasser des plantes et des mollusques qui s'y attachent, augmentent la résistance au mouvement et retardent la marche; il a en outre l'avantage de retenir en place le calfatage que la violence des lames pourrait déranger. Autrefois ce doublage se faisait en cuivre rouge laminé, mais on remarqua bientôt qu'il se recouvrait assez rapidement de vert-de-gris, par suite de la décomposition de l'eau due au courant galvanique développé par le contact du doublage avec les ferrures du gouvernail. On est parvenu à prolonger considérablement la durée du doublage en remplaçant le cuivre rouge par un bronze renfermant 4 p. 100 d'étain; l'action oxydante se porte alors sur l'étain. Les feuilles de bronze ont 3/4 de millimètre d'épaisseur et sont assujetties avec des clous de la même matière, dont le poids est environ 1/6 du poids total des feuilles.

DRAGUE. Instrument qui sert pour curer le lit des rivières, le fond des ports, etc. Nous ne parlerons ici que des dragues mécaniques placées sur des bateaux plats d'une forme particulière dits *bateaux dragueurs*. Elles se composent d'un système de chaînes sans fin à longues mailles pleines, égales et articulées, à peu près comme une échelle flexible; sur leurs traverses on fixe, à des intervalles égaux, un certain nombre de *louchets* ou *hottes* en forte tôle de fer. Cette chaîne, et par conséquent les louchets qui y sont attachés, passent sur un tambour qui les fait circuler le long d'un plan qu'on est maître d'incliner plus ou moins; ils viennent tour à tour se charger de terre ou de vase en passant près du fond, et se vident ensuite à la partie supérieure dans un couloir qui les dirige dans une *Marie-salope* placée sur le bateau.

Dans le bateau dragueur simple, la drague est placée au milieu du bateau, dans une ouverture dont l'étendue est suffisante pour le jeu du plan incliné et de la drague. Dans le bateau dragueur double, il y a deux dragues placées en dehors du bateau, suivant des plans verticaux parallèles aux bordages; dans ce cas on peut draguer au pied d'un mur de revêtement et aussi près du rivage qu'on veut; mais alors, pour que le bateau ne dérive pas, il faut que chaque drague éprouve à peu près la même résistance, ce qui est bien difficile à obtenir.

La distance des deux cylindres sur lesquels circulent les chaînes sans fin est un peu moindre que la moitié de la longueur de ces mêmes chaînes, de sorte que la partie inférieure de celles-ci forme une courbure qui fait plonger et traîner dans le fond chaque louchet avant qu'il se redresse, et lui donne ainsi le temps de se remplir. Le bateau a aussi dans le même sens un mouvement progressif qui lui est donné au moyen d'un cabestan mû par la machine à vapeur qui dessert la drague, et d'une corde de touage fixée à une ancre ou sur le rivage; on sillonne ainsi le fond à la profondeur qu'on désire, en remontant contre le cours de l'eau et ayant soin de maintenir le bateau, à cha-

que voyage, dans des directions parallèles. On peut remplacer la machine à vapeur, lorsque le courant du fleuve est assez rapide, par une ou deux roues pendantes placées au milieu ou sur les côtés du bateau.

DRAP (*angl.* cloth, *all.* tuch.) Voyez LAINE.

DUCTILITÉ (*angl.* ductility, *all.* streckbarkeit). Propriété que possèdent beaucoup de métaux de se laisser étirer en fils plus ou moins fins, sans se rompre, et qui se rapproche beaucoup de la MALLÉABILITÉ (voyez ce mot). Le passage à la filière rendant les métaux aigres et cassants, on est obligé de les recuire pour leur rendre leur ténacité et leur ductilité premières.

Voici les métaux placés dans l'ordre de leur ductilité, l'or étant le plus ductile de tous :

Or,
Argent,
Platine,
Fer,
Cuivre,
Zinc,
Etain,
Plomb,
Nickel.

DURETÉ (*angl.* hardness, *all.* hærte). On dit qu'un corps est plus dur qu'un autre lorsqu'il est susceptible de le rayer. En minéralogie où la dureté est un caractère très important, on prend pour points de comparaison la dureté des 10 corps suivants, le moins dur étant pris pour 1 et le plus dur pour 10.

1. Talc.	6. Feldspath.
2. Gypse.	7. Quarz.
3. Chaux carbonatée.	8. Topase.
4. Chaux fluatée.	9. Corindon.
5. Chaux phosphatée.	10. Diamant.

Voici, d'après cette échelle de comparaison, la dureté des principaux minéraux :

Diamant.	10	Turquoise.	6
Saphir Rubis. . . .	9	Lapis-lazuli	6
Cymophane	8,5	Feldspath	6
Topase.	8	Amphibole	5,5
Spinelle.	8	Chaux phosphatée. .	5
Emeraude verte . . .	8	Chaux fluatée. . .	4
Aigue marine . . .	7,5	Strontiane sulfatée .	3,5
Grenat	7,5	Baryte sulfatée . . .	3,5
Dichroïte	7,5	Anhydrite (chaux sulfatée anhydre). . .	3
Zircon	7	Chaux carbonatée. .	3
Péridot	7	Mica	2,5
Quartz hyalin. . .	7	Gypse.	2
Quartz agate. . . .	7	Chlorite.	1,5
Tourmaline.	7	Talc	1
Opale.	6		

La dureté des métaux, estimée par la résistance que des fils métalliques de même diamètre éprouvent en passant par le même trou de la filière, est comme suit :

Acier déjà étiré. . .	100	Fer recuit.	42
Fer déjà étiré. . . .	88	Platine recuit. . . .	38
Laiton déjà étiré. .	77	Cuivre recuit. . . .	38
Or à 0,875 recuit. .	73	Or fin recuit. . . .	37
Acier recuit.	65	Argent fin recuit. .	37
Cuivre déjà étiré. .	58	Zinc.	34
Arg. à 0,750 recuit.	58	Etain.	21
— à 0,875 — .	54	Plomb.	4
Laiton recuit. . . .	46		

D'après *Thomson*, l'ordre des métaux rangés suivant leur dureté relative, en commençant par le plus dur, serait : acier, fer, platine, cuivre, argent, or, étain, antimoine, étain et plomb.

DYNAMOMÈTRE. L'emploi des dynamomètres dans la mesure du travail des forces, est une des plus belles et des plus récentes applications de la science à l'industrie. Ce n'est qu'avec leur aide que peut s'opérer le passage constant de la théorie à la pratique, qu'on peut suivre dans ses variations le travail utile de la force motrice.

Avant que MM. Poncelet, Navier et Ch. Dupin, en développant et appliquant les théories de Lagrange, eussent fait passer dans la pratique des notions exactes sur le TRAVAIL MÉCANIQUE (voyez ce mot), les dynamomètres n'étaient seulement destinés qu'à évaluer la valeur de l'effort, de la force. Le plus ingénieux, celui qui a servi de base aux nouveaux systèmes, *était celui* de Régnier, qui consiste en deux lames d'acier réunies par leurs extrémités. L'effort appliqué à une des lames la faisant s'écarter de la première, qui est fixée à la résistance, est mesuré par une aiguille qui se meut par suite de cet écartement. Les divisions du cadran sur lequel se meut cette aiguille, sont déterminées préalablement au moyen de poids connus.

Mais cet effort, souvent variable, n'est qu'un élément de la question, et ne suffit pas pour évaluer l'action d'un moteur, ou le travail d'une résistance. Le travail mécanique, dit Poncelet, ne suppose pas seulement une résistance vaincue une fois pour toutes, ou mise en en équilibre par une force motrice, mais une résistance constamment détruite, le long d'un chemin parcouru par le point où elle s'exerce et dans la direction propre de ce chemin.

Comme on le démontre en mécanique, et comme nous l'expliquons à l'article MÉCANIQUE DYNAMIQUE, le travail mécanique que nécessite une résistance constante, et qui se reproduit le long d'un certain chemin, a pour mesure le produit de cette résistance par le chemin que décrit son point d'action dans sa direction propre.

Si la résistance ou l'effort qui la produit, au lieu d'être constant, varie sans cesse, ainsi qu'il arrive dans bien des circonstances, le travail total se composera de la somme de tous les produits partiels obtenus en chaque instant, en multipliant la résistance moyenne par l'élément de chemin parcouru pendant ce petit intervalle. Si l'on divise ce produit ou cette somme de produits par le chemin total parcouru, on aura l'effort moyen F, qui, constant, produirait un travail égal à celui obtenu.

On voit, d'après cela, combien l'ancien appareil de Régnier était insuffisant pour donner des résultats certains. La détermination de l'effort moyen, fort difficile à déduire des variations de l'aiguille, n'était que de peu de valeur, puisqu'il fallait supposer que cet effort moyen avait lieu pendant toute la durée de l'opération, ce qui est loin d'être exact dans la plupart des cas.

Le problème à résoudre consistait donc à obtenir des appareils, qui donnassent à chaque instant la valeur de l'effort et le chemin qu'il parcourt, et, mieux encore, le produit de ces deux quantités.

Le savant M. Poncelet, qui a si bien démontré tout le parti qu'on peut tirer des constructions géométriques des tracés graphiques, pour faciliter l'interprétation des résultats du calcul, a eu l'heureuse idée de faire tracer par le dynamomètre lui-même une courbe, dont les ordonnées représentent les tractions, et les abcisses le chemin parcouru, dont l'aire, par suite, représente le travail.

M. Morin a consacré ses soins à vulgariser les solutions de MM. Poncelet et d'Etelveyn, qui dans ses expériences sur le bélier hydraulique avait ouvert cette voie féconde. Il a fait comprendre toute l'utilité qu'il y aurait à faire passer dans la pratique industrielle un genre d'instruments si nécessaire surtout à l'industrie française, naturellement divisée en petits ateliers ; et a certainement bien avancé la question sous ce rapport, s'il ne l'a pas résolue complétement. C'est donc par l'exposé de ses appareils que nous devons commencer ; nous parlerons ensuite de ceux qui ont été récemment combinés et terminerons en exposant

le résultat de nos propres recherches. Nous serions heureux qu'elles pussent avancer quelque peu la solution de l'important problème que se propose la DYNAMOMÉTRIE.

Des ressorts. Les ressorts des dynamomètres de M. Morin consistent en deux lames de bon acier d'Allemagne, dont la section verticale est un rectangle, et la section horizontale celle du solide d'égale résistance, c'est-à-dire parabolique. Ces deux lames sont assemblées à leurs extrémités dans deux barres d'égale longueur au moyen de *boulons*. La lame fixe entre à mortaise dans la plaque sur laquelle reposent les autres parties du dynamomètre; l'autre lame est libre, mais un arrêt est toujours disposé pour éviter qu'elle ne soit forcée, c'est-à-dire que la tension dépasse le point où l'élasticité de la lame ne pourrait plus la ramener à sa position primitive, quand l'effort vient à cesser.

Il va sans dire que les lames peuvent être de diverses épaisseurs, et qu'il faut les établir en proportion de l'effort auquel elles doivent résister.

Par suite de l'élasticité des ressorts du dynamomètre, la distance du milieu du ressort mobile à la première position indiquera en chaque instant la valeur de l'effet exercé. Si donc on munit cette partie d'un style ou d'un crayon, pressant sur un papier, on trouvera sur celui-ci l'indication de la valeur des efforts. Cette trace serait sans valeur, et ne servirait qu'à indiquer la limite des efforts de traction, sur un papier immobile. Il n'en est plus de même si, comme M. Poncelet l'a imaginé, on donne au papier un mouvement de translation. Il en résulte des courbes de l'aire desquelles on peut déduire le travail effectué.

MANIVELLE DYNAMOMÉTRIQUE. Lorsqu'il s'agit de petites machines mues à bras, le système à employer de préférence est toujours la manivelle de M. Morin. Nous en emprunterons une description très-lucide à une notice publiée par M. Tresca, professeur de mécanique au Conservatoire des Arts et Métiers.

Les fig. 677 et 677 *bis* représentent cet instrument vu sous deux aspects différents.

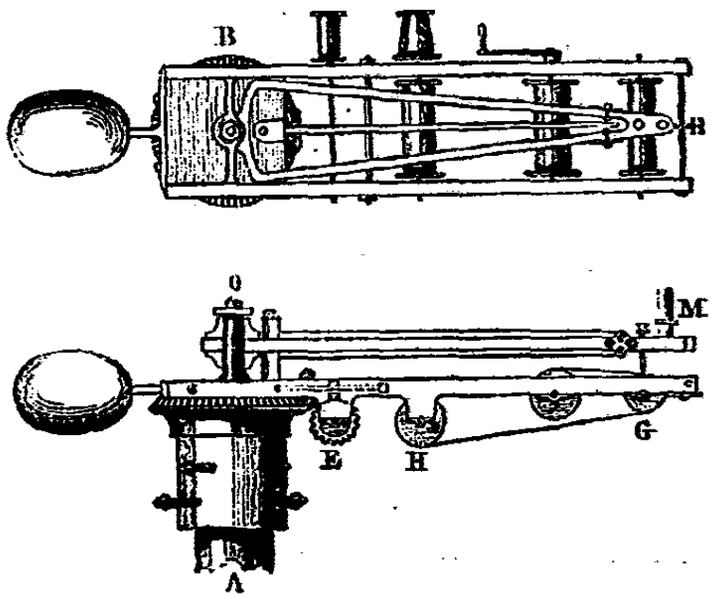


Fig. 677 et 677 *bis*.

« Le manchon cylindrique A qui porte huit vis calantes se fixe solidement à l'aide de ces vis sur une portée octogonale disposée sur l'axe même de la machine qu'il s'agit d'essayer. Le dynamomètre se compose de deux bâtis en fer superposés : l'un, rectangulaire, encadre pour ainsi dire toutes les autres pièces (fig. 677) et ne se voit sur la fig. 677 *bis* que par son épaisseur; l'autre, triangulaire, peut tourner autour d'un axe perpendiculaire à son plan et fixé au bâti principal. Si l'appareil se bornait à ces deux pièces, cette dernière portant à son extrémité le manche M de la manivelle, lorsqu'un effort viendrait s'exercer sur lui, le bâti triangulaire seul prendrait un mouvement de rotation, mais une lame de ressort représentée dans la fig. 677 *bis*, encastrée par sa partie la plus épaisse, et embrassée par deux couteaux à son autre extrémité, s'oppose à cette indépendance, et c'est par son intermédiaire que se communique le mouvement. Ce ressort s'écarte d'autant plus de sa position normale que l'effort exercé sur lui est plus considérable, et si l'on sait à l'avance quelle est la grandeur de cet écartement pour chaque grandeur d'effort, on aura la mesure de celui-ci par l'observation de celle-là.

« Supposons qu'un crayon placé à l'extrémité du ressort soit mobile avec lui, tandis qu'un autre reste invariablement à la place que ce premier crayon occuperait si le ressort ne fléchissait pas; supposons que ces deux crayons s'appuient à la fois sur une même feuille de papier entraînée d'un mouvement régulier suivant une ligne parallèle à la direction primitive du ressort, chacun d'eux tracera une ligne, et l'écartement de ces deux lignes sera en chaque point la mesure exacte de l'écartement du crayon mobile, et par conséquent de la flexion du ressort. Voyons comment on produit le mouvement du papier.

« Au-dessus du manchon A, par lequel le dynamomètre est fixé sur l'arbre de la machine en expérience, est une couronne dentée B qui glisse à frottement doux dans une gorge pratiquée dans ce manchon; cette couronne peut être rendue absolument fixe, comme nous l'indiquerons un peu plus loin; dès lors un petit pignon d'angle, qui engrène avec elle, tourne quand la manivelle travaille; ce pignon porte une vis sans fin qui fait mouvoir une roue dentée E, portant sur son axe, et en dehors du bâti, une petite bobine ou fusée cylindrique, sur laquelle un fil s'enroule à mesure qu'il se déroule de la fusée conique montée sur un axe parallèle.

« Le reste de la disposition est facile à concevoir. Trois bobines F, G, H, sont placées sur trois axes parallèles placés en travers du bâti; une feuille de papier primitivement enroulée sur la première à l'aide d'une petite manivelle spéciale (fig. 677), embrasse la bobine de l'extrémité G et vient s'attacher à la troisième H, montée sur l'axe même de la fusée conique : à mesure que cette fusée tourne, le papier est entraîné dans le sens de la flèche et s'enroule sur cette troisième bobine.

« Quant à la fusée conique, elle est nécessaire, parce que le diamètre de la bobine, à mesure que le papier s'enroule, s'augmente de toute l'épaisseur des couches successives de papier, et pour un tour de dynamomètre la quantité de papier qui passerait de la bobine E à la bobine H irait toujours en augmentant; la longueur des tracés dont nous parlerons tout à l'heure ne serait plus en rapport avec le chemin ou les arcs décrits par la manivelle. C'est à obtenir pour chaque tour cette proportionnalité désirable qu'est destinée la fusée conique. Au commencement de l'opération, le fil est enroulé sur le petit diamètre, la bobine la fait tourner plus vite pour une même longueur; à la fin, au contraire, le fil se déroule sur le diamètre le plus gros, la bobine tourne plus lentement, et cette modification continuelle dans la vitesse de son mouvement de rotation compense l'accroissement de vitesse du papier, qui résulterait de l'augmentation du diamètre de la bobine par l'application successive de nouvelles couches de papier.

« Quant à la double trace qu'il s'agit de produire, ce sont deux petits pinceaux qui en sont chargés; l'un mobile, fixé à la pointe du ressort en P, près de la ma-

DYNAMOMÈTRE.

nivelle; l'autre fixe, à une petite traverse à l'extrémité du bâti quadrangulaire.

« Au commencement de l'expérience, il faut s'assurer que les deux traces se superposeraient exactement si aucun effort n'était exercé sur le ressort : le mieux est d'en faire la vérification sur l'appareil au repos en faisant seulement avancer le papier; s'il arrivait que la coïncidence ne fût pas parfaite, deux écrous permettent de rappeler à la position convenable et d'y assurer sans crainte de variation le pinceau fixe que porte la traverse. L'écritoire se compose d'un tube de cuivre vissé dans un écrou que porte cette traverse en son milieu, de manière à pouvoir approcher à volonté la pointe du pinceau du papier sur lequel il doit faire un trait régulier et continu. Ce tube muni d'un bouchon est rempli d'encre de Chine un peu épaisse, le pinceau est d'abord chargé d'encre, et la capillarité se charge ensuite de lui amener celle contenue dans le réservoir.

« Nous voyons déjà, par cette description, que deux traits seront obtenus : l'un sera une ligne droite provenant du pinceau fixe, l'autre une courbe plus ou moins sinueuse due au pinceau du ressort. La fig. 677 *ter* est

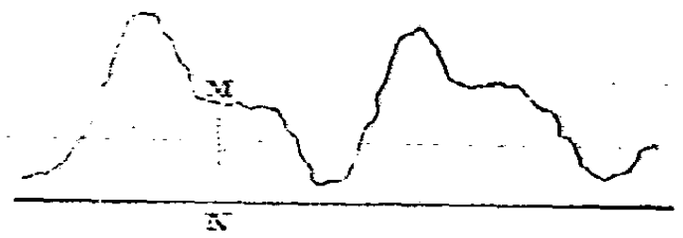


Fig. 677 *ter*.

un calque de cette double trace. Les convexités de la courbe correspondent aux plus grandes flexions du ressort, aux plus grands efforts par conséquent; les points de plus grand rapprochement, au contraire, se rapportent aux efforts les plus faibles.

« Nous voyons qu'à chaque tour il existe un point où l'effort exercé dans le sens du ressort est de beaucoup le plus considérable. Il correspond à la position dans laquelle le tourneur de roue donne son *coup*, au point auquel il est le plus commodément placé pour agir; on sait qu'il en est ainsi vers la portion supérieure de la course de la manivelle, l'action du tourneur diminue ensuite (la courbe se rapproche de la ligne droite) jusqu'au bas de cette course, l'effort est là à son minimum, parce que le tourneur ne peut plus agir qu'en tirant, et il n'atteint sa plus grande valeur qu'au haut du tour suivant.

« Tous les ressorts, dans certaines limites, prennent des allongements ou des flexions proportionnelles aux efforts qui s'exercent sur eux; M. Morin a construit ses lames de manière à obtenir la sensibilité la plus grande, c'est-à-dire la plus grande déviation pour un même effort. Si, sous ce rapport, on compare deux lames de même section au point d'encastrement, l'une rectangulaire dans toute sa longueur, l'autre, au contraire, affectant la forme des solides d'égale résistance, on observe que la flexion est relativement double dans ce dernier cas. Aussi M. Morin a-t-il choisi cette dernière forme; ses ressorts sont plus épais au point d'encastrement, plus minces à leur extrémité, et cet amincissement suit une certaine courbure, celle d'une parabole, sur les deux faces du ressort.

« Il faut, pour chaque ressort, déterminer expérimentalement la flexion qui correspond à 1 kil.; dans le dynamomètre à manivelle du Conservatoire, chaque écart de 1 millimètre 1/10 correspond à 1 kilogr., en telle sorte que pour avoir la valeur de l'effort exercé lorsque le pinceau mobile a marqué le point M de la courbe des efforts, il suffit de mesurer la longueur MN qui est de 9 millimètres; divisant cette longueur par 1 mill. 1/10, nous trouvons pour quotient 8,18 qui est la valeur en kilogrammes de l'effort correspondant.

« Cette proportionnalité n'existe toutefois qu'autant que le ressort n'est pas *forcé*, mais la disposition même des bâtis ne lui permet jamais de prendre une courbure trop grande; lorsqu'un effort trop considérable est exercé, le bâti mobile trouve un point d'appui dans la traverse qui porte l'axe O sur lequel il tourne.

« Pour terminer notre description, disons encore comment la couronne dentée peut être à volonté rendue immobile pendant que la manivelle tourne : une vis à tête saillante est fixée sur une couronne mobile, mais ne pénètre pas jusqu'au fond de la gorge qui reçoit cette couronne; elle est destinée à former arrêt au moment où une pièce mobile, convenablement coudée pour ne point gêner la manœuvre, vient *butter* contre elle. A partir de ce moment, la couronne ne peut plus se mouvoir, et le papier se déroule, comme nous l'avons indiqué.

« On comprend qu'il n'est pas nécessaire d'avoir constamment une trace pendant toute la durée d'un long travail qui exigerait un développement de papier beaucoup trop considérable; on se contente, en général, d'obtenir la courbe des efforts au commencement, vers le milieu et vers la fin d'une opération; pour interrompre le tracé, il suffit de rendre à la couronne sa liberté en dégageant le buttoir coudé qui forme arrêt pour la vis; aussitôt la couronne est entraînée par frottement dans le mouvement commun, le pignon C ne tourne plus sur la denture de la couronne, et le papier n'est plus ni enroulé ni déroulé. Il suffit ensuite de rapprocher le buttoir pour rétablir à volonté le mouvement du papier et produire un nouveau tracé.

« Quant à la masse, placée à gauche, à l'extrémité du dynamomètre, ce n'est qu'un contre-poids destiné à l'équilibrer par rapport à son axe. »

DYNAMOMÈTRE POUR MESURER LE TRAVAIL DE TRACTION. Ce système, employé dans les expériences relatives au tirage des voitures, des charrues, ba-

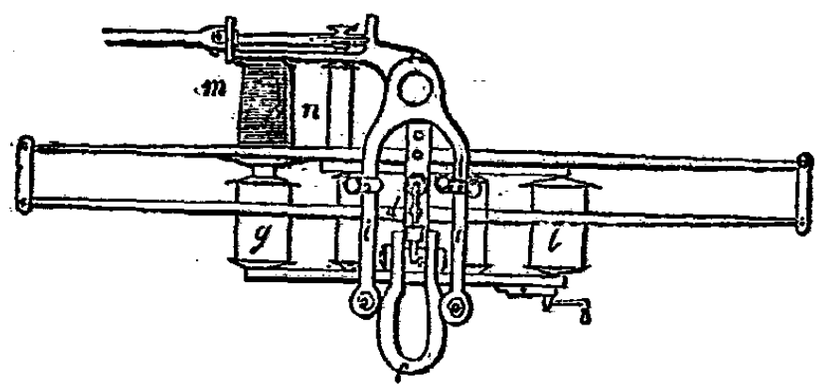


Fig. 678.

teaux, etc., est représenté dans la figure 678.

Le papier sur lequel le tracé doit être fait circule entre deux cylindres sur l'un desquels *g* il s'enroule pendant qu'il se déroule sur l'autre *l*. Le mouvement est imprimé par une courroie qui passe sur l'essieu de la voiture et sur une poulie à l'extrémité de l'axe *u*; à cet axe est fixée une ficelle, qui s'enroule sur la fusée *m*, montée sur l'axe du tambour *g*, et qui, en se déroulant, communique au papier une vitesse de translation indépendante du changement de diamètre qui résulte de son enroulement.

La vitesse du papier étant dans un rapport connu avec le chemin réel parcouru, et la tension du ressort étant indiquée par la distance comprise entre cette courbe et la ligne tracée par le style quand la tension est nulle, il est évident que l'aire de la courbe (qui

représente le produit de l'effort par le chemin parcouru), représente dans un rapport connu la quantité de travail cherché.

Un autre moyen propre à faire mouvoir le papier indépendamment du système sur lequel on opère, ce qui est souvent nécessaire, consiste en un moteur *chronométrique, analogue à celui des tourne-broches*, muni d'un volant à ailettes pour obtenir une régularité suffisante. Un des axes de ce moteur transmet par un engrenage le mouvement à l'axe du petit cylindre enveloppé par le fil de soie et par suite au papier. Dans ce cas l'aire obtenue représente le produit de l'effort par le temps écoulé, d'où l'on déduit exactement l'effort moyen qui, opérant pendant le même temps ou parcourant le chemin observé directement, produirait un travail *égal* à celui qui a été réellement développé.

Relèvement des courbes. Nous avons vu au mot *planimètre* (voyez *machines* à CALCULER), comment cet instrument servait à l'élévation des aires des courbes. M. Morin remplace le cône en cuivre par un cône en bois pour éviter le glissement. Plus simplement encore, il recommande de découper la courbe, de peser la feuille de papier limitée par la courbe et d'en comparer le poids à celui du rectangle qui serait décrit par la tension maximum du ressort, longueur connue par la graduation de l'instrument. L'effort moyen qu'il s'agit d'obtenir sera à la tension maximum dans le rapport des deux poids, et il sera obtenu par deux pesées. L'aire ou le travail serait déduit par une opération semblable. La régularité du papier fabriqué à la mécanique rend ce procédé d'une précision très-satisfaisante.

APPLICATION DU DYNAMOMÈTRE DE TRACTION. — Les difficultés de l'application des dynamomètres aux divers cas de la pratique nécessitent souvent la transformation, la modification de ces appareils pour les rendre *pratiques*. Nous en citerons quelques exemples.

Dynamomètre de Bentall pour évaluer la résistance des charrues. — La traction des chevaux attelés au palonnier *f* (fig. 678 *bis*) s'exerce sur un châssis qui

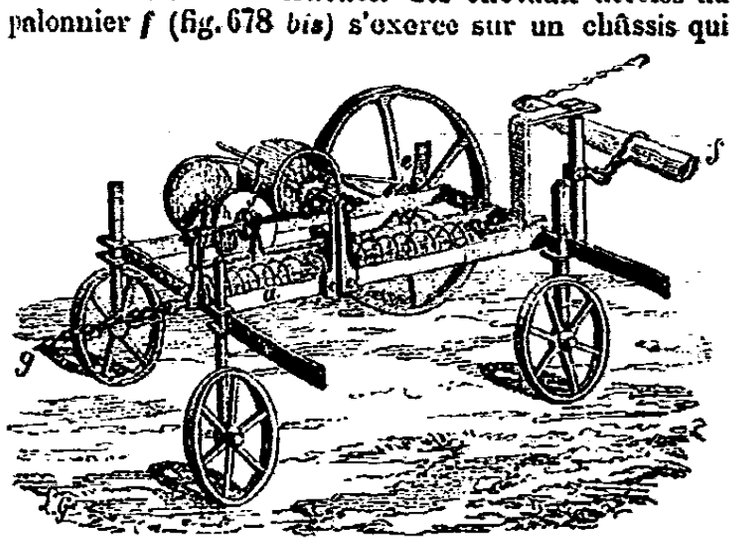


Fig. 678 *bis*.

comprime le ressort en spirale *a*. Ce ressort entraîne la roulette J et l'éloigne du centre du disque *h*, mis en mouvement à l'aide d'une courroie qui passe sur une roue montée sur un des axes des roues du train. Les tours de cette roulette et aussi du tambour *d*, mis en mouvement par une vis sans fin mue par l'axe sur lequel cette roulette peut glisser, sont donc proportionnels à la pression du ressort. D'autre part, un crayon pouvant tracer sur ce tambour se déplace parallèlement à son axe, proportionnellement au chemin parcouru, par l'effet d'une vis taillée sur l'arbre du disque *h*, sur laquelle l'extrémité de la tige qui porte le crayon forme écrou. Si donc on place un papier sur le tambour, le crayon y trace des lignes qui mesureront par leurs ordonnées circulaires la tension du ressort ou la résistance, et par leurs ordonnées parallèles aux génératrices le chemin parcouru. La combinaison des deux mouvements fera tracer une diagonale indiquant les variations du tirage, la ligne devenant de plus en plus parallèle à l'axe du tambour que la grandeur du tirage diminue, et inversement.

Ce dynamomètre a le défaut des instruments à roulettes dont nous allons parler, et dans les expériences de Trappes, lors de l'Exposition de 1855, pour comparer les diverses charrues, on a reconnu que ses indications n'étaient pas exactement proportionnelles aux efforts, parce que la tension des efforts n'est transmise à l'appareil enregistreur qu'à l'aide d'une roue qui ne se meut que par un faible frottement; les erreurs sont surtout notables dans le cas où les charrues n'exigent que peu de tirage.

L'excellence de la disposition du train interposé entre les chevaux et la charrue, tant au point de vue de la rapidité qu'à celui de la précision des observations, est également ressortie de ces mêmes expériences; aussi a-t-on obtenu un excellent instrument en montant sur ce train *le dynamomètre traceur* de M. Morin, qui, sans cela, est difficilement applicable aux charrues.

DYNAMOMÈTRE A COMPTEUR. Le dynamomètre à style ou *dynamomètre traceur* ne peut donner que des observations limitées par l'étendue de la feuille de papier. Mais puisque le planimètre permettait d'obtenir mécaniquement l'évaluation de l'aire de cette courbe, on conçoit à priori qu'il doit être possible, par la réunion des deux appareils, de supprimer l'opération intermédiaire du tracé de la courbe, et d'obtenir sur un compteur et pendant un temps, prolongé autant qu'il est nécessaire par des rouages successifs, le travail opéré.

C'est ce que M. Morin a heureusement tenté; il a fait apprécier l'utilité d'un genre d'appareils qui servira un jour de base pour les transactions où il s'agira de vendre de la force, comme les compteurs à gaz servent aujourd'hui quand il s'agit de vendre du gaz pour l'éclairage.

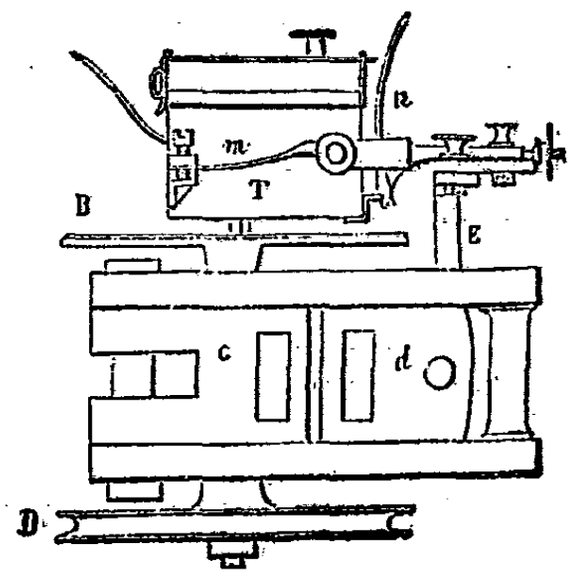


Fig. 678 *ter*.

La fig. 678 *ter* est l'élévation du dynamomètre à compteur. La griffe postérieure est traversée par un axe de rotation sur lequel est vissé le plateau B de $0^m,080$ de rayon, et qui reçoit à sa partie inférieure une poulie D, à laquelle le mouvement est transmis par une courroie ou par un moteur chronométrique quand la première disposition ne peut avoir lieu. Un support E, faisant corps avec la griffe antérieure *d*, soutient un compteur qui avance ou recule avec cette lame.

Le mouvement est imprimé à ce compteur par une roulette T, montée sur un axe parallèle au plateau B, qui repose sur le centre du plateau quand le ressort n'est pas tendu. Dans toute autre position elle tourne avec ce plateau, et décrit un chemin en rapport avec son éloignement du centre ou avec la tension.

Sa rotation est pour une position donnée proportionnelle au mouvement du plateau, et pour une seconde position égale à la première multipliée par le rapport des *rayons*, c'est-à-dire des tractions, car le rayon mesure l'effort de traction ; si donc l'on compare la rotation en un point quelconque à la rotation pour la traction égale à l'unité, on verra de suite comment le mouvement angulaire du plateau étant en raison du chemin parcouru, la rotation de la roulette est proportionnelle au produit de l'effort par le chemin parcouru, c'est-à-dire au travail qu'il s'agit de mesurer.

Il est facile de concevoir que, l'axe de la roulette portant une vis sans fin, son mouvement se communique aisément par des engrenages convenablement proportionnés à deux limbes dont l'un indique les unités et les dizaines de tours, l'autre les centaines, les mille de tours de la roulette. Le problème serait donc résolu d'une manière élégante, si la roulette soumise à des mouvements transversaux n'était sujette à des glissements qui font de cet appareil plutôt un système théorique qu'un instrument pour la pratique ; aussi, en réalité, n'est-il jamais employé.

MM. Martin et Reymondon, qui ont obtenu le prix proposé par la Société d'Encouragement pour la construction de dynamomètres applicables spécialement à l'agriculture, ont combiné un appareil très voisin du dynamomètre traceur de M. Morin. Ils ont satisfait fort heureusement à la condition du programme qui leur assignait d'indiquer les intervalles de temps pendant lequel le travail est opéré (ce qui permet de vérifier si le transport de la bande de papier est régulier) au moyen de petits marteaux qui, mis en mouvement par un chronomètre, font marquer un point sur le papier à chaque seconde, en frappant avec une pointe sèche.

Nous pourrions encore décrire ici le dynamomètre de M. Wagner, spécialement applicable à l'essai comparatif des charrues. Il présente l'heureuse disposition de ne faire agir le ressort qu'à l'extrémité d'un levier dix fois plus grand que celui sur lequel agit la traction. On obtient ainsi la possibilité d'employer le ressort en hélice, renfermé dans une gaîne, des pesons du commerce, instruments moins coûteux, plus commodes et aussi exacts que les grandes lames des dynamomètres dont nous venons de parler. Nous pourrions aussi décrire l'heureuse disposition des tracés sur des cadrans en carton, sur la surface desquels sont imprimés des cercles et des rayons qui permettent d'évaluer en chaque instant les efforts et les chemins parcourus, mais nous craindrions de trop étendre cet article.

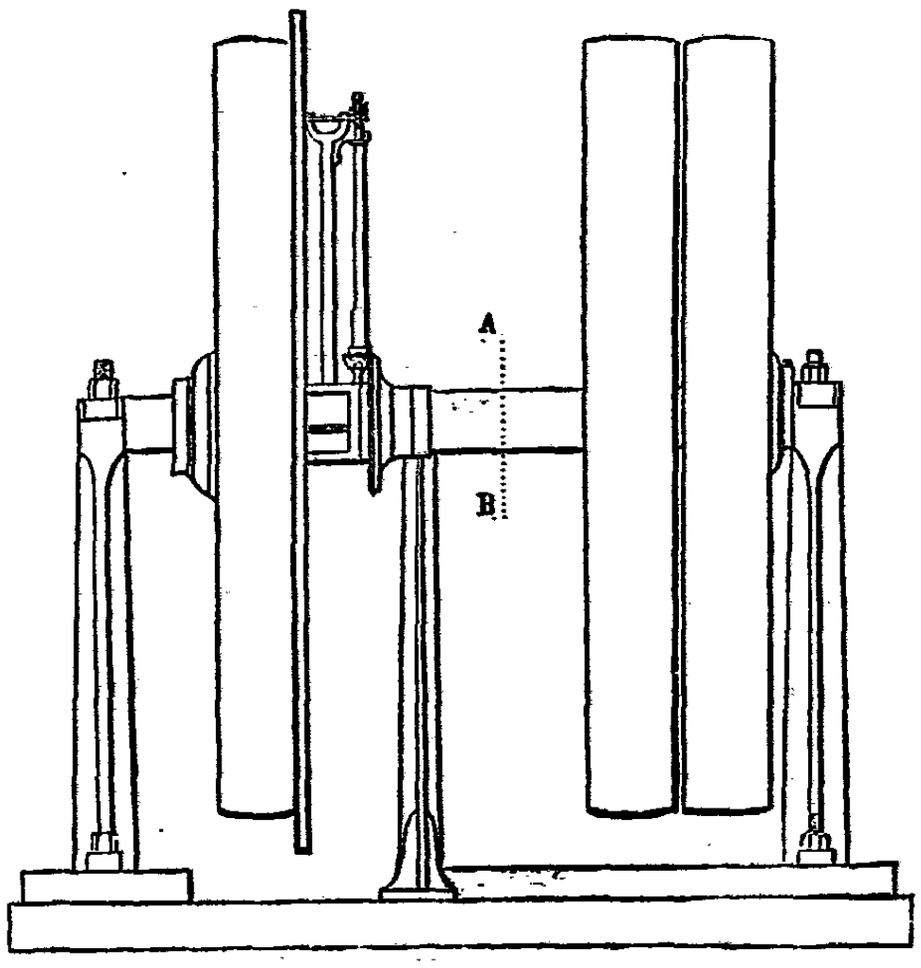
Aussi bien tous les dynamomètres proposés jusqu'à ce jour pour comparer les divers systèmes de charrues, présentent cet inconvénient grave qu'en

évaluant plus ou moins parfaitement le travail nécessaire pour tracer un sillon sur 2 ou 300 mètres, ils ne tiennent pas compte de la largeur et de la profondeur du sillon, de telle sorte que le travail effectué n'est pas le même, et que par suite il n'est pas étonnant que le travail moteur varie considérablement.

Dynamomètre de rotation. Les systèmes que nous avons décrits ci-dessus ne s'appliquent qu'aux appareils qui sont transportés, nullement aux machines qui garnissent les ateliers, et dans lesquels le travail mécanique est toujours transmis par des systèmes animés d'un mouvement circulaire continu. Nous avons à exposer comment M. Morin a résolu cette partie la plus importante du problème par des dynamomètres de rotation, solution qu'un système proposé par M. Poncelet, que nous donnons à l'article MÉCANIQUE (fig. 1654), avait indiquée. Sur un arbre posé sur deux supports fixés sur un plateau sont placées trois poulies de même diamètre : l'une est fixe ; l'autre, voisine de la première, est folle, et la dernière est mobile autour de l'arbre dans les limites que nous indiquerons.

Cet appareil étant interposé entre un arbre et une machine dont on veut mesurer la résistance, la courroie placée d'abord sur la poulie folle est amenée sur la poulie solidaire avec l'arbre, et par suite celui-ci est mis en mouvement.

La troisième poulie reçoit la courroie qui doit transmettre le mouvement à la machine et vaincre la résistance. L'arbre, mis en mouvement, l'entraîne, bien qu'elle soit folle sur l'arbre, par l'effet d'un arrêt faisant corps avec elle, et qui vient buter sur une lame de ressort implantée dans l'arbre suivant un de ses rayons. Cette lame, tournant avec l'arbre, agit sur l'arrêt, dont la résistance le fait fléchir, et quand sa résistance à la flexion est susceptible de vaincre celle que la machine oppose, le mouvement commence, et se trouve ainsi transmis de l'arbre moteur à la machine en expérience par l'intermédiaire d'une lame de ressort, dont les flexions mesurent la résistance à vaincre.



679.

DYNAMOMÈTRE.

Un style ajusté sur l'un des bras de la poulie trace les courbes et on obtient ainsi un dynamomètre de rotation à style, pourvu qu'on fasse avancer sous ce style un papier doué d'un mouvement en rapport constant avec celui de l'arbre. Ce mouvement du papier est donné par un système analogue à celui que représentent les fig. 679 et 680, qui indiquent les dispositions du système ci-dessus, destiné à constituer un dynamomètre de rotation à compteur. Un anneau, à frottement doux sur l'arbre, est denté en roue d'angle; il engrène avec un pignon conique dont l'axe rencontre à angle droit celui de l'arbre. L'axe de ce pignon se termine par une vis sans fin qui conduit une roue dentée, dont l'axe, parallèle à celui de l'appareil, porte à un autre bout un plateau de cuivre dont le plan est perpendiculaire à l'arbre. La poulie porte un compteur à roulettes semblable à celui décrit plus haut, et qui se déplace avec cette poulie d'une quantité proportionnelle à la flexion des lames.

Quand on veut obtenir des indications du compteur, on rend immobile l'anneau denté au moyen d'un embrayage. Le pignon emporté par l'arbre roule alors autour de l'anneau denté fixe dans l'espace, et imprime au plateau un mouvement de rotation.

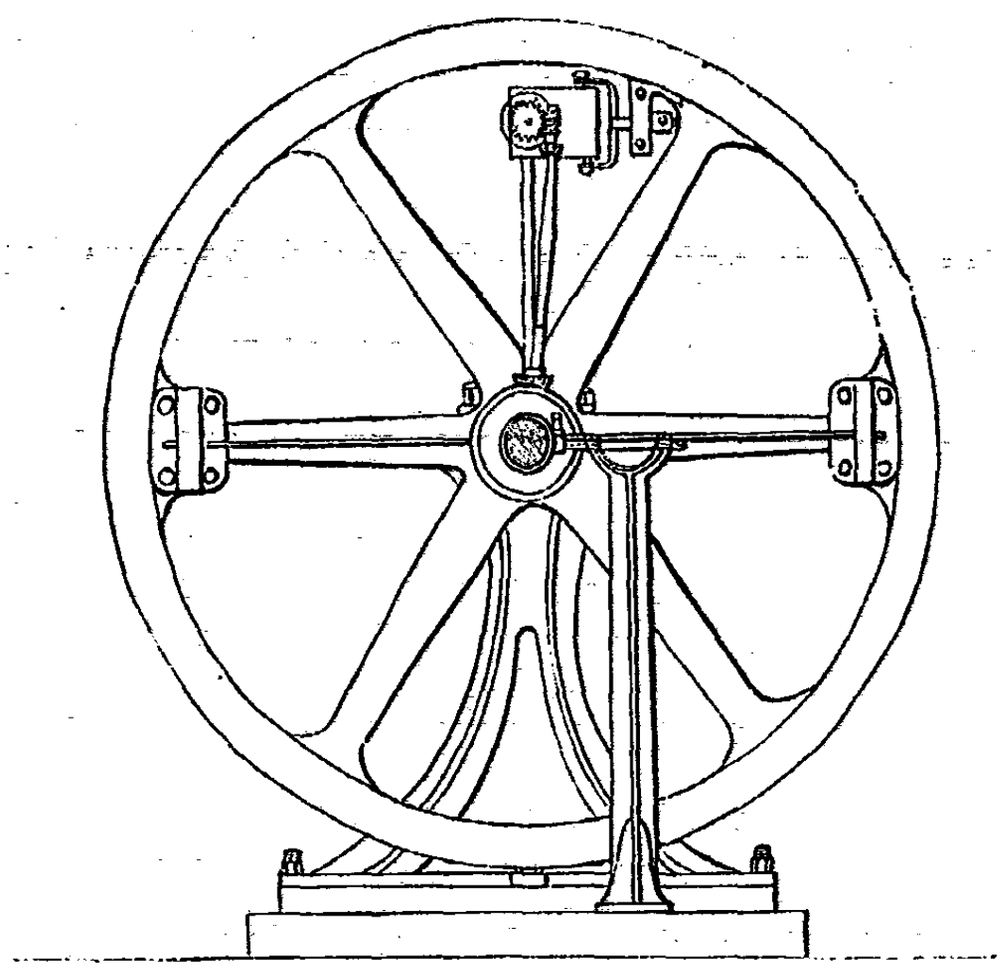
On voit que cet instrument est théoriquement convenable pour totaliser la quantité de travail transmis par un axe de rotation pendant un jour, une semaine, un mois. Aussi résoudrait-il tout à fait le problème s'il n'était trop délicat pour la pratique des ateliers, si des glissements fréquents n'altéraient l'exactitude des résultats.

Pour le dynamomètre à style, l'anneau monté sur l'arbre est denté en hélice et engrène avec un pignon perpendiculaire à l'arbre, mais qui ne le rencontre pas. C'est ce pignon qui met en mouvement le papier sur lequel s'effectue le tracé, à l'aide d'un style placé sur un des bras de la poulie.

Il faut pour la pratique des appareils plus sûrs, agissant par engrenages, sans glissements et altérations possibles. Nous parlerons plus loin de ce que l'on peut espérer dans cette voie.

Dynamomètre Taurines. On a remarqué à l'Exposition de Londres, et le jury a couronné d'une grande médaille, un ingénieux dynamomètre de rotation expérimenté avec succès par les ingénieurs de la marine française. Ce dynamomètre offre cette heureuse disposition, que les efforts de traction s'évaluent par le rapprochement de ressorts suivant une ligne perpendiculaire à l'axe de rotation, d'où résulte, avec une très grande résistance qui permet d'appliquer ce dynamomètre à de grands efforts, une grande facilité d'obtenir des tracés dans la circonstance la plus générale des machines de l'industrie manufacturière.

Ce dynamomètre consiste, réduit à sa plus simple expression, en un système de ressorts paraboliques assemblés par une extrémité à une manivelle calée sur l'arbre mû par la puissance, et de l'autre à un système semblable appartenant à l'arbre sur lequel la résistance vient s'exercer. Ces deux manivelles ou l'une d'entre elles peut être un rayon d'une roue ou d'un volant; c'est toujours la même disposition.



680.

Lorsque la machine est en mouvement, la flèche de courbure des ressorts s'infléchit en raison des efforts de traction, les milieux des deux ressorts se rapprochent. Si donc une tige est articulée d'une extrémité à l'un des ressorts, et de l'autre à une pièce glissant dans une rainure circulaire d'un anneau monté sur l'arbre de rotation et pouvant s'avancer sur celui-ci, il est clair que cet anneau s'avancera en raison des efforts. Un papier roulé sur lui recevra donc d'un crayon fixe un tracé qui sera en raison de la rotation de l'arbre et de l'effort de traction nécessaire pour le mouvoir.

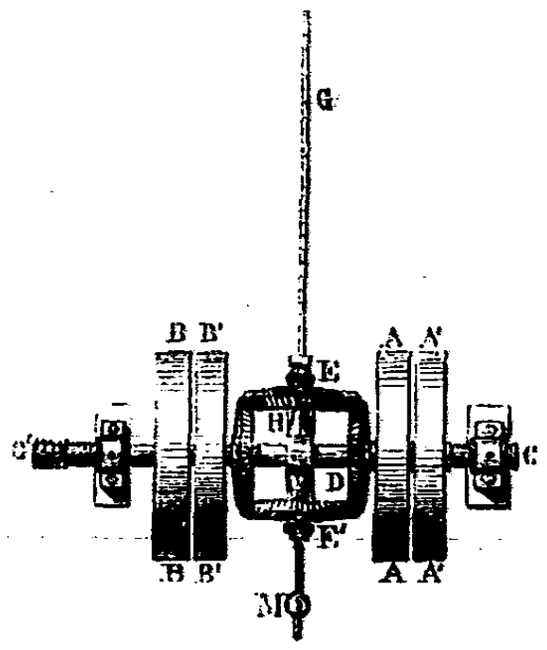
Il nous resterait à indiquer les moyens indiqués par l'inventeur pour rendre les mouvements du traçoir proportionnels aux efforts, ce qu'il obtient, quant aux ressorts, par une disposition de ressorts multiplicateurs disposés de telle sorte que ceux dont nous venons de parler, lorsqu'ils se rapprochent, agissent transversalement sur eux. La théorie assez compliquée de ces systèmes doit être étudiée dans les mémoires de l'inventeur. Il corrige aussi les défauts de proportionnalité qui résultent de l'obliquité de la barre articulée, par l'effet d'une rainure courbe oblique à l'axe de rotation dans laquelle se meut le porte-crayon. Mais, sans entrer dans ces détails, il est clair que cet appareil peut toujours être taré et par suite donner des résultats exacts; et que la disposition de l'appareil permet de les obtenir avec une grande facilité. Il est facile aussi d'apprécier les avantages de solidité qu'offre cet appareil, ce qui permet de l'appliquer à des machines très puissantes, pour lesquelles la simple flexion d'une lame de ressort, comme dans le dynamomètre de M. Morin, n'offrirait pas une sécurité suffisante.

Ce dynamomètre constitue donc un progrès important sur les systèmes qui précèdent, et serait tout à fait précieux s'il était totalisateur, avantage que l'inventeur ne propose de lui donner qu'à l'aide d'éléments analogues à la roulette; c'est-à-dire avec beaucoup de complications et une foule de causes d'erreurs dans la pratique. Nous exposerons plus loin une disposition que nous avons imaginée, et qui, si nous ne nous

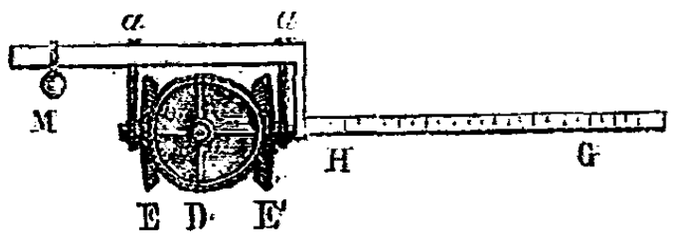
trompons, fournit une solution satisfaisante du problème.

Dynamomètre américain. On emploie en Amérique une espèce de balance dynamométrique, originairement inventée, pensons-nous, par White, ou qui au moins repose sur une disposition analogue à celle du mouvement différentiel qu'il a appliqué dans grand nombre de cas. On sera bien aise d'en trouver ici la description.

Les fig. 681 et 682 sont deux vues du dynamomètre



684.



682.

construit sur le principe d'un mouvement différentiel bien connu, et consiste en deux systèmes de poulies A, A', B, B', tournant autour d'un arbre C C; de chaque côté la poulie extrême est folle. La poulie fixe B' B' et la roue d'angle voisine sont toutes deux attachées sur l'arbre C C; la roue d'angle D est ajustée sur un tube lié à la poulie A A. Les roues E, E' sont portées par la barre G, qui peut tourner autour de l'arbre C C.

Pour employer cette machine, la courroie conductrice venant du moteur agit sur la poulie B', pendant que la courroie conduite passe sur la poulie A pour se rendre aux machines dont il s'agit d'étudier la consommation de travail.

Il est clair que si les roues E, E' sont maintenues dans la position horizontale, ne peuvent tourner autour de l'arbre C, la roue d'angle et la poulie A A avec laquelle elle fait corps, tourneront aussi vite que la poulie B' B'. Alors le poids nécessaire pour maintenir les roues E E dans leur position mesure l'effort nécessaire pour faire mouvoir les poulies et la roue d'angle montée sur l'arbre. *Ce poids est obtenu à l'aide du levier* G H, qui est employé comme le bras d'une romaine.

Le bras H G est adapté au centre des roues E E par les pièces *a a*; il est partagé en parties égales. Le poids M sert à équilibrer la barre et est fixée par une vis. *Quand les roues E E conservent leur position* par l'effet du levier G H, il est évident qu'un poids de 20 kil. agissant sur la poulie A équilibrera le même

poids sur les poulies B. La distance du centre de l'arbre C C à la distance sur le levier marquée 1, est égale au rayon de ces deux poulies; par suite, un poids de 20 kil. en 1 contre-balancera le même poids sur A, c'est-à-dire qu'en négligeant le frottement, l'effort *peut s'évaluer par le poids nécessaire* à la poulie motrice, pour que le système conserve sa figure, c'est-à-dire lorsque la résistance est égale à la puissance.

Pour mettre la machine en mouvement, on fera donc passer les courroies des poulies folles sur les poulies fixes, puis l'on fera glisser le poids sur le levier jusqu'à ce qu'il ne soit plus entraîné; le poids ainsi indiqué sur le levier, multiplié par le rapport de la distance au point marqué 1, du point où il est suspendu, permet d'évaluer l'effort nécessaire pour mouvoir la machine.

Un filet de vis en C, au bout de l'arbre C C, agit sur un compteur pour indiquer le nombre de tours que fait la machine pendant le temps de l'expérience; on a donc l'effort et le chemin parcouru, et par suite le travail. On a perfectionné ce système en évitant les oscillations du levier à l'aide d'une pompe régulatrice dis*posée à l'extrémité de celui-ci*, c'est-à-dire qu'on y adapte un piston glissant dans un corps de pompe fermé, et qui résiste aux changements brusques de vitesse.

Nouveau système de totalisateur. Le curieux système de dynamomètre que nous venons de décrire, et qui a pour défaut évident le balancement du levier, nous a fait penser à un perfectionnement qui nous semble heureux et nous paraît s'appliquer parfaitement au plus grand nombre des dynamomètres.

Le moyen d'éviter les grands balancements du levier, qui ne peuvent manquer d'accompagner les variations de *force motrice ou de force résistante, balancements qui ne* résultent pas cependant de sa nature même comme dans le frein de Prony, avec lequel ce dynamomètre a quelque similitude, consiste à remplacer le poids curseur par un ressort auquel est attaché l'extrémité du levier. Si on relève, par quelque système analogue à celui des dynamomètres traceurs ci-dessus décrits, la pression en chaque instant sur un papier mû proportionnellement au chemin parcouru, on pourra en déduire le travail.

C'est le produit de ces deux éléments qui représente le travail qu'il s'agit d'obtenir, et si l'on approche quelque peu de la solution dans les dynamomètres traceurs *qui donnent l'aire qui représente le produit de* ces deux éléments, ces appareils ne fournissent cependant qu'une solution bien incomplète de la question à laquelle les dynamomètres doivent faire réponse. Ils offrent en effet ces trois défauts : 1° d'exiger un appareil incommode pour faire mouvoir le papier; 2° de n'enregistrer le travail que pour un instant, en général fort court; 3° de fournir une courbe dont on ne peut obtenir la traduction en chiffres qu'à l'aide de connaissances spéciales, et qui par suite ne peut convenir que pour les recherches des ingénieurs et nullement pour les transactions industrielles de chaque jour.

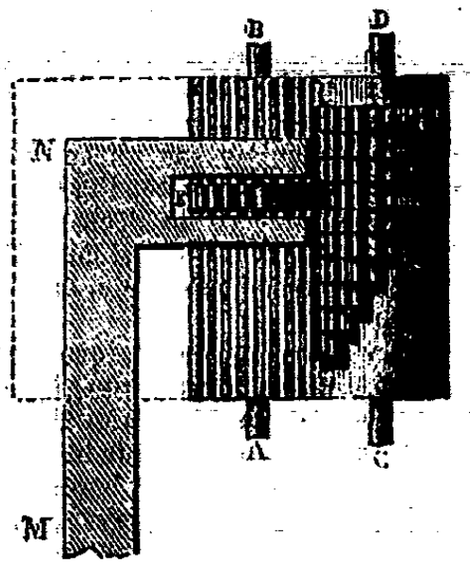
De semblables inconvénients ne sont pas à craindre dans des appareils où les aires obtenues par des tracés graphiques seraient remplacées par des nombres indiqués sur des cadrans d'un compteur, à la condition que ces nombres expriment bien le travail de la machine.

Nous ne parlons pas des totalisateurs à roulettes actuellement connus, parce que ces dynamomètres à roulettes, sujets aux glissements, ne sont pas sortis du cabinet de l'inventeur, et que l'industrie n'a retiré nul profit de cette ingénieuse invention, toute théorique.

Voici comment nous y parvenons par une disposition qui, si nous ne nous trompons, sera bientôt adoptée pour presque tous les systèmes de dynamo-

mètres, et remplacera les appareils graphiques tout à fait impropres à la pratique des ateliers.

Expliquons le système dont nous voulons parler.



683.

Soit MN (fig. 683) un curseur, une tige attachée à des ressorts qui mesurent l'effort, partie indispensable de tout dynamomètre ; soit *a* la course que ce point peut parcourir, et supposons pour fixer les idées que l'effort varie de 1 à 10 kil. Marquons sur *a* les points correspondants aux efforts de kil. à kil. (divisions égales ou inégales, peu importe).

Soit CD un cylindre mis en mouvement par la rotation de la machine, et faisant par suite un nombre de tours proportionnels à celui de la pièce sur laquelle on mesure l'effort transmis ; sa surface sera dentée, et le nombre des dents qu'on laissera subsister à chaque hauteur sera proportionnel au nombre de kil. indiqué au point correspondant de *a*.

Cela compris, si l'on fait porter au curseur MN une petite chape dans laquelle soit porté un petit pignon E, il est bien clair que ce pignon tournera pour chaque tour de CD d'un nombre de dents proportionnel au nombre de kil. mesurant l'effort P, et par suite pour K tours, le nombre de dents sera égal à PK, c'est-à-dire proportionnel au travail.

Si donc on fait engrener le petit pignon avec un cylindre denté AB, celui-ci tournera avec le pignon et pourra enregistrer sur un cadran le nombre de dents parcouru, et par suite le travail en kilogrammètres si les divisions sont convenables.

Ainsi soit *l* le chemin parcouru pour un point de la circonférence de CD, pour un chemin déterminé de la puissance, soit *m* l'effort en un instant ; cet effort *m* fera monter le pignon curseur E jusqu'à la hauteur où se trouve sur CD une fraction de roue dentée de *m* dents (ou d'un multiple de *m*), le cylindre CD étant entièrement garni de dents pour un certain effort, pour 100 par exemple. Le nombre de dents qui passeront en un point de AB, premier rouage du compteur, sera donc de *ml*, c'est-à-dire proportionnel au travail.

Il est bien évident qu'il y aura avantage à faire faire à CD un grand nombre de rotations possibles pour un même chemin parcouru, afin que les variations de pression soient plus souvent enregistrées, que l'appareil approche le plus possible de la continuité. Il est également évident que l'appareil est applicable, quelles que soient les forces à mesurer ; les résistances à vaincre ne sont jamais que celles très minimes du compteur, celles qui s'opposent au seul mouvement des aiguilles.

Rien de plus simple que d'obtenir par des compteurs

des unités de kilogrammètres d'un ordre supérieur, et par suite d'enregistrer le travail d'une machine pendant douze ou vingt-quatre heures. C'est là le résultat à obtenir par l'industrie pour vendre de la force au détail, comme on vend du gaz avec un compteur.

Pour appliquer ce totalisateur au système de White, il suffit d'assembler le bout du levier à un ressort parabolique double ou à l'extrémité d'un peson à hélice, et d'attacher la chape du petit pignon à la barre qui réunit le ressort inférieur à l'extrémité du levier. Quant au cylindre denté, il sera mis en communication soit par une courroie, soit par un système de roues dentées avec une des roues perpendiculaires à l'axe de rotation. Seulement il faut avoir soin de disposer les divisions des cadrans pour que les indications correspondent à des kilogrammètres.

Dynamomètre Taurines avec totalisateur. Ce système de totalisateur s'applique avec la plus grande facilité au système Taurines, que nous avons décrit plus haut, aussi bien qu'au précédent, et nous paraît fournir un complément tout à fait nécessaire pour qu'on tire un parti usuel et journalier de ces ingénieuses inventions.

En effet, il est facile de monter sur l'axe de rotation le système de parties de roues dentées et de faire de l'anneau glissant un porte-pignon. Si donc par expérience ou par calcul on dispose la progression des roues dentées de manière que les écartements soient en raison des accroissements des efforts, chaque tour de l'axe fera parcourir au premier mobile d'un compteur un nombre de dents égal au produit de l'effort par un tour, et par une série suffisante de cadrans donnera le nombre de centaines, de mille, de millions, etc., de kilogrammètres du travail moteur. On aura donc ainsi, d'une manière simple et pratique, le travail d'un moteur communiqué par une courroie de transmission ; en un mot, une solution simple et satisfaisante du problème de l'établissement des dynamomètres, de pouvoir évaluer le travail des moteurs et de pouvoir le diviser en le mesurant.

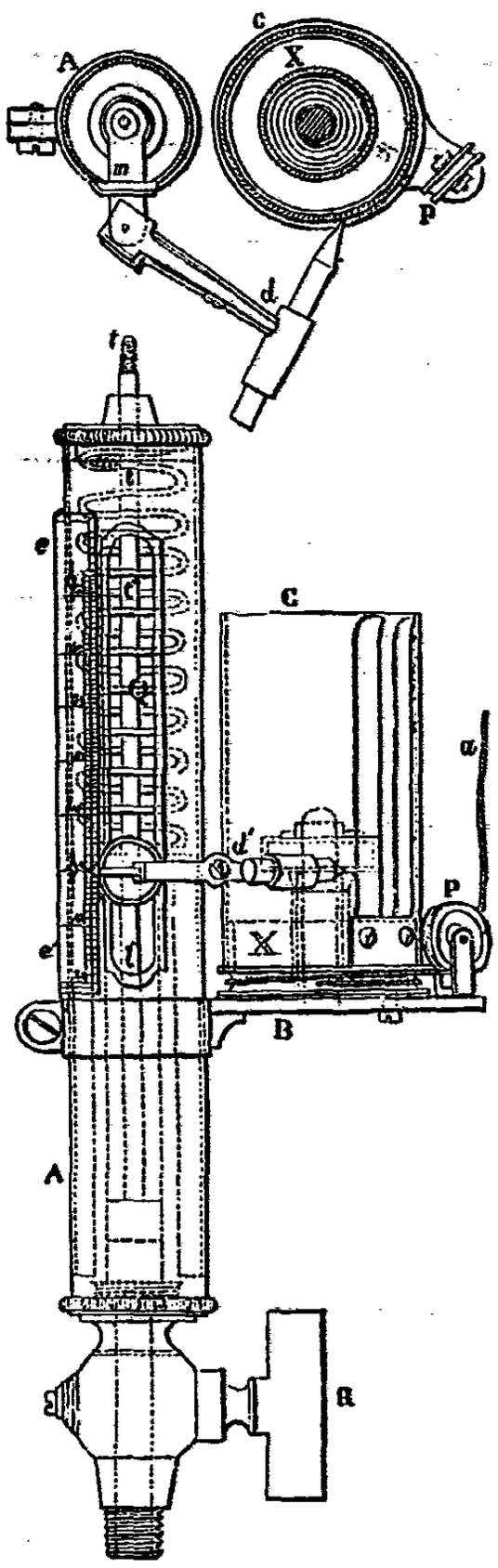
Nous pourrions compléter les applications de ce totalisateur, qui nous paraissent possibles, à divers appareils, et notamment à des compteurs à gaz perfectionnés. On y tiendrait compte des variations de pression, cause d'erreur dont l'influence n'est pas tout à fait négligeable ; mais ce serait abandonner la question des dynamomètres, but de cet article. Nous aurons d'ailleurs occasion de revenir sur ces questions capitales pour le progrès de la science et de l'industrie.

Dynamomètre indicateur de Watt, perfectionné par Macnaught. Cet appareil, dû au génie du grand constructeur qui avait pressenti tant de perfectionnements, a été introduit en France par *M. Combes*. Il sert à mesurer la puissance des machines à vapeur, et surtout à étudier la suite des phénomènes à l'intérieur des machines à vapeur, la distribution, la détente, etc. ; sous ce rapport c'est un appareil tout spécial à la machine à vapeur, et que les dynamomètres proprement dits ne sauraient remplacer, puisqu'ils ne peuvent mesurer que le travail produit et nullement indiquer les causes de variation du travail moteur. Nous verrons à MACHINE A VAPEUR l'extrême utilité des *diagrammes*, ou tracés qu'il permet d'obtenir, et qui représentent le produit de la pression de la vapeur sous le piston, en même temps que le chemin parcouru sous chaque pression donne le travail de la machine. Nous n'en donnerons ici que la description comme appareil dynamométrique.

Les fig. 684 et 685 représentent l'indicateur de Watt en plan et en élévation. A est le cylindre de l'indicateur, *tt'* la tige du piston de la machine à vapeur

dans le cylindre A et est indiqué en lignes ponctuées dans l'élévation; cette tige passe au milieu d'un ressort à boudin Q, fixé par le haut au couvercle du cylindre A, et par le bas à une embase placée sur la tige du piston; R, robinet servant à ouvrir ou fermer la communication entre l'intérieur du cylindre à vapeur et le

684.



685.

dessous du piston de l'indicateur; C, cylindre mobile placé latéralement au cylindre A, et autour duquel on roule la feuille de papier destinée à recevoir la trace, le *diagramme*; B, support du cylindre C; le cylindre C porte à sa partie inférieure une poulie portant une rainure héliçoïdale dans laquelle est logé le cordon *a*, qui, après avoir passé sur la poulie de renvoi P vient se fixer à l'extrémité d'un appendice fixé sur le piston de la machine à vapeur, ou en un point du parallélogramme articulé qui ait un mouvement moindre, mais proportionnel; le milieu du bras vertical le plus rapproché du centre de rotation, par exemple; le support B,

est relié au cylindre C, par un barillet X, faisant corps avec le cylindre, qui renferme un ressort de montre en spirale enfilé sur une tige fixée au support B; ce ressort sert à faire rétrograder le cylindre, et à tenir le cordon *a* constamment tendu pendant la course descendante du piston de la machine à vapeur; *l l'*, fente longitudinale ménagée suivant une génératrice du cylindre A, dans laquelle passe le bras *m* articulé avec le porte-crayon *d*; *e d*, échelle graduée fixée sur le cylindre A; les divisions correspondent chacune à une pression de 1/10e de kilogramme sur un centimètre carré. Quand le robinet R est fermé, l'index placé sur le bras *m*, correspond au zéro de l'échelle; quand il est ouvert, la pression de la vapeur est marquée par les degrés supérieurs au zéro de l'échelle, et le vide par les degrés inférieurs.

Pour se servir de l'indicateur que nous venons de décrire, il faut le visser sur le robinet à graisse du cylindre ou sur toute autre ouverture. Une fois qu'il est mis en place, on enveloppe le cylindre mobile C, d'une bande de papier, en pinçant ses bords sous deux ressorts indiqués dans la figure, en ayant soin qu'elle soit bien lisse et bien tendue, et en en repliant les bords pour bien l'assujettir; on enfile un crayon bien taillé dans la douille *d*, et on écarte sa pointe du papier en faisant tourner en dehors la tige du porte-crayon autour de son articulation. Cela fait, le petit ressort qui presse le crayon, peut être disposé de manière à ce que la pointe de ce dernier exerce seulement une légère pression sur le papier dont elle touche la surface. On laisse alors donner à la machine quelques coups de piston sans ouvrir le robinet de l'indicateur, pour que le crayon trace la ligne qui correspond au zéro de l'échelle. On relève le crayon et on ouvre le robinet R; le piston de l'indicateur suit alors les tensions de la vapeur. Au bout de quelque temps, sans rien déranger d'ailleurs à l'instrument, on amène le crayon au contact de la feuille de papier, où il trace une figure représentant exactement la tension de la vapeur, et le degré de vide dans l'intérieur du cylindre à vapeur à chaque instant de la course du piston.

Quand le diagramme est tracé, on enlève la feuille de papier et on suit avec une plume très fine le tracé du crayon; on divise la figure par des lignes équidistantes, perpendiculaires à la ligne atmosphérique ou celle de zéro de l'échelle; on prend les longueurs des ordonnées moyennes dans chaque division à l'échelle de l'instrument, on en fait la somme, on divise par le nombre de parties formées dans la figure, et on a pour quotient la pression motrice moyenne.

Si l'on veut avoir la puissance d'une machine en chevaux, on calculera l'aire du piston en centimètres carrés; on multipliera cette aire par la pression motrice moyenne donnée par l'expérience, exprimée en kilogr. sur un centimètre carré (chaque division de l'instrument exprime 1 kilogr.), et par le nombre de mètres parcourus par le piston dans une minute. On divisera le produit par 4,500; le quotient exprimera la puissance de la machine en *chevaux-vapeur*, de 75 kilogrammes élevés à un mètre par seconde, ou 4,500 kilogr. élevés à 1 mètre par minute. En plaçant l'instrument sur la machine marchant à vide, et réglant l'ouverture de la soupape à gorge de manière à ce que le piston prenne la même vitesse que dans le cas de la machine chargée, on aura la puissance absorbée par le frottement seul des différentes parties de la machine, et des transmissions de mouvement que l'on aura conservées.

On pourra reconnaître, de la même manière, si le vide se fait bien dans la machine, si le jeu des soupapes ou du tiroir de distribution est convenablement réglé, si les passages ou issues d'entrée et de sortie de la vapeur sont assez grands, etc. Aussi cet appareil

est-il devenu tout à fait usuel dans l'industrie, dans la marine à vapeur notamment (voyez MACHINE A VAPEUR).

On a varié cet appareil de diverses manières, mais, dans la pratique, c'est la disposition indiquée ci-dessus qui est restée adoptée le plus souvent. Nous devons toutefois signaler les dispositions qui assurent le développement continu du papier, de telle sorte que les courbes successives ne se superposent pas.

DYNAMOMETRE OPTIQUE OU CHROMATIQUE.

M. Wertheim a su rapprocher des besoins de la pratique un système entièrement différent des précédents et fondé sur des phénomènes lumineux d'une grande délicatesse, pour mesurer l'action des forces, qui peut trouver des applications toutes nouvelles et permettre des expériences d'un grand intérêt. Les dynamomètres de Poncelet et Morin, très-convenables pour mesurer un travail, ne permettent pas de mesurer les pressions qui s'exercent entre deux corps solides sans chemin appréciable parcouru, élément qui est souvent du plus haut intérêt lorsqu'il s'agit de résistances statiques, comme dans tous les cas de *construction*, de *déformation* des *métaux*, etc., c'est-à-dire dans les cas les plus importants; aussi, sans un appareil nouveau, ne peut-on rien savoir sur l'effet utile des *machines* les plus usuelles, telles que presses, étaux, balanciers, systèmes de leviers, etc. C'est cette lacune que comble le dynamomètre chromatique, nouvelle utilisation industrielle des phénomènes du passage de la lumière à travers les corps transparents, qui a fourni une si curieuse application à une question de chimie, à la saccharimétrie optique.

L'appareil de M. Wertheim repose sur la mesure de l'action qu'exerce sur la lumière transmise un corps transparent et homogène, tiré ou pressé, suivant une seule direction. Fresnel a démontré le premier que cette *action mécanique* fait naître des phénomènes de double réfraction avec la lumière ordinaire, ou, ce qui est la même chose, des phénomènes de coloration avec la lumière *polarisée*. Ceci posé, voici la construction de l'appareil que représente la figure 3493.

3493.

Sa partie essentielle est une plaque de verre, parfaitement transparente dans le sens de sa longueur, de dimensions telles qu'elle puisse supporter des pressions très-considérables, et noircie sur tout son pourtour, à l'exception des deux points au travers desquels on veut viser. Cette plaque de verre *a*, garnie sur ses deux surfaces de plaques parallèles en caoutchouc volcanisé et en carton, est placée entre deux plateaux en fonte bien dressés et suffisamment épais; l'*inférieur* de ces plateaux *b* porte deux tubes en laiton, dont la surface intérieure est noircie. Le tube objectif contient un nicol *d* à son extrémité la plus rapprochée de l'observateur, et porte à l'autre bout une plaque de porcelaine blanche *e*, qui est mobile dans deux sens perpendiculaires, et qui, par conséquent, peut toujours être placée de manière à être bien éclairée. L'autre tube *f* porte un prisme bi-réfringent *g*. Ces deux tubes sont montés à frottement dur dans des coulisses *h* adaptées à la plaque inférieure, de manière à ce que, en employant des plaques de verre de différentes épaisseurs, on puisse toujours placer leurs axes sur le prolongement l'un de l'autre et à la moitié de la hauteur du verre. La plaque de fonte supérieure *i* est parfaitement libre et ne sert qu'à transmettre les pressions au verre.

Les sections principales du nicol et du prisme bi-réfringent sont parallèles entre elles et font un angle de 45 degrés avec la verticale.

Maintenant on n'a qu'à placer cet appareil peu volumineux entre les deux surfaces sur lesquelles la pression doit s'exercer : quelle que soit la nature des forces *appliquées*, quelles que soient les pertes qu'elles aient éprouvées avant de produire leur effet utile, la mesure de cet effet sera toujours donnée par la seule inspection des couleurs qui se présentent dans les deux images.

L'appréciation des couleurs est la partie délicate de ces observations. Une fois obtenue, on peut en déduire par le calcul la valeur de la pression, mais il est bien plus simple de tarer directement l'instrument, comme l'a fait M. Wertheim, c'est-à-dire de faire peindre les couples de couleurs que l'on voit successivement dans l'instrument et d'inscrire à côté les valeurs correspondantes de P pour deux plaques de verre, dont l'une est destinée à mesurer de faibles pressions, tandis que l'autre supporte les pressions les plus considérables.

Il importe de prévenir que ces expériences offrent une seule difficulté, qui est d'éviter que le verre ne subisse aucune flexion transversale; car celle-ci ferait apparaître, de ce seul fait, des bandes colorées et toute détermination deviendrait impossible. Cette cause perturbatrice se présente infailliblement toutes les fois qu'on se sert de plaques minces; il est impossible de rendre les surfaces entre lesquelles la pression s'exerce assez complétement planes et parallèles pour qu'il ne s'y produise rigoureusement qu'un effet de compression. Il faut donc que le verre lui-même offre assez de résistance à la flexion pour que l'effet de celle-ci devienne insensible; c'est à quoi l'on arrive en donnant à la plaque une épaisseur (hauteur) de 2 à 3 centimètres.

On se rend facilement compte des dimensions qu'il faut donner à une pareille plaque pour la rendre propre à mesurer une force d'une grandeur donnée. Le verre à glaces supporte une pression de plus de 3 kilog. par millimètre carré; une plaque carrée, de 20 centimètres de côté, pourra donc, sans inconvénient, être soumise à une pression de 120,000 kilog. Mais longtemps avant d'avoir atteint cette limite, les deux images seront devenues complétement blanches par suite de la grande différence de marche entre les deux rayons, cause que la théorie assigne à la différence de coloration.

On trouve ainsi, comme le montre le tableau ci-après, que la plus grande différence de marche dont on puisse se servir est de $0^{mm},002$, la charge correspondante étant de 535 kilog. pour la surface des verres de la presse d'essai, soit 13 à 15,000 kilog. pour 400 centimètres carrés, limite qu'on ne pourrait dépasser qu'en employant une plaque plus large.

Mais sans avoir recours à une plus grande largeur, qui diminuerait en même temps la sensibilité de l'instrument, on peut augmenter sa course par un artifice très-simple. Supposons qu'on soit arrivé à une pression de 13,000 kilog., le rayon extraordinaire aura sur le rayon ordinaire une avance de 0,002. Plaçons maintenant sur le trajet des deux rayons, entre les deux prismes, en *i*, un quartz parallèle à l'axe d'une épaisseur telle, qu'étant employé seul, il produise une différence de marche de 7λ (λ, longueur d'ondulation, varie de 423 millionièmes de millimètre pour le rouge, à 620 pour le violet, moyenne 525) ou $0^{mm},004$. Le quartz est un cristal positif; donc, en ajoutant cette plaque au verre comprimé, on change le signe de la différence de marche *d*, de $-0,002$, elle devient $= +0,002$. Les

DYNAMOMETRE

DYNAMOMÈTRE

NUMÉROS D'ORDRE.	d — En millionièmes de millimètres.	e — En millionièmes de pouces anglais.	P — CHARGE.	COULEUR de l'image O.	COULEUR de l'image E.
1	0mm	0	0	Blanc.	Noir.
2	40	0,78	10	Blanc.	Gris de fer.
3	97	1,91	24	Blanc jaunâtre	Gris de lavande.
4	158	3,11	39	Blanc brunâtre	Gris-bleu.
5	218	4,29	54	Jaune-brun	Gris plus clair.
6	234	4,61	58	Brun.	Blanc avec une légère teinte verte.
7	259	5,10	64	Rouge clair.	Blanc presque pur.
8	267	5,25	66	Rouge-carmin	Blanc jaunâtre.
9	275	5,41	68	Rouge-brun très-foncé, presque noir	Jaune-paille.
10	281	5,53	70	Violet foncé.	Jaune-paille.
11	306	6,02	77	Indigo.	Jaune clair.
12	332	6,53	84	Bleu	Jaune brillant.
13	430	8,46	110	Bleu verdâtre	Jaune orangé.
14	505	9,84	130	Vert bleuâtre	Orangé rougeâtre.
15	536	10,55	138	Vert pâle.	Rouge, chaud.
16	554	10,84	142	Vert jaunâtre	Rouge plus foncé.
17	565	11,12	146	Vert plus clair	Pourpre.
18	575	11,32	149	Jaune verdâtre.	Violet.
19	589	11,59	153	Jaune vif.	Indigo.
20	664	13,07	183	Orangé	Bleu.
21	728	14,33	200	Orangé brunâtre	Bleu verdâtre.
22	747	14,70	205	Rouge-carmin clair. . . .	Vert.
23	826	16,26	216	Pourpre	Vert plus clair.
24	843	16,59	221	Pourpre violacé.	Vert jaunâtre.
25	866	17,05	228	Violet.	Jaune verdâtre.
26	910	17,91	240	Indigo	Jaune pur.
27	948	18,66	250	Bleu foncé	Orangé.
28	998	19,64	263	Bleu verdâtre	Orangé rougeâtre vif.
29	1101	21,67	290	Vert	Rouge violacé foncé.
30	1128	22,20	298	Vert jaunâtre	Violet bleuâtre clair, teinte de passage.
31	1151	22,66	305	Jaune impur.	Indigo.
32	1258	24,76	334	Couleur de chair. . . .	Bleu, teinte verdâtre.
33	1334	26,26	354	Rouge mordoré.	Vert bleuâtre (vert d'eau).
34	1376	27,09	365	Violet.	Vert brillant.
35	1426	28,07	380	Bleu violacé grisâtre . . .	Jaune verdâtre.
36	1495	29,43	400	Bleu verdâtre	Rouge-rose.
37	1531	30,20	410	Vert-bleu.	Rouge-carmin.
38	1621	31,91	432	Vert clair.	Carmin pourpré.
39	1652	32,52	440	Vert jaunâtre	Gris violacé.
40	1682	33,11	449	Jaune verdâtre	Gris-bleu.
41	1711	33,68	458	Gris-jaune	Bleu verdâtre clair.
42	1744	34,33	468	Mauve.	Vert bleuâtre.
43	1811	35,65	486	Carmin	Vert-bleu clair.
44	1927	37,93	515	Gris-rouge	Gris-vert clair.
45	2007	39,51	535	Gris-bleu.	Gris presque blanc.

Les deux images se colorent successivement de toutes les couleurs des anneaux des lames minces, de la bulle de savon, l'image ordinaire prenant toujours les couleurs de la lumière transmise et l'image extraordinaire présentant les teintes complémentaires ou les couleurs des anneaux de la lumière réfléchie. Newton ayant mesuré l'épaisseur de la lame d'air qui transmet et réfléchit chacune de ces couleurs complémentaires, on devait essayer de se servir de ces mesures pour exprimer numériquement chaque teinte obtenue. On reconnait bien qu'en effet les différences de marche entre les deux rayons sont sensiblement proportionnelles aux charges, mais le grand nombre de teintes voisines rend bien difficile l'emploi des déterminations de Newton.

Le tableau ci-dessus a été déterminé à l'aide d'une pièce très-pure de crown de Clichy (boro-silicate de zinc) qui pouvait être comprimé jusqu'à donner une différence de marche de $7\frac{\lambda}{2}$ (λ étant la longueur d'ondulation) ; au delà de cette limite, les couleurs sont mélangées de trop de lumière blanche, et sont, par conséquent, trop pâles pour pouvoir servir à des mesures.

On a choisi, dans chaque anneau coloré, un certain nombre de teintes bien caractérisées et faciles à reproduire, et l'on a déterminé les charges qu'il faut appliquer à ce même crown pour les produire. On a pu ainsi, et avec quelques interpolations pour le calcul des chiffres, déterminer et la colonne d, qui contient en millionièmes de millimètres les différences entre les chemins parcourus par les rayons ordinaires et extraordinaires, et les épaisseurs e des lames d'air qui transmettent et réfléchissent les couleurs inscrites dans la 5e et 6e colonne. On les donne en millionièmes de pouces anglais, afin qu'on puisse immédiatement les comparer avec les mesures de Newton.

couleurs des deux images n'ont donc éprouvé aucun changement; mais en augmentant maintenant la pression, on remontera graduellement toute la série des teintes, et avec une pression de 26,000, on sera revenu à zéro. Par conséquent, et sans rien ajouter à l'appareil optique, on *pourra aller de nouveau* jusqu'à une double réfraction négative $\frac{7\lambda}{2}$, que l'on obtiendra avec une pression totale de 39,000 kilog., et ainsi de suite.

Un tableau des colorations et des pressions correspondantes doit être établi avec l'appareil, par le constructeur. Le tableau ci-contre, qui reproduit les déterminations obtenues par M. Wertheim avec *son* appareil d'essai, offre un grand intérêt en faisant bien saisir la marche du phénomène.

Applications. — M. Wertheim a fait quelques applications de cet appareil que nous rapporterons ici.

M. Wertheim a trouvé qu'avec de petits écrous qu'on ne serre qu'avec les doigts, on peut produire jusqu'à 220 kilog. de pression.

Pour décalquer une lettre avec une presse à copier ordinaire, on exerce habituellement une pression de 800 à 900 kilog.

Un grand balancier des ateliers de M. Bréguet a donné pour résultats moyens : $P = 48{,}98\ P' + 66{,}5$, P' étant la force appliquée aux bras du levier et P l'effet produit; la quantité constante 66,5, qui est indépendante de la force P', représente l'*inertie du balancier* rendue sensible, parce qu'après avoir enlevé la force P' il reste une coloration correspondante à 66,5, laquelle provient évidemment de cette inertie. On voit que cette force que l'on néglige habituellement pourrait devenir considérable, dans certains cas, pour une vitesse très-notable.

Enfin, en expérimentant sur la grande presse hydraulique, qui se trouve au Conservatoire des arts et métiers, M. Wertheim a trouvé les résultats ci-après :

PRESSIONS		
d'après le dynamomètre chromatique	d'après le manomètre communiquant avec l'eau de la presse	
en kilogrammes.	en atmosphères.	en kilogrammes.
400	0,5	91
475	1,0	184
283	1,6	290
383	2,1	381
514	3,0	544
555	3,5	634
586	4,0	726
938	6,0	1,088
1,285	8,0	1,451
1,523	9,0	1,633
1,666	10,0	1,814
2,464	13,0	2,721
3,091	20,0	3,629
3,338	24,0	4,355
3,427	28,0	5,080
4,099	31,0	5,625
4,480	35,0	6,351
4,950	40,0	7,258
5,891	47,0	8,528

On voit avec quelle facilité cet instrument montre quelles grandes erreurs on commet lorsqu'on croit pouvoir négliger les frottements dans les calculs de l'effet utile de la presse hydraulique. CH. LABOULAYE.

E

EAUX (DISTRIBUTION D'). La nécessité, pour tous les centres de population, de posséder une abondante distribution d'eau de bonne qualité est aujourd'hui généralement comprise. Non-seulement les administrateurs des grandes villes, mais encore les conseils municipaux des plus modestes communes se préoccupent d'assurer à leurs concitoyens des eaux convenables pour les usages domestiques et industriels. Depuis quelques années, les sacrifices que les villes s'imposent pour avoir des eaux pures et abondantes, donnent en quelque sorte la mesure de leur richesse et de leur degré de civilisation.

Les mêmes tendances se manifestent chez les riches propriétaires d'habitations rurales, et l'on rencontre de toutes parts des travaux, relativement considérables, destinés à amener de l'eau dans les maisons de campagne et dans les fermes isolées. Aussi *les questions* d'aménagement des eaux destinées aux usages domestiques, *sont*-elles devenues d'un intérêt général et d'une application continuelle.

Dans une ville, l'eau a plusieurs destinations; elle sert aux usages de la vie domestique, aux établissements industriels, aux lavages des rues et des égouts, et enfin comme ornement et moyen d'assainissement dans les fontaines jaillissantes et monumentales. Ces diverses applications ne réclament pas nécessairement les mêmes qualités. Aux usages domestiques doivent être réservées les eaux les plus limpides, les plus aérées, les plus fraîches et les plus pures. Des eaux moins précieuses peuvent convenir parfaitement pour les usages plus grossiers du service de nettoyage des voies publiques et des *égouts*.

Avant d'indiquer les moyens de se procurer de l'eau, de la réunir et de la distribuer, il convient d'étudier les qualités qu'elle doit présenter, et de faire connaître les volumes d'eau nécessaires, selon les circonstances, pour une bonne distribution publique *ou* privée.

§ 1. NATURE ET QUALITÉ DES EAUX.

Les eaux naturelles diffèrent beaucoup entre elles par la proportion et la nature des substances qu'elles tiennent toujours en dissolution, par leur température habituelle, leur degré de limpidité, etc. Ces diverses circonstances exercent sur leur valeur, au point de vue de leurs usages domestiques et industriels, une influence considérable, sur laquelle il ne sera pas inutile de s'arrêter ici plus longtemps que ne le font habituellement les personnes spécialement occupées des procédés techniques de distribution des eaux. Les faits nombreux que j'ai eu l'occasion de recueillir à cet égard, en examinant les échantillons d'eaux envoyées de divers pays au laboratoire des ponts et chaussées, fourniront des renseignements intéressants pour cette première partie de l'article que l'on va lire.

L'étude chimique et hygiénique des eaux a fait depuis quelques années des progrès très-réels. Les travaux de laboratoire et les enquêtes faites en France, et *surtout en* Angleterre, dans ces dernières années, ont

constaté un grand nombre de faits nouveaux et intéressants. Cependant, il ne faut pas le dissimuler, plusieurs questions sont loin encore d'être résolues, et il convient d'appeler sur elles l'attention des observateurs, pour hâter autant que possible les progrès de la science hydrologique, si utile au bien-être des populations.

La remarquable faculté de la race humaine de s'accoutumer aux conditions les plus diverses de nourriture et de climat, s'observe également pour l'emploi de l'eau comme boisson. Par un long usage, on s'habitue à des eaux de mauvaise qualité, comme on supporte sans se plaindre l'atmosphère infecte des grandes villes ou les inconvénients des climats froids et brumeux. Mais on doit reconnaître que le jugement des populations et des individus sur la qualité de l'eau est presque toujours juste et rapide. L'usage le plus prolongé ne pervertit point le goût à cet égard ; l'habitude la plus invétérée n'empêche jamais une population de préférer une eau de source ou de rivière de bonne qualité à une eau de puits chargée de matières salines ou organiques. Aucune amélioration urbaine n'est mieux appréciée et plus universellement applaudie que le perfectionnement de la distribution des eaux, sous le rapport de leur qualité et de leur quantité.

Les eaux renferment naturellement les éléments solubles des terrains qu'elles traversent. C'est dire qu'elles peuvent contenir en proportions variables des composés extrêmement nombreux. Dans les eaux destinées aux usages ordinaires de la vie, dont nous devons ici nous occuper à l'exclusion des eaux minérales, on ne rencontre habituellement, en quantités un peu notables, que les corps suivants : alumine, fer, chaux, magnésie, soude, potasse, ammoniaque, acides silicique, sulfurique, chlorhydrique, phosphorique, azotique, carbonique. Dans beaucoup d'eaux, on rencontre encore des traces de brome, d'iode et de plusieurs autres substances qui paraissent exercer une action puissante sur les qualités hygiéniques de l'eau, et dont l'étude, par cela même, doit être poursuivie avec une grande attention. Aux matières minérales que l'on vient de citer, s'ajoutent presque constamment, en proportions plus ou moins considérables, des matières organiques de compositions et de propriétés très-variables, mais dont l'influence sur la qualité de l'eau est toujours extrêmement fâcheuse.

Enfin, les eaux naturelles renferment, à l'état de dissolution, des quantités plus ou moins grandes de gaz oxygène, azote et acide carbonique, dont les quantités relatives doivent être prises en sérieuse considération dans l'étude des eaux.

On ne connaît pas encore, il est vrai, d'une manière précise le mode d'action sur l'économie animale de chacune des substances isolées ou mélangées, qui se rencontrent dans les eaux potables. Mais l'expérience a déjà fourni de très-nombreuses indications à cet égard, et les inconvénients de certains sels, au point de vue des usages domestiques et industriels de l'eau, sont maintenant parfaitement constatés. On connaît d'ailleurs, dès à présent, la composition chimique d'un grand nombre d'eaux, dont un long usage a permis de bien juger les qualités, bonnes ou mauvaises. L'analyse chimique d'une eau, que l'on se propose de distribuer, permet, par conséquent, ou de reconnaître la présence de substances nuisibles à tel ou tel usage particulier, ou bien de la rapprocher d'une eau analogue par sa composition, dont les propriétés sont connues, et par conséquent de prévoir par analogie, avec une certitude presque complète, les caractères qu'elle présentera. L'étude chimique détaillée d'une eau doit donc précéder tout projet relatif à sa distribution. On s'expose, en procédant autrement, aux mécomptes les plus sérieux ; c'est une précaution trop souvent négligée, que l'on ne saurait assez recommander aux ingénieurs et aux administrations publiques.

Avant de donner aucune indication générale, il est utile de montrer, par quelques exemples, la nature et la proportion des matières dissoutes dans les eaux naturelles. A cet effet, on a réuni dans un tableau, à la page suivante, l'analyse d'un certain nombre d'eaux potables. Ce tableau fournira d'ailleurs des termes de comparaison fort utiles pour l'étude de nouvelles analyses.

Les propriétés chimiques d'une eau potable sont évidemment la résultante de l'ensemble des matières qu'elle renferme à l'état de dissolution. Il serait impossible d'aborder l'étude de cette synthèse compliquée, sans étudier préalablement, comme on va le faire, l'influence spéciale de chacune des matières salines et autres qui se trouvent habituellement dans les eaux.

Il est bien entendu qu'il ne s'agit ici que des matières dissoutes ; les substances tenues en suspension dans les eaux troubles seront mentionnées plus bas à propos des moyens de filtrage.

Avant d'aller plus loin, faisons remarquer qu'il est presque toujours extrêmement difficile de dire à quel état de combinaison se trouvent dans l'eau les éléments que l'analyse en sépare. Dans les dissolutions très-étendues, comme le sont toujours les eaux naturelles même les plus chargées, le jeu des affinités diffère beaucoup de ce qu'il est dans les dissolutions concentrées sur lesquelles on opère habituellement dans les laboratoires. C'est donc seulement, en général, à l'aide d'hypothèses plus ou moins probables, que l'on groupe entre eux de la manière la plus rationnelle les bases et les acides trouvés isolément, pour indiquer la proportion des différents sels, chlorures, sulfates, etc., que l'on suppose exister dans une eau soumise à l'analyse. Les sels obtenus par l'évaporation d'une eau ne renferment évidemment que les bases et les acides contenus dans cette eau ; mais, dans le résidu solide obtenu, ces éléments peuvent être différemment groupés que dans l'eau elle-même. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple vulgaire, si l'on mélange des dissolutions de chlorure de calcium et de sulfate de soude assez étendues pour ne pas former de précipité, on obtiendra, par l'évaporation du liquide, du sulfate de chaux et du chlorure de sodium, et il serait assurément très-hasardé d'en conclure que la liqueur donnée renfermait ces deux sels. Il convient donc de donner simplement les résultats élémentaires d'une analyse d'eau, c'est-à-dire les quantités trouvées de chaque base et de chaque acide, et de laisser ensuite à chacun le soin d'en tirer les conséquences relatives au mode de groupement des molécules dans le liquide. De cette façon, les analyses faites à différentes époques et par différents chimistes deviendront beaucoup plus comparables et beaucoup plus utiles. Aussi, dans le tableau précédent, n'avons-nous fait figurer que les éléments acides ou basiques trouvés dans chaque eau examinée.

Les dissolutions très-étendues présentent un fait remarquable, c'est l'action dissolvante de certains sels les uns sur les autres qui s'explique quelquefois par l'observation précédente. Ainsi, une eau qui renferme quelques centigrammes par litre de certains sels, devient, par cela même, un dissolvant plus énergique pour d'autres matières que si elle était absolument pure. La plupart des matières organiques contenues dans les eaux exercent à un haut degré cette action dissolvante sur les matières minérales. Le phénomène qui permet à la sève d'entraîner dans le végétal les matières fixes nécessaires à la formation de son squelette, n'est pas un fait isolé. Il se reproduit dans la nature, et c'est ainsi que les eaux riches en matières organiques entraînent souvent de fortes proportions de matières minérales, qui se déposent lorsque la matière organique se trouve détruite dans le liquide par une cause ou par une autre.

DÉSIGNATION DES EAUX.	MATIÈRES SOLIDES PAR LITRE EN GRAMMES.											
	Silice.	Alumine.	Peroxyde de fer.	Chaux.	Magnésie.	Soude.	Potasse.	Acide sulfurique.	Acide chlorhydrique.	Acide carbonique combiné.	Matières organiques et eau combinée.	Poids total par litre des résidus solides.
1 Source des environs d'Orthez (Basses-Pyrénées)	0,006	»	»	0,004	0,002	»	0,007	0,002	0,001	0,002	»	0,024
2 Source d'Argagnon, près d'Orthez	0,038	0,002	»	0,049	0,005	»	0,020	0,020	0,008	0,033	0,008	0,183
3 Source à Combes-la-Ville (Seine-et-Marne)	0,024	0,002	»	0,183	0,015	0,027	0,027	0,079	0,003	0,112	0,109	0,555
4 Fontaine de la place d'Armes, à La Rochelle	0,006	»	»	0,181	»	0,026	0,026	0,021	0,036	0,196	»	0,466
5 Eau de Seine à Bercy, le 17 juillet 1846	0,024	0,001	0,002	0,103	0,002	0,008	0,002	0,018	0,007	0,074	»	0,254
6 Eau du puits artésien de Grenelle, 1841	0,006	»	»	0,038	0,007	»	0,026	0,003	0,006	0,052	0,003	0,143
7 Eau du Château-d'Eau de Reims, 18 juin 1849	0,002	0,001	0,001	0,092	»	0,002	0,003	0,001	0,005	0,072	0,008	0,191
8 Eau de la Vilaine, à Redon, 18 août 1846	0,001	0,001	»	0,001	0,001	0,009	»	0,002	0,006	0,001	0,070	0,100
9 Eau de la Loire à Nantes, vis-à-vis le château, 7 juill. 1846	0,005	0,001	»	0,033	0,009	0,011	»	0,001	0,007	0,020	0,022	0,117
10 Eau de l'Erdre, au déversoir de Nantes, 7 juillet 1846	0,002	0,003	»	0,016	0,010	8,021	»	0,006	0,022	0,012	0,051	0,142
11 Eau de la Maine à Clisson, le 26 juillet 1846	0,009	0,007	»	0,015	0,008	0,010	»	0,005	0,023	0,009	9,041	0,159
12 Eau du lac de Grand-Lieu, près de Bouaye, 17 juill. 1846	0,006	0,005	»	0,008	0,003	0,018	»	»	0,013	0,011	0,012	0,077
13 Eau de la Garonne à Toulouse, le 16 juillet 1846	0,040	»	0,003	0,036	0,001	0,006	0,003	0,007	0,002	0,034	0,004	0,136
14 Eau du puits de l'École normale de Rhodez, 20 décembre 1849	0,006	0,006	»	0,028	0,048	0,016	0,026	0,024	0,042	0,067	0,009	0,441
15 Eau du Doubs à Besançon, au Pont-Rivotte, 17 janv. 1845	0,016	0,002	0,003	0,107	0,001	0,005	0,002	0,003	0,001	0,086	»	0,230
16 Eau du Rhône à Genève, près des pompes, le 30 avril 1846	0,024	0,004	»	0,063	0,004	0,004	0,002	0,026	0,009	0,038	»	0,182
17 Eau du Rhône à Lyon, juillet 1835	»	»	»	0,059	traces	traces	»	0,004	traces	0,044	»	0,107
18 Idem idem, le 2 mars 1839	traces	»	»	0,084	0,005	»	»	0,018	traces	0,062	0,007	0,182
19 Eau du Rhin à Strasbourg, mai 1846	0,049	0,002	0,006	0,082	0,002	0,009	0,001	0,014	0,001	0,062	»	0,232
20 Eau de la Toiselle (Cher)	0,010	0,021	»	0,082	traces	0,017	0,017	0,003	»	0,064	0,007	0,204
21 Source de Queven (Morbihan)	0,008	0,011	»	0,012	0,002	0,018	0,018	0,006	0,001	0,011	0,008	0,090
22 Eau prise au milieu du bois de Boulogne, juin 1856	0,003	0,006	»	0,067	0,003	0,011	0,011	0,017	0,006	0,042	0,054	0,210
23 Eau prise au milieu de l'étang de Cazeau (Landes), novembre 1858	0,002	0,001	»	0,006	0,007	0,028	»	0,010	0,030	»	0,008	0,093

Le défaut d'espace empêche d'étendre davantage ce tableau. On trouvera d'ailleurs dans le premier volume du Dictionnaire, à l'article AGRICULTURE, les analyses des eaux qui alimentent Paris, qui le compléteront en partie. On a choisi parmi les nombreuses analyses qu'il eût été facile de réunir des eaux bien caractérisées, de propriétés faciles à vérifier, et analysées par des chimistes dont l'exactitude est bien connue. — Pour rendre ces analyses comparables, on a donné la proportion de chaque base et de chaque acide, en décomposant par le calcul les sels dont le poids est habituellement donné par les auteurs. Le résidu total par litre est exact ; s'il n'est pas toujours égal à la somme des chiffres des colonnes précédentes, cela tient ou à un élément qui ne figure pas dans ces colonnes, et qui a fait l'objet d'une recherche particulière, comme l'acide nitrique, par exemple, ou bien à ce que nous avons dû négliger les quatrièmes décimales dans nos calculs, ou enfin compter des chlorures pour des chlorhydrates.

EAUX.

EAUX.

La présence de l'acide carbonique facilite aussi la dissolution, non-seulement des carbonates terreux, en formant des bicarbonates, mais encore de beaucoup d'autres sels, notamment des phosphates et même des sulfates.

C'est encore peut-être à des phénomènes de même ordre, c'est-à-dire au mode particulier de groupement des molécules dans des liquides étendus, que l'on doit, en partie, les phénomènes relatifs à la saveur des différentes eaux naturelles, saveur très-faible à la vérité, que l'habitude empêche même souvent de constater dans sa boisson journalière, mais qu'un palais exercé distingue toujours très-bien avec quelque attention. A égalité de fraîcheur, c'est par la saveur que les eaux se distinguent. Chacun, en exprimant sa préférence pour une eau potable sur une autre, reçonnaît instinctivement l'existence de cette saveur. Il est inexact de dire, comme on le fait souvent par habitude, qu'une eau n'a pas de saveur. Cette saveur est plus ou moins prononcée, plus ou moins agréable, mais elle existe toujours.

Certains sels très-sapides par eux-mêmes affaiblissent souvent la saveur d'autres sels. C'est ainsi que les eaux chargées de plusieurs matières salines sont souvent moins sapides que si elles ne renfermaient que l'un des sels qu'on y rencontre. Cet effet est très-sensible, par exemple, pour les sels de chaux et de magnésie : une eau calcaire, mélangée d'une eau magnésienne, est moins sapide que chaque liquide pris séparément.

Les alcalis communiquent en général à l'eau une saveur douce et un peu fade. Cependant, quand l'eau renferme en même temps de la silice comme dans les sources granitiques, cet effet n'est pas sensible. Les eaux sulfatées, surtout celles des terrains gypseux, ont une saveur crue et lourde fort désagréable et bien connue de toutes les personnes qui ont bu de l'eau des puits de Paris.

L'acide carbonique dissous dans l'eau, surtout quand elle renferme en même temps un peu de carbonate de chaux, communique au liquide une saveur fraîche fort appréciée. Il serait inutile d'insister davantage sur la saveur de l'eau, il suffisait d'indiquer les relations de cette propriété avec la composition chimique du liquide.

Revenons à l'examen des divers composés que l'eau peut renfermer, en suivant l'ordre dans lequel on les a d'abord énoncés.

L'*alumine* ne se rencontre, en général, qu'en très-petite quantité dans les eaux naturelles. Sa proportion, à ma connaissance, n'excède pas 0ᵍ,02 par litre et souvent même on a dû peser avec l'alumine des corps d'une autre nature, phosphates, oxyde de fer, etc. L'influence de ce corps est donc peu connue et probablement très-faible.

Le *fer* ne se rencontre également qu'en fort petite quantité dans les eaux potables. Il leur communiquerait, à dose un peu forte, une saveur désagréable. Les eaux qui en renferment naturellement s'en dépouillent presque toutes par leur exposition à l'air, parce qu'il passe à l'état de peroxyde insoluble. Certaines matières organiques, dont on parlera plus loin, que l'on rencontre dans quelques eaux, renferment de petites quantités de fer qui joue dans leurs réactions remarquables un rôle essentiel, sur lequel on reviendra. Comme l'alumine, le fer dans l'eau potable paraît donc offrir peu d'intérêt; quand il existe en dissolution en quantités notables, il rend l'eau impropre aux usages domestiques.

La chaux et la magnésie peuvent, au contraire, se rencontrer dans les eaux en proportions très-variables. L'action de ces bases est extrêmement importante, et nous devons nous y arrêter davantage. Ces bases se rencontrent dans les eaux, à l'état de carbonate dissous à la faveur d'un excès d'acide carbonique plus ou moins notable, ou combinées aux acides sulfurique, azotique ou chlorhydrique. On placera ici à la fois ce qui se rattache à l'action de la base et à celle de l'acide.

Les auteurs ont longtemps admis que l'eau était d'autant meilleure pour l'alimentation de l'homme, qu'elle renfermait moins de matières en dissolution. A cet égard, un examen plus attentif a singulièrement modifié les opinions. On admet assez généralement aujourd'hui que si les eaux trop chargées sont toujours très-mauvaises, des eaux chimiquement pures ne seraient pas les meilleures pour l'alimentation de l'homme et des animaux. Une petite quantité de carbonate de chaux, 0ᵍ,02 à 0ᵍ,04 par litre, une quantité correspondante d'acide carbonique, retenu plus solidement, en quelque sorte, qu'il ne le serait par l'action seule de la solubilité, paraît être une condition sinon indispensable, au moins fort utile pour la bonne qualité de l'eau. Toujours est-il que les eaux les plus réputées comme boisson présentent à peu près toutes cette composition.

On a longtemps discuté sur l'influence hygiénique de la magnésie dans les eaux potables. Il paraît bien difficile d'attribuer à cette substance les dangers que certains médecins ont cru reconnaître aux eaux qui en renferment des quantités notables. Cependant de nouvelles observations sont nécessaires à cet égard.

S'il reste encore des doutes sur les effets hygiéniques de petites quantités de chaux et de magnésie dans les eaux potables, le rôle des sels de ces deux bases pour les usages culinaires, économiques et industriels de l'eau, est au contraire très-bien connu et assez complétement étudié.

L'eau qui renferme une proportion de chaux un peu considérable devient impropre à cuire les légumes; elle dissout mal le savon et produit sur la peau un effet désagréable que tout le monde connaît. On dit alors que l'eau est *dure*, qu'elle est *crue*. Quand ce défaut est prononcé, il rend l'eau absolument impropre aux usages domestiques et industriels, et fort désagréable comme boisson.

L'importance de ce caractère, qui donne la mesure, jusqu'à un certain point, de la qualité de l'eau, a fait rechercher des moyens rapides et exacts pour comparer, sous ce rapport, différentes eaux.

Le degré de *crudité* de l'eau (Hardness) est une expression devenue populaire en Angleterre, depuis les études intéressantes du docteur Clarck sur ce sujet. Les moyens d'essai de M. Clarck, perfectionnés en France par MM. Boutron et Boudet, sont maintenant généralement connus chez nous sous le nom de méthode *hydrotimétrique*.

Cette méthode d'essai rapide de la plus ou moins grande dureté de l'eau est basée sur la propriété de la dissolution alcoolique de savon, de produire, dans l'eau pure ou débarrassée des sels terreux, une mousse abondante et persistante, tandis qu'elle ne produit que des grumeaux insolubles, sans mousse à la surface, dans les eaux qui renferment des sels terreux. Pour appliquer ce principe, on verse goutte, à goutte avec une burette graduée, une dissolution titrée de savon dans un volume connu de l'eau à essayer. On agite vivement après chaque addition de savon, et on note le nombre de gouttes de dissolution employé au moment où apparaît la mousse persistante. Si l'eau essayée ne renfermait qu'un sel *neutre* de chaux, on déterminerait exactement, par cette méthode, la proportion de chaux. Mais l'acide carbonique, les sels de magnésie, etc., décomposent également la dissolution de savon; aussi cet essai donne-t-il plutôt la quantité de savon décomposé par l'eau essayée que sa richesse en calcaire. Il ne fournit d'ailleurs évidemment aucun renseignement sur la proportion des sels alcalins. La présence de matières organiques peut aussi modifier les indications. Les essais hydrotimétriques exigent, pour être bien

faits, plus d'exercice et de connaissances chimiques qu'on ne serait porté d'abord à le supposer, mais ils fournissent rapidement des indications pratiques fort utiles. En ne leur demandant pas de renseignements plus précis ni plus détaillés qu'ils ne sauraient en fournir, ils peuvent réellement rendre de grands services.

La dissolution de savon de M. Clarck et son éprouvette sont graduées de manière que chaque division de la burette, ou chaque degré de *Hardness*, réponde exactement à la quantité de savon décomposable par 0,56 de *grain* de chaux, ou *un grain* de carbonate de chaux dissous dans un *gallon* d'eau (0ᵍ,0142 de carbonate de chaux par litre d'eau).

Les réactifs et les instruments de MM. Boutron et Boudet sont disposés de telle sorte que chaque degré de l'hydrotimètre représente 0ᵍ,4 de savon neutralisé par un litre de l'eau soumise à l'expérience, et correspond à 0ᵍ,01 de carbonate de chaux pour la même quantité d'eau.

Le degré de crudité de l'eau (Hardness) des chimistes anglais diffère donc du degré hydrotimétrique français. Un degré de Hardness équivaut, à très-peu près, à 1°,4, degré hydrotimétrique.

Pour donner une idée des variations de cette propriété, on empruntera aux nombreux essais faits dans le bassin de la Seine, par M. l'ingénieur en chef Belgrand, le résumé suivant :

Désignation des eaux.	Degrés hydrotimétriques.		
Sources du granite du Morvan et des Arkoses	2°	à	11°
—des sables de la craie inférieure.	7		12
—des sables de Fontainebleau. . .	6		22
—de la craie blanche	12		17
—de la craie marneuse	14,5		22
—du calcaire à entroques (base du système oolithique)	16		21,5
—des calcaires de la Beauce (terrain tertiaire)	17		25
—de la craie blanche, recouverte de terrains tertiaires	17		27,5
—des roches oolithiques dures. . .	17,5		26
—du niveau d'eau des marnes vertes, terrain non gypsifère (terrains éocènes)	20		30
—du niveau d'eau de l'argile plastique (terrains tertiaires éocènes)	20		35
—des terrains oolithiques marneux.	21,5		34
—des terrains tertiaires compris entre le dessus des calcaires de St-Ouen et l'argile plastique . .	21,5		46
—du niveau d'eau des marnes vertes et des marnes du gypse (partie gypsifère), sources de la banlieue de Paris	23		155

Voici maintenant quelques chiffres empruntés au Mémoire de MM. Boudet et Boutron :

Désignation des eaux.	Degrés hydrotimétriques.
Eau distillée	0°
Eau de neige recueillie à Paris, en décembre 1854	2,5
—pluie id. id. id. id.	3,5
—de l'Allier à Moulins, le 5 mars 1855. .	3,5
—de la Garonne à Toulouse, le 9 mai 1855	5,0
—du puits artésien de Grenelle, le 16 février 1855	9,0
—de la Seine, au pont d'Ivry, le 15 décembre 1854	15,0
—de la Seine, à Chaillot, le 16 fév. 1855.	23,0
de Belleville, le 23 février 1855. . . .	128,0

Enfin, voici quelques exemples empruntés aux enquêtes anglaises. Les degrés de Hardness ont été multipliés par 1,4 pour les transformer en degrés hydrotimétriques correspondants :

Désignation des eaux.	Degrés hydrotimétriques.		
Eaux des compagnies qui alimentent Londres	15,4	à	22,4
—de Manchester	»		16,8
—de Glascow	»		6,3
—d'Edimbourg	»		7,0
Eau du puits de Torrington-square, à Londres	»		112
—du puits de la grille du Collége.	»		44,8
—d'un puits de Charlotte-street, Bedford-square	»		60,9
—des puits artésiens de Londres.	»		7,7
—de Bolton	»		4,9 à 5,9

La proportion de sels calcaires existant dans l'eau exerce sur ses propriétés, au point de vue des usages domestiques et industriels, une très-grande influence sur laquelle nous devons insister.

Ainsi qu'on l'a dit, le degré de crudité exprime exactement la quantité de savon décomposée par un litre d'eau. Cette quantité est de 0ᵍ,4 par litre et par degré hydrotimétrique français pour le savon blanc de très-bonne qualité, contenant : soude 6 parties, acide gras 64, eau 30. Cette quantité est par conséquent exprimée par un chiffre plus élevé pour les savons communs, toujours plus ou moins humides. En prenant le dixième du nombre de degrés hydrotimétriques d'une eau, on a donc immédiatement le nombre de grammes de savon qu'il faut perdre par litre avant de pouvoir obtenir un liquide propre à dissoudre le savon qui doit servir d'une manière directe au nettoyage du linge ou de la peau. La quantité de savon, ainsi consacrée en pure perte à former dans l'eau des grumeaux insolubles, devient très-considérable quand il s'agit d'eaux un peu dures. Elle varie, selon les usages, du quart aux deux tiers du poids total du savon dépensé avec des eaux marquant, comme celles de la Seine, par exemple, de 17 à 18°. Pour se laver les mains avec un litre d'eau il faut à peine 1ᵍ,4 de savon si on se sert d'eau de pluie ou de sources granitiques; on en consomme 3 grammes avec les eaux analogues à celles de la Seine, et il en faudrait plus de 12 grammes avec les eaux de puits de Paris. Ces poids, si faibles en eux-mêmes, appliqués à des opérations qui se répètent à chaque instant, acquièrent une importance très-réelle. A Londres, par exemple, la substitution d'eaux douces aux eaux actuelles réaliserait une économie de savon de 7 à 8 millions de fr. par an. A Paris, cette économie serait de 2 à 3 millions de fr. La consommation du savon dans la France entière est de 46 millions de kilogr. environ par an, représentant pour la population, au prix de vente au détail, une valeur de 50 millions de fr. Chaque réduction d'un degré seulement sur la crudité moyenne de l'eau réaliserait pour la France une économie de plus d'un million par an.

L'action des eaux dures pour la cuisson de la viande et des légumes est également fâcheuse. Tout le monde sait que certains légumes, les haricots blancs, par exemple, ne peuvent pas cuire dans les eaux dures en général, et surtout dans celles où la chaux se trouve unie à l'acide sulfurique. Le même effet se produit sur tous les légumes, mais il est moins sensible sur les racines, pommes de terre, navets, carottes, etc., que sur les graines légumineuses et sur les feuilles, épinards, chicorée, choux, etc. D'après un grand nombre d'essais faits par un cuisinier fort habile, M. Soyer, il faut un tiers de temps de plus pour cuire des légumes avec de l'eau à 20° de crudité, qu'avec des eaux douces marquant 4° ou 5°. L'action des eaux dures sur la viande est également très-sensible, surtout pour les viandes salées. Elle resserre les

pores au lieu de les ouvrir et diminue l'arome des mets. L'action des eaux dures dans les opérations culinaires est d'autant plus marquée que l'on opère sur de plus petites quantités, comme on le fait dans les petits ménages. Dans les grands établissements, la durée de l'ébullition adoucit l'eau avant qu'elle arrive au centre des grosses pièces de viande. Les cuisiniers soigneux et habiles, avant de les employer à des usages délicats, ne négligent jamais de faire bouillir longtemps les eaux dures, pour les adoucir par la précipitation de la plus grande partie des sels calcaires.

La dureté de l'eau exerce sur la qualité de l'infusion de thé une action très-fâcheuse et facile à observer. L'arome est toujours moindre avec les eaux dures qu'avec les eaux douces, et il faut employer beaucoup plus de thé pour obtenir la même force et la même coloration. De très-faibles quantités de fer rendent également l'eau très-mauvaise pour la préparation du thé. Les eaux un peu alcalines des puits artésiens se placent en première ligne pour la préparation de cette boisson ; puis vient l'eau distillée et enfin les eaux calcaires, qui sont d'autant moins bonnes que leur degré de crudité est plus élevé. Si l'on prend des eaux dont la crudité soit due au carbonate de chaux et marquant respectivement 5°,6, 11°,2, 16°,8, 22°,4, on reconnaît que la première donne un thé fort limpide et d'excellente qualité. Le thé fait avec la deuxième eau est encore passable mais un peu louche. L'eau marquant 16°,8 donne une infusion sensiblement trouble et enfin avec l'eau à 22°,4 la liqueur est complétement trouble et véritablement repoussante. Pour rendre le thé passable il faut alors doubler au moins la quantité de feuilles ordinairement employée.

A l'hospice de la vieillesse de Bolton, on a plusieurs fois essayé d'augmenter de moitié la ration du thé et de remplacer l'eau douce par des eaux dures. Les vieilles pensionnaires, sans être prévenues, n'ont jamais manqué de s'en apercevoir et de se plaindre au directeur de la diminution de force de leur thé.

Il est remarquable d'ailleurs que les eaux crues font mal la première infusion, et plus mal encore la seconde. Quand on ne dispose que de mauvaises eaux, il faut donc soigneusement éviter d'échauder le thé, comme le font habituellement certaines personnes délicates.

Ces inconvénients sont encore plus sensibles avec les eaux qui renferment du sulfate ou du nitrate de chaux.

La fabrication du pain et surtout celle de la bière souffrent beaucoup de l'emploi des eaux dures. On cite des brasseries obligées de suspendre leur fabrication pendant l'interruption de distribution d'eaux douces, et leur remplacement par des eaux dures.

Les eaux dépassant 22° sont fort peu convenables pour les usages de la toilette, et elles deviennent tout à fait mauvaises pour cet emploi si leur crudité est due à de la magnésie, les grumeaux de savon devenant dans ce cas beaucoup plus désagréables encore.

Les eaux dures ont en général sur la teinture une action défavorable, qui varie selon la nature des cuves. Les connaissances chimiques sont maintenant trop répandues dans les ateliers de teinture pour que nous nous arrêtions à ces questions. Mais il est un emploi des eaux qui intéresse toutes les industries, c'est l'alimentation des chaudières à vapeur avec les eaux naturelles, dont nous devons dire ici quelques mots.

Chaque kilogramme de vapeur qui s'échappe d'une chaudière y laisse une quantité de matière solide égale au poids des substances dissoutes dans un litre du liquide employé. Les inconvénients de cette accumulation de matières solides dépendent bien plus de leur nature que de leur quantité absolue. Si ces matières solides restent en dissolution comme les sels alcalins, quand il ne s'agit pas d'eau de mer, ou bien sous forme de dépôts boueux, elles n'ont presque pas d'inconvénient, quand même elles seraient très-abondantes ; il suffit, en effet, pour s'en débarrasser, de vider de temps en temps la chaudière. Au contraire, des eaux fussent-elles peu chargées, mais donnant lieu à des dépôts formant des incrustations solides dans la chaudière, sont extrêmement nuisibles et même dangereuses.

La chaux et la magnésie sont encore les bases ordinaires de ces dépôts, qui se produisent de diverses manières selon la nature de l'acide combiné avec elles.

On admet, en général, que l'eau peut dissoudre par litre de 0g,04 à 0g,06 de carbonate de chaux neutre et une beaucoup plus grande quantité de ce sel quand il existe dans le liquide de l'acide carbonique. Cette seconde partie du carbonate se dépose en poussière par le dégagement de l'acide carbonique dès les premiers bouillons de l'eau ; mais ce carbonate de chaux a peu de tendance à s'agréger et par conséquent ne présente pas beaucoup d'inconvénients. Quant au carbonate neutre qui reste dans le liquide, sa solubilité diminue avec la température, de sorte qu'elle est presque nulle vers 150°. Il se dépose d'autant plus de ce produit à l'état pulvérulent que l'on opère dans des chaudières à plus haute pression. Enfin, la partie du carbonate de chaux qui se précipite par le fait de l'évaporation de l'eau et de la saturation du liquide restant tend à se déposer en couches cristallines adhérentes. Mais ces couches sont moins abondantes, toutes choses égales d'ailleurs, avec des eaux qui abandonnent une assez forte proportion de carbonate par le fait du dégagement de l'acide carbonique que dans celles qui ne contiennent que du carbonate neutre dissous. De sorte qu'on arrive à ce résultat paradoxal, en apparence, qu'au point de vue de l'incrustation par le carbonate de chaux, il vaut mieux employer des eaux un peu chargées de ce sel, pourvu qu'elles n'en renferment pas d'autres, que des eaux très-pures, parce que les dépôts sont moins adhérents.

J'ai examiné un dépôt formé dans une chaudière par une eau assez chargée de carbonate de chaux ; ce dépôt était d'un beau blanc, pulvérulent et sans adhérence ; il renfermait :

Silice	4,75
Alumine et traces de fer	0,06
Carbonate de chaux	84,01
Carbonate de magnésie	10,80
Eau et perte	0,38
	100,00

Les eaux riches en sulfate de chaux sont malheureusement très-communes et donnent lieu aux incrustations les plus graves. Le sulfate de chaux est assez soluble dans l'eau froide, sa solubilité diminue avec la température, et devient nulle vers 200°. Une partie du sel se dépose donc rapidement par le fait seul de l'élévation de température ; mais elle se réunit au sulfate déposé par le fait de l'évaporation, et forme ces croûtes adhérentes aux chaudières, et souvent si solides, que connaissent tous les mécaniciens. Ces croûtes sont cristallines ou amorphes, selon les points de la chaudière où elles se déposent. La même croûte présente souvent ces deux aspects différents. Les croûtes de plâtre voisines de la tôle de la chaudière ont été assez chauffées pour perdre leur eau de cristallisation et devenir amorphes, tandis que les couches récemment déposées sont encore hydratées et cristallines. Si l'eau renferme, en même temps que le sulfate, du carbonate de chaux, ce qui arrive presque toujours, ce dernier sel, qui seul n'aurait donné, en général, que des dépôts boueux peu redoutables, se dépose sur la surface rugueuse du sulfate, se trouve emprisonné par le premier dépôt de ce sel qui a lieu lors du rallumage, et fait corps

avec lui. Enfin, si l'eau renferme de la magnésie, cette base s'ajoute également aux incrustations.

Il reste à indiquer un dernier caractère des eaux très-dures, fort important à signaler au point de vue des travaux de distribution.

Certaines eaux, et ce sont précisément celles qui doivent leur dureté au carbonate de chaux, forment, dans les conduites en fonte ou dans les aqueducs en maçonnerie, des incrustations calcaires souvent assez abondantes pour obstruer rapidement le passage de l'eau.

La propriété incrustante des eaux, si intéressante au point de vue de l'art de la distribution, exige quelques éclaircissements, car elle laisse encore, dans l'esprit des ingénieurs, des doutes que les explications suivantes pourront faire disparaître en grande partie.

Quelques auteurs avaient posé comme règle générale que toute eau, tenant en dissolution 0ᵏ,25 et plus de matière solide par litre, devait donner lieu à des obstructions calcaires. Cette règle empirique a été naturellement démentie par l'expérience ; on peut citer des eaux contenant par litre non-seulement plus de 0ᵏ,25 de sels dissous, mais même bien plus de 0ᵏ,25 de carbonate de chaux, et qui n'ont jamais incrusté les conduites, et réciproquement des eaux très-incrustantes et qui cependant ne contiennent pas cette proportion de sels fixes.

Pour prévoir si une eau sera incrustante, il faut tenir compte non-seulement de la proportion de ses sels fixes, mais encore de leur nature, et surtout, comme on va le voir, de la présence de l'acide carbonique dans cette eau.

Comme on l'a déjà dit, l'eau privée d'acide carbonique dissout à peine 0ᵏ,04 à 0ᵏ,06 de carbonate de chaux par litre. Mais l'eau contenant de l'acide carbonique peut dissoudre des proportions de ce sel beaucoup plus considérables. En faisant barboter du gaz carbonique dans de l'eau tenant en suspension du carbonate de chaux, on en dissout très facilement 0ᵏ,80 à 1ᵏ,00 par litre.

Le carbonate de chaux dissous dans une eau potable ou minérale peut donc, par la pensée, se partager en deux parties.

La première partie, n'excédant pas 1/16000 du poids de l'eau, est simplement dissoute par ce liquide et ne tend point à se déposer.

La seconde partie du carbonate de chaux est tenue en dissolution par l'acide carbonique que renferme le liquide et se trouve, sans doute, à l'état de bicarbonate. Ce sel est un peu soluble dans l'eau pure et plus encore dans l'eau contenant de l'acide carbonique libre.

Cette seconde partie de carbonate de chaux des eaux se dépose aussitôt qu'il ne reste plus dans le liquide assez de gaz carbonique pour tenir ce sel en dissolution. Il suffit, en effet, de placer dans le vide, ou de faire bouillir pendant quelque temps, une eau contenant par litre plus de 0ᵏ,04 à 0ᵏ,06 de carbonate de chaux pour chasser le gaz carbonique et obtenir, à l'état solide, le carbonate de chaux tenu en dissolution par cet acide faible.

Toutes les circonstances qui favorisent le dégagement du gaz carbonique de l'eau tendent, par conséquent, à déterminer des dépôts ou des incrustations de carbonate du chaux et produisent, en effet, ces accidents, si la proportion d'acide carbonique resté dans l'eau n'est plus assez considérable pour tenir en dissolution le carbonate de chaux qui se trouve dans le liquide.

Les causes qui tendent à chasser l'acide carbonique de l'eau sont assez nombreuses et expliquent la plupart des incrustations observées.

En première ligne se placent l'agitation du liquide et les chocs qui en résultent sur les corps solides environnants. Ainsi s'expliquent facilement les incrustations observées près des portes d'aval d'écluses, de certaines roues de moulin, près des chutes d'eau, etc.

La diminution de la pression à laquelle le liquide est soumis dans certaines conduites produit le même résultat, aussi bien que la circulation en petite masse dans des conduits ou des aqueducs, où l'air peut se renouveler, en entraînant sans cesse l'acide carbonique que tend à faire dégager le frottement de l'eau sur les parois plus ou moins rugueuses de la conduite.

Certains végétaux aquatiques décomposent, par leurs parties vertes, l'acide carbonique des eaux, et déterminent d'abondantes incrustations calcaires.

Enfin, les actions électriques déterminent souvent des dépôts de carbonate de chaux. Une plaque d'argent, mise en contact avec un tuyau de fonte ou de plomb, dans une eau contenant du bicarbonate de chaux, se recouvre rapidement d'une incrustation de carbonate neutre, l'acide carbonique s'étant porté sur le métal le plus électropositif. Le cuivre, le laiton, les soudures, l'hétérogénéité même des masses métalliques suffisent pour constituer des couples électriques, plus ou moins énergiques, déterminant, en effet, avec plus ou moins d'intensité, le phénomène de dépôt dont nous venons de parler.

Ainsi, par exemple, l'eau de l'ancien aqueduc romain de Nîmes, bien qu'assez pure, produit des incrustations très-abondantes, qui atteignent jusqu'à 0ᵐ,04 d'épaisseur, et que sa composition explique parfaitement. Son analyse m'a donné, en effet, par litre :

	Grammes.
Silice	0,0055
Alumine et peroxyde de fer	0,0058
Carbonate de chaux	0,2275
Carbonate de magnésie	traces.
Acide sulfurique	0,0045
Acide chlorhydrique	0,0032
Alcalis	0,0108
Matières organiques, eau combinée et pertes	0,0027
Total	0,2600

Cette eau contenait à l'état de dissolution :

	Centim. cubes.	Grammes.
Oxygène	6,008	0,0860
Azote	15.617	0,0197
Acide carbonique	27,011	0,0534

Par l'agitation, l'acide carbonique, qui n'existe qu'en très-faible proportion, se dégage rapidement, et le carbonate de chaux doit se déposer, et se dépose, en effet, dans la cuvette de l'aqueduc. Si cette eau était plus riche en acide carbonique, elle pourrait circuler dans des conduites forcées, sans y produire d'incrustations.

Il est facile, en effet, de citer plusieurs eaux très-riches en carbonate de chaux et ne produisant pas d'incrustations. Les eaux des fontaines Notre-Dame et Saint-Nicaise, à Rouen, par exemple, renferment 0ᵏ,492 et 0ᵏ,934 de carbonate de chaux par litre, et cependant ne produisent pas d'incrustations.

La formation plus ou moins facile du dépôt calcaire dépend non-seulement de la quantité absolue du sel dissous, mais encore, et surtout, de la proportion d'acide carbonique que le liquide renferme en sus de celle qui est *strictement* nécessaire pour rendre soluble le carbonate de chaux de l'eau examinée.

Si cette proportion est nulle ou très-faible, le dépôt commence avec le moindre dégagement de gaz ; si, au contraire, elle est considérable, l'eau peut être agitée pendant plus ou moins longtemps avant d'avoir perdu assez d'acide carbonique pour que le dépôt commence et que les incrustations se manifestent.

Attribuer le dépôt des incrustations calcaires à l'expulsion de l'acide carbonique, c'est indiquer le principe des moyens à employer pour combattre les accidents de cette espèce.

Je citerai un exemple d'application de ces principes.

J'ai eu l'occasion de drainer un terrain criblé de sources dont les eaux étaient tellement incrustantes qu'elles recouvraient, en quelques jours, d'un sédiment calcaire assez épais les corps solides qu'on y plongeait. Pour éviter l'incrustation des tuyaux, qui paraissait un obstacle absolu au succès de l'opération, j'ai eu l'idée de fermer l'ouverture du dernier tuyau de chaque série de drains par une mince couche d'eau. La circulation de l'air dans les tuyaux est devenue impossible, il s'y est formé une atmosphère assez riche en acide carbonique pour empêcher le dégagement du gaz de l'eau, et, dès lors, les dépôts calcaires n'ont pu se manifester. Cette méthode serait applicable à tous les aqueducs et conduites à faible charge.

D'après un très-grand nombre d'observations recueillies par M. Belgrand, les eaux des grands cours d'eau du bassin de la Seine ne sont pas incrustantes quand leur degré hydrotimétrique, déduction faite des sels qui ne se précipitent pas par l'ébullition, ne dépasse pas 18° ou 19°. Le *même auteur* a réuni plusieurs exemples d'eaux incrustantes, dont le degré dépasse même assez peu cette limite. Ainsi qu'on l'a fait remarquer, la proportion de carbonate de chaux contenu dans une eau n'est pas le seul élément de ses qualités incrustantes. Le degré hydrotimétrique ne suffit donc pas pour fixer à cet égard.

Les incrustations qui se forment dans certaines conduites de Paris ne sont pas, comme on l'a cru longtemps, composées seulement de carbonate de chaux. Elles renferment jusqu'à 5,7 p. 0/0 d'une matière organique azotée qui en fait un véritable stuc, leur donne beaucoup de compacité et rend difficile leur enlèvement. Voici l'analyse de deux incrustations de cette espèce ; la première formée dans un tuyau de tôle Chamoroy ; la deuxième dans un tuyau de fonte plus anciennement posé :

Résidu argileux insoluble dans les acides	2,75	7,95
Alumine et peroxyde de fer	1,10	16,00
Carbonate de chaux	91,50	67,85
Carbonate de magnésie	0,20	0,10
Acide sulfurique	fortes traces	f. traces
Matières organiques, non compris l'azote	2,79	5,62
Azote	0,26	0,13
Eau et matières non dosées	1,40	2,35
	100,00	100,00

On préviendrait certainement le dépôt du calcaire dans les conduites en y introduisant régulièrement, ce qui serait très-facile, la quantité de gaz carbonique nécessaire pour remplacer celui qui fait défaut pour tenir en dissolution le carbonate calcaire de la liqueur.

L'enlèvement des incrustations calcaires dans les tuyaux en fonte peut se faire en introduisant dans la conduite, avec certaines précautions, un peu d'acide chlorhydrique. L'opération réussit bien, en général, sur les incrustations de carbonate de chaux pur, mais elle devient d'une application difficile, et souvent impossible, pour les incrustations anciennes, compactes et mélangées, ce qui arrive souvent, de matières argileuses, siliceuses ou organiques.

Les moyens proposés pour améliorer les eaux trop calcaires sont assez nombreux. Quand il s'agit d'eaux trop riches en calcaire, l'addition d'eau de chaux, en quantité convenable, comme l'a proposé le docteur Clarck, neutralise l'acide carbonique en excès, ramène le bicarbonate de chaux à l'état de carbonate neutre qui se précipite. L'eau ainsi traitée, puis éclaircie par le repos ou la filtration, ne marque plus que 5° à 7° hydrotimétriques. Elle peut offrir des avantages pour certaines applications industrielles, mais on doit reconnaître qu'à moins de lui rendre son acide carbonique, ce qui serait du reste assez facile, même sur une grande échelle, cette eau ne serait pas agréable à boire. Sans être aussi efficace que pour les eaux calcaires, l'emploi de l'eau de chaux peut également améliorer les eaux très-chargées de sulfate de chaux, mais il faut alors employer l'eau de chaux en excès, parce que le sulfate de chaux est moins soluble dans ce liquide que dans l'eau pure. *Ainsi traitée*, l'eau devient impropre aux usages domestiques, à moins d'une longue exposition à l'air ; mais elle peut convenir pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

L'ébullition, en chassant l'acide carbonique, détermine la précipitation du carbonate neutre et adoucit ainsi les eaux trop dures. C'est ce procédé qui est employé par les cuisiniers soigneux dans les pays où les eaux sont dures. L'ébullition précipite une partie du sulfate de chaux s'il est très-abondant, mais la solubilité de ce sel à 100° est encore assez grande pour laisser des eaux de très-mauvaise qualité.

L'emploi de l'eau de chaux et l'ébullition ne seraient pas facilement applicables sur une grande échelle. Quand on n'a que des eaux trop calcaires, le seul moyen de les améliorer en grand consiste, si l'on dispose d'un peu de chute, à les faire tomber à plusieurs reprises en lames minces ou en filets, ou bien à les battre avec une roue de moulin, mue au besoin par une machine à vapeur si la chute manque ; on amène ainsi facilement une eau naturelle à ne contenir que 0g,10 de carbonate de chaux par litre.

Les eaux calcaires, comme on vient de le voir, peuvent être améliorées par des moyens assez simples. Les eaux riches en sulfate de chaux sont beaucoup plus désagréables et impossibles à amener à un état de pureté convenable pour l'alimentation. Pour le blanchissage et même pour l'alimentation des machines, on peut les traiter par le carbonate de soude, qui précipite la chaux à l'état de carbonate. Si l'eau est d'ailleurs très-riche en acide carbonique libre, une partie du carbonate reste en dissolution, et l'on est *forcé de recourir* à l'un des procédés décrits pour les eaux calcaires. Dans tous les cas, l'eau reste chargée de sulfate de soude, sel qui pourrait à la longue exercer sur la santé une action fâcheuse, et qui, dans tous les cas, donne à l'eau une saveur fade peu agréable. On doit employer par litre 0g,021 de carbonate de soude cristallisé par 0g,01 de sulfate de chaux contenu dans l'eau.

On a souvent indiqué la baryte comme moyen de purifier les eaux plâtreuses. Les propriétés vénéneuses des sels barytiques sont assez énergiques pour que nous ne conseillions jamais l'emploi de cette substance pour le traitement de l'eau. Les erreurs de dosages, toujours si faciles à commettre, auraient de trop fâcheuses conséquences.

L'importance des sels de chaux et de magnésie dans les eaux nous a obligé à nous y arrêter longtemps. Ce qui nous reste à dire sur les autres matières que ce liquide peut renfermer sera beaucoup moins long.

La potasse combinée à divers acides existe rarement dans les eaux naturelles en quantité un peu notable. On la rencontre particulièrement dans les eaux des puits artésiens et des terrains granitiques et feldspathiques.

La soude ne se rencontre aussi qu'assez rarement dans les eaux naturelles, si ce n'est à l'état de chlorure (sel marin) dans les eaux recueillies dans le voisinage de la mer. Beaucoup de puits sur le bord des côtes fournissent des eaux saumâtres, très-riches en sel, que l'on emploie, à défaut d'autres, pour les usages domestiques.

La proportion de sel contenu dans l'eau des grands fleuves décroît rapidement, en général, quand on remonte leur cours. L'eau de mer *prise à 500 mètres* du rivage à Dieppe contenant 29g,8 de sel marin par litre, j'ai trouvé dans l'eau de la Seine les quantités suivantes de cette substance :

Le Havre, poulier du sud,	20 mars	1855,	1 quart d'heure avant le flot.	22,7
Idem, idem,	27 mars	1855,	idem.	10,5
Honfleur, près l'hôpital,	20 mars	1855,	idem.	10,0
Idem, idem,	27 mars	1855,	idem.	6,4
Berville, à la surface,	20 mars	1855,	idem.	8,9
Idem, au fond,	20 mars	1855,	idem.	9,1
Idem, à la surface,	27 mars	1855,	idem.	0,5
Idem, au fond,	27 mars	1855,	idem.	0,3
La Roque, à la surface,	20 mars	1855,	idem.	4,4
Idem, au fond,	20 mars	1855,	idem.	4,8
Idem, à la surface,	27 mars	1855,	idem.	0,03
Idem, au fond,	27 mars	1855,	idem.	3,03
Tancarville, à la surface,	20 mars	1855,	idem.	0,5
Idem, au fond,	20 mars	1855,	idem.	0,5
Idem, à la surface,	27 mars	1855,	idem.	0,02
Idem, au fond,	27 mars	1855,	idem.	0,03
Quillebœuf, à la surface,	20 mars	1855,	idem.	0,02
Idem, au fond,	20 mars	1855,	idem.	0,04
Idem, à la surface,	27 mars	1855,	idem.	0,03
Idem, au fond,	27 mars	1855,	idem.	0,03

(Grammes.)

La proportion de sel varie naturellement d'un jour à l'autre, selon la force de la marée et celle du courant, mais la loi de décroissance est toujours bien marquée. Au dessus de Quillebœuf, la proportion de sel diminue encore plus rapidement, et à Rouen on n'en trouve plus que des traces.

L'ammoniaque, à l'état de nitrate ou de carbonate, exerce sur la saveur des eaux une action analogue à celle des alcalis précédents. Cette substance n'existe également qu'en très-petite quantité dans les eaux naturelles de bonne qualité. Elle ne se trouve en abondance que dans les eaux qui ont été en contact avec des matières organiques en décomposition. Nous reviendrons sur cette substance en parlant de l'acide nitrique dans les eaux.

La silice existe dans presque toutes les eaux, mais habituellement en petite proportion. Les eaux des terrains granitiques et feldspathiques en renferment une certaine quantité provenant, comme la potasse, de la décomposition par l'eau, l'air et l'acide carbonique des roches de cette espèce. Certaines eaux minérales renferment beaucoup de silice; mais cette substance, dans la proportion où elle se trouve dans les eaux ordinaires, paraît exercer peu d'influence sur leurs propriétés pour les usages domestiques et économiques.

On a déjà parlé de la présence de l'acide sulfurique dans les eaux à l'état de sulfate de chaux. C'est une des causes les plus fréquentes de la mauvaise qualité des eaux dans une partie de la France. Considéré indépendamment de la base avec laquelle il est uni, l'acide sulfurique donne lieu à des réactions extrêmement fâcheuses. Quand les eaux qui en renferment se trouvent en présence de matières organiques, il se forme souvent de l'acide sulfhydrique qui rend l'eau infecte. Cette réaction des eaux plâtreuses sur les bois les détruit assez rapidement; ainsi, les pieux enfoncés sur le bord du lit de la Seine à Paris, surtout sur la rive droite, sont coupés à la ligne d'affleurement des couches d'eaux plâtreuses qui descendent de Montmartre, quand ils se trouvent en même temps à proximité d'un égout qui fournit les matières organiques. Des réactions analogues sont très-fréquentes dans les pays où les eaux sont riches en acide sulfurique.

L'acide chlorhydrique se rencontre le plus habituellement dans les eaux qui contiennent de la soude. Quelquefois cependant, il paraît uni à la chaux, mais alors il est en petite quantité. Sa présence ne donne lieu à aucune observation générale digne d'intérêt au point de vue pratique qui nous occupe ici.

L'acide phosphorique doit exister dans les eaux beaucoup plus fréquemment qu'on ne le suppose habituellement, parce que les chimistes, jusque dans ces derniers temps, ne le recherchaient pas d'une manière spéciale. Je l'ai rencontré dans un assez grand nombre d'eaux naturelles où son importance, au point de vue des irrigations, me l'a fait chercher. Il est à désirer que l'attention des chimistes et des médecins soit appelée sur ce point. La haute importance des phosphates en agriculture et dans l'économie animale permet de prévoir que cette étude donnera lieu à d'intéressantes et utiles observations.

L'attention n'a été vivement appelée sur l'existence des nitrates dans les eaux que dans ces derniers temps; on avait depuis longtemps signalé leur présence, mais en général, on ne les dosait pas d'une manière rigoureuse. L'importance de ces composés au point de vue de l'agriculture est maintenant bien appréciée; leur influence sur les qualités hygiéniques ou économiques de l'eau est encore peu connue. Mais on peut espérer que les observations en se multipliant ne tarderont pas à éclairer cette question.

L'acide nitrique forme avec la chaux un sel soluble fixe, qui doit exercer une action non moins nuisible que celle du sulfate de chaux.

La production des nitrates est due à des réactions qui ne sont pas encore connues dans tous leurs détails, mais dont l'ensemble permet déjà d'expliquer plusieurs faits importants. En présence de l'oxygène et de produits calcaires ou alcalins, les matières organiques azotées sont brûlées et transformées en acide carbonique et en acide nitrique. Ainsi s'explique l'absence presque complète de matières organiques dans la plupart des puits de Paris, percés au milieu de terrains imprégnés de déjections de toute sorte, et, en revanche, la forte proportion de nitrates existant dans ces eaux. Dans certaines conditions, la nitrification est donc un moyen de débarrasser l'eau des matières organiques qui la rendraient repoussante. Nous n'insisterons pas ici sur la formation des nitrates; nous dirons seulement que l'existence de ces produits, presque toujours négligés dans les analyses d'eau jusque dans ces derniers temps, expliquera probablement bien des faits dont la science ne pouvait pas encore faire connaître les causes. L'altération de certains métaux par les eaux, le succès ou l'insuccès, selon les pays, de certaines opérations de teinture, etc., n'ont peut-être pas d'autre origine.

L'oxydation de l'ammoniaque dans beaucoup de circonstances donne naissance à de l'acide azotique, et réciproquement, certaines actions réduisantes transforment l'acide azotique en ammoniaque. Il doit donc exister souvent une relation entre les proportions relatives de ces deux composés dans les eaux. Un assez grand nombre d'essais, trop longs à reproduire ici, m'ont fait reconnaître que la proportion d'acide azotique et d'ammoniaque variant dans l'eau puisée à une même source à diverses époques, la somme de l'azote de ces produits est souvent à peu près constante.

Voici quelques exemples de dosages d'ammoniaque et d'acide azotique dans les eaux :

	MILLIGRAMMES par litre	
	d'ammoniaque.	d'acide azotique monohydraté.
Eau des fontaines d'Haguenau n° 1	0,2	9,5
Idem n° 2	0,8	4,9
Eau filtrant du ciel des catacombes à Paris	4,6	45,4
Eau d'un ruisseau des Vosges	0,4	8,0
Eau du canal de Carpentras.	1,0	4,9
Eau de la Moselle à Charmes	0,6	2,5
Fontaine près de Versailles.	1,0	15,0

EAUX.

Nous ne parlerons pas ici de l'acide carbonique qui se trouve à l'état de combinaison dans les sels de l'eau. Nous n'aurions rien d'utile à ajouter à ce qui a été dit à propos des carbonates de chaux ou de magnésie. Nous reviendrons dans un instant sur ce gaz simplement dissous dans l'eau.

Nous passerons également sous silence les substances telles que le brome, l'iode, le fluor, etc., qui existent dans les eaux en quantités excessivement petites. Nous sommes assurément très-porté à leur attribuer une importance hygiénique considérable ; mais cette influence n'a pas encore été suffisamment étudiée pour que l'on puisse la démontrer avec un degré absolu de certitude et de netteté.

Nous arrivons donc à l'examen d'une deuxième classe de matières solides contenues dans les eaux naturelles. Ce sont les matières organiques. Ces substances sont peut-être les plus importantes à étudier. Malheureusement les données scientifiques manquent presque totalement à leur égard parce que la marche suivie jusqu'à présent dans les analyses les altère profondément, une longue ébullition les détruisant en partie, comme je m'en suis souvent assuré.

D'un autre côté, les chimistes, jusqu'à présent, se sont bornés à chauffer au rouge le résidu de l'évaporation des eaux, et à compter comme matière organique la perte éprouvée par le précipité pendant cette combustion. On dose ainsi, en général, la matière organique trop haut, parce que l'on perd en même temps qu'elle l'eau fortement retenue par certains sels, le sulfate de chaux par exemple, qui ne perd la totalité de son eau qu'à une température qui détruit la matière organique. Certains chlorures se volatilisent ou se détruisent à la même température, ainsi que les nitrates. Il faut donc, pour étudier sérieusement les matières organiques des eaux, en faire l'analyse élémentaire. C'est ce que je fais maintenant par une méthode nouvelle ; mais les résultats obtenus à cet égard ne sauraient encore trouver place ici.

Les eaux destinées aux usages domestiques ne doivent renfermer que des quantités excessivement faibles de matières organiques. La qualité de l'eau est d'autant meilleure que cette proportion est plus faible, toutes choses égales d'ailleurs. C'est une condition que les eaux des principales villes de l'Europe sont malheureusement bien loin de remplir.

Tout le monde connaît, sous ce rapport, la mauvaise qualité des eaux de Londres. Elles conservent, souvent, même après une filtration, une coloration sensible. Abandonnées à elles-mêmes pendant quelques jours, il s'y développe un nombre immense d'animaux microscopiques et même des insectes visibles à l'œil nu, ainsi que le constatent les enquêtes de 1852. Leur odeur est sensible pour les étrangers.

Les eaux de Paris sont assurément bien loin d'être dans d'aussi mauvaises conditions, quoiqu'elles laissent, sous ce rapport, beaucoup à désirer. L'eau puisée à Chaillot, la plus mauvaise de Paris à cet égard, est très-chargée de matières répugnantes ; en basses eaux surtout leur proportion devient assez grande pour être facilement appréciable. Cependant, cette eau bien filtrée ne se corrompt que fort lentement. La matière organique des eaux de Paris se distingue surtout de celle des eaux de Londres par l'absence presque complète de germes d'animaux.

Les eaux stagnantes, celles qui traversent les marais, etc., se chargent toujours de matières organiques, principalement d'origine animale, auxquelles on attribue en partie, non sans raison, les fièvres et l'état maladif des populations qui les consomment ; je pourrais en citer de nombreux exemples. En Chine on fait, dit-on, toujours bouillir les eaux de cette espèce quelque temps avant de les boire. A l'époque du choléra, plusieurs médecins de Londres recommandaient la même précaution. Elle paraît, en effet, très-rationnelle. L'ébullition anéantit le principe de la vie dans les germes végétaux ou animaux que renferme l'eau ; elle coagule certains composés analogues à l'albumine, qui se précipitent par le refroidissement ; elle détruit enfin avec le temps les matières organiques de l'eau, ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer.

La filtration à travers des couches de sable et d'argile peut également purifier l'eau de certaines matières organiques dissoutes, en même temps qu'elle sépare les corps solides, comme nous l'expliquerons en parlant de cette opération.

On trouve dans certaines eaux une matière organique particulière, qui se précipite en flocons rougeâtres par l'action de l'oxygène de l'air. On désigne quelquefois ces eaux sous le nom d'eaux ferrugineuses, à cause de la couleur des dépôts qu'elles produisent, bien qu'elles ne renferment que fort peu de fer. Les eaux de cette nature s'améliorent, comme les eaux incrustantes de nature calcaire, par l'exposition et l'agitation à l'air et peuvent alors devenir très-convenables pour l'alimentation des villes.

Les drainages exécutés dans certains terrains tourbeux riches en oxyde ou en sulfure de fer, donnent souvent des eaux tellement chargées de la matière dont nous parlons qu'elle bouche les tuyaux d'une manière plus ou moins rapide. L'étude de ces obstructions explique très-bien la purification, par leur exposition à l'air, des eaux dont nous parlons. Quelques explications à ce sujet ne seront pas déplacées ici.

La composition des dépôts est nécessairement assez variable : elle dépend sans doute de la nature du sol traversé par les eaux qui les produisent. D'un autre côté, les dépôts sont presque toujours mélangés mécaniquement en proportions indéterminées, mais souvent considérables, d'argile, de sable fin, de détritus de végétaux, etc.

Pour donner une idée des différences de composition qui existent d'un échantillon à l'autre, nous rapporterons les trois analyses suivantes :

	I.	II.	III.
Sable fin et argile insolubles dans l'acide chlorhydrique. .	47,00	29,75	76,75
Alumine.	3,67	3,75	5,75
Oxyde de fer.	37,67	49,70	4,75
Carbonate de chaux	6,33	8,48	3,66
Carbonate de magnésie. . . .	0,00	3,24	1,44
Eau combinée, substances non dosées et matières organiques combustibles, non compris l'azote	34,67	3,07	7,55
Azote	0,66	2,01	0,40
	100,00	100,00	100,30

Il serait difficile de tirer de ces chiffres, sans une étude plus détaillée, des renseignements bien utiles. Il n'en est pas de même des faits suivants, dont on appréciera facilement l'intérêt pratique.

Lorsqu'on recueille un dépôt récent et l'eau même au sein de laquelle il se forme, il suffit de jeter le tout sur un filtre pour obtenir un liquide parfaitement clair. Ce liquide, renfermé dans des flacons entièrement remplis et bien bouchés, ou placé dans une atmosphère dépourvue d'oxygène, conserve indéfiniment sa transparence. Exposé à l'action de l'oxygène pur ou de l'air atmosphérique, il se trouble au contraire en quelques instants et laisse déposer la matière ocreuse qui forme la base des obstructions dont nous nous occupons.

On débarrasse facilement de ce liquide, par quelques lavages à l'eau pure, le dépôt recueilli dans les drains ou dans les fossés de décharge. Par son exposition à

l'air, sa teinte devient de plus en plus rougeâtre. Après quelques heures, lorsque la couleur paraît ne plus varier, si on introduit le dépôt dans un flacon rempli d'eau et bien bouché, on voit la teinte rougeâtre repasser peu à peu au brun foncé, presque noir. Après quelques semaines, il suffit de jeter le produit sur un filtre pour obtenir de nouveau un liquide clair, mais qui se trouble rapidement à l'air en laissant déposer le produit ocreux dont j'ai déjà parlé. En même temps, le dépôt, laissé sur le filtre, reprend la teinte rougeâtre qu'il présentait au moment où on l'a renfermé dans le flacon. La même série d'observations peut se reproduire un certain nombre de fois sur le même échantillon. Le produit en question présente donc ce double caractère, de devenir *insoluble* par son *oxydation* et de pouvoir se réduire quand on l'abandonne à lui-même, de manière à redevenir en partie soluble.

Si on introduit 3 ou 4 centimètres cubes du précipité ocreux, récemment recueilli et imbibé de l'eau au milieu de laquelle il se formait, dans une éprouvette remplie d'oxygène, renversée sur la cuve à mercure, l'absorption du gaz est d'abord très-rapide, puis se ralentit peu à peu, et finit par s'arrêter. Pendant les huit premiers jours de l'une de mes expériences, 14 centimètres cubes de gaz oxygène ont été absorbés, tandis que 13 centimètres cubes *seulement ont disparu dans les treize* jours suivants. La masse était alors complétement rougeâtre, et, jetée sur un filtre, donnait un liquide clair et ne renfermant en dissolution aucun produit remarquable.

Le liquide qui imprègne les précipités récents renferme des proportions variables de substances précipitables par l'action de l'air. Nous en avons obtenu jusqu'à 0^{g},80 par litre, bien que déjà l'action de l'oxygène en eût fait précipiter une partie. En général, on en trouve 0^{g},25 à 0^{g},50 par litre, ce qui suffit, en raison de la légèreté du produit et de sa consistance gélatineuse, pour produire rapidement l'obstruction des tuyaux.

Des faits qui précèdent, et qu'il est inutile de décrire plus minutieusement, il résulte : que les eaux qui produisent les obstructions dont il s'agit conservent leur limpidité et ne donnent lieu à aucun dépôt quand elles sont mises à l'abri de l'action de l'oxygène de l'air ; que le dépôt récemment formé peut exercer sur lui-même une action réduisante qui le fait en grande partie repasser à l'état soluble.

Avant de distribuer les eaux de cette espèce, il faut donc les exposer et les agiter au contact de l'air, et séparer soigneusement le dépôt floconneux aussitôt qu'il est formé, pour éviter qu'il ne se dissolve de nouveau.

Nous pourrions citer un cours d'eau du département de la Charente-Inférieure dont les eaux, dans un parcours peu étendu, en passant, il est vrai, sur deux roues de moulin, abandonnent par litre 0^{g},43 de matières de cette nature.

Les eaux chargées des matières dont on vient de parler déterminent assez rapidement la pourriture des bois enfouis dans les terrains qui en sont imprégnés. Ce fait explique l'altération assez rapide des pieux de fondation de certains ouvrages importants.

La destruction des matières organiques contenues dans les eaux, et qui les rendent impropres aux usages domestiques, est souvent impossible par les procédés de la pratique. Nous devons cependant indiquer la nature des moyens à employer pour remédier à ce genre d'inconvénient.

La combustion lente de ces matières par l'oxygène de l'air, leur assimilation par certains végétaux aquatiques, et enfin leur fixation, par certains terrains, sont la base des procédés que la nature emploie pour purifier les eaux croupissantes, et que l'industrie de l'homme cherche à mettre en œuvre dans le même but.

On le répète encore, la nature spéciale des divers produits organiques que renferment les eaux naturelles n'est pas assez connue pour que l'on puisse toujours indiquer à l'avance lequel de ces trois moyens peut le mieux réussir. Mais soit isolément, soit réunis, ils permettent presque toujours de ramener à un état de pureté très-satisfaisant les eaux les plus chargées de matières organiques.

L'exposition à l'air et au soleil des filtrations répétées à travers du sable aéré suffisent souvent pour détruire assez vite la matière organique. Dans ce cas, l'eau se charge d'acide carbonique. Les parties vertes des végétaux aquatiques accélèrent ou complètent cette action, pourvu, bien entendu, que le liquide se renouvelle ; car, à l'état stagnant, il dissoudrait plus tard les parties mortes des plantes, et redeviendrait infect.

L'action des parties argileuses du sol exerce aussi, sur un assez grand nombre de matières organiques, une action des plus remarquables. Certaines eaux sont entièrement dépouillées de leurs matières organiques nuisibles par leur passage à travers une terre argileuse, ou une agitation de quelques minutes avec ces mêmes matières. J'ai reconnu, par exemple, par des expériences directes, que des vinasses de distilleries très-chargées, agitées à la dose de 2 à 3 p. 0/0, avec des terres argileuses, ou filtrées sur ces terres, donnent des liquides complétement privés de matières organiques. Ce n'est pas ici le lieu de s'arrêter à l'importance de ce résultat, au point de vue de la théorie agricole ; il suffit de citer ce fait comme exemple de la purification d'une eau fort riche en matières organiques stables par l'action des terres.

Les sels ammoniacaux et alcalins sont également enlevés en partie aux eaux par leur passage dans des sols argileux, ainsi que l'ont si bien démontré les curieuses expériences de M. Way. On comprend toutes les ressources que peuvent donner à la pratique de la clarification des eaux ces réactions si singulières, sur lesquelles nous regrettons de ne pouvoir nous arrêter davantage.

Arrivons enfin à l'étude des gaz dissous dans les eaux. L'acide carbonique, dissous dans l'eau, même en très-petite quantité, lui donne une saveur agréable et exerce sur les fonctions digestives une action favorable. C'est à l'absence seule de ce gaz que certaines eaux doivent leur fadeur. Tous les auteurs admettent également la nécessité de l'air, et surtout de l'oxygène en dissolution dans l'eau. On attribue même à son absence, dans quelques eaux provenant de la fonte des neiges, les *maladies endémiques* de certaines vallées montagneuses.

L'aération de l'eau est une qualité essentielle, sur l'importance de laquelle on n'a pas assez généralement insisté, et dont les hommes de l'art se préoccupent beaucoup trop peu. Des faits très-nombreux d'observation nous ont montré l'importance de cet élément de la qualité des eaux, et nous ont fait chercher le moyen de l'étudier plus attentivement qu'on ne le fait en général.

Tous les traités d'analyse chimique conseillent d'extraire les gaz de l'eau par l'ébullition pour les soumettre ensuite à l'analyse eudiométrique. Cette méthode ne convient que pour les eaux absolument privées de matières organiques, c'est-à-dire qu'elle fournit presque toujours des résultats erronés. A la température de l'ébullition, en effet, à laquelle se dégagent les dernières bulles d'oxygène, ce gaz réagit sur les matières organiques de diverses manières, selon leur composition ; de sorte que l'on en perd une partie qui reste en combinaison ou bien qui se transforme en acide carbonique qui s'ajoute à celui du liquide. Il convient donc, pour les travaux de recherches délicates, de doser les

EAUX.

gaz de l'eau en plaçant le liquide dans le vide, et en ne l'exposant pas à une température sensiblement plus élevée que celle où il se trouve exposé dans les conduites de distribution.

On sait que l'on peut également doser l'oxygène de l'eau à l'aide du *manganate de potasse titré*. C'est un procédé d'une exécution aussi facile que la détermination d'un degré hydrotimétrique, mais qui doit être souvent contrôlé par l'analyse eudiométrique directe, car diverses circonstances peuvent le rendre fautif. On ne saurait assez multiplier les essais de ce genre, qui fourniront sans aucun doute de très-utiles indications.

Les eaux de bonne qualité ne doivent tenir en dissolution que les gaz oxygène, azote et carbonique. La proportion relative de ces gaz et de leur volume total est extrêmement variable d'une eau à l'autre, et souvent, pour une même eau, d'un jour à l'autre. Il est rare que la proportion soit celle indiquée par la loi de solubilité des gaz en contact avec l'eau.

Dans une eau de bonne qualité, l'oxygène ne doit pas descendre au-dessous de 3 ou 4 centimètres cubes par *litre*; plus la proportion de ce gaz est considérable et plus, toutes choses égales d'ailleurs, l'eau est de bonne qualité. La proportion d'azote varie moins que celle de l'oxygène; quand elle dépasse 14 ou 15 centimètres cubes par litre, l'eau a dû séjourner trop longtemps dans un espace confiné, ou s'être trouvée avec certaines matières organiques en décomposition. Quant à l'acide carbonique, sa proportion n'a, pour ainsi dire, pas de limite; le passage des eaux ordinaires aux eaux gazeuses proprement dites a lieu par degrés insensibles. On peut dire seulement que dans les eaux ne renfermant pas de bicarbonate, on doit encore trouver, en général, 8 à 10 centimètres cubes d'acide carbonique par litre, pour que l'eau soit agréable et salutaire. L'eau des puits artésiens, qui plaît assez généralement, en contient cependant une moindre quantité.

La stabilité de la solution de gaz carbonique dans l'eau varie du reste avec beaucoup de circonstances. La nature des matières solides dissoutes dans le liquide, bien que si faible en général, exerce une influence plus grande qu'on ne le pense sur la solubilité de ces gaz. D'un autre côté, le temps augmente beaucoup cette stabilité. Ainsi tout le monde a remarqué que l'eau de seltz, versée quelques instants après sa préparation, abandonne immédiatement presque tout son gaz et n'a que peu de saveur; tandis qu'en la conservant quelque temps, elle pétille plus longtemps dans le verre et offre une saveur beaucoup plus agréable. Les eaux naturelles présentent un fait analogue : si le moment où elles se chargent d'acide carbonique est éloigné de celui où les circonstances extérieures d'élévation de température, de diminution de pression, d'agitation, etc., tendent à le lui faire perdre, elles résistent beaucoup plus longtemps à ces influences que si elles avaient agi plus promptement sur elles.

Les variations de la proportion d'oxygène dans l'eau sont quelquefois très-rapides. Parmi les nombreux exemples que j'ai observés, j'en citerai un seul, pour ne pas allonger encore ce paragraphe déjà si long. Pendant les chaleurs de l'été de 1856, la proportion d'oxygène dissous dans l'eau du lac du bois de Boulogne est tombée, en une semaine, de 3^{cc},6 par litre à 1^{cc},8 seulement.

L'influence de pareilles variations dans la qualité de l'eau au point de vue de ses applications domestiques et industrielles est nécessairement considérable, et il importe que les chimistes, en multipliant les essais, donnent aux médecins le moyen d'en apprécier les effets sur la santé.

Voici quelques exemples d'analyses de gaz de l'eau.

DÉSIGNATION DES EAUX.	GAZ DISSOUS PAR LITRE. Centimètres cubes à 0° et 0^{m},76.			
	Azote.	Oxygène.	Acide carbonique.	Volume total.
1 Sources des environs d'Orthez (Basses-Pyrénées). .	5,6	13,8	16,2	35,6
2 Source d'Argaguon, près d'Orthez (Basses-Pyrén.).	4,7	13,6	21,9	43,2
3 Source de Combes-la-Ville (Seine-et-Marne).	3,1	16,6	35,0	54,7
4 Fontaine de la place d'Armes de la Rochelle . . .				
5 Eau de Seine à Bercy, le 17 juillet 1846.	3,9	12,0	16,2	32,1
6 Eau du puits artésien de Grenelle en 1841.	3,6	13,0	1,5	18,1
7 Eau du château d'eau de Reims, 18 juin 1849 . . .	5,7	15,6	5,8	27,1
8 Eau de la Vilaine, à Redon, le 18 août 1846	3,7	11,9	4,8	20,4
9 La Loire à Nantes, vis-à-vis le château, 7 juillet 1846.	5,5	11,4	0,5	17,5
11 La Maine à Clisson, 26 juillet 1846.	4,3	14,5	3,3	22,1
12 Lac de Grandlieu près Bonaye, 17 juillet 1846. . .	5,9	13,4	0,6	19,9
13 Eau de la Garonne à Toulouse, 16 juillet 1846. . .	7,9	15,7	17,0	40,6
14 Eau du puits de l'École normale de Rodez, 20 décembre 1849.	9,8	25,3	21,7	56,8
15 Eau du Doubs à Besançon, 17 juin 1845.	9,5	18,2	17,8	45,5
16 Eau du Rhône à Genève, 30 avril 1846	8,4	18,4	8,0	34,8
17 Eau du Rhône à Lyon, juillet 1835.	6,5	11,5	6,5	24,5
18 Eau du Rhône à Lyon, 2 mars 1839.	7,9	16,0	12,8	36,7
19 Eau du Rhin à Strasbourg, mai 1846	7,4	15,9	7,6	30,9
22 Eau prise au milieu du lac du bois de Boulogne, juin 1856	2,6	12,0	4,3	15,9
23 Eau de l'étang de Cazeau (Landes), novembre 1858.	6,6	16,0	11,2	33,8
24 Eau d'un puits de Paris, près le marché St-Honoré.	1,4	20,7	38,1	60,2
25 Eau des fontaines d'Haguenau.	6,0	29,6	22,2	57,8
26 Eau d'une source près de Versailles, 15 juill. 1858.	5,7	13,3	11,4	30,4
27 Eau de la même source, 25 juillet 1858.	3,7	16,2	11,8	31,7

Les mêmes eaux portent le même numéro dans ce tableau et dans celui donné précédemment.

Il est une application de l'étude des gaz dissous dans l'eau, que nous ne pouvons passer sous silence. Les qualités des eaux, au point de vue de la science récente et si intéressante de la pisciculture, sont encore, il faut bien l'avouer, assez mal connues. Certaines eaux sont bonnes, d'autres sont mauvaises. La nature des matières salines dissoutes paraît, dans certaines limites, exercer assez peu d'action. La température de l'eau est très-importante au contraire, mais elle ne rend pas

compte de toutes les anomalies observées. La nature et la variation des gaz dissous, et surtout de l'oxygène, me semble, au contraire, devoir exercer une action énorme sur le développement et la santé des poissons. C'est leur atmosphère. Des essais assez nombreux m'ont indiqué qu'il y aurait une voie de recherches intéressantes à faire dans ce sens. Pour n'en citer qu'un exemple, je dirai que la diminution dans le volume d'oxygène dissous dans les eaux du lac du bois de Boulogne citée ci-dessus a concordé avec une énorme mortalité des poissons du lac.

Cette longue discussion montre nettement l'indispensable nécessité pour toute administration prudente de faire étudier très-attentivement les composés minéraux, les matières organiques et les gaz qu'une eau renferme avant d'entreprendre les travaux toujours très-coûteux de sa distribution. Les exemples d'analyses rapportés ci-dessus, et d'autres au besoin, permettront toujours de comparer une eau proposée pour une distribution à une eau de composition analogue, employée depuis longtemps et dont les propriétés sont dès lors connues. L'analyse permettra d'ailleurs de rejeter immédiatement pour une distribution les eaux mal aérées ou contenant en trop forte proportion certains composés dont les inconvénients sont bien constatés.

A une composition chimique satisfaisante les eaux destinées aux distributions publiques doivent encore joindre autant que possible deux qualités physiques d'une grande importance, savoir : une limpidité parfaite et une température peu variable de 10° à 12°, pour paraître fraîches en été et chaudes en hiver. Les eaux de source à cet égard ont une grande supériorité sur les eaux de rivière; mais cet avantage ne doit pas faire oublier d'autres conditions souvent plus importantes pour une ville.

§ II. QUANTITÉS D'EAU A DISTRIBUER DANS DIVERSES CIRCONSTANCES.

Une distribution d'eau ne saurait, pour ainsi dire, être trop considérable; mais les frais d'établissement croissant rapidement avec le volume, et les ressources disponibles étant nécessairement limitées, il convient de rechercher les bornes dans lesquelles il faut se renfermer dans chaque cas particulier.

Nous donnerons d'abord, à titre de renseignements, quelques exemples de distributions d'eau dans diverses villes, puis nous indiquerons les règles pratiques que l'on peut déduire de ces expériences.

Les eaux de Rome antique, si justement célèbres, se présentent naturellement les premières à l'esprit.

Jusqu'en l'an 441, on ne se servait à Rome que des eaux du Tibre, des puits et des fontaines de la ville et du voisinage. On attribuait à ces dernières eaux la propriété de guérir les malades. La première dérivation, celle de l'Appia, fut établie en 442. Depuis cette époque, les différentes autorités qui se succédèrent à Rome travaillèrent à l'envi à augmenter le volume des eaux et à améliorer le système de leur distribution.

Voici quels étaient, à la fin du 1er siècle de notre ère, la longueur et le débit des aqueducs de dérivation de Rome :

	Longueur.	Débit en 24 heures.
	mètres.	mèt. cubes.
Aqueduc de l'eau Appia et Augusta	26091,45	109500
—Anio-Vieux	63855,00	263880
—Marcia	91640,09	284400
—Tepula et Julia	22907,61	99060
—Vierge	23032,35	450240
—Alsietina	32925,42	23520
—Augusta	4188,00	
—Claudia	68912,91	276420
—Nouvel-Anio	87469,50	284280
	417722,33	1488300

La population, à cette époque, était à peine de 1 million d'habitants. Le volume d'eau distribué était donc de 1500 litres par tête et par jour environ.

Les registres de distribution, qui ne comprenaient que 841,080 mètres cubes, établissent de la manière suivante la distribution de ce volume d'eau :

	mèt. cubes.
Distribution hors la ville	243780
—au nom de César, jardins, châteaux impériaux, etc.	102420
—aux particuliers	230820
—à 19 camps	16740
—à 95 établissements publics	144060
—à 39 spectacles	23160
—à 591 pièces d'eau	80400
	841080

Les eaux étaient classées selon leur qualité. L'eau Marcia, la plus pure, était réservée pour les usages domestiques. Les autres eaux servaient à des usages moins délicats; l'eau Anio était exclusivement employée à l'arrosage des jardins et aux usages les plus grossiers de la ville.

Aujourd'hui, Rome, réduite à 170,000 habitants, ne reçoit plus que 180,000 mètres cubes par 24 heures environ, volume encore très-considérable, puisqu'il donne par tête plus de 1,000 litres d'eau pure par jour. L'eau Vierge est de très-bonne qualité. L'eau Poala renferme peu de matières salines, mais elle est souvent souillée de débris végétaux et de limon. L'eau Felice est la moins bonne; elle est assez chargée de sels et contient 0s,23 à 0s,24 de carbonate de chaux par litre. Elle incruste à la longue les tuyaux secondaires éloignés de l'origine de la distribution.

On va voir combien les villes les plus favorisées sont loin d'atteindre ces chiffres élevés.

La distribution des eaux a lieu à Londres par neuf compagnies qui alimentent en grande partie leurs conduites avec l'eau de la Tamise; voici le résumé des opérations de ces compagnies en 1853, d'après un document officiel.

NOMS des COMPAGNIES.	Nombre moyen de litres distribués par jour.	Nombre de maisons alimentées.	Nombre d'établissements et d'usines desservis.
New-River	79,680,448	90,510	444
East-London	54.480,554	63,443	463
West-Middles	22,920,043	24,376	51
Great-Junction	23,243,854	16,019	»
Southwark et Wauxhall	33,048,786	40,046	634
Lambeth	24,456,994	25,583	524
Chelsea	25,588,755	22,725	2,094
Kent	8,364,243	44,573	70
Hampstead	2,759,551	5,454	»
	274,343,468	302,429	

Ce qui porte la distribution, par jour et par habitant, à un peu plus de 400 litres; mais on doit déduire de ce chiffre :

Le service des usines s'élevant à	7,71 p. 100.
Le lavage des rues	1,69
Les chasses dans les égouts	1,10
Le service des incendies	0,34
En tout	10,84 p. 100.

Ce qui réduit à 90 litres environ la consommation des maisons d'habitation par habitant.

Sur la totalité des maisons de Londres 5 à 6 p. 100 au plus n'ont pas de distribution. La taxe d'abonnement

varie de 5 à 7 p. 100 du prix de location des maisons. Il y a d'ailleurs des tarifs particuliers pour les chevaux, les voitures, les bains, les cabinets d'aisances, etc.

A *Preston*, le volume d'eau distribué par jour et par habitant est de 73 litres. On compte cinq habitants par maison.

A Nottingham on distribue par habitant 75 à 80 lit. d'eau par jour.

A Hull les machines distribuent 173 litres par jour et par tête.

A Ashton-under-Lyne, la compagnie distribue une quantité d'eau assez variable d'un jour à l'autre, mais qui en moyenne par jour et par tête s'élève à 32lit.2 seulement. Il y a en moyenne 5 1/2 habitants par maison.

Le chiffre, cité en dernier lieu, est beaucoup trop bas. Les ingénieurs anglais admettent, comme résultat général, que la consommation doit s'élever à 100 litres au moins par habitant et par jour, dont 70 pour les besoins domestiques. Pendant l'été le service doit pouvoir monter à 150 litres.

Ces chiffres, du reste, ne sont pas très-comparables aux nôtres, parce que les services publics extérieurs sont beaucoup plus importants en France qu'en Angleterre, et que, dans la plupart de nos villes, la population par maison est beaucoup plus grande qu'en Angleterre.

L'aqueduc Croton, si justement célèbre, amène à New-York 115 à 120 litres d'eau par 24 heures et par tête. Il a été construit de manière à assurer facilement un débit régulier de 140,000 mètres cubes par jour, qui pourrait, au besoin, être porté à 250,000 mètres cubes. L'aqueduc qui amène l'eau du bassin de retenue, formé en barrant la rivière, a 65 kilom. de longueur. Le réservoir où arrivent les eaux dans la ville contient 681,000 mètres cubes.

La ville de Bruxelles a fait établir, il y a peu d'années, une distribution d'eau de sources. Son débit est de 20,200 mètres cubes par 24 heures, soit, pour 250,000 habitants, une moyenne de 80 litres par tête. La dépense d'établissement s'est élevée à 30 fr. environ par habitant, tout compris.

Les machines qui élèvent l'eau à Lyon ont été calculées pour assurer un débit journalier de 15,000 mètres cubes pour le bas service, atteignent une hauteur de 48 mètres au-dessus de l'étiage du Rhône, et de 5,000 mètres cubes pour le haut service atteignant une hauteur de 110 mètres, soit en tout 20,000 mètres cubes pour 234,500 habitants, soit 85 litres par tête. La dépense d'établissement a été de 26 à 27 fr. par habitant.

Les eaux amenées à Bordeaux sont recueillies par un aqueduc à barbacanes dans le coteau d'où elles émergent; elles sont montées par des machines dans les réservoirs de distribution. On a calculé sur un débit journalier de 22,000 mètres cubes, soit 170 litres par habitant. La taxe est de 10 fr. par an, par hectolitre journalier pour les usages domestiques, et de 3 francs seulement pour les usages industriels. La dépense de premier établissement a été de 32 fr. environ par habitant.

La distribution des eaux de Nantes a lieu par machines qui puisent dans la Loire. Il y a deux systèmes de conduites : les unes sont destinées aux eaux troubles pour le service public, dont le volume quotidien est de 4,000 mètres cubes; les autres porteront l'eau filtrée pour les usages domestiques dont le volume sera de 2,000 mètres cubes, soit en tout 6,000 mètres pour 100,000 habitants, ou 60 litres par tête.

Besançon est alimenté par une source ; la ville reçoit par jour 8,600 mètres cubes d'eau pour 35,000 habitants, soit 246 litres par tête. La dépense des travaux a été de 1,600,000 fr.

Dijon, depuis les beaux travaux de M. Darcy, reçoit, de la source du Rosoir, 300 à 400 litres par habitant et par jour, en général ; au moment du plus bas étiage, le débit est encore environ de 240 litres.

A Carcassonne la distribution est de 400 litres par jour et par tête environ. La dépense d'établissement s'est élevée à 49 fr. 46 c. par habitant.

A Béziers, la distribution faite par machines à vapeur est de 10 à 12 litres par jour et par tête.

A Toulouse, les machines hydrauliques qui approvisionnent la ville fournissent 75 à 80 litres d'eau par jour et par habitant.

Arrivons, enfin, à la distribution d'eau de Paris dans son état actuel. Nous indiquerons plus loin les dispositions principales du vaste projet de M. Belgrand, à la réalisation duquel l'administration municipale attache aujourd'hui un si grande intérêt.

Le volume d'eau actuellement disponible à Paris, non compris le produit de la machine du Gros-Caillou, se décompose de la manière suivante :

Canal de l'Ourcq	99,806	mèt. cubes.
Pompe de Chaillot, eau de Seine	38,391	—
Pompe d'Austerlitz, eau de Seine	768	—
Aqueduc d'Arcueil	1,536	—
Puits artésien de Grenelle	864	—
Sources du Nord, Bellevillo, prés Saint-Gervais	480	—
Total	141,845	mèt. cubes.

Ce qui donnerait environ 142 litres par habitant; mais l'insuffisance des conduites et la trop faible hauteur des niveaux ne permettent pas, à beaucoup près, d'utiliser toutes ces ressources. En ce moment (rapport du préfet de la Seine, 4 août 1854) la quantité d'eau appliquée à tous les services de distribution est de 86,777 mètres cubes par jour, savoir :

Services publics.		
Fontaines monumentales	9,940	
— de puisage	4,630	
Bornes fontaines et bouches sous trottoirs	35,600	
Poteaux d'arrosement, bouches d'incendies, etc.	5,900	
Ensemble		56,040
Services privés.		
Fontaines marchandes	4,470	
Concessions à l'État	3,843	
— au département	88	
— aux établissements municipaux	7,812	
— aux particuliers	17,824	
Ensemble		30,737
Total général		86,777

Les concessions particulières, au nombre de 7,633, se décomposent ainsi :

102	lavoirs	2,380
137	établissements de bains	2,206
1,165	industries diverses	4,118
6,229	maisons d'habitation	9,120
7,633		17,824

La consommation augmente, du reste, rapidement; ainsi de 1854 à 1858 le nombre des maisons abonnées aux eaux de Paris s'est élevé de 6,229 à 7,085. Le débit des fontaines marchandes s'est élevé de 4,470 mètres cubes par jour à 4,472 mètres cubes.

Le nombre des maisons de Paris étant de 32,250, on voit combien est faible la fraction des maisons abonnées. Il est dès lors difficile de préciser avec certitude l'importance du volume d'eau employé aux usages domestiques; mais on sera certainement au-dessus de la vérité si l'on réunit aux quantités distribuées dans les maisons d'habitation, ou débitées par les fontaines marchandes, celles qui s'écoulent par les fontaines affectées au puisage gratuit et le quart de celles que versent sur la voie publique les bornes-fontaines où le puisage est toléré; on trouve ainsi que ce volume est de 25,887 mètres cubes ainsi composé (1857).

Abonnement du service municipal.	12,365	mèt. cubes.
Fontaines marchandes.	1,472	—
Fontaines de puisage.	3,150	—
Un quart du produit des bornes-fontaines.	8,900	—
Total.	25,887	mèt. cubes.

Soit 20 à 25 litres par tête et par jour.

Les redevances payées à la ville, pour les concessions en 1857 se décomposent de la manière suivante :

État, département, ville, assistance publique.	120,716
Bains et lavoirs	469,467
Industries.	360,377
Maisons particulières.	636,343
Fontaines particulières.	386,894
Total.	1,673,497

Cette somme ne représente que la moindre partie des dépenses imposées au public pour sa consommation d'eau. Les 25,164 maisons qui n'ont pas de distribution sont ordinairement pourvues de puits et de pompes. Mais la mauvaise qualité des eaux de cette nature les rend impropres à la cuisson des légumes, à la boisson, à l'emploi du savon; les habitants de la plupart des maisons de Paris sont donc obligés de se fournir d'eau de meilleure qualité, en allant péniblement la puiser aux fontaines du voisinage, ou en l'achetant aux porteurs d'eau.

Les porteurs d'eau vendent l'eau 10 c. la voie de 20 litres, ou, par abonnement, 2 fr. ou 2 fr. 50 c. les 30 voies par mois. D'après des recherches très-détaillées, il est distribué ainsi, à peu près, 1,380,000 mètres cubes d'eau par an, représentant une dépense de 6,000,000 fr. pour les habitants; c'est-à-dire que le mètre cube d'eau, qui coûte par abonnement pris à la ville, 0f,276 environ (100 fr. par an pour 1 mètre cube par jour), coûte 12 à 19 fois autant par les porteurs d'eau.

On voit par ces chiffres combien il est nécessaire d'améliorer le service des eaux de Paris, pour que les distributions particulières se multiplient, comme elles le sont à Londres et dans la plupart des villes bien approvisionnées d'eau.

Les ingénieurs de Paris estiment, dans les grands projets qu'ils ont étudiés et dont on parlera un peu plus loin, que la consommation pour les usages domestiques doit être estimée à 50 litres, et qu'il faut également doubler le volume des eaux consacrées aux usages publics, ce qui porterait le volume total des eaux de Paris, en prévision du chiffre prochain de sa population, à 200,000 ou 240,000 mètres cubes par 24 heures.

Si l'on résume les conséquences à déduire des remarques et des exemples qui précèdent, on sera conduit à admettre, comme on l'a dit en commençant, qu'une distribution d'eau ne saurait être trop abondante, mais que la nécessité de réduire les dépenses oblige à tenir compte du volume strictement nécessaire.

Pour arriver à la détermination exacte de ce volume, il convient de rappeler d'abord les principaux usages de l'eau dans les villes, en indiquant le volume nécessaire à chaque service, selon les circonstances.

Les principaux emplois de l'eau dans les villes sont: 1° les usages domestiques, comprenant la boisson, les soins de propreté, le lavage des cours, etc.; 2° la consommation industrielle dans les manufactures; 3° les établissements de bains, les buanderies, les édifices publics; 4° le nettoyage et l'arrosage des rues; 5° la fourniture des fontaines et des jardins publics; 6° le service des incendies, heureusement bien peu important en général et toujours facile à satisfaire, par des emprunts aux eaux destinées aux usages 4° et 5°.

Les ingénieurs anglais estiment, en moyenne, que les articles 1°, 2° et 3° exigent 90 litres par jour et par habitant; quant aux articles 4° et 5°, ils pensent qu'il suffit de leur consacrer une couche d'eau de 0m,65, supposée répartie uniformément à la surface de la ville entière, soit 6,500 mètres cubes par an et par hectare; de sorte que, dans la plupart des villes anglaises, la distribution totale devrait être fixée de 140 à 160 litres par jour et par habitant.

Cette évaluation en bloc paraît s'appliquer assez bien à la France; cependant je la regarde comme un peu faible en général, si l'on tient compte de l'accroissement de consommation qui résulte toujours du développement de la richesse publique. Quelques explications sont encore nécessaires à ce sujet.

Le système des cabinets d'aisances influe beaucoup sur la dépense d'eau dans l'intérieur des maisons. Les fosses exigent beaucoup moins d'eau que le coulage direct à l'égout. Sous ce rapport, la consommation d'eau serait généralement moins forte en France qu'en Angleterre; mais, d'un autre côté, le service public du nettoyage des rues et des fontaines monumentales est habituellement plus considérable chez nous.

Voici, du reste, d'après M. Dupuit, les évaluations adoptées, à Paris, pour les abonnements :

Par personne et par jour.	20 litr.
Par cheval et par jour.	75
Par voiture à deux roues et par jour.	40
Par voiture à quatre roues et par jour.	75
Par mètre carré de jardin, 500 litres par an, par jour	1l,5
Par bain	300

Ces évaluations sont un peu faibles, il faut bien le reconnaître, et l'on prend toujours de plus larges bases pour la rédaction des projets.

L'arrosement des voies publiques consomme, à Paris, 1 litre environ par mètre carré. On arrose l'été deux ou trois fois par jour.

Les bornes-fontaines, dans les villes convenablement arrosées, ne doivent pas servir au lavage de plus de 300 mètres de ruisseaux. Elles doivent débiter 100 à 110 litres par minute. A Paris, elles sont ouvertes, en général, trois heures par jour en trois fois et débitent chacune par conséquent 20 mètres cubes environ par vingt-quatre heures.

Le débit des fontaines monumentales varie naturellement avec leur importance. Nous réunissons, comme terme de comparaison, les chiffres suivants :

	DÉBIT	
	Par seconde.	Par heure.
Gerbe du Palais-Royal, à Paris . .	23l,0	82mc,8
Gerbe du rond-point des Champs-Élysées, à Paris	25 ,0	90 ,0
Gerbe du Boulingrin, à Toulouse.	16 ,0	58 ,3
Gerbe de la porte Saint-Pierre, à Dijon	20 ,0	72 ,0
	122	

	DÉBIT	
	Par seconde.	Par heure.
Vasque de la porte Guillaume, à Dijon	9l,1	33mc,0
Fontaine de la Trinité, à Toulouse.	1 ,4	5 ,0
Fontaine de la place Bourbon, à Toulouse.	13 ,9	50 ,0
Fontaine de la place Saint-Georges.	1 ,0	3 ,6
Chaque fontaine de la place de la Concorde, à Paris	55 ,0	198 ,0
Fontaine de la place Richelieu, à Paris.	9 ,0	32 ,4

Les lavoirs consomment par journée de travail de 2 à 4 mètres cubes d'eau par place. La consommation des industries ne peut être connue que par une enquête faite dans chaque établissement.

L'ingénieur qui rédige un projet de distribution d'eau n'a pas seulement besoin de connaître le volume *total qui lui est nécessaire, il faut encore qu'il calcule* la consommation de chaque artère de la canalisation souterraine pour proportionner le diamètre des tuyaux au débit qu'ils doivent fournir et à la pression intérieure du liquide. Ce calcul sera facile à faire d'après ce qui précède ; il suffira d'évaluer la population de chaque rue et d'ajouter au chiffre de la consommation domestique le débit des bornes-fontaines placées tous les 200 ou 300 mètres, celui des fontaines monumentales et enfin celui des établissements publics ou industriels placés sur la même conduite. Nous recommanderons seulement de faire un peu largement toutes ces *évaluations pour parer à toutes les éventualités.*

§ III. MOYENS D'OBTENIR L'EAU POUR L'ALIMENTATION DES VILLES.

Les eaux destinées à l'alimentation des villes sont de diverses natures ; nous les indiquerons successivement.

Les *sources naturelles* fournissent les eaux les plus convenables pour les distributions publiques ou privées, quand leur composition chimique est d'ailleurs satisfaisante. Les eaux de source, en effet, sont limpides et leur température est ordinairement très-peu variable, condition d'une très-haute importance pour les usages domestiques et industriels.

La théorie des sources a fait de très-grands progrès depuis quelques années. Le développement pratique des *études géologiques, les études spéciales d'un certain* nombre de personnes sur les moyens de découvrir les sources, les grands travaux de drainage, ont dirigé l'attention sur ce point spécial de la physique du globe. Ce serait peut-être nous écarter de notre sujet que d'aborder cette question, qui exigerait d'assez longs détails ; nous nous bornerons, par conséquent, à indiquer les travaux nécessaires pour réunir et utiliser une source connue.

Ces travaux sont généralement assez simples. On commence par curer à vif le bassin de la source. On se rend bien compte des points où l'eau arrive le plus abondamment en jetant à la surface de l'eau des corps légers, dont les mouvements indiquent la direction des courants. On dégage alors un peu ces issues, et, au besoin, on abaisse, si on le peut, le niveau naturel d'écoulement de l'eau du bassin de la source, pour augmenter et régulariser son débit. On entoure alors le bassin de murs épais, établis en dehors de son périmètre, et on le recouvre d'une voûte en maçonnerie, pour mettre l'eau à l'abri de la chute des corps étrangers et de la malveillance. L'aqueduc de la conduite des eaux communique avec le bassin de la source ainsi protégée.

Le tracé des fondations des murs d'enceinte exige une certaine attention. Il faut les faire reposer sur un fond très-solide, et s'assurer, dans tous les cas, que leur pression ne peut pas modifier les fissures souterraines par lesquelles les eaux affluent naturellement. Lorsque le pourtour du bassin de la source est en rocher compacte, ce qui *arrive souvent, le travail est fort simple.* Dans le cas contraire, l'ingénieur doit procéder avec une extrême prudence, et souvent exécuter des travaux de captation assez considérables, pour assurer la fixité du bassin de la source, par des procédés artificiels imitant, autant que possible, les moyens employés par la nature elle-même dans les sources qui sortent des rochers plus ou moins fissurés.

L'enceinte couverte qui renferme la source, ou la tête de l'aqueduc d'écoulement, doit présenter divers ouvrages dont les dimensions varient avec l'importance du volume d'eau, mais qui doivent assurer les moyens : 1° d'entrer dans la chambre de la source pour la visiter ou la nettoyer au besoin ; 2° d'assurer aux eaux un écoulement au dehors, quand on est obligé de les empêcher d'entrer dans l'aqueduc pour le réparer ; 3° de donner issue au trop plein des eaux, en cas de crue ou de diminution d'écoulement dans l'aqueduc, afin que, dans aucun cas, le niveau des eaux dans le bassin de la source ne puisse s'élever au-dessus du niveau qui leur a été fixé. Un excès de pression sur la sortie d'une source peut souvent déranger son régime, et quelquefois la perdre entièrement, en l'obligeant à chercher une autre issue.

Les villes assez favorisées pour trouver dans leur voisinage des sources abondantes d'eau de bonne qualité sont malheureusement peu nombreuses. On est donc souvent obligé de faire des recherches d'eaux souterraines, ou de recueillir les eaux de pluie filtrées à travers les couches perméables du sol, par de véritables drainages d'une importance plus ou moins considérable. *On parvient ainsi à créer de véritables sources artificielles,* dont les eaux sont ensuite conduites dans les villes. Des sources peu abondantes, ou d'un débit irrégulier, servent souvent d'indice et de guide pour les recherches et les travaux de cette nature, et ajoutent leurs eaux à celles que l'art obtient en abondance. On passe ainsi, par transitions insensibles, des sources naturelles, dont il suffit de conduire les eaux, aux sources entièrement dues à la main de l'homme et créées au sein de terrains à la surface desquels n'apparaissait aucune eau. Les travaux analogues à ceux dont nous parlons maintenant sont extrêmement variés ; ils exigent un grand esprit d'observation, et souvent de profondes connaissances de géologie et d'hydrologie. Il serait difficile, par conséquent, de donner à cet égard des règles pratiques et très-précises. Quelques exemples et quelques indications générales seront plus utiles que des préceptes absolus.

L'art de rechercher les sources et de capter les eaux souterraines par des procédés analogues à ceux du drainage est assurément très-ancien. Les cîris de la Perse, beaucoup de travaux romains, l'attestent suffisamment. Mais il est certain que cette pratique, qui avait été autrefois très-employée en France, si l'on en juge par les nombreux exemples que l'on en rencontre, paraît avoir été, sinon complétement oubliée, au moins assez négligée depuis un siècle, ou un siècle et demi, et on comprend très-bien que l'on ait pu, de très-bonne foi, présenter comme des inventions nouvelles des méthodes dont les exemples se retrouvent dans presque tous les grands domaines seigneuriaux ou d'ordres religieux. Les eaux de Gesvres, de Ris, des prés Saint-Gervais ne sont point obtenues autrement.

On a déjà expliqué, en parlant du drainage des sources (Voy. art. AGRICULTURE), le principe du plus grand nombre des recherches d'eau. C'est à la surface des couches imperméables, recouvertes de couches per-

méables, ou au centre même de très-grandes masses perméables, qu'il faut aller saisir et réunir les filets d'eau dont l'ensemble doit former la source artificielle.

Ces recherches d'eau se font par des procédés très-divers, suivant les pays et les circonstances. Tantôt, les eaux sont recueillies par des galeries souterraines plus ou moins importantes, dont le fond est étanche pour recueillir et conduire les eaux, tandis que les parois sont poreuses ; tantôt on a recours aux procédés ordinaires et plus simples du drainage avec tuyaux ou pierrées, pour amener à la surface les eaux qui s'écoulaient sans profit à une petite profondeur au-dessous du sol.

Il serait impossible, sans multiplier inutilement les figures, d'indiquer les constructions variées adoptées dans le cas qui nous occupe. On se bornera à citer, comme exemple de cette classe de procédés, la disposition adoptée par M. Belgrand pour la distribution d'eau d'Avallon. La voûte de l'aqueduc, dans la traversée des terrains sourciers, a été percée (fig. 3494)

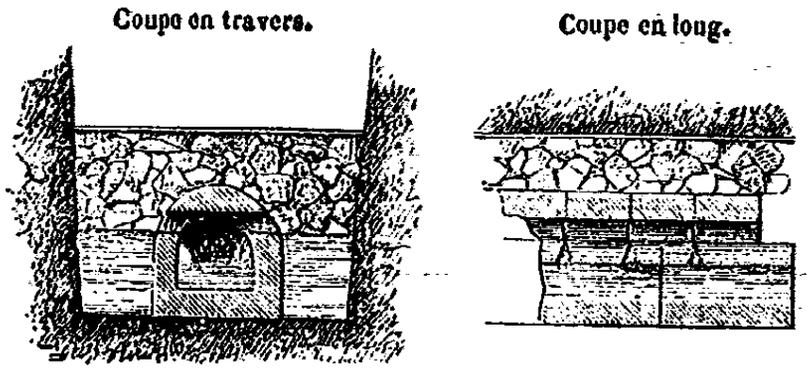


Fig. 3494. — Aqueduc avec pierrée et barbacanes pour recueillir des eaux de source. (Échelle de 0,025.)

de barbacanes nombreuses. Une pierrée de 0m,25 d'épaisseur a été en outre disposée de chaque côté et au-dessus de l'aqueduc pour faciliter l'entrée des eaux dans la cuvette étanche de la conduite. Cette disposition, plus ou moins modifiée selon les localités, est évidemment applicable à tous les cas analogues.

Depuis quelques années on s'est beaucoup occupé des sources artificielles obtenues par des méthodes que l'on vient d'indiquer, et l'on a fondé de grandes espérances sur l'emploi de ces moyens pour l'approvisionnement des villes les plus importantes. Quelques renseignements ne seront pas inutiles sur ces questions encore peu connues.

L'exemple du bourg de Farnham, en Angleterre, où le drainage de moins de deux hectares a permis de fournir en abondance une eau excellente à une population de 3,500 âmes, a fait beaucoup de bruit il y a quelques années. On a même proposé de fournir de l'eau à la ville de Londres par des travaux analogues. Mais l'incertitude inévitable des opérations de cette nature a fait renoncer à ce projet, qui avait été chaudement patronné par le *board of Health*. A Bruxelles, une proposition analogue a également été repoussée.

Le succès obtenu à Farnham est en effet le résultat d'un heureux concours de circonstances géologiques exceptionnellement favorables, qu'on ne saurait espérer de rencontrer souvent. Tout le monde sait en effet que les drainages ordinaires cessent de couler une grande partie de l'année, et qu'il serait dès lors impossible d'employer leurs produits à l'alimentation régulière d'une ville. J'ai exécuté plusieurs drainages qui, ayant rencontré des sources permanentes, donnent un débit continu. L'un d'eux alimente un moulin, un autre fournit l'eau potable à une ferme, et un troisième dessert un hameau assez populeux. Malgré ces exemples de succès que je pourrais multiplier beaucoup, je n'oserais presque jamais promettre à l'avance de réussir dans un travail de cette nature. Les probabilités sont quelquefois très-grandes, mais la certitude n'existe presque jamais. C'est dire avec quelle prudence il faut entreprendre les essais de cette nature.

L'étude attentive des belles sources naturelles indique d'ailleurs les conditions qu'il faut chercher à réaliser artificiellement et sans lesquelles il y aurait folie à espérer d'obtenir, avec une régularité suffisante, un volume d'eau déterminé.

Personne ne doute aujourd'hui que la pluie ne soit l'origine des sources. Pour qu'une source coule d'une manière continue, alors que la pluie est souvent plusieurs mois sans tomber, il faut donc que la masse perméable qui absorbe une partie de l'eau de pluie tombée à sa surface n'agisse pas seulement comme un filtre, mais encore et surtout comme un vaste réservoir, régulateur de l'écoulement. La vitesse de l'eau dans les conduits capillaires qui existent dans le sol est très-faible ; elle ne devient très-sensible que dans les fissures un peu larges, ou les bancs très-poreux, qui figurent, au sein de la terre, des lignes principales d'écoulement analogues à nos ruisseaux et à nos rivières de la surface. Dans les sources remarquables par leur régularité, l'eau qui s'écoule à un moment donné est tombée depuis fort longtemps, depuis des mois et souvent depuis des années. Si l'on voit les sources augmenter aussitôt après les grandes pluies, ce n'est pas en général, au moins quand il s'agit de grandes sources, par l'écoulement de l'eau qui vient de tomber. L'eau de la crue est tombée depuis longtemps, elle a traversé le sol, elle se trouve plus ou moins rapprochée de son point de sortie, et son accélération de vitesse est due seulement à l'augmentation de pression qui peut résulter de l'introduction de nouvelle eau à la partie supérieure de la masse poreuse traversée par les fissures capillaires par lesquelles l'eau s'élance. On s'explique facilement, du reste, la faible vitesse de l'eau dans les masses poreuses, par la résistance que le frottement oppose au mouvement et surtout par les actions capillaires très-énergiques exercées sur l'eau par des surfaces aussi multipliées que celle d'une masse poreuse. Une source n'est donc que l'écoulement d'un amas d'eau intérieur dont les mouvements sont ralentis et régularisés par la résistance de la masse solide du terrain perméable.

Pour que le drainage d'un terrain fournisse une source, il faut donc que la couche poreuse qui reçoit les eaux présente une épaisseur verticale suffisante au-dessus des tuyaux collecteurs, ou une puissance assez considérable sur les plateaux qui dominent l'emplacement de ces mêmes tuyaux, pour que l'eau mette à traverser cette masse un temps plus long que celui qui peut s'écouler entre de fortes pluies. Cette condition est nécessaire, mais elle n'est pas suffisante. Il faut encore que la disposition du sous-sol imperméable qui empêche le mouvement vertical de l'eau, ou au moins que la direction des lignes principales de suintement dans la masse poreuse soient telles que les eaux rencontrent les collecteurs et puissent s'y écouler. Ces dernières conditions sont encore plus difficiles à prévoir que les premières.

Quant au volume d'eau que l'on peut espérer de réunir par un travail de recherches, l'incertitude est plus grande encore. On peut assez souvent fixer un maximum impossible à dépasser, mais il est très-rare que l'on puisse prévoir à l'avance le volume à attendre des travaux.

C'est encore l'observation des plus belles sources naturelles qui peut donner quelque renseignement sur ce point.

Les sources du mont Ventoux sont un des exemples les plus nets que l'on puisse citer. Le mont Ventoux présente, comme on sait, à peu près la forme d'un demi-ellipsoïde de 25 kilom. de longueur sur 7kil. 5 de lar-

EAUX.

geur. Sa hauteur est de 1,960 mètres au-dessus du niveau de la mer. La masse de cette montagne, composée de calcaire néocomien entièrement perméable, repose sur une couche imperméable. Cette couche paraît former une espèce de vallon à double pente, dirigé de l'est à l'ouest comme le grand axe de l'ellipsoïde; elle affleure le sol à l'ouest à peu près à 385 mètres au-dessus du niveau de la mer. On trouve en ce point la source de Malaucène, ou Groseau. A l'est, à un niveau moins élevé, on rencontre d'autres sources moins importantes, mais encore assez remarquables. Sur tout le reste du plateau, on ne trouve pas une source et on n'a pas même essayé d'y creuser de puits dont la profondeur eût été excessive. La disposition de la couche imperméable et l'existence des filets d'eau qui s'y rassemblent ont été vérifiées par l'expérience. Un cultivateur placé au bas de la montagne vers le sud, où l'épaisseur de la couche perméable est considérablement réduite, a fait percer plusieurs puits; il les a réunis souterrainement par une galerie soutenue à l'amont par un mur à pierres sèches, et à l'aval par un mur bétonné. Cette galerie-conduite, convenablement prolongée, amène à ciel ouvert une assez belle source. Les sources qui sortaient plus bas, dans la partie correspondante, ont été coupées et ont cessé *naturellement de couler*.

Le débit des diverses sources dont on vient de parler est de 2 à 3 mètres cubes par seconde. On estime qu'il tombe 0m,85 de hauteur d'eau par an sur le plateau de cette montagne, qui a 15,000 hect. Ce qui fait un volume de $150{,}000{,}000 \times 0{,}85 = 127{,}500{,}000$ mètres, ou bien un débit de $\frac{127{,}500{,}000}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 4$ mètres cubes. Les sources débitent un peu plus de la moitié de ce volume d'eau, le reste s'évapore ou *pénètre à de plus grandes profondeurs. La disposition* des lieux est telle que très-peu d'eau doit s'échapper de cette façon, de sorte que l'on peut regarder un peu plus de 1/2 comme le plus grand rapport de la pluie tombée à la pluie recueillie qu'il soit possible d'espérer dans les conditions habituelles.

La célèbre fontaine de Vaucluse, qui débite 10 à 12 mètres cubes, est à peu près dans les mêmes conditions. Son bassin de réception, également formé de calcaire très-perméable, a 96,500 hect. On ne trouve ni ruisseau ni puits sur cette surface. Elle reçoit environ par an 820,250,000 mètres cubes, répondant à un débit permanent de 26 mètres cubes environ, c'est-à-dire encore à peu près double de celui de la fontaine.

Dans les travaux de drainage ou de captation d'eau, il serait imprudent de compter sur un chiffre de rendement aussi élevé. Il faut pour l'obtenir des circonstances *exceptionnellement heureuses*. M. Paramelle estime que des couches très-poreuses, de 2 à 8 mètres d'épaisseur, reposant sur un sol imperméable convenablement incliné, produisent après une sécheresse ordinaire 1,152 litres par jour et par hectare; c'est environ un douzième de la pluie moyenne annuelle tombée sur cette surface. Ce rapport, considéré comme résultat *moyen, me paraît assez exact; mais il ne faut pas* perdre de vue les observations qui précèdent relatives à la puissance de la masse poreuse nécessaire pour régulariser le débit.

Fécamp, Hazebrouck et un certain nombre d'autres villes sont alimentées par des travaux de drainage ou des galeries de recherches percées à la limite des terrains perméables et des terrains imperméables.

Le grand projet d'approvisionnement de Paris étudié par M. l'ingénieur en chef Belgrand, dont s'occupe en ce moment l'administration municipale, a pour base des travaux de captation et des recherches d'eau analogues à ceux dont on vient de parler.

Le volume d'eau que l'on désire amener est de 100,000 mètres cubes par jour, soit 1,160 litres par seconde. M. Belgrand avait proposé d'abord de dériver les eaux de la Somme et de la Soude, et au besoin celles du Sourdon et de la Dhuis. En octobre 1855, époque des plus basses eaux, ces sources donnaient, en effet, par seconde :

Eaux de la Somme et de la Soude.	1,081 lit.
Source du Sourdon.	100
Source de la Dhuis.	315
	1,496

En 1857, la Somme donnait encore 880 litres; mais, en 1858, son débit s'est réduit à 285 litres, bien que les deux autres sources aient peu varié. Ces irrégularités de débit, incompatibles avec l'alimentation d'une grande ville, ont nécessité de nouvelles études. Le projet actuel comprend donc deux systèmes différents à l'aide desquels on *obtiendrait* l'approvisionnement normal de 100,000 mètres cubes par jour; ils consistent : 1° en dehors des vallées de la Somme et de la Soude, à pénétrer par des galeries souterraines de drainage au milieu de la nappe d'eau déposée par les pluies dans l'épaisseur de la craie tendre, où elle est retenue par la couche d'argile sur laquelle repose la craie, tout *en se dirigeant, d'un mouvement lent, par la pente* naturelle de cette couche imperméable, soit vers le fond du bassin géologique dont Paris occupe le centre, soit vers les coupures qui lui offrent des moyens d'écoulement; 2° dans ces mêmes vallées, à augmenter le débit des sources en les prenant à un niveau inférieur, si, ce qui semble peu probable, on devait en venir à utiliser ces sources.

L'espoir du succès de cette recherche d'eau est principalement fondé sur les observations suivantes : 1° la surface du bassin de la Vanne, qui est très-bien limité, est de 900 kilomètres carrés; il reçoit par an 540 millions de mètres cubes d'eau de pluie et il en rend chaque année, par les cours d'eau, 31 à 155 millions, soit $\frac{1}{18}$ à 1/4 de ce qu'il reçoit. 2° Le bassin de la Somme-Soude a 300 kilomètres carrés de superficie; il reçoit 180 millions de mètres cubes d'eau de pluie et en restitue *par ses sources* de 8,987,000 à 36 millions de mètres cubes, soit 1/5 à $\frac{1}{10}$ de l'eau tombée. Or la partie du bassin crayeux comprise entre la vallée de l'Aisne et celle de l'Aube, que l'on suppose devoir concourir à l'alimentation des sources à créer, a 5,300 kilomètres carrés et reçoit 3,180 millions de mètres cubes par an. Le volume de 100,000 mètres cubes, soit 36,500,000 par an que l'on veut en tirer, n'est que $\frac{1}{88}$ du volume reçu, ou moins de $\frac{1}{4}$ du volume que restituent naturellement des terrains de cette espèce.

Ce rapprochement montre en effet la possibilité d'obtenir le volume d'eau nécessaire, mais il ne fournit aucun renseignement sur la longueur à donner aux galeries de suintement, et par suite sur les dépenses relatives à la création des sources artificielles.

Les eaux ainsi recueillies en Champagne seraient amenées par un aqueduc dans un vaste réservoir situé à la cote de 83 mètres pour desservir *les étages* supérieurs des plus hautes maisons de Paris.

Les eaux de la craie sont limpides, d'une température peu variable et d'une pureté satisfaisante, bien que chargées de calcaire en assez forte proportion; elles remplissent donc les conditions de bonnes eaux. Je ne sache pas qu'on ait déterminé les proportions et la nature des gaz qu'elles tiennent en dissolution, renseignement indispensable, comme on l'a dit, à une étude complète; elles doivent renfermer des nitrates, mais je n'en connais pas la proportion.

Il est à craindre que la qualité des eaux de la Champagne ne soit modifiée d'une manière très-désavantageuse par les progrès de la mise en culture de cette vaste con-

trée, aujourd'hui déserte. Dans beaucoup de points, la surface du sol est assez rapprochée du plan d'eau pour que les matières organiques des fumiers soient entraînées à travers les fissures du terrain, l'absence totale d'argile ne permettant pas d'espérer que ces matières soient retenues dans la couche perméable. Dans tous les cas, il se formera des nitrates et la proportion de sels de chaux dans les eaux pourra dépasser de beaucoup celle qui existe aujourd'hui.

Les travaux projetés, non compris ceux de la distribution dans Paris, sont estimés 30 millions de francs, et on a vu que leur exécution comporte des éventualités considérables pour les travaux souterrains de recherches d'eau. On indiquera un peu plus loin, en parlant de l'emploi des machines, d'autres projets présentés en même temps que le précédent, mais qui n'ont point semblé à l'édilité parisienne aussi dignes de la grandeur de la capitale.

Les eaux de rivière, élevées par des machines ou dérivées par des canaux spéciaux, sont très-fréquemment employées aux approvisionnements des grandes villes. Ces eaux, dont la composition est très-variable, non-seulement d'un fleuve à l'autre, mais pour un même cours d'eau d'une saison à l'autre, présentent en général deux inconvénients pour cet usage. Leur température varie continuellement dans des limites très-étendues; d'un autre côté, elles sont rarement complètement limpides et deviennent souvent, en temps de crue surtout, complétement troubles.

Les eaux de source sont donc, en principe, bien préférables aux eaux de rivière; cependant, presque toutes les grandes villes sont approvisionnées par la rivière qui les traverse, les économies réalisées sur les frais de premier établissement compensant et au delà les frais de filtrage. Dans les villes importantes, la solution la plus satisfaisante consiste bien souvent à organiser deux systèmes de distribution, l'un pour les eaux de source habituellement peu abondantes et réservées aux usages domestiques, l'autre fournissant à profusion les eaux de rivière pour les usages grossiers du nettoyage des voies publiques, etc.

Les ouvrages de prise d'eau en rivière n'ont rien de particulier : s'il s'agit de prendre l'eau au-dessus de la ville pour l'amener par un canal de dérivation à une hauteur convenable, ce sont des barrages ou des épis ordinaires placés en tête des dérivations; s'il s'agit seulement d'élever l'eau à l'aide de machines, ce sont de simples galeries de puisage perpendiculaires au cours d'eau. Quelquefois encore le barrage de la rivière, établi dans un point escarpé de son cours et dans toute la largeur de son lit, transforme en vaste réservoir une partie de la vallée. C'est ainsi, par exemple, que le barrage construit dans le lit de la rivière Croton, pour la distribution de New-York, produit un vaste bassin de réserve de 2,724,000 mètres cubes de capacité.

On reviendra plus en détail sur l'emploi des eaux de rivière en parlant des moyens de les élever. Considérées d'une manière générale comme moyen d'obtenir l'eau pour les villes, il n'y a pas à s'y arrêter davantage.

Bien que l'eau des *puits ordinaires* entre souvent pour une forte part dans l'approvisionnement des villes ou des hameaux, nous n'avons pas à nous en occuper ici. Ce sont des ouvrages essentiellement privés. En général, l'eau des puits peu profonds creusés au sein des villes est de très-mauvaise qualité. Elle est souillée par beaucoup de matières étrangères.

Les *étangs* sont quelquefois employés pour réunir et emmagasiner les eaux de pluie destinées à l'alimentation d'une ville. C'est ainsi, par exemple, que les eaux blanches de Versailles sont recueillies par un immense système de rigoles qui sillonnent toutes les campagnes environnantes, puis versées dans les étangs d'où on les extrait pour les usages auxquels on les destine. Les étangs, proprement dits, généralement peu profonds et mal alimentés, ne fournissent que des eaux stagnantes, variables de température et souvent infectes. Les lacs profonds, alimentés d'eaux vives, sont, au contraire, d'excellents réservoirs. Le lac Katrin, qui alimente Glascow, est un exemple remarquable de distribution de cette espèce.

Les puits artésiens, ou puits jaillissants, peuvent rendre de très-grands services à l'approvisionnement des villes. Leurs eaux puisées à une grande profondeur n'ont point traversé les couches superficielles imprégnées de déjections et sont habituellement d'une pureté remarquable. Nous n'avons rien à ajouter à l'article SONDAGE. Nous dirons seulement que les procédés de forage permettent aujourd'hui d'ouvrir le trou sur un beaucoup plus grand diamètre qu'on ne le faisait autrefois, et qu'il est possible dès lors d'employer les procédés de soudage à l'ouverture de puits très-profonds, mais non jaillissants, d'où on extrait l'eau à l'aide des machines élévatoires ordinaires.

On construit ordinairement au-dessus ou à côté des puits jaillissants un édifice destiné à supporter le tuyau d'ascension et un bassin de jaugeage et de distribution. Au pied de ces édifices, sont ménagés des moyens d'écoulement, lorsqu'il devient utile de supprimer momentanément la charge de la colonne ascensionnelle, soit pour nettoyer le tube du forage, soit pour réparer quelques parties du système de distribution.

Le monument si gracieux qui vient d'être établi pour le puits artésien de Grenelle, sur la place Breteuil, à Paris, peut être cité comme exemple de ce genre de construction. Le tuyau d'ascension et les tuyaux de distribution forment le noyau d'un escalier tournant qui monte jusqu'au sommet de l'édifice. De légères colonnettes à nervures forment extérieurement la cage de cet escalier et en dessinent le profil. Trois balcons en forme de vasque partagent en parties égales la hauteur totale de cette fontaine monumentale, terminée par un élégant campanile. L'édifice est entièrement en fonte, à l'exception du soubassement qui est en pierre. Sa hauteur totale est de 42m,8. Le poids de la fonte employée est de 170,000 kilog. à 60 c. le kilog. La dépense totale de la construction est de 156,000 fr.

L'eau de pluie recueillie directement dans de vastes citernes est le dernier moyen que nous ayons à mentionner pour assurer l'approvisionnement d'eau des villes. C'est assurément une triste ressource, et l'on peut dire que les villes qui n'en ont point d'autres sont bien dépourvues d'eau. Les citernes, comme les puits, sont des ouvrages privés dont nous avons peu de choses à dire. Cependant, elles ont dans certaines villes, à Venise par exemple, une si grande importance et leur usage est si souvent nécessaire pour avoir de bonne eau potable, qu'il est nécessaire d'indiquer quelques précautions indispensables à leur bon établissement. L'eau de pluie, en coulant sur les toits, entraîne avec elle la poussière qui s'y dépose, les débris d'insectes qui s'y accumulent, etc. Il est donc toujours nécessaire de la filtrer avant de l'introduire dans la citerne. A cet effet, il convient de disposer en avant de cette citerne un véritable filtre formé de couches de sable, de braise, ou mieux de charbon animal et de gravier, que l'eau est obligée de traverser avant de se rendre dans le réservoir.

L'eau de citerne recueillie avec cette précaution est si bonne, et surtout si agréable pour les usages de la toilette, que l'on ne saurait assez recommander de construire une citerne à côté de chaque maison, quand l'eau dont on dispose d'ailleurs n'est pas d'excellente qualité. La quantité d'eau de pluie que l'on peut re-

cueillir par an dans nos climats est égale, à peu près, en prenant les années les plus sèches, à 450 à 500 litres par mètre carré des toits dont on dispose. Quant à la consommation de cette eau dans les ménages, elle dépend évidemment de la nature des usages auxquels on la réserve. Si elle doit suffire à tous les services, il faut donner à la citerne 7 à 8 mètres cubes par habitant de la maison, et 20 à 22 mètres cubes par cheval, bœuf ou vache de la ferme. Si l'eau est réservée exclusivement à la boisson et à la toilette, on peut à la rigueur réduire la capacité à 1m,5 ou 2 mètres cubes par habitant.

Filtrage. On vient d'indiquer les diverses natures d'eaux employées dans les distributions. Ainsi qu'on l'a déjà dit, la limpidité de l'eau est une de ses qualités les plus précieuses. Dans tout système de distribution bien établi, l'eau doit donc être livrée limpide au consommateur, et par conséquent il faut la filtrer, quand elle est trouble, comme le sont le plus souvent les eaux de rivière et quelquefois même certaines sources sujettes à de grandes crues.

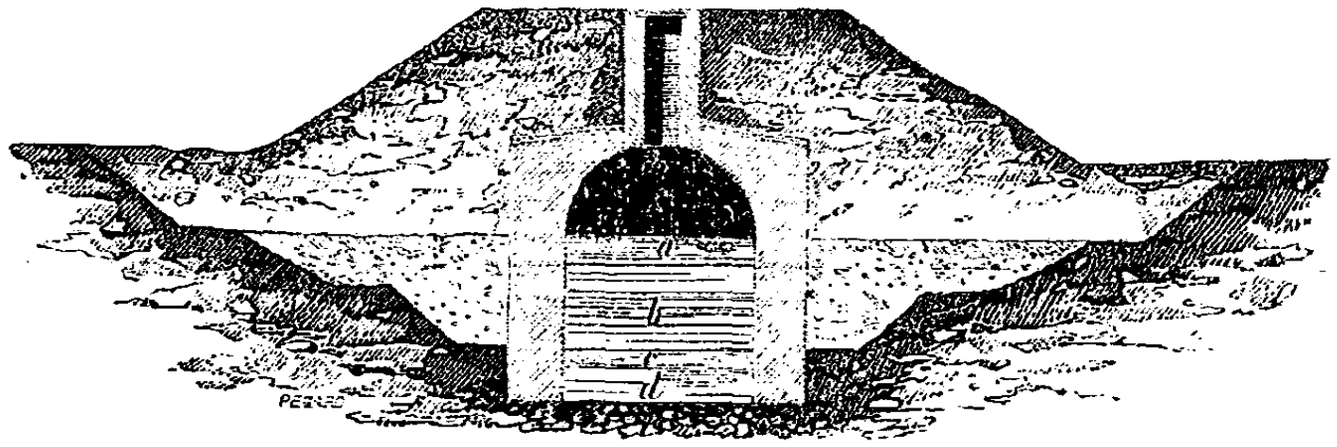


Fig. 3490. — Coupe en travers de la galerie filtrante de Lyon. (Échelle de 0,0033 pour un mètre.)

Les explications données au mot FILTRATION nous permettront de passer très-rapidement ici sur cette opération difficile. Sans revenir sur les filtres de petite dimension destinés principalement aux usages domestiques, il suffira d'indiquer les principaux moyens d'éclaircir les grandes masses d'eau nécessaires à la consommation des villes.

Les grands appareils de filtrage qui nous occupent consistent toujours à faire passer l'eau à travers des couches de graviers et de sable dont les vides, assez grands pour laisser passer le liquide, sont insuffisants pour le passage des corps solides tenus en suspension dans l'eau.

La disposition de la couche de sable varie avec les localités. Tantôt on est assez heureux pour que la couche poreuse forme le lit de la rivière, et alors il suffit d'ouvrir une galerie de puisage dans cette couche filtrante naturelle. Tantôt, au contraire, on est obligé d'amener de loin le sable et le gravier nécessaires à la constitution du filtre, de disposer ces matériaux dans des bassins imperméables et d'assurer la filtration par des artifices plus ou moins compliqués. On donne le nom de filtres artificiels à ces derniers appareils, tandis que ceux dont nous avons parlé d'abord sont appelés filtres naturels.

L'un des exemples les plus remarquables de filtres naturels est celui qui sert à l'épuration des eaux de la Garonne à Toulouse. Les galeries de filtration sont ouvertes dans le banc d'alluvion qui règne le long du cours Dillon. Ce banc est principalement composé de gravier et de sable, entremêlés de cailloux et en quelques endroits d'un limon vaseux. La galerie du troisième filtre, dont la figure 3495 montre la coupe en travers, est ouverte parallèlement au cours de la rivière à une distance de 30 à 50 mètres de la rive. Elle a 250 mètres de longueur, son fond est à 1m,14 au-dessous des basses eaux de la rivière. Sur ce fond on a établi une petite galerie qui est formée de deux murs en briques simplement superposées et recouvertes de dalles de pierre. Cette galerie a 0m,60 de largeur et 1m,50 de hauteur. L'espace compris entre la galerie et les parois de l'excavation est rempli de gros cailloux bien lavés; au-dessus, on a répandu une couche de gravier de 0m,66 d'épaisseur, puis on a comblé avec de la terre sablonneuse extraite de la fouille et on a semé du gazon à la surface. Ce filtre fournit 2,800 mètres cubes par jour, soit environ 20 mètres cubes par mètre carré de sa surface totale. La température de l'eau qu'il fournit est très-peu variable et sa limpidité est parfaite. Il fonctionne maintenant depuis une vingtaine d'années sans aucune réparation; c'est une véritable fontaine artificielle, la plus économique que l'on puisse obtenir.

La compagnie des eaux de Lyon a fait établir un filtre analogue à celui de Toulouse (fig. 3496).

La galerie est en béton de ciment de Pouilly; son radier *d* est en gravier et sable naturel; il est établi à 3 mètres au-dessous de l'étiage du Rhône. La largeur de la galerie dans œuvre est de 5 mètres; sa longueur est de 150 mètres. Elle a coûté 1,200 fr. le mètre courant. La ligne *a* indique le niveau du Rhône lors de l'exécution; la ligne *b*, celui de l'étiage; la ligne *c* enfin, la dénivellation possible entre le niveau de l'eau dans le filtre et dans le fleuve.

Au moment de son achèvement, ce filtre a donné par mètre carré jusqu'à 300 mètres cubes en vingt-quatre heures avec une dénivellation *c* de 0m,50. Ce débit énorme ne s'est pas soutenu, mais le régime paraît maintenant régulier, et la température de l'eau est maintenue constante, comme celle d'une source, entre 12 et 13 degrés.

Des filtres analogues existent à Tours (Indre-et-Loire), à Nottingham (Angleterre), à Perth (Écosse), etc. Ils donnent des résultats parfaitement satisfaisants.

M. Dupuit a parfaitement expliqué, par les vitesses relatives des molécules d'eau dans l'intérieur et à la surface de la masse poreuse, comment les filtres naturels dont on vient de parler fonctionnent régulièrement sans se recouvrir ou s'engorger de limon. La condition

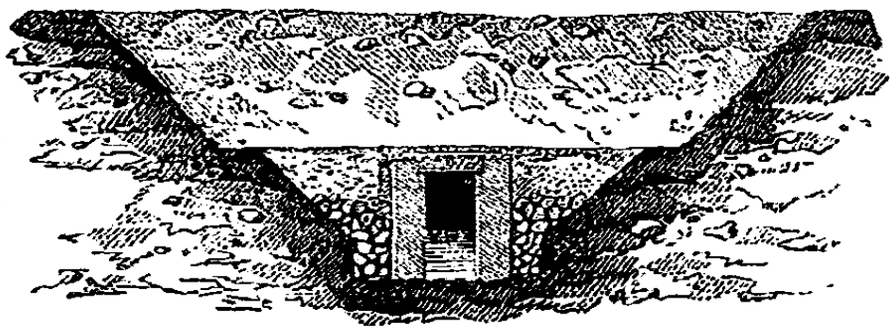


Fig. 3495. — Coupe en travers de la galerie du 3e filtre de Toulouse. (*Échelle de 0,0066 pour un mètre.*)

indispensable au succès est une vitesse suffisante de la rivière à la surface de son lit de sable ou de gravier. Aussi, a-t-on complétement échoué dans la construction de filtres naturels sur les bords de la Clyde, où la marée rend les eaux stagnantes pendant plusieurs heures de la journée.

Les filtres *artificiels* ont été disposés de bien des manières. Le plus habituellement ils se composent de grands bassins imperméables au fond desquels on dispose des tuyaux de drainage ou de petites galeries en pierres sèches. Une couche de gravier recouvre ces ouvrages et supporte une couche de sable fin. L'eau arrive sur cette masse filtrante, dépose son limon à la surface et dans les premières couches de sable, et arrive limpide dans les tuyaux collecteurs placés au fond du bassin. On enlève de temps en temps la couche supérieure du filtre et on la remplace par du sable neuf. On comprend qu'il faut presque toujours réunir deux bassins filtrants de cette espèce pour que le service ne soit pas interrompu pendant les nettoyages.

Les filtres que nous venons de décrire sont très-employés en Angleterre; voici, comme exemples, la composition de la couche filtrante dans quelques-uns de ces appareils :

Filtre de Chelsea.

Sable fin de mer sur une épaisseur de.		0m,60
Sable gravier,	id.	0 ,30
Coquilles de mer,	id.	0 ,15
Gros gravier dans lequel sont engagés les collecteurs, sur une épaisseur de.		1 ,00
		2 ,05

Filtre de Southwark.

Sable fin de mer, sur	0m,60
Sable et gravier.	0 ,30
Gravier fin	0 ,22
Gravier gros.	0 ,22
Cailloux.	0 ,30
	1 ,64

Chacun des deux filtres de la compagnie de Chelsea a 75 mètres de longueur sur 55 de largeur. L'un des filtres de la compagnie de Southwark a 2,900 mètres carrés, et l'autre 7,840 mètres carrés. La quantité d'eau filtrée, sous une charge de 1m,20 à 1m,30, est de 1 mètres cubes environ par mètre carré de filtre.

L'établissement de Thames Ditton a quatre filtres, composés d'une masse filtrante analogue aux précédentes et reposant sur de fortes ardoises placées de champ au-dessus de petits murs parallèles formant canaux collecteurs. Sous une charge d'eau de 2m,5, on obtient de 7 à 8 mètres cubes d'eau par 24 heures et par mètre carré de filtre.

La ville de Hull, dont la population est de 100,000 âmes, est approvisionnée d'eau filtrée de cette manière, à raison de 172 litres par tête et par vingt-quatre heures. La superficie des filtres est de 1h,47 environ.

Les filtres de Marseille sont couverts. Ils donnent 13 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures et par mètre carré de filtre. Leur épaisseur, de 0m,80, se compose de :

Sable très-fin de Montredon	0m,30
Sable moyen de Goudes	0 ,08
Gros sable de Riom	0 ,18
Petit gravier du Prado.	0 ,12
Pierres concassées passant par un anneau de 0m,06	0 ,12
	0 ,80

Ces filtres se nettoient par le passage d'un courant d'eau de bas en haut. On doit reconnaître que leur fonctionnement n'est pas irréprochable.

Les filtres artificiels sont généralement précédés de bassins de repos où l'eau laisse déposer, surtout en temps de crues, la partie la plus grossière du trouble qu'elle renferme. L'eau arrive aux filtres déjà un peu éclaircie et seulement louche. Elle salit beaucoup moins l'appareil et rend les nettoyages moins fréquents.

Le temps nécessaire pour éclaircir l'eau par le repos est très-variable d'une rivière à l'autre, mais toujours assez long. On peut hâter de diverses manières la précipitation des matières contenues dans l'eau, notamment par l'addition d'un peu d'alun au liquide. Nous n'avons pas besoin d'ajouter que ces procédés chimiques de clarification doivent être proscrits absolument des distributions importantes. Ils modifient toujours les propriétés de l'eau et une erreur de dosage peut entraîner des dangers sérieux.

§ IV. CONDUITE ET ÉLÉVATION DES EAUX.

Quand on a fait choix des eaux qui doivent être distribuées dans une ville, il faut, suivant le cas, les élever, à l'aide de machines, dans des réservoirs d'un niveau supérieur à celui de tous les points qu'elles doivent atteindre, ou bien les amener dans ces réservoirs à l'aide de conduites ou d'aqueducs convenables, si le niveau naturel de ces eaux est assez élevé.

Occupons-nous d'abord de ce dernier genre de construction.

Aqueducs. — Les travaux qui servent à amener les eaux de la source qui les produit, ou du point de dérivation, sont extrêmement variés et souvent fort importants.

S'il s'agit d'un volume d'eau considérable et que le terrain s'y prête, on se sert de canaux ouverts à la surface du sol. C'est ainsi que le canal de l'Ourcq sert à la fois à la navigation et à la conduite des eaux de distribution.

Pour les volumes d'eau moins considérables, qui se perdraient par les fuites, l'évaporation, etc., on a recours à des rigoles en maçonnerie qui constituent les aqueducs proprement dits. Ces rigoles sont quelquefois exécutées à ciel ouvert. Mais il vaut mieux les couvrir et les placer à une petite profondeur au-dessous du sol, pour mettre l'eau à l'abri de l'évaporation et la conserver fraîche et pure pendant tout son parcours.

La section des aqueducs varie nécessairement avec leur importance et avec les sujétions que s'impose l'ingénieur. On donnait assez souvent autrefois aux aqueducs des dimensions beaucoup plus considérables que celles qui sont généralement adoptées aujourd'hui. On réservait à côté de la cunette, qui renfermait l'eau, une banquette pour le passage des ouvriers, et on ménageait au-dessus une voûte d'une hauteur suffisante pour une circulation facile. L'aqueduc d'Arcueil (fig. 3497) offre un exemple de ces dispositions; de pareils travaux exigent des dépenses considérables, qui ne sont nullement compensées par les avantages qui peuvent résulter de cet emploi inutile de matériaux.

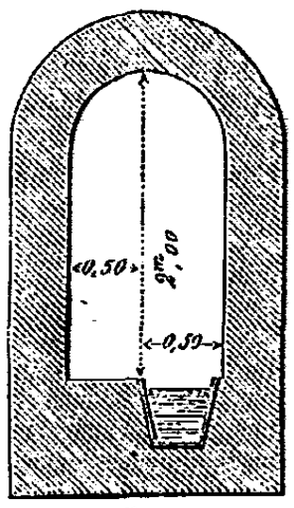


Fig. 3497. — Coupe de l'aqueduc d'Arcueil. (Échelle de 0,013 pour un mètre.)

La section adoptée par M. Darcy pour l'aqueduc de Dijon (fig. 3498) est beaucoup plus rationnelle et peut être présentée comme un excellent type pour les aqueducs de portée moyenne, surtout quand le débit est un peu variable. La cunette a 0m,60 de largeur, la hauteur sans clef est de 0m,90. Ces dimensions permettent à un homme de parcourir l'aque-

duc sans trop de fatigue. L'épaisseur du radier est de 0m,30 et celle de la clef est de 0m,25. Les pieds droits ont 0m,62 de hauteur et 0m,40 d'épaisseur. L'enduit de la cuvette a 0m,03 d'épaisseur, ce qui réduit à 0m,54 la largeur laissée à l'eau.

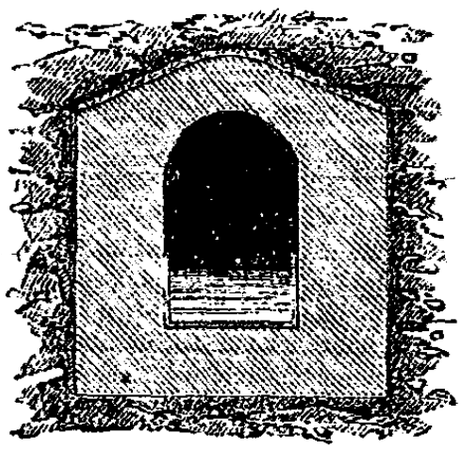


Fig. 3498.—Coupe de l'aqueduc de Dijon. (Échelle de 0m,020 pour 1 mètre.)

Le prix de revient de cet aqueduc exécuté dans l'été de 1839 se décompose de la manière suivante par mètre courant :

Terrassements.	3,80
Maçonneries.	13,19
Chape.	1,15
Enduit.	1,57
Béton	0,24
Regards	0,15
Bornes.	0,08
Cintrements	0,24
Ouvrages accessoires.	0,45
	20,87

Les regards établis de distance en distance pour pénétrer dans les aqueducs analogues aux précédents, n'ont rien de particulier. Ce sont des cheminées en maçonnerie, s'élevant jusqu'au sol et fermées par une trappe.

Pour les débits moins considérables, quand il faut nécessairement réduire la dépense autant que possible, et que d'ailleurs la conduite peut être placée à une assez faible profondeur au-dessous du sol, on ne saurait mieux faire que d'employer de petits aqueducs en maçonnerie de ciment. L'un des premiers et des plus remarquables exemples d'aqueduc de cette espèce est celui qui a été exécuté par M. Belgrand pour amener les eaux à Avallon. Cette conduite, entièrement construite en béton de ciment de Vassy (fig. 3499), se compose d'une cunette de 0m,30 de largeur et de 0m,15 de hauteur, et d'une petite voûte en anse de panier de 0m,30 de largeur et de 0m,11 de flèche. L'épaisseur de la maçonnerie est de 0m,10. La surface du débouché est de 0m,7148. La pente est de 1/3 de millimètre par mètre.

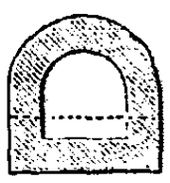


Fig. 3499. Coupe de la conduite d'Avallon. (Échelle de 0m,020 pour 1 mètre.)

Le débit par 24 heures est de 193 mètres cubes pour une hauteur d'eau de 0m,05 dans la cunette; de 510 mètres cubes pour une hauteur de 0m,10 et de 880 mètres cubes pour une hauteur de 0m,15. Enfin étant probablement à peu près pleine, cette conduite a débité jusqu'à 1858 mètres cubes en 24 heures.

La conduite est à peu près à 1m,50 au-dessous du sol, et à 5 mètres dans deux points particuliers. La dépense de sa construction se décompose ainsi :

Terrassements.	6,419,96
Maçonnerie au ciment de Vassy.	25,316,70
21 regards à 70 fr. 83.	1,487,30
Total, pour 3,630 mètres. .	33,223,96
ou par mètre	9 fr. 15 c.

Les ciments hydrauliques dont l'emploi se répand tous les jours et dont les prix descendent rapidement, permettent d'exécuter sur place ou par moulage d'excellents conduits très-économiques pour les petites distributions. Ainsi, par exemple, l'usine de Boulogne livre les tuyaux en ciment aux prix suivants :

Diamètre	0m,10	à 1 fr.	le mètre courant.
—	0m,20	— 2	—
—	0m,30	— 3	—
—	0m,50	— 8	—

A ces prix il faut ajouter le transport, la fouille et la pose. En exécutant sur place au fond de la tranchée, on peut arriver à des prix encore plus réduits. J'ai fait exécuter une conduite de 0m,16 de diamètre et de 800 mètres de longueur en béton aggloméré de M. Cogniet, pour un peu moins de 1 fr. le mètre.

Un petit aqueduc en béton, moulé au fond d'une tranchée et recouvert de pierres plates à joints maçonnés, peut aussi donner des résultats très-économiques.

Les tuyaux en poteries à emboîtement si employés par les anciens peuvent encore rendre des services pour les très-petites conduites à pression presque nulle. Mais, en général, il y aurait avantage aujourd'hui à employer des tuyaux de drainage sans emboîtements, garnis de colliers jointoyés et enveloppés de ciment hydraulique.

On détermine la section et la pente, en chaque point des aqueducs, de manière à assurer l'écoulement du volume d'eau nécessaire. Les vitesses doivent être comprises entre 0m,15 et 1 mètre par seconde. Les formules employées à cette détermination sont données à l'article HYDRAULIQUE et au mot AGRICULTURE, à propos des canaux de desséchement.

Depuis quelques années, les tuyaux de fonte disposés sous le sol, comme ceux employés dans la distribution à l'intérieur des villes, dont on parlera plus bas avec détail, ont été assez souvent employés comme conduite générale, ou plutôt comme siphons renversés pour traverser les vallées profondes. Cependant, en général, les aqueducs en maçonnerie sont plus économiques, et on les emploie encore dans le plus grand nombre des cas.

Il convient, autant que possible, de déterminer le tracé d'un aqueduc de manière qu'il soit constamment à une faible profondeur au-dessous du niveau du sol, comprise entre 1 mètre et 2m,5. Cette condition, du reste, suivie rigoureusement, conduirait souvent à des allongements inutiles du parcours, et même à des impossibilités absolues. On est donc forcé tantôt d'entrer en souterrain pour passer au-dessous des collines ou des montagnes, et, dans d'autres circonstances, de franchir les cours d'eau naturels à l'aide de ponts, ou les vallées à l'aide d'aqueducs monumentaux, d'une plus ou moins grande importance. Les Romains nous ont laissé à cet égard des modèles nombreux, admirables par leur grandeur et surtout par leurs belles proportions. L'aqueduc du Gard est connu de tout le monde; mais l'Algérie, aux environs de Cherchell, offre des monuments de cette espèce plus remarquables encore.

La France, du reste, n'a plus rien à envier aux plus grands et aux plus beaux ouvrages de cette espèce, depuis la construction de l'aqueduc monumental de Roquefavour (fig. 3500), sur lequel les eaux de la Durance franchissent la vallée de la rivière d'Arcq avant d'arriver à Marseille. Les immenses proportions de ce monument ne peuvent être comparées qu'aux plus grands de nos édifices. Pour les faire bien comprendre, il suffira de dire que le sommet du Panthéon, à Paris, est de deux mètres moins élevé que cet aqueduc dans son point le plus haut, et que les tours de Notre-Dame de Paris, qui ont 15 mètres de moins, atteindraient à peine le sommet de la seconde rangée de voûtes.

Les anciens, qui ne possédaient pas de tuyaux de fonte et qui n'avaient même que de détestable tuyaux de plomb d'un prix énorme, n'avaient aucun autre moyen de faire passer les eaux d'un aqueduc d'un côté

à l'autre d'une vallée, que l'emploi de ces édifices que nous admirons et que nous imitons encore quelquefois.

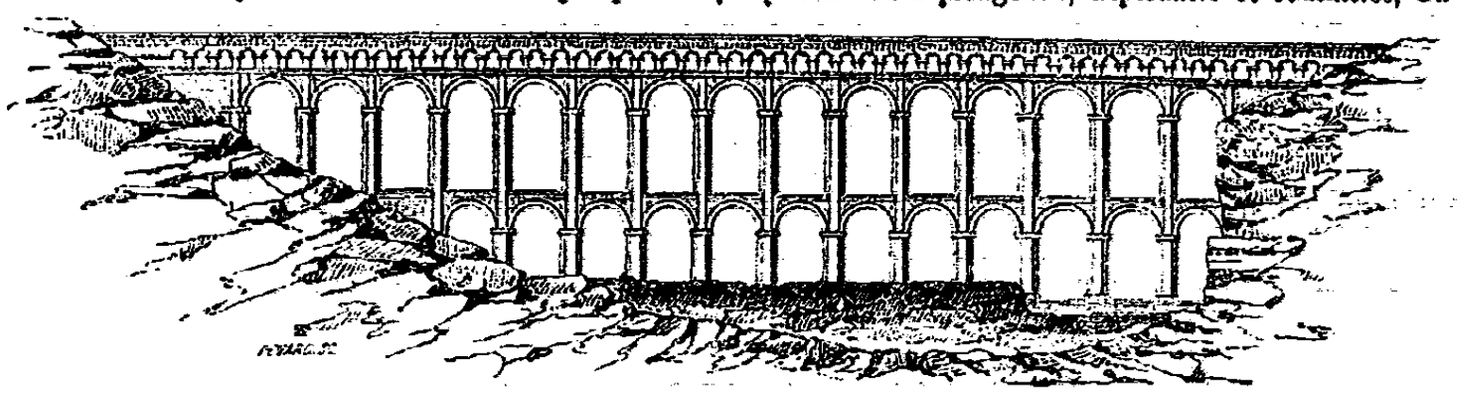


Fig. 3500. — Aqueduc de Roquefavour, près de Marseille de 81 mètres d'élévation. (Échelle de 0m,0003 pour 1 mètre.)

Mais les progrès de l'art des constructions, l'emploi de la fonte devenu si facile et si peu coûteux relativement, permettent de conduire les eaux d'un côté à l'autre d'une vallée d'une manière beaucoup plus économique en général qu'on ne pourrait le faire en construisant des aqueducs monumentaux. On emploie maintenant presque toujours, pour franchir les vallées, des siphons renversés, formés de tuyaux de fonte. Ces siphons fonctionnent parfaitement, mais ils nécessitent ordinairement une perte de charge assez considérable. Les tuyaux suivent sans difficulté la forme du terrain; un pont étroit et léger suffit pour les soutenir au-dessus des cours d'eau à franchir; en un mot, ils se prêtent avec une admirable facilité à résoudre les difficultés les plus sérieuses, et à franchir des obstacles infranchissables par les anciens procédés. Les assemblages des tuyaux en fonte des siphons et les calculs de leur résistance sont les mêmes que pour les tuyaux employés dans les villes à la distribution proprement dite. Nous n'avons pas à en parler pour le moment.

Machines élévatoires. On a supposé dans tout ce qui précède que la source ou la dérivation de l'eau employée était assez élevée pour que le liquide puisse arriver, par l'action seule de la pesanteur, aux réservoirs de distribution placés sur des points culminants de la ville à desservir. Les anciens n'avaient point d'autre système de distribution; aussi trouve-t-on les restes de leurs grands aqueducs auprès de toutes les villes qu'ils ont habitées. Mais on aurait tort de supposer que leur préférence pour les eaux de sources motivait seule ces immenses travaux. Ils ne possédaient pas la machine à vapeur, les moteurs hydrauliques leur étaient à peine connus, et les conduites forcées elles-mêmes, élément essentiel de nos travaux modernes, leur faisaient défaut d'une manière absolue. Il fallait bien, avec cette pénurie de moyens, recourir aux dérivations à grande distance, aux aqueducs et aux bassins de distribution, d'où l'eau se répandait dans la ville par de petits aqueducs à chute ou des tuyaux de poteries à très-faible charge. Si les Romains avaient eu la machine à vapeur, ils auraient plus souvent emprunté l'eau aux fleuves de leurs cités et nous ne verrions pas autant de ces aqueducs magnifiques qui témoignent, il est vrai, de la grandeur romaine, mais aussi de l'impuissance des moyens mécaniques à cette époque. Si les ingénieurs d'alors revenaient au milieu de nous, ils s'étonneraient sans doute de nous voir renoncer aux moyens si puissants et si économiques de la science moderne pour imiter leurs coûteux aqueducs en maçonnerie.

L'art de la conduite des eaux, qui se réduisait autrefois au tracé et à l'exécution des aqueducs, s'est donc singulièrement agrandi par l'emploi des moyens mécaniques d'élévation des eaux, dont on va maintenant dire quelques mots.

Les machines élévatoires employées pour les distributions d'eau de quelque importance sont des pompes à pistons ou à plongeurs, aspirantes et foulantes, ou simplement foulantes quand la disposition des lieux le permet.

Ces pompes sont mises en mouvement par des machines à vapeur ou par des roues hydrauliques, les moulins à vent et les manéges n'étant employés que très-exceptionnellement et pour des appareils sans importance.

Les soupapes des pompes de distribution sont les organes les plus importants de ces appareils. On adopte presque toujours aujourd'hui les soupapes dites de Cornouailles, plus ou moins perfectionnées, ou bien des soupapes à clapets d'une bonne exécution. La condition essentielle à remplir est de donner aux ouvertures des soupapes et aux chapelles qui les renferment une section suffisante pour que l'eau n'y soit animée que d'une assez faible vitesse, 0m,40 à 0m,8 au plus par seconde. Quand ces organes sont bien construits, ils fonctionnent sans dérangement pendant extrêmement longtemps. On a calculé que les clapets des pompes de Toulouse se sont ouverts et fermés soixante-trois millions de fois sans nécessiter aucune réparation.

Dans les anciennes machines hydrauliques, quel que fût leur moteur, l'eau était élevée dans une tour voisine et reçue dans une cuvette de distribution, d'où partaient les tuyaux de conduites dans lesquels l'eau s'écoulait par l'action seule de la pesanteur. Les pompes actuelles sont mises directement en rapport avec les tuyaux, quelle que soit leur longueur. Des réservoirs d'air comprimé amortissent les chocs de la colonne liquide en mouvement, et détruisent les inconvénients que présentait, pour le mouvement régulier des pistons, l'inertie de l'énorme masse d'eau contenue dans une forte conduite d'une certaine longueur. Les châteaux d'eau remédiaient à cet inconvénient en substituant une colone assez courte et seulement égale à la hauteur verticale d'élévation de l'eau, à une colonne comprenant la distribution tout entière. Mais ils avaient l'inconvénient d'augmenter le travail du moteur en l'obligeant à élever tout le volume d'eau à la hauteur maximum, sans jamais profiter des économies résultant de prises faites sur la longueur de la conduite.

Quand on dispose d'une chute d'eau, l'emploi d'un moteur hydraulique convient parfaitement pour la mise en jeu des appareils élévatoires. L'économie considérable que présentent les moteurs hydrauliques leur assure la préférence toutes les fois que les localités se prêtent à leur installation. Il n'y a plus de discussion possible à cet égard, et nous voyons remplacer aujourd'hui par des roues hydrauliques la machine à vapeur qu'un enthousiasme irréfléchi avait fait substituer il y a vingt-cinq ans à l'ancienne machine de Marly. Selon la hauteur de chute et le volume d'eau disponible, on emploie les roues à la Poncelet, les roues de côte, les roues à auget en dessus, ou enfin les turbines. La description et la théorie de ces divers appa-

roils et des pompes se trouvent dans le *Dictionnaire*, et il serait inutile d'y revenir ici. On se bornera à indiquer (fig. 3501) l'une des dispositions les plus simples pour la mise en mouvement des pompes élévatoires. Les tuyaux de refoulement des deux pompes se réunissent dans un vaste réservoir d'air, placé en avant du plan de la coupe et que la figure ne représente pas, et sur lequel se branche la conduite d'ascension. L'emploi d'un balancier pour les machines un peu puissantes remplace avantageusement les arbres coudés si sujets à se briser, et surtout les systèmes d'engrenages plus ou moins compliqués que l'on employait souvent autrefois. Si la vitesse de la roue hydraulique ne pouvait pas être réglée convenablement pour le jeu des pompes, on prendrait le mouvement de la bielle sur un second arbre conduit par un engrenage de dimension appropriée à la vitesse à obtenir. Dans ce cas, on monte ordinairement deux boutons de manivelle à angle droit aux deux extrémités de cet arbre auxiliaire et on lui fait commander deux balanciers et quatre pompes pour obtenir une plus grande régularité de mouvement. Ces détails d'installation rentrent, du reste, dans des études de machines pures qu'il serait trop long de discuter ici d'une manière complète.

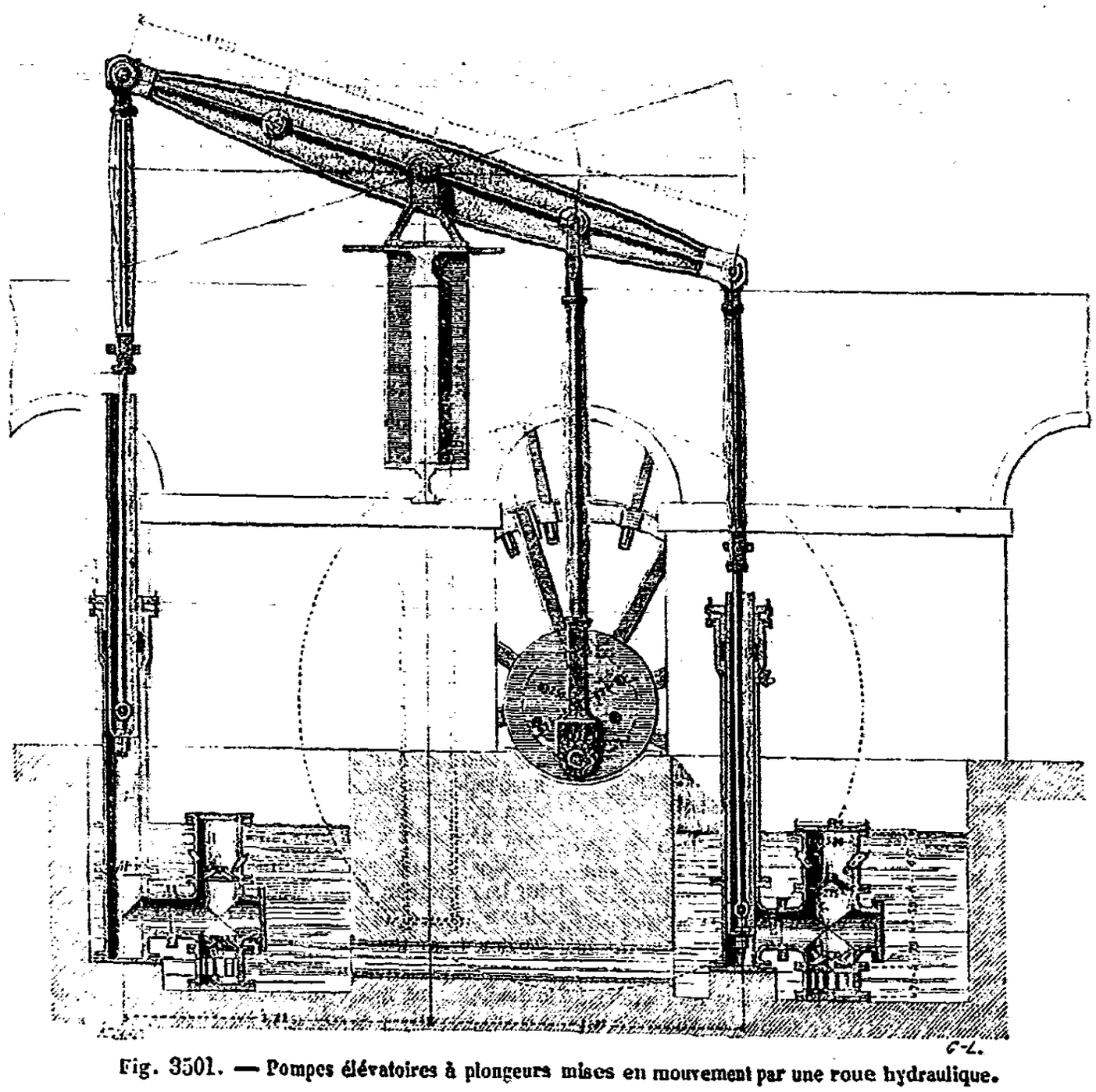


Fig. 3501. — Pompes élévatoires à plongeurs mises en mouvement par une roue hydraulique.

A défaut de moteurs hydrauliques, on emploie des machines à vapeur pour élever l'eau des villes.

Le développement donné à l'article MACHINES A VAPEUR nous dispense d'entrer dans aucun détail sur la construction de ces appareils considérés comme moteurs spéciaux de machines à élever l'eau. Nous dirons seulement que ces machines fonctionnent aujourd'hui avec une grande régularité, une grande économie de combustible, et que dans beaucoup de cas, malgré les frais annuels de leur entretien, elles fournissent l'eau à un prix beaucoup moins élevé que les aqueducs, quand on tient compte du capital énorme que nécessite leur construction. Quelques chiffres à cet égard ne seront pas sans intérêt.

On emploie pour élever l'eau des villes des machines de Cornouailles à simple effet, réglées par des cataractes, ou bien des machines à double effet et à volant, avec détente et condensation. Le premier système est à peu près exclusivement employé en Angleterre; le second paraît assez généralement préféré en France, par suite de quelques difficultés éprouvées dans la mise en marche des premières machines de Cornouailles montées dans quelques-unes de nos grandes villes. Ces deux classes de machines donnent, du reste, à peu près les mêmes résultats économiques quand elles sont également bien construites et bien conduites.

Les ingénieurs anglais les plus compétents, et notamment M Hocking, grand entrepreneur de machines du système Cornouailles pour l'approvisionnement des villes, admet comme résultat pratique qu'une machine de 250 chevaux élève à 100 pieds de hauteur 1,600,000 gallons d'eau par tonne de houille de qualité moyenne, valant, à Londres, 12 schellings, brûlée sur la grille de ses chaudières. Cette estimation revient à 1^{k},21 de

houille par heure et par force de cheval, mesuré en eau élevée. Cette consommation, d'après le même auteur, s'élèverait à 1k,5 pour une machine de 100 chevaux, et à près de 2 kilog. pour une machine de 25 chevaux.

En France, M. Farcot a construit plusieurs machines qui réalisent et au delà ces conditions. La machine établie aux ponts de Cé, pour l'alimentation de la ville d'Angers, par exemple, est verticale, à rotation, commandant directement par la tige même du piston à vapeur une seule pompe aspirante et foulante placée au-dessous du cylindre. Sa *puissance nominale* est de 45 chevaux pour une pression de 5 atmosphères dans les chaudières et la vitesse de 16 tours par minute. La consommation de houille *garantie* par le marché était de 2k,2 par heure et par *cheval utile mesuré en eau élevée*. Chaque hectogramme dépensé en moins devant donner lieu à une prime, des expériences prolongées pendant des mois entiers ont démontré que la consommation en houille anglaise ordinaire de Sunderland, telle que le commerce la fournit à Angers, était de 1k,228 à 1k,365, et en moyenne de un peu moins de 1k,3 par heure et par cheval mesuré, on le répète, en eau élevée. L'effet utile de l'appareil élévatoire dans cette machine est évalué de 0,83 à 0,86.

De semblables résultats sont bien dignes d'appeler l'attention et de faire comparer sérieusement les distributions par machines aux distributions par aqueducs de dérivation toutes les fois que les deux systèmes peuvent être mis en présence. Aussi, M. Lechâtelier, habile ingénieur des mines, a-t-il proposé d'alimenter Paris à l'aide de l'eau de Seine puisée au pont d'Ivry, filtrée et rafraîchie dans de vastes réservoirs souterrains, puis élevée à l'aide de 40 machines de 100 chevaux chacune. Il estime que les machines brûleraient par heure et par force de cheval 1k,5 de houille à 28 fr. la tonne. Les chiffres qui précèdent montrent que les données de M. Lechâtelier sont loin d'être exagérées et que l'on peut dès lors admettre avec confiance le chiffre de 4,200,000 fr. auquel il arrive pour la dépense annuelle de ce vaste appareil. La dépense d'installation serait de 8 millions environ.

Ce système éviterait toute incertitude sur la quantité et la qualité des eaux destinées à l'approvisionnement de Paris : il n'exposerait pas la capitale à manquer d'eau par la rupture de l'aqueduc en cas de guerre ; enfin il donnerait l'eau à 5 ou 6 centimes, et à moins encore s'il ne fallait pas la filtrer ; tandis que la dérivation des eaux de la Champagne avec les énormes dépenses que nécessite son établissement ferait revenir le mètre cube d'eau à 9 centimes au moins.

S'il paraît réellement utile d'exclure l'eau de Seine comme boisson des Parisiens, que l'on réduise au moins les travaux de dérivation des sources éloignées aux exigences du service des maisons particulières, ce qui n'entraînerait qu'une dépense relativement modérée. Les machines à vapeur ou les moteurs hydrauliques fourniront l'eau nécessaire à l'ornement et au nettoyage de la ville à un prix moitié moins élevé que ne pourrait le faire un aqueduc de dérivation.

§ V. DISTRIBUTION DANS L'INTÉRIEUR DES VILLES.

Les explications données dans les paragraphes précédents ont montré comment il convient de choisir les eaux destinées aux divers usages de l'économie domestique ou industrielle, d'apprécier le volume nécessaire à une population donnée, d'obtenir ce volume d'eau et enfin comment on peut le conduire par un aqueduc ou l'élever par des machines aux points culminants de la ville. Il reste à indiquer comment on distribue et on conduit les eaux dans l'intérieur de la ville sur tous les points où leur présence est nécessaire.

Un système de distribution d'eau constitue un appareil compliqué dont les principaux éléments et les organes essentiels doivent être indiqués successivement.

Réservoirs. — Les eaux élevées par des machines ou amenées par des aqueducs sont habituellement versées dans des réservoirs situés au point le plus élevé du périmètre à desservir par la distribution, afin que le liquide se rende, par l'action seule de la pesanteur, dans toutes les directions qu'il doit atteindre.

Les réservoirs servent à compenser les irrégularités de l'approvisionnement et de la consommation ; ils accumulent pendant la nuit ou pendant les interruptions du service les eaux amenées par les aqueducs ou élevées par les machines. Ils fournissent au besoin en cas d'incendie un volume d'eau qui peut être supérieur à celui que fournissent régulièrement les machines ou la source de dérivation, etc. Leur capacité doit donc être déterminée dans chaque cas particulier d'après les éventualités auxquelles ils ont à répondre et l'on ne saurait donner de règle fixe à cet égard.

Les réservoirs sont construits en tôle ou en maçonnerie. Les premiers sont habituellement réservés pour les volumes peu considérables, à moins que des difficultés particulières de fondation ne les rendent plus économiques que ceux en maçonnerie qui sont généralement employés dans les travaux un peu importants.

Les réservoirs en tôle sont ordinairement cylindriques. On peut les exécuter en tôle assez mince quand leurs dimensions ne sont pas très-considérables. Un réservoir de 8 ou 10 mètres de circonférence et de 3 ou 4 mètres de hauteur peut se composer, par exemple, de tôle de 2 millimètres dans le premier tiers de sa hauteur, de 2 millimètres et demi au milieu, et de 3 millimètres dans sa partie inférieure. Le fond est ordinairement plat. S'il reposait sur une surface plane et résistante, il pourrait être fort mince comme on le fait quelquefois par économie. Mais il vaut mieux lui donner une certaine épaisseur et le poser sur des poutrelles ou sur des murs de refend présentant un écartement suffisant pour que l'on puisse visiter le dessous du réservoir, vérifier et réparer les fuites, s'il s'en produit, et entretenir la peinture pour empêcher la rouille d'attaquer le métal. Si le réservoir n'est pas placé dans une construction en maçonnerie, il faut le recouvrir d'un toit et l'entourer d'une enveloppe en matières peu conductrices, afin de conserver à l'eau une température plus uniforme.

Les grands réservoirs sont ordinairement construits en maçonnerie comme on l'a déjà dit. Il convient de les recouvrir d'une voûte ou au moins d'une toiture. Les réservoirs établis à ciel ouvert gèlent en hiver, reçoivent les poussières et les impuretés que le vent entraîne toujours, et se remplissent en été de plantes et d'animaux aquatiques qui altèrent la qualité de l'eau. La forme des réservoirs dépend essentiellement de l'emplacement dont on dispose, mais les parties essentielles de leur construction sont toujours à peu près les mêmes. Les figures 3502, 3503 et 3504 indiquent la disposition du réservoir d'Amiens, construit d'après les projets de M. Mary. Le fond et les parois des réservoirs sont ordinairement en béton, recouvert d'un enduit de ciment hydraulique. Le fond a 0m,30 à 0m,70, selon la résistance du sol et la hauteur de l'eau qui varie habituellement de 2 à 5 mètres. L'épaisseur des murs d'enceinte se calcule suivant les règles habituelles de l'art de bâtir ; elle est à peu près égale en moyenne aux 2/3 de la hauteur d'eau à supporter, si les murs sont isolés et d'une certaine longueur. Quant au mode de recouvrement, le meilleur est assurément l'emploi de petites voûtes cylindriques légères, supportées par des rangées d'arcades reposant elles-mêmes sur de petits piliers isolés comme l'indiquent les fig. 3503 et 3504.

L'un des réservoirs les plus remarquables que l'on

puisse citer est celui qui vient d'être construit sur les hauteurs de Passy. Il occupe 6,000 mètres environ de superficie partagée en trois bassins contenant ensemble 25,200 mètres cubes d'eau, savoir :

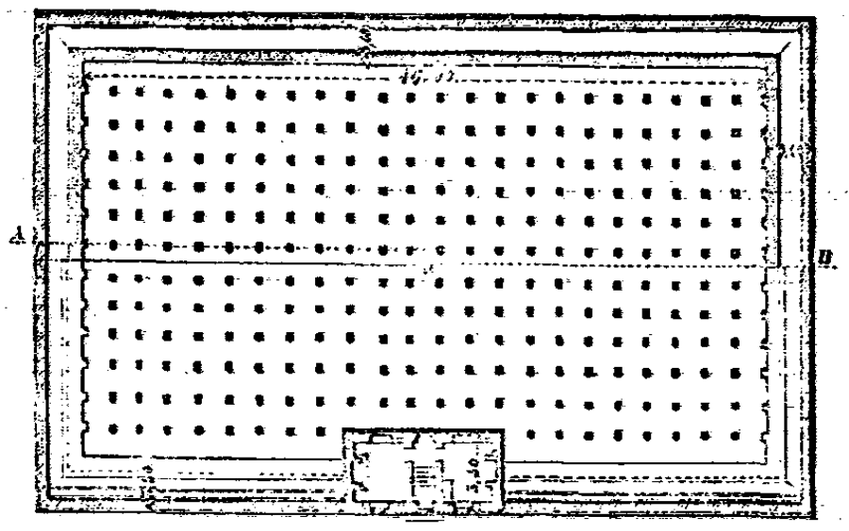


Fig. 3502. — Plan du réservoir de distribution d'Amiens. (Échelle de 0m,0013 pour 1 mètre.)

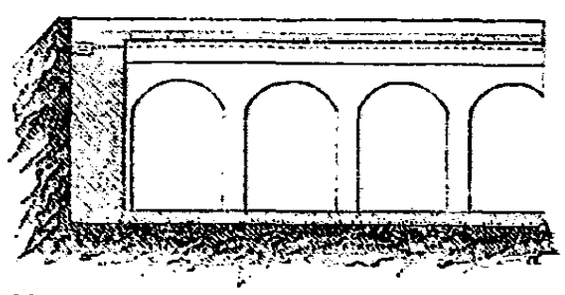


Fig. 3503. — Coupe en long, suivant B O du plan fig. 2502, d'une partie du réservoir d'Amiens. (Échelle de 0m,005 pour 1 mètre.)

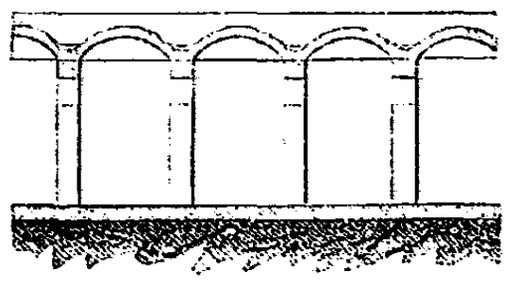


Fig. 3504. — Coupe en travers d'une partie du réservoir d'Amiens. (Échelle de 0m,005 pour 1 mètre.)

Bassin de Réserve n° 5.	3,900mc
Bassin de Villejust inférieur n° 3.	10,000
Bassin du Bel-Air, id. n° 1. . .	11,300
	25,200

Des piliers élevés sur le radier des deux compartiments principaux, n° 1 et n° 3, portent, au moyen d'arcs de 3m,20 d'ouverture, une voûte en meulière et ciment de 0m,33 d'épaisseur qui forme le fond d'un second étage de bassins cubant 11,900 mètres cubes, savoir ;

Bassin du Bel-Air, supérieur n° 2.	5,700mc
Bassin de Villejust, id. n° 4. . . .	6,200
	11,900

La capacité totale du Réservoir est de 37,100 mètres cubes, le plan d'eau des bassins inférieurs est à la cote 72 mètres au-dessus du niveau de la mer, et celui des bassins supérieurs à 75m,33.

Les tuyaux de conduites débouchent ordinairement au fond des réservoirs, ainsi que les tuyaux de vidanges. S'il s'agit de petits tuyaux, de simples robinets placés à l'extérieur suffisent à toutes les manœuvres. Mais aussitôt que les conduites ont un diamètre un peu considérable, ce mode de fermeture ne serait plus admissible. L'ouverture évasée de chaque tuyau est alors garnie d'une soupape de fond (fig. 3505) que l'on manœuvre de la surface supérieure du réservoir à l'aide d'une tige verticale en fer fixée sur la tête de la vis qui soulève le clapet dont la figure montre nettement la coupe. La tige cylindrique que l'on voit au-dessous de ce clapet lui sert de guide et l'oblige à se poser exactement sur son siége quand on fait redescendre la vis par un mouvement de rotation convenable.

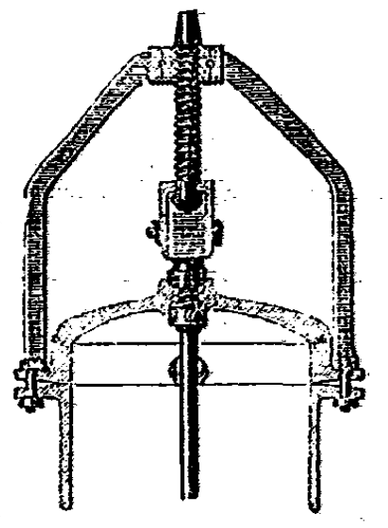


Fig. 3505. — Soupape de fond.

Tracé et diamètres des conduites. — L'eau amenée aux réservoirs, il ne reste plus qu'à la distribuer dans la ville, à l'aide des moyens et appareils que l'on va faire connaître.

La première question à résoudre est de déterminer la direction des tuyaux à poser dans la ville et le volume d'eau que doit porter chacun d'eux.

La direction des tuyaux est commandée par les circonstances locales. On s'arrange seulement autant que possible de manière à faire passer les conduites maîtresses près des points culminants et près des bornes-fontaines. On doit d'ailleurs faire communiquer entre elles les conduites les plus importantes par des conduites secondaires, afin qu'un accident survenu à une de ces artères principales ne compromette pas le service sur toute sa longueur.

En se reportant à ce qui a été dit paragraphe 2, on déterminera facilement le volume d'eau que doit porter dans ses différents points la conduite que l'on considère. On connaît d'ailleurs le nivellement complet de la conduite et la hauteur du réservoir ou du bassin de distribution qui l'alimente. On a donc tous les éléments nécessaires pour déterminer le diamètre à donner aux différentes parties de cette conduite.

On sait en effet qu'en désignant par I la pente par mètre d'une conduite, par D son diamètre intérieur, par v la vitesse de l'eau qui la traverse, on a, d'après M. de Prony, entre ces diverses quantités, la relation :

$$\frac{1}{4} DI = 0{,}0000173\, v + 0{,}000318\, v^2;$$

$$\text{d'où } v = \sqrt{0{,}0062 + 2871{,}41 \frac{D}{4} I} - 0{,}025.$$

$$\text{D'ailleurs le débit } Q = \frac{\pi D^2}{4} V.$$

On a donc deux équations entre le débit, le diamètre, la pente par mètre et la vitesse, et par conséquent, toutes les fois que l'on se donnera deux de ces quantités, on pourra calculer les deux autres.

Les ingénieurs avaient reconnu depuis longtemps que ces formules ne représentaient pas exactement les faits. M. Darcy a démontré en effet que les deux coefficients numériques qui précèdent ne sont pas constants, comme on le croyait. Ils varient avec l'état de la surface interne du tuyau et avec son diamètre. Pour un même état de la surface, le coefficient α de v dans l'expression ci-dessus varie avec le diamètre, de telle sorte que l'on dit $\alpha = \alpha + \frac{\beta}{D}$. Soit que l'on adopte, du

EAUX.

reste, les anciens coefficients de Prony ou les coefficients variables de M. Darcy, les tâtonnements que nécessite l'application des formules précédentes seraient toujours extrêmement longs. Pour les abréger, M. de Prony a dressé des tables de la valeur de $\frac{1}{4}$ D I pour les différentes valeurs de v. Ces tables, déjà fort utiles, sont cependant encore d'un usage assez pénible. Pour abréger davantage les calculs, plusieurs ingénieurs, et entre autres MM. Mary, Darcy, etc., ont remarqué qu'en pratique, dans une même ville, on n'employait qu'un nombre assez restreint de tuyaux, de sorte que D n'avait qu'un nombre déterminé de valeurs, et alors ils ont pu dresser des tables donnant pour chaque diamètre de tuyaux la vitesse par seconde et le volume débité correspondant à une perte de charge déterminée. Ces tables, qui n'occuperaient pas moins d'une vingtaine de pages, sont impossibles à reproduire ici; mais il était nécessaire de signaler leur existence aux personnes qui pourraient avoir à se servir des formules qui précèdent.

Ces indications générales sur la détermination du tracé et du diamètre des conduites suffisent pour indiquer la marche à suivre dans cette partie du travail de distribution, et nous pouvons passer à la description de ces ouvrages.

Nature des tuyaux. — Les tuyaux employés pour les distributions d'eau sont de diverses espèces, que l'on va énumérer rapidement.

Les tuyaux en fonte sont les plus employés dans les villes pour les conduites et branchements principaux.

Les figures 3506 et 3507 donnent les proportions des

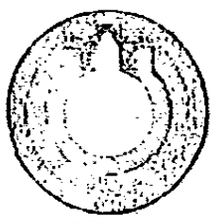


Fig. 3507. — Coupe en travers et vue du bouchon d'attente du tuyau fig. 2006.

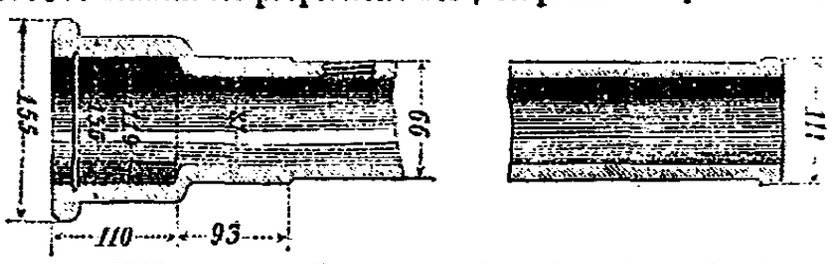


Fig. 3506. — Coupe d'un tuyau en fonte de 0m,081 de diamètre intérieur à cordon et emboîtement. (Échelle de 0m,010 pour 1 mètre.)

tuyaux en fonte de 81 millimètres de diamètre adoptés par le service municipal de Paris, et, à son exemple, par presque toutes les villes de France. La longueur de ces tuyaux varie de 2 mètres à 2 mètres 50. La pose des tuyaux à cordon et emboîtement est extrêmement simple et donne aux joints une étanchéité parfaite. Les tranchées qui doivent recevoir les tuyaux ont ordinairement 1 mètre 40 de profondeur. On les fait assez larges pour que les ouvriers puissent y descendre. La petite extrémité de chaque tuyau est introduite dans l'emboîtement du tuyau précédent. On introduit alors de force, avec un ciseau à mater, de la corde goudronnée dans l'espace annulaire qui existe entre les deux tuyaux jusqu'à 4 ou 5 centimètres de l'extrémité. On pose alors un boudin d'argile sur l'ouverture de cet espace annulaire, et on y coule du plomb fondu bien chaud. Lorsque le plomb est figé, on le matte fortement pour compléter l'opération. La petite gorge que l'on voit sur la figure à l'intérieur de l'emboîtement empêche cette bague de plomb de céder à la pression de l'eau qui tendrait à la faire sortir.

On a figuré sur le tuyau, figures 3506 et 3507, un taraudage et un bouchon à vis en métal fusible, destiné à s'enlever facilement au moment où l'on veut faire une prise sur la conduite. Cette précaution évite de percer le tuyau en place, opération toujours un peu difficile, de faire un joint avec collier brisé, etc. Cependant, beaucoup de tuyaux n'offrent pas cette disposition particulière.

Les tuyaux ainsi disposés sont parfaitement résistants et peuvent éprouver sans altération les petits mouvements d'allongement ou de raccourcissement que les variations de température tendent à leur faire éprouver. Mais le démontage d'une pareille conduite est à peu près impossible. En chauffant le tuyau pour fondre le plomb, on le fait souvent éclater, et le plus simple est presque toujours de couper au burin et de briser le tuyau que l'on veut enlever pour introduire dans la conduite un branchement à tubulure, un robinet ou toute autre partie nouvelle. Pour éviter ces difficultés, il convient de mettre de place en place dans la conduite un tuyau à bride (fig. 3508) entre un tuyau à bride et

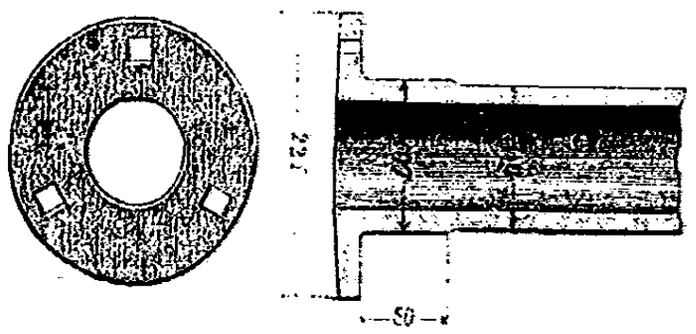


Fig. 3508. — Tête de tuyau à bride en fonte.

cordon et un autre tuyau à bride et emboîtement. Le tuyau à deux brides est réuni aux tuyaux précédents par des boulons, qu'il suffit de dévisser ou de couper quand on veut enlever cette partie de la conduite. Il est prudent de placer de pareils tuyaux à la traversée des rues et dans tous les points où l'on peut supposer qu'il sera nécessaire de mettre plus tard de nouvelles pièces de fontainerie. Ainsi que l'indique la figure, les brides présentent une surface un peu conique; on interpose une rondelle de plomb entre les deux bouts du tuyau, et on la matte fortement lorsque les boulons sont serrés. Sans la forme donnée aux brides, le mattage du plomb n'aurait d'autre effet que de le faire pénétrer dans l'intérieur du tuyau. Les anciennes conduites en fonte étaient entièrement formées de tuyaux à brides. Ces lignes rigides ne pouvaient céder qu'en se disloquant aux efforts de dilatation et de contraction; aussi les fuites se produisaient-elles fréquemment. On n'emploie plus les tuyaux à brides que dans les cas exceptionnels dont nous parlons, où ils sont sans aucun inconvénient.

Pour raccorder deux parties de tuyau qui ont été coupées, ou deux bouts de tuyaux de diamètres différents, on se sert de manchons. Ce sont de petits tuyaux présentant la même disposition à leurs deux extrémités que l'emboîtement des tuyaux ordinaires. Quelquefois les manchons sont composés de deux parties, ou coquilles, qui se placent l'une au-dessus et l'autre au-dessous du tuyau à raccorder. On réunit les deux parties du manchon par des boulons, et on fait le joint comme de coutume. Le raccordement de deux conduites importantes se fait avec un tuyau garni d'une tubulure latérale, ou bien avec des tuyaux bifurqués dits *à culotte*.

Les courbes de grand rayon des conduites peuvent se faire avec des tuyaux droits que l'on incline légèrement les uns par rapport aux autres. Pour les courbes de petit rayon, on a des tuyaux courbes comprenant l'angle que l'on veut obtenir.

Le tableau suivant indique les dimensions et les poids des divers tuyaux de fonte employés à Paris. Ces proportions consacrées par une longue expérience sont utiles à faire connaître (Voy. la fig. 3506).

BRIDE			FILET		CORDON au petit bout.		POIDS	
Nombre de trous.	Épaisseur à la jonction du tuyau.	Fruit.	Saillie sur le tuyau.	Longueur.	Saillie sur le tuyau.	Longueur.	d'un tuyau à emboîtement et cordon.	d'un mètre de conduite.
	m	m	m	m	m	m	k.	k.
3	0,020	0,003	0,003	0,030	0,005	0,015	32	16
»	»	0,004	0,004	»	»	0,016	48	21
4	»	»	»	»	»	»	68	30
5	0,021 1/2	0,005	0,005	»	»	0,020	85	38
6	0,022	»	»	»	»	0,024	118	47
»	0,023	»	»	»	»	0,028	144	57
»	0,024	»	»	»	»	0,032	170	68
»	»	»	»	»	»	»	206	82
8	0,024 1/2	»	»	»	»	0,034	264	105
»	»	»	»	»	»	»	295	118
»	0,025	»	»	»	»	0,036	329	131
9	»	»	»	»	»	»	388	156
10	0,025 1/2	»	»	»	0,008	»	450	180
12	0,026	»	»	»	»	»	519	209
»	»	»	»	»	»	»	708	283

DIAMÈTRE		EMBOITEMENT			LONGUEUR DES TUYAUX A		ÉPAISSEUR	DIAMÈTRE			
intérieur.	extérieur.	Longueur.	Épaisseur.		emboîtement et cordon, emboîtement et bride.	à bride et cordon.	des tuyaux.	intérieur.	extérieur.	du cordon.	intérieur.
m	m	m	m		m	m	m	m	m	m	m
0,000	0,078	0,10	0,012		2,00	»	0,009	0,073	0,099	0,025	0,106
0,031	0,099	0,11	0,013		2,36	2,25	0,009	0,099	0,126	0,016	0,119
0,108	0,126	0,11	0,014		ht.	ht.	0,010	0,126	»	»	0,148
0,135	0,155	0,14	0,015		2,64	2,50	0,010 1/2	0,155	0,183	0,020	0,173
0,162	0,183	»	0,015 1/2		»	»	0,010	0,183	0,212	0,024	0,203
0,190	0,212	»	0,016		»	»	0,011	0,212	0,230	0,028	0,232
0,216	0,230	»	0,016 1/2		»	»	0,011 1/2	0,230	0,274	0,032	0,250
0,250	0,274	»	0,017		»	»	0,012	0,274	0,326	»	0,296
0,300	0,326	»	0,018		»	»	0,013	0,326	0,352	0,034	0,348
0,325	0,352	»	0,018 1/2		»	»	0,013 1/2	0,352	0,378	»	0,374
0,350	0,378	»	0,019		»	»	0,014	0,378	0,429	0,036	0,400
0,400	0,429	»	0,019 1/2		»	»	0,014 1/2	0,429	0,480	0,038	0,453
0,450	0,480	»	0,020		»	»	0,015	0,480	0,532	0,040	0,504
0,500	0,532	»	0,021		»	»	0,016	0,532	0,630	»	0,556
0,600	0,630	»	0,023		»	»	0,018	0,630	»	»	0,660

Les tuyaux en fonte doivent toujours être essayés à la presse hydraulique avant leur emploi. Tous ceux qui se fondent ou présentent des fuites sensibles sont refusés. A Paris, la pression d'épreuve est de 10 atmosphères, soit de trois fois environ la pression que les tuyaux supportent en charge. Il se forme dans certains tuyaux en fonte des tubercules ferrugineux très-durs, dont l'origine n'est pas encore bien connue. On évite cet inconvénient en enduisant à chaud l'intérieur du tuyau d'un mélange d'huile grasse, de cire et de suif. Cette préparation peu coûteuse est toujours fort utile à la bonne conservation des tuyaux.

Les tuyaux en tôle, recouverts intérieurement et extérieurement d'un enduit bitumineux inventés par M. Chameroy, sont fréquemment employés à Paris et dans les principales villes de France. Nous n'avons rien à ajouter aux indications fournies à ce sujet à l'article TUYAU. Le tableau page 200 donne le prix d'un mètre courant de conduite posée en terre à Paris. Ces prix varient nécessairement avec la valeur des matériaux et de la main-d'œuvre ; mais ce tableau fournit en peu de lignes beaucoup de renseignements utiles, ce qui nous décide à le reproduire.

Les tuyaux en fonte et en tôle sont les seules matières employées pour les grosses conduites. Mais pour les petits diamètres on emploie des tuyaux de diverses autres matières. Les tuyaux en plomb sont très-fréquemment employés. Les tuyaux en tôle zinguée, ceux en fer étiré commencent à devenir pour les conduites d'eau d'un usage assez général.

Il n'y a rien à ajouter à ce qui a été dit au mot TUYAU sur les différentes matières employées à ce genre de construction ; on doit seulement mentionner les tuyaux en papier bitumé que l'on vend à très-bas prix, mais dont une assez longue expérience n'a pas encore fait connaître la valeur.

Robinets. — Un système de distribution comporte un grand nombre de robinets, dont les fonctions sont assez différentes. Les uns servent à isoler une partie de conduite des autres parties, ce sont des robinets d'*arrêt*. On doit en placer à l'origine de tous les branchements secondaires pour que le service de la conduite maîtresse ne soit pas interrompu par les accidents des lignes secondaires. D'autres robinets sont placés aux points les plus bas des conduites pour les vider, ce sont les robinets de vidange. Enfin on place des robinets de service à tous les points où l'eau s'écoule à l'air libre.

La disposition et le volume des robinets dépend de leur destination. Les robinets d'arrêt doivent être de la grosseur de la conduite sur laquelle ils sont montés. Les robinets de service et de vidange sont proportionnés au débit qu'ils doivent fournir.

Pour les petits tuyaux, jusqu'à 0m,06, on peut employer des robinets à boisseau ordinaire que tout le monde connaît. Ces robinets sont placés, dans les travaux de distribution, à l'origine de tous les branchements ; on les enveloppe en général de petits murs en briques surmontés d'une cheminée en bois fermée par un tampon de fonte (fig. 3509) qu'on ouvre avec une clef. C'est ce qu'on appelle un robinet sous bouche à clef. On tourne le boisseau avec une tige en fer dont la douille carrée embrasse la tête de ce boisseau.

Ces robinets à boisseau, tels qu'on les construit habituellement, présentent plusieurs inconvénients. Quand ils sont longtemps sans servir, ils deviennent très-durs, et l'on est obligé pour les graisser et les roder de desserrer la clavette placée *au-dessous* du boisseau, ce qui nécessite une fouille de la profondeur de la bouche et assez large pour qu'un homme puisse y aller travailler ; d'un autre côté, si le robinet fuit en dessous, on s'en aperçoit difficilement, et l'eau peut s'échapper dans la chambre du robinet, causer des dommages et produire dans tous les cas des pertes inutiles. On emploie en Angleterre des robinets souvent entièrement en fonte (fig. 3510) et dont la disposition me paraît bien

Prix d'un mètre linéaire de conduite de fonte posée en terre.

DIAMÈTRE DES CONDUITES.

DÉTAIL POUR UN TUYAU.	Prix élémentaire.	0m,060		0,081		0,108		0,135		0,162		0,189		0,216		0,250		0,300		0,325		0,350		0,400		0,450		0,500		0,600	
		quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.
Déblocage et reblocage du pavé, y compris un pavé neuf par mètre carré	fr. 0,97 0,45	1m²,64 0m²,82	fr. 1,59 0,36	» 0m²,81	0,10 0,23	» 0m²,11	0,36 0,07	0,93 »	0,36 0,07	» 0b,50	0,32	0,13 0,80 0,60	0,13 0,80 0,60	0,25 7,02	0,25 12,00	50,00	0,25 16,80	70,00	0,25	100,»	0,25 24,00	120,»	0,25	130,»	0,25	150,»	0,25	170,40	0,25
Débla de la tranchée	0,45	0m²,82	0,36	0m²,81	0,23	0m²,11	0,14	0,36	0,07	0b,50	0,32	0,80	0,60	7,02	12,00	50,00	16,80	70,00	2,25	100,»	24,00	120,»	2,50	130,»	2,50	150,»	2,50	170,40	2,50
Dressement du fond et façon des niches	» 0,38	» 0m²,81	» 0,10 0,23	» 0m²,81	» 0,10 0,23	» 0m²,11	» 0,36 0,07	» 0,93 »	» 0,36 0,07	» 0b,50	» 0,32	» 0,13 0,80 0,60	» 0,13 0,80 0,60	» 0,25 7,02	» 0,25 12,00	» 50,00	» 0,25 16,80	» 70,00	» 2,25	» 100,»	» 24,00	» 120,»	» 2,50	» 130,»	» 2,50	» 150,»	» 2,50	» 170,40	» 2,50
Remblai pilonné	0,38	0m²,81	0,23	0m²,81	0,23	0m²,11	0,14	0,36	0,07	0b,50	0,32	0,13 0,80 0,60	0,13 0,80 0,60	0,25 7,02	0,25 12,00	50,00	0,25 16,80	70,00	2,25	100,»	24,00	120,»	2,50	130,»	2,50	150,»	2,50	170,40	2,50
Enlèvement des terres excédantes	1,30	2m²,11	0,14	0,14	0,16	0,16	0,21	0,33	0,25	1,10	0,95	0,42 2,70 »	0,50 1,75 0,80	0,25 24,00	0,25 32,69	2,50	0,25 23,89	2,25	0,25 10,61	2,50	0,25 12,84	2,50	0,25 14,00	2,50	0,25 15,42	2,50	0,25 17,83	2,50	0,25 21,07	2,50
Essai du tuyau et immersion dans l'huile, y compris fourniture d'huile et combustible	0,40	0,93	0,36 0,07	1,60 »	0,60 0,10	0,76 »	0,70 0,14	2,50 »	1,00 0,20	2,95 »	1,10	0,50 2,67 1,25	0,66 2,67 1,25	0,25 40,80	0,25 52,67	2,50	1,85 0,42	4,62 »	2,25 0,53	5,74 »	2,50	6,25	2,50	7,00	2,50	7,50	2,50	8,50	2,50
Transport à pied d'œuvre	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1,70	2,50	2,50	»	2,50	»	2,50	»	2,50	»	2,50	»	2,50	»	2,50	»	2,50
Descente dans la tranchée et pose	0,65	0b,50	0,32	0,65	0,42	0,75	0,49	1,85	0,42	1,10	0,95	0,84 3,31 1,45	0,84 3,31 1,45	0,25 50,40	0,25 64,06	2,50	0,25 2,65	2,50	0,25 2,65	2,50	0,25 2,65	2,50	0,25 2,65	2,50	0,25 2,65	2,50	0,25 2,65	2,50	0,25 2,65	2,50
Corde neuve goudronnée pour joints	1,20 0,55	1b,11 18,33 »	0,13 0,80 0,60	0,20 1,80 »	0,24 1,17 0,80	0,35 2,23 »	0,30 1,46 0,70	0,42 2,70 »	0,50 1,75 0,80	0,45 3,15 »	0,40	1,00 2,67 1,25	1,00 2,67 1,25	0,25 210,»	0,25 262,50	3,25	0,25 5,32 »	5,74 »	0,25 6,25 »	6,45 »	0,25 7,00 »	7,25 »	0,25 7,75 »	7,75 »	0,25 8,50 »	8,50 »	0,25 9,50 »	9,50 »	0,25 11,00 »	11,00 »
Plomb pour joints	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Façon et garantie des joints	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Eclairage et gardiennage des tranchées	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Fonte pour tuyaux	0,24	331,00	7,02	50,00	12,00	70,00	16,80	100,»	24,00	120,»	28,80	145,»	33,60	210,»	262,50	325,»	66,30	412,50	78,00	500,»	96,00	600,»	108,»	650,»	120,»	750,»	132,»	850,»	156,»	1100,»
Prix total par tuyau		2m,00	12,77	2,25	18,27	2,25	23,89	2,50	32,69	2,50	38,55	2,50	44,58	2,50	52,67	2,50	64,06	2,50	79,12	2,50	88,77	2,50	100,»	2,50	110,»	2,50	130,»	2,50	150,»	2,50	200,92
Longueur utile des tuyaux																														
Prix d'un mètre linéaire de conduite		2m,00	6,38	2,25	8,08	2,25	10,61	2,50	12,84	2,50	15,42	2,50	17,83	2,50	21,07	2,50	25,63	2,50	31,77	2,50	35,13	2,50	40,00	2,50	44,00	2,50	52,00	2,50	60,12	2,50	80,37

meilleure. La chambre du boisseau est entièrement fermée à sa partie inférieure.

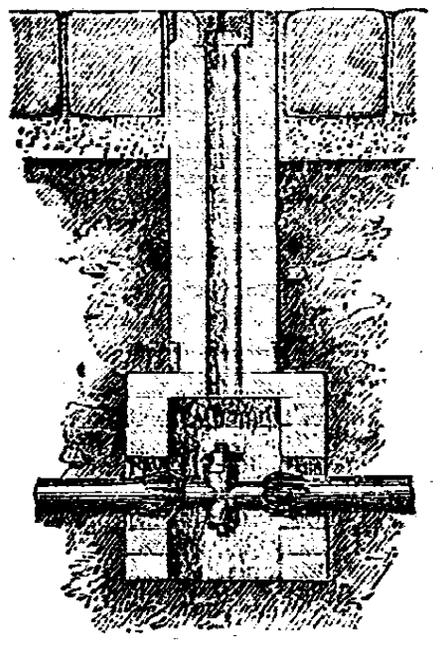


Fig. 3509. — Robinet sous bouche à clef.

Le serrage du boisseau et son graissage sont obtenus à l'aide d'une boîte à étoupe

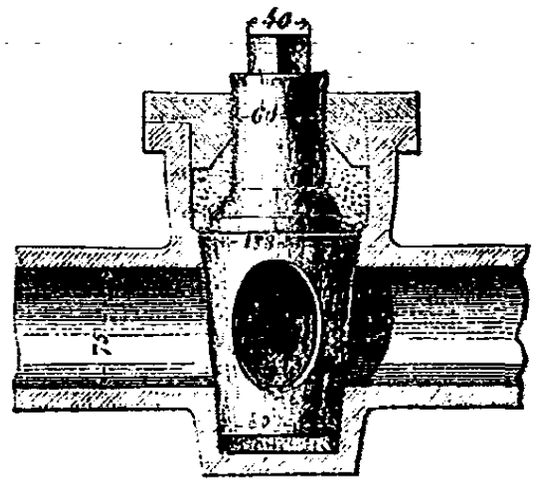


Fig. 3510. — Robinet à boisseau avec boîte à étoupe.

placée au-dessus. On peut donc, avec des clefs convenables, serrer ou desserrer le boisseau, et même l'enlever complétement pour le visiter par l'ouverture de la bouche à clef. La fouille ne devient nécessaire que pour le remplacement du corps du robinet tout entier. J'ai vu des robinets de cette espèce sur des tuyaux de 0m,10 qui fonctionnent encore très-facilement.

Pour les tuyaux d'un diamètre supérieur à ceux dont nous parlons, on est obligé d'avoir recours à des appareils de fermeture plus compliqués. L'un des meilleurs est le robinet-vanne (fig. 3511). Ainsi que son nom l'indique, la pièce essentielle de cet appareil est une véritable vanne, en forme de coin très-allongé, que l'on

élève et que l'on abaisse du dehors à l'aide d'une vis. Pour fermer le tuyau on abaisse la vis et l'on amène la vanne dans la position indiquée dans la figure. Pour ouvrir le tuyau, on tourne la vis en sens convenable pour relever la vanne et l'amener dans la chambre placée au-dessus du tuyau. Cet appareil fonctionne parfaitement bien, arrête l'eau d'une manière complète, quel que soit le sens dans lequel s'exerce la pression, mais il exige une assez grande hauteur libre, et son prix est excessivement élevé, en raison des soins que nécessite l'ajustage et de la quantité considérable de bronze qu'il renferme.

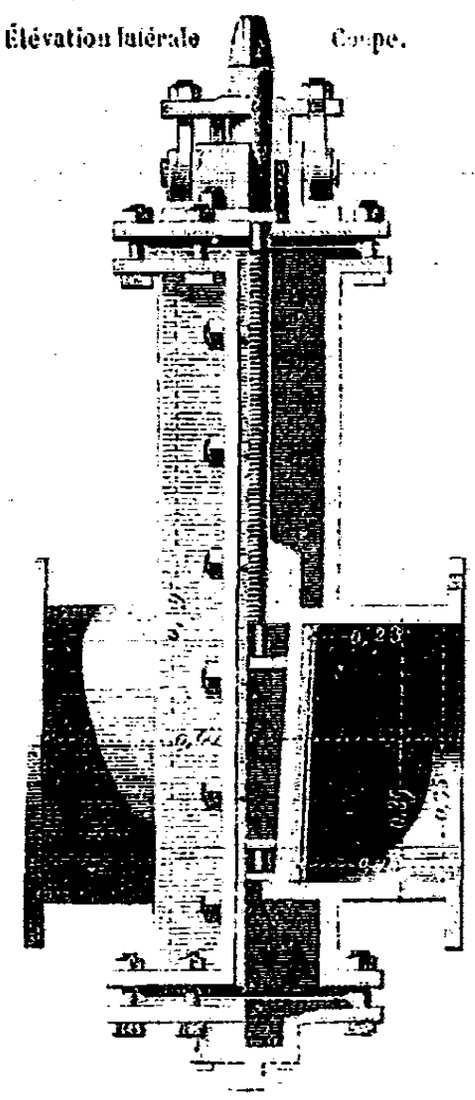


Fig. 3511. — Robinet-vanne de 0m,35.

On a fait beaucoup d'essais pour remplacer le robinet-vanne par un appareil plus simple et *moins coûteux*. Pour les grands diamètres, on n'est pas encore arrivé, à ma connaissance, à un résultat tout à fait satisfaisant. Pour les diamètres moyens, on emploie assez souvent, depuis quelque temps, des robinets à clapet (*fig.* 3512) dits système Cadet. On ouvre ces robinets en tournant la vis de manière à soulever le clapet; on les ferme en tournant en sens contraire pour appliquer le clapet sur son siége. Ces robinets fonctionnent très-bien quand la pression s'exerce sur le clapet. Ils seraient moins satisfaisants si la pression s'exerçait en sens inverse. Malgré ces inconvénients, leur bas prix leur assure un assez grand succès : un robinet pour conduite de 80 millimètres ne coûte, en effet, dans ce système, qu'une quarantaine de francs.

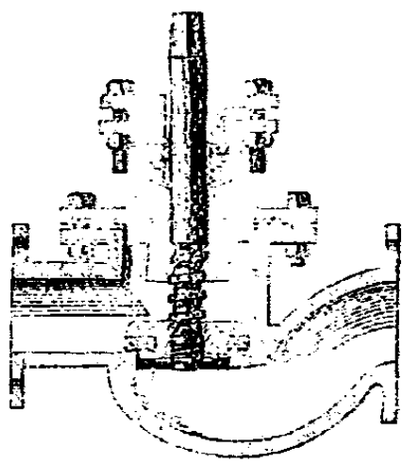
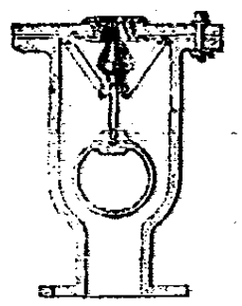


Fig. 3512. — Robinet à clapet. (Échelle de 0m,1 pour un mètre.)

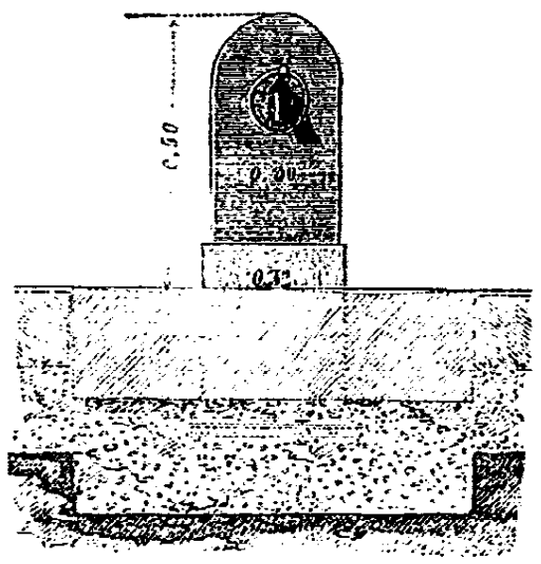
Ventouses. — Lorsqu'on vide un tuyau de conduite, en ouvrant le robinet de décharge situé à sa partie inférieure, il faut laisser rentrer l'air à la partie supérieure, et réciproquement, quand le tuyau se remplit, il faut que l'air s'échappe par les points culminants de la conduite. Un petit robinet que l'on manœuvre à la main, en temps opportun, remplit parfaitement ce double office; mais comme il est difficile de surveiller le robinet de décharge et le robinet d'évent, s'ils sont éloignés, on a construit des appareils spécieux pour assurer automatiquement la sortie et la rentrée de l'air (fig. 3513).


F. 3513.—Ventouse.

Cet appareil, que l'on nomme ventouse, se compose d'un vase cylindrique en fonte boulonné verticalement au point culminant de la conduite. Ce vase est fermé par une plaque en fonte percée au centre d'une ouverture garnie d'un siége de soupape en bronze. Un flotteur sphérique assez gros supporte, à l'aide d'une tige guidée par une bride, la soupape conique destinée à fermer l'ouverture dont on vient de parler. Le temps que la conduite est en charge l'eau soulève le flotteur et la soupape est tenue fermée. Aussitôt que le robinet de décharge est ouvert, le flotteur descend et la soupape s'ouvre à son tour.

Appareils d'écoulement. — Il n'y a rien à dire ici des robinets d'écoulement placés dans les maisons, leur construction est connue de tout le monde. La disposition des fontaines monumentales varie nécessairement pour chacune d'elles avec l'effet à produire, et nous ne pouvons dès lors donner à cet égard aucun renseignement général. Le seul appareil d'écoulement que nous ayons à mentionner ici est donc la borne-fontaine. Ainsi qu'on l'a déjà dit, les bornes-fontaines doivent débiter à l'heure environ 70 à 80 mèt. cubes; elles sont ouvertes, à Paris, pendant deux ou trois heures par jour. Le puisage y est toléré pendant cet intervalle. Cette tolérance est assurément une bonne chose et un grand progrès sur l'interdiction qui avait d'abord été faite à la population pauvre d'y prendre de l'eau. Mais ce n'est pas assez; en attendant que toutes les maisons soient dotées d'une distribution permanente, il faut que les voisins d'une borne-fontaine puissent y puiser à toute heure. A cet effet, quand on ne possède pas assez d'eau pour assurer l'écoulement permanent des bornes, il faut que chacune d'elles porte, comme à Dijon (*fig.* 3514 et 3515) et dans beaucoup d'autres villes, un robinet à repoussoir qui se referme de lui même quand on cesse de presser le bouton, et qui permet d'avoir de l'eau à toute heure pour les usages domestiques.

Fig. 3514. — Élévation.



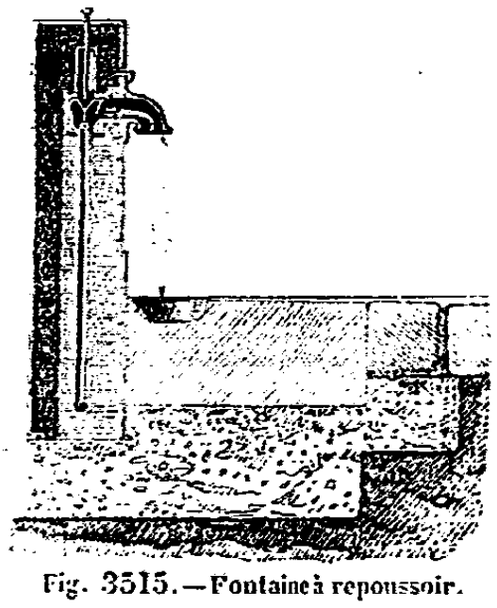


Fig. 3515. — Fontaine à repoussoir.

Je décrirai, en terminant, un appareil (fig. 3516) très employé en Angleterre, fort utile pour entretenir un niveau constant dans les lavoirs et les abreuvoirs, et qui pourrait rendre beaucoup d'autres services. Le fond du réservoir porte une tubulure *h* par laquelle doit se faire l'écoulement. Un manchon en caoutchouc *gg* réunit cette tubulure au tuyau de descente *d*. Ce tuyau est garni à sa partie inférieure d'un flotteur *ee* plongeant dans une petite cuvette de distribution communiquant avec les bassins qu'il s'agit de maintenir constamment remplis au même niveau que la cuvette de distribution. Quand la cuvette et les bassins sont remplis, le flotteur *ee* soulève le tube *d*, la tubulure se trouve fermée et le réservoir ne débite plus. Si le niveau baisse dans la cuvette, par suite de tirages faits aux bassins qu'elle alimente, le flotteur descend, le caoutchouc *gg* s'allonge un peu et l'eau sort par la tubulure du réservoir jusqu'à ce que le niveau soit rétabli.

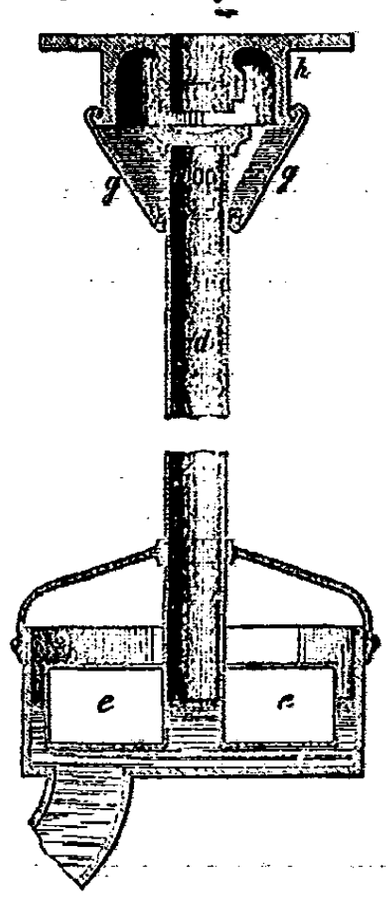


Fig 3516. — Distributeur à niveau constant.

Il nous reste à dire un mot du mode de vente de l'eau aux habitants des villes. On distingue deux systèmes principaux de distribution : la distribution continue et la distribution discontinue. Dans ce dernier système, la conduite d'eau est ouverte chaque jour pendant un certain temps, et l'abonné en profite pour remplir un réservoir d'une capacité déterminée, où il puise l'eau le temps que la conduite est fermée. Les inconvénients de ce système sont universellement reconnus, le public et les compagnies s'en plaignent également en Angleterre où il est assez répandu.

Dans le système de distribution continue, les tuyaux sont constamment en charge, et l'on a de l'eau à toute heure en ouvrant un robinet. Mais dans ce système, comment fixer le prix de l'abonnement et le volume de chaque abonné ? comment éviter le gaspillage inutile de l'eau ? On a essayé de mettre dans chaque maison, un robinet dont le boisseau est percé d'un trou assez petit pour assurer par un écoulement continu, le débit en 24 heures du volume concédé. Mais ce système de jaugeage nécessite l'emploi d'un réservoir, recevant continuellement le filet d'eau de la concession et auquel on puise l'eau par des robinets de dimensions ordinaires. D'un autre côté, ces petits orifices s'obstruent avec la plus grande facilité, et comme on ne peut pas les laisser à la disposition de l'abonné, il faut à chaque instant recourir aux agents de la distribution. Ce système, aussi mauvais que celui de la distribution intermittente, ne saurait devenir d'un usage général.

L'insuccès de cette tentative et de beaucoup d'autres essais portent plusieurs personnes compétentes à penser que le mieux est de concéder l'eau à discrétion, en établissant la taxe d'abonnement proportionnellement à la valeur locative de l'immeuble desservi. Ce mode d'abonnement fonctionne très-bien dans certaines villes, et l'on ne remarque pas qu'il entraîne d'abus et de gaspillages. Toutefois, on doit remarquer que la solution vraiment rationnelle de l'abonnement serait l'emploi de compteurs analogues à ceux employés pour le gaz, laissant à l'abonné la faculté d'avoir de l'eau à discrétion, mais enregistrant exactement sa consommation dont la dépense serait ensuite réglée à intervalles déterminés. Malheureusement, il n'existe pas encore un bon compteur à eau pour ces petits débits, mais il y a lieu d'espérer que cette question posée aux mécaniciens ne tardera pas à être résolue. On a essayé à Paris divers appareils qui paraissent devoir réussir, dont il sera parlé à l'article JAUGEAGE.

Plusieurs systèmes résolvent assez bien le problème qui exige toutefois un dégrossissage, un premier filtrage des eaux qui n'est pas encore appliqué aux distributions d'eau de Paris, qui arrêterait les corps d'un volume notable.

HERVÉ MANGON.

EAU DE COLOGNE. (Voyez PARFUMERIE.)

EAU FORTE. (Voyez *acide* NITRIQUE.)

EAUX GAZEUSES. Cette fabrication a pris un tel accroissement qu'elle constitue aujourd'hui une nouvelle branche d'industrie.

Beaucoup de personnes se sont élevées contre la propriété attribuée aux eaux minérales factices.

Sans chercher à examiner les diverses opinions émises à ce sujet, nous pensons que la plus grande partie des eaux naturelles ne sont réellement efficaces que prises à la source ; mais ce n'est pas seulement des eaux minérales que nous avons à nous occuper, mais encore de l'eau acidulée gazeuse qu'on ne peut considérer comme étant une eau minérale, mais bien plutôt une boisson d'agrément.

Avant de décrire les divers moyens à l'aide desquels on prépare les eaux gazeuses, nous exposerons le plus brièvement possible l'origine de cette fabrication.

En 1775, Venel, médecin-chimiste à Montpellier, fut le premier qui eut l'idée d'imiter les eaux de Seltz en mettant dans de l'eau pure des matières effervescentes; il crut que le gaz qui se développait était de l'air condensé. Son opinion était une erreur ; mais son procédé fut le premier pas assuré pour l'imitation des eaux gazeuses naturelles.

Peu après, Black découvrit la nature du gaz acide carbonique, puis Priestley, Chaulnes, Rouelle le cadet, constatèrent la présence de ce gaz dans les eaux spiritueuses ou acidules gazeuses.

Le docteur Bergmann, illustre professeur suédois, fut le premier qui donna les meilleures analyses des eaux en général, et les meilleurs moyens de fabriquer ; il mit même en principe : qu'une analyse d'eau minérale ne pouvait être réputée exacte que lorsqu'on avait réussi à en faire une semblable dans toutes ses propriétés en dissolvant dans l'eau les principes qu'on en avait extraits.

Il publia son troisième mémoire en 1778.

Les chimistes jusqu'alors avaient nié la possibilité de composer des liquides identiques en principe et en vertu aux eaux minérales naturelles.

On a peine à concevoir que les théories vagues et hasardées qu'on avait proposées jusqu'alors sur l'analyse des eaux, et que les essais presque informes qu'on avait faits aient été portés, par un seul homme et en si peu de temps, à une perfection telle que depuis cette époque jusqu'à ce jour, on n'a, pour ainsi dire, rien changé sur les premiers principes ; c'est seulement dans la forme et la disposition des machines employées que l'on a apporté des perfectionnements.

Bergmann publia, quelque temps après, ses observations sur les bons effets des eaux factices, qu'il avait trouvées même souvent supérieures à celles de la nature.

EAUX GAZEUSES.

Les médecins de tous les pays accueillirent avec empressement ce progrès de la création d'un agent thérapeutique jusqu'alors réservé à la classe opulente, et les pharmaciens instruits répondirent aux vœux des médecins en préparant dans leurs officines les eaux de Seltz, de Sedlitz, de Spa, de Balaruc, de Barèges, etc.

On vit alors la chimie, dans les trente dernières années de ce siècle, laisser bien loin en arrière ce qui avait été fait.

La France peut, à juste titre, revendiquer la plus large part de gloire dans les découvertes de cette grande époque.

Duchanois fit paraître, en 1779, un ouvrage sur l'art de préparer les eaux minérales artificielles.

Cet auteur offrit dans ce traité l'ensemble le plus complet de cette fabrication; mais les procédés insuffisants des laboratoires, puis la différence de ces eaux occasionnée par le plus ou le moins d'habileté des pharmaciens qui les préparaient, la consommation qui allait toujours croissant, firent naître à des hommes également habiles dans les connaissances chimiques et mécaniques, le projet (qu'ils exécutèrent) d'établir de véritables manufactures d'eaux minérales artificielles, pour répondre aux désirs des médecins et aux besoins des malades d'une grande et populeuse cité.

M. Gasse, à Genève, habile pharmacien de cette ville, forma un établissement dans lequel on fabriquait annuellement 40,000 bouteilles d'eau de Seltz. M. Paul, qui pendant dix ans avait été son associé, vint s'établir à Paris et y fonda en 1798, à l'hôtel d'Uzès, rue Montmartre, un établissement à l'instar de celui de Genève. M. Paul préparait huit espèces d'eaux minérales factices : 1° Eau de Seltz : 2° eau de Spa ; 3° eau alcaline gazeuse ; 4° eau de Sedlitz ; 5° eau oxygénée (cette eau contient la moitié de son volume de gaz oxygène); 6° eau hydrogénée (cette eau contient le tiers de son volume de gaz hydrogène) ; 7° eau hydro-carbonatée ; 8° eau sulfureuse.

Depuis cette époque, la fabrication des eaux gazeuses a reçu une telle amélioration qu'on peut dire avec certitude que l'art a dépassé la nature en ce qui concerne la dissolution de l'acide carbonique dans l'eau ; ce n'est plus une eau médicinale, mais tout simplement une boisson d'agrément qui facilite la digestion, donne du ton à l'estomac et peut se prendre impunément dans toutes circonstances.

Personne aujourd'hui ne met en doute l'action salutaire des eaux rendues gazeuses par l'acide carbonique, et tout le monde sait aussi que les sources qui fournissent cette eau acidulée, contiennent des substances minérales, qui sans doute, peuvent avoir leur utilité en médecine, mais qui ne sauraient être ordonnées sans examen et en toutes circonstances, comme on peut le faire simplement de l'eau acidulée gazeuse.

La fabrication dont nous allons nous occuper a donc pour but de mettre de côté tous les sels médicamentaux, et, en effet, toute personne peut se livrer à cette fabrication ; mais lorsqu'il s'agit de préparer des eaux gazeuses contenant des sels, nous n'hésitons pas à le dire, cela dépend de la pharmacie et ne saurait se préparer que par elle. Les eaux gazeuses obtenues au moyen des poudres (l'acide tartrique et le bi-carbonate de soude) ne devraient se vendre que par l'entremise des pharmaciens ; cependant beaucoup de personnes se livrent à ce commerce, mais nous croyons que les pharmaciens auraient droit de s'y opposer, et cela serait même à désirer dans l'intérêt de l'humanité, car il arrive souvent des accidents occasionnés par l'usage de ces poudres, qui peuvent avoir leur efficacité quand elles sont ordonnées par un médecin, mais dont il serait dangereux de faire usage dans toutes circonstances et surtout lorsqu'un malade est resté quelque temps à la diète, et que l'eau de Seltz lui est ordonnée comme tonique, et pour faciliter la digestion des premiers aliments qu'on lui fait prendre.

En effet, on sait que les eaux rendues gazeuses par les poudres contiennent aussi les sels dont on fait usage pour produire le gaz acide carbonique ; la réunion de l'acide tartrique et du bi-carbonate de soude, en même temps que ce mélange donne lieu à un dégagement d'acide carbonique, il y a aussi la formation de bi-tartrate de soude, sel qui a une action purgative et dont on ne devrait pas faire usage sans ordonnance.

La bonne fabrication des eaux gazeuses doit donc consister en deux opérations bien distinctes :

D'un côté on dégage l'acide carbonique, et de l'autre on opère sa dissolution dans une eau pure; c'est là ce que nous allons démontrer en décrivant les divers appareils qui ont été faits pour cet usage.

Il existe aujourd'hui quatre systèmes bien connus :

Le système de Genève, celui de Bramah, celui de MM. Vernaut et Barruel, et celui de M. Savaresse.

Avant d'expliquer la manœuvre de chaque système, nous parlerons d'abord des moyens employés pour dégager l'acide carbonique, ils sont à peu près les mêmes pour tous.

Pour opérer un dégagement d'acide carbonique, il suffit de verser un acide puissant sur un carbonate de chaux, de soude ou de magnésie; on se servait autrefois de l'acide hydro-chlorique, parce qu'il était d'un prix peu élevé, et qu'en l'employant avec du marbre, le dégagement gazeux s'opérait sans qu'il fût nécessaire d'agiter le mélange; mais on a reconnu l'inconvénient de l'usage de cet acide, qui contient toujours un peu d'acide sulfureux, lequel n'est pas entièrement retenu dans l'eau des vases laveurs et pénètre dans les eaux gazeuses ; de plus, cet acide étant lui-même gazeux, il est bien difficile de l'empêcher d'arriver jusqu'à l'eau, qui, pour être bonne, ne doit contenir aucune autre substance que l'acide carbonique ; ajoutons encore qu'il a l'inconvénient d'attaquer presque tous les métaux, c'est pourquoi on l'a complétement mis de côté pour n'employer que l'acide sulfurique.

Les carbonates dont on faisait usage autrefois sont toujours les mêmes; le marbre, la craie, les bi-carbonates de soude et de magnésie, suivant les lieux et la facilité qu'on a de se les procurer ; mais généralement en France, on ne se sert que de craie pilée, lavée et desséchée, autrement dite blanc de Troyes, de Meudon, etc. En Italie, on se sert de marbre, vu qu'il est d'un prix peu élevé.

Du contact de l'acide sulfurique et d'un carbonate de chaux, il résulte un sel insoluble (le sulfate de chaux); c'est pourquoi il est nécessaire d'agiter le mélange afin que le dégagement continue, autrement il s'arrêterait par suite des dépôts de sulfate de chaux qui se feraient sur le carbonate et empêcheraient le contact de l'acide ; cela expliqué, il sera facile de comprendre comment est construit un récipient propre au dégagement de l'acide carbonique.

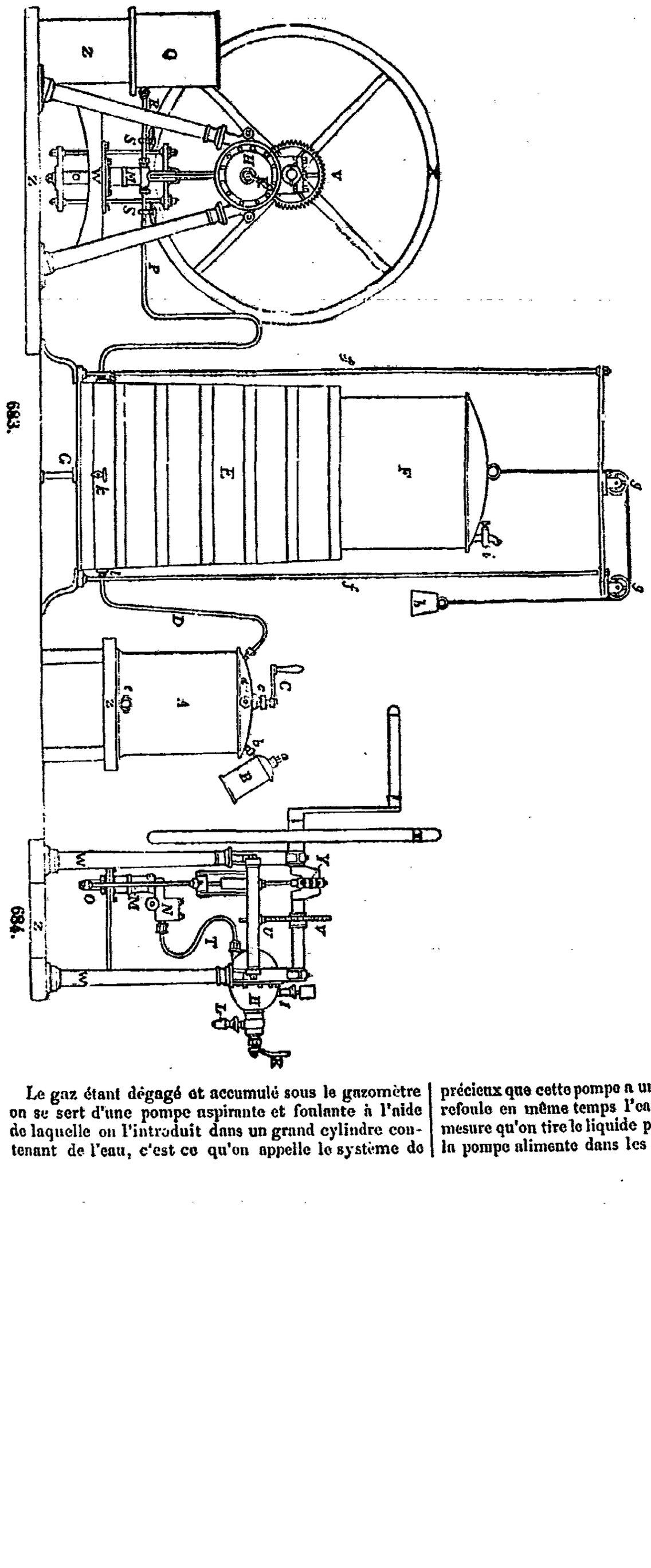
C'est tout simplement un tonneau en plomb que l'on nomme générateur, muni au centre d'un agitateur qu'on met en mouvement à volonté; à la partie supérieure on ajuste un flacon en plomb ou en verre contenant l'acide sulfurique, au moyen d'un robinet en verre, on peut à volonté livrer passage à l'acide qui tombe dans un mélange de craie et d'eau, qu'on a au préalable introduit dans le tonneau par une ouverture pratiquée à cet effet, et qui est ensuite hermétiquement fermée.

Un petit tube de plomb partant du sommet du tonneau vient communiquer avec la partie supérieure du vase contenant l'acide, ce tube est destiné à équilibrer la pression intérieure du tonneau avec la surface de l'acide, afin qu'il puisse s'écouler sans obstacle.

A côté de ce générateur on place un tonneau en bois qui sert à laver le gaz, à côté du tonneau laveur on

place un autre tonneau encore plus grand qu'on remplit d'eau, et dans lequel on place une cloche en cuivre étamé, ou autrement dire un gazomètre, qui est tenu en équilibre par un contre-poids, le tout étant suspendu à une potence fixée au-dessus du tonneau.

Un tube de plomb fixé au récipient de dégagement va plonger dans le tonneau laveur, où le gaz est divisé en petites bulles au moyen d'un double fond garni de petits trous; un autre tube de plomb part de la surface du laveur et dirige le gaz sous le gazomètre qui s'élève en même temps qu'il s'emplit.



Le gaz étant dégagé et accumulé sous le gazomètre on se sert d'une pompe aspirante et foulante à l'aide de laquelle on l'introduit dans un grand cylindre contenant de l'eau, c'est ce qu'on appelle le système de Genève, et comme l'acide carbonique n'a que très peu d'affinité pour l'eau, il n'est pas suffisant de le comprimer pour le faire dissoudre, il faut en même temps agiter l'eau, et c'est ce qu'on fait au moyen d'un agitateur placé dans l'intérieur du cylindre.

Lorsque l'eau est saturée à cinq ou six atmosphères, on procède à la mise en bouteille; mais on comprend qu'une fois l'embouteillage commencé, la tension intérieure du cylindre diminue, et l'eau s'affaiblit d'autant plus que l'embouteillage approche de sa fin; cet inconvénient empêchait d'avoir des eaux régulièrement chargées de gaz; de plus, la manœuvre de la pompe est très pénible, et si l'on veut préparer des eaux très gazeuses, en augmentant la pression, la pompe cesse alors de refouler le gaz dans le cylindre saturateur.

On a été longtemps à pouvoir s'expliquer comment il se faisait que, malgré l'action de la pompe, le gaz ne pénétrait plus dans le cylindre saturateur, cela dépend de deux causes: c'est qu'il devient difficile de refoule. du gaz à plus de six atmosphères par le jeu d'une pompe à piston, qui cesse toujours de fermer exactement, et ensuite le calorique latent du gaz mis en liberté par sa compression, n'ayant pas le temps d'être absorbé par les corps environnants, réagit sur le gaz lui-même au moment où l'on remonte le piston, en sorte que la manœuvre de la pompe devient nulle.

Lorsqu'on arrive à une pression assez élevée, le gaz se comprime et se dilate sans sortir du corps de pompe; ces inconvénients ont entièrement disparus par l'heureuse idée de Bramah, qui a renversé le corps de pompe en plaçant le piston en dessous, et a adopté un collier en cuir semblable à celui dont il avait fait l'application aux pompes hydrauliques.

La pompe, ainsi modifiée, aspire en même temps de l'eau et du gaz, et le collier se trouvant toujours submergé, garde mieux le liquide, avantage d'autant plus précieux que cette pompe a un effet continu, puisqu'elle refoule en même temps l'eau, de sorte qu'au fur et à mesure qu'on tire le liquide pour le mettre en bouteille, la pompe alimente dans les mêmes proportions le ré-

servoir ; la saturation de l'eau se fait à l'aide d'un agitateur mis en mouvement par le jeu même de la pompe, c'est là ce qu'on appelle système continu de Bramah.

Les fig. 683 et 684 représentent les vues de face et de côté de cet appareil, tel qu'il se construit actuellement en Angleterre.

La fig. 683 représente l'appareil vu de face.

La fig. 684 en donne l'élévation latérale.

A, générateur en plomb dans lequel se prépare le gaz ; B, vase en plomb contenant de l'acide sulfurique ; C, poignée de l'agitateur du récipient, qui remue les ingrédients dans le générateur ; *a*, couvercle à vis, pour charger le vase en plomb d'acide sulfurique ; *b*, robinet servant à introduire les doses d'acide dans le générateur ; *c*, boîte à étoupes par laquelle passe la tringle de l'agitateur ; *d*, grand couvercle à vis, servant à mettre l'eau et la craie dans le générateur ; *e*, ouverture fermée à vis par laquelle on vide l'appareil ; D, tuyau en plomb qui conduit le gaz du générateur au gazomètre ; E, cuve en bois remplie d'eau, où plonge le gazomètre ; F, gazomètre en cuivre ; G, fort châssis en fer qui porte la cuve et le gazomètre, et les lie solidement ensemble au moyen des trois montants en fer forgé *f*, *f* ; *g*, *g*, deux poulies soutenant la corde et le poids *h* qui maintient le gazomètre ; *i*, robinet servant à chasser l'air contenu dans le gazomètre avant de faire le gaz ; *k*, robinet pour vider l'eau du cuvier ; *l*, point de jonction où se trouve fixé un tuyau de cuivre qui traverse l'eau de la cuve et porte le gaz au gazomètre ; *m*, autre point de jonction ayant un tuyau de cuivre semblable, qui mène le gaz du gazomètre à la machine à eau gazeuse ; H, H, condenseur pour charger l'eau de gaz ; I, soupape de sûreté ; K, L, soupape servant à mettre la liqueur en bouteilles ; M, M, pompe à eau gazeuse ; N, soupape ; O, O, piston de la pompe ; P, tuyau qui conduit le gaz du gazomètre à la pompe ; S, S, deux robinets destinés à régler l'admission du gaz et celle de la solution dans la pompe ; T, tuyau en cuivre par lequel l'eau gazeuse est chassée dans le condenseur ; V V, roue de commande ; W W, châssis en fonte qui porte l'appareil ; X X, volant en fonte ; Z, traverse en fer forgé ; Y, Z, Z, échafaudage et supports en bois qui maintiennent le corps de la machine.

Ce mode de fabrication bien dirigé a un avantage réel dans les grandes fabriques, mais il nécessite un matériel assez considérable et l'emploi de trois ouvriers, quand bien même on n'aurait que dix bouteilles d'eau à fabriquer. Nous disons que ce système ne peut convenir qu'à de grandes fabriques, non seulement à cause du nombre d'ouvriers qu'il faut pour opérer, mais c'est qu'aussi cet appareil manœuvre mieux en travaillant tous les jours ; car, lorsqu'on arrête, les cuirs se dessèchent et prennent un mauvais goût, la pompe cesse momentanément d'aspirer, et lorsqu'elle commence à reprendre l'eau elle lui communique un goût qui ne s'en va qu'après plusieurs jours de travail ; ce système ne saurait donc convenir dans les petites localités où le débit des eaux gazeuses a peu d'importance.

Le troisième système, celui de MM. Vernaut et Barruel, est composé comme suit :

La première partie, servant au dégagement du gaz, se compose d'un grand générateur en forme de tonneau placé horizontalement et traversé par un agitateur ; à la partie supérieure se trouve placée une boule en cuivre, doublée en plomb, contenant l'acide sulfurique concentré qu'on laisse tomber sur le mélange de craie et d'eau qu'on a, au préalable, introduit dans le générateur ; il y a également un petit tube qui sert à à équilibrer la tension sur l'acide sulfurique. C'est en un mot un tonneau de dégagement à peu près semblable à celui que nous avons décrit plus haut, avec cette différence que celui-ci est placé horizontalement et qu'il est fait d'un métal très résistant pour pouvoir maintenir dans son intérieur la grande quantité de gaz qui s'y dégage. A côté du tonneau de dégagement, il y a un ou deux vases laveurs, et ensuite un cylindre saturateur, au fur et à mesure que le gaz se dégage, il va se rendre dans le cylindre où la saturation se fait au moyen d'un agitateur, ou en faisant osciller le cylindre. Ce système a un avantage sur la pompe de Bramah, attendu que la main-d'œuvre du refoulement du gaz est inutile, puisqu'on utilise l'action chimique du dégagement de l'acide carbonique ; mais il n'est pas sans danger à cause du vase qui contient l'acide sulfurique, et qui doit être soumis à la même tension que celle existant dans les autres parties de l'appareil. Il se détériore assez promptement à l'endroit qui sert de fermeture pour intercepter l'écoulement de l'acide dans le générateur ; il y a aussi un développement assez considérable de calorique lorsqu'a lieu le mélange de l'acide avec l'eau contenue dans le générateur, ce qui peut développer une odeur de marne toujours nuisible à la qualité de l'eau gazeuse Cette chaleur contribue aussi à attaquer plus facilement les métaux qui sont en contact avec l'acide sulfurique.

Dans les appareils à système continu, il y a aussi l'inconvénient de la production de chaleur ; mais comme la pression est presque nulle dans le tonneau en plomb générateur, l'action est aussi moins destructive ; cependant il pourrait y avoir une explosion du bocal à acide, qui ne serait pas sans danger, si le tube par où s'écoule le gaz venait à se boucher, ce qui peut avoir lieu par un dégagement trop abondant qui convertirait la masse en écume. On obvie à cet inconvénient en donnant un large passage au premier tube. L'ouvrier qui manœuvre la pompe peut aussi faire éclater le récipient saturateur, s'il ne porte pas toute son attention à l'examen du manomètre et du niveau d'eau.

Le quatrième et dernier système, celui de M. Savaresse, dont nous allons parler, est un perfectionnement aux autres systèmes.

Le volume et le poids total de cet appareil sont réduits de plus des trois quarts, comparés à ceux des autres.

La manœuvre en est facile, même pour ceux qui ne l'ont jamais vu, et une seule personne suffit pour en diriger le travail. Les explosions y sont impossibles, vu que la quantité de gaz produite se trouve parfaitement déterminée, et que la résistance de l'appareil a été calculée dix fois plus grande que la puissance qui agit à son intérieur. Ce fait est facile à prévoir, puisqu'il ne peut y avoir de gaz produit qu'en mettant en contact un acide et un carbonate. Si donc le poids ou le volume de ces deux réactifs sont connus, on sera certain des volumes de gaz produits, puisqu'il ne s'agit ici que de calculer les équivalents des réactifs mis en contact, et par surcroît de précaution, on a encore prévu le cas où l'on pourrait se tromper dans le poids des réactifs employés. L'appareil Savaresse est confectionné de manière à ne pouvoir y introduire que la quantité rigoureuse des agents nécessaires ; si la mesure excédait la quantité voulue, on ne pourrait fermer l'appareil qu'après avoir retranché l'excédant.

L'acide sulfurique, dans ce système, n'est employé qu'après avoir été étendu de 15 fois son poids d'eau et refroidi, en sorte qu'il n'y a jamais une élévation de température dans le travail.

Le carbonate de chaux se trouve isolé de l'eau acidulée jusqu'au moment où l'appareil est fermé, c'est alors que le mélange s'opère par un agitateur et aussitôt l'acide se neutralise en même temps que le gaz se dégage, d'où il résulte que l'acide sulfurique ne reste que très peu de temps en contact avec le générateur, vu qu'il est neutralisé par le carbonate de chaux dont

EAUX GAZEUSES.

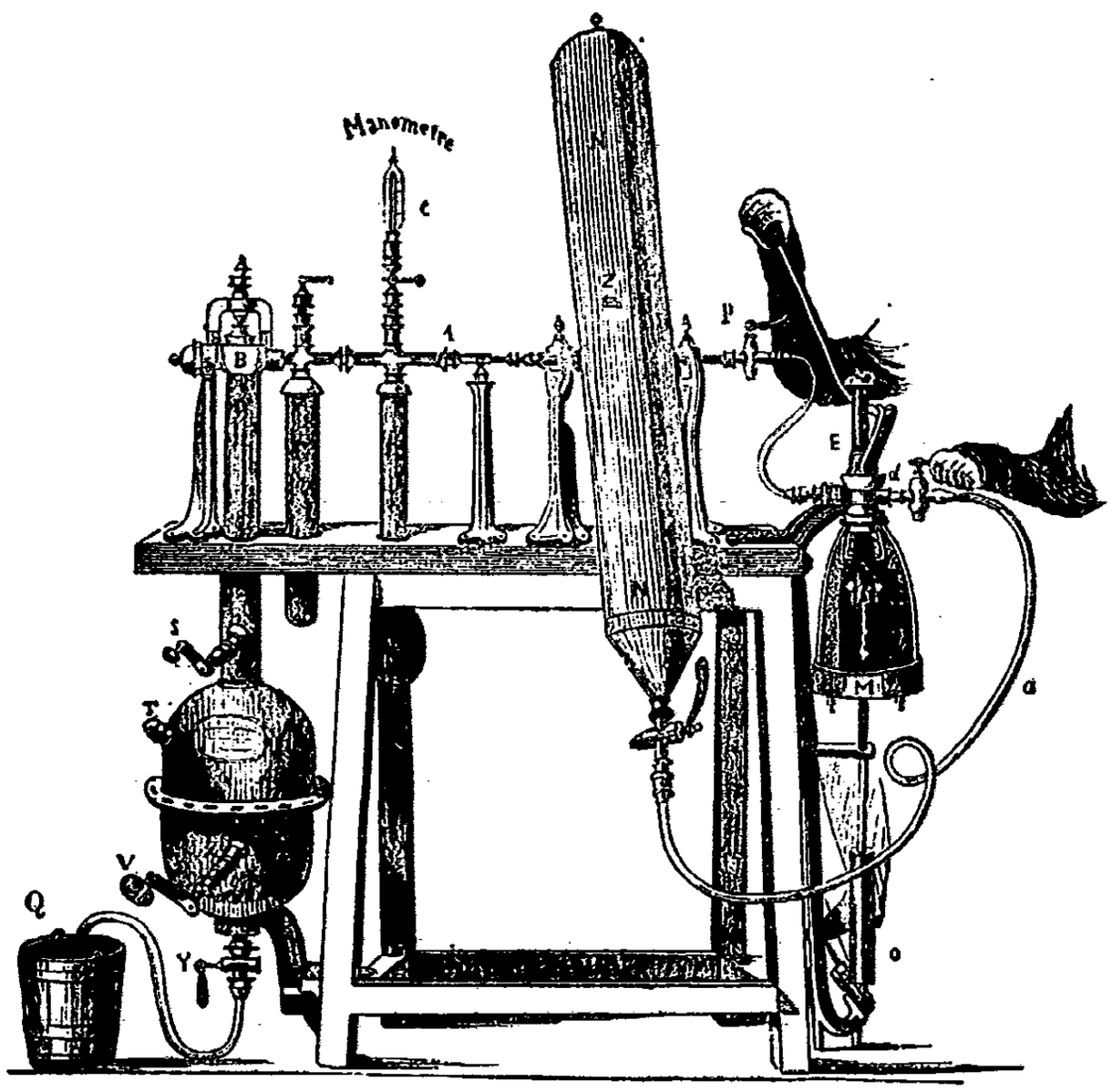
la proportion est calculée pour qu'il n'y ait jamais excès d'acide.

Le gaz qui se dégage s'épure en montant dans la colonne remplie de carbonate de chaux, d'où il passe successivement dans deux vases laveurs, puis arrive dans le cylindre saturateur que l'on fait osciller pour accélérer la saturation. Le mouvement du cylindre ne se fait pas sentir sur les tubes conducteurs auxquels il n'imprime aucun mouvement de torsion, vu qu'il pivote entre deux boîtes à étoupes; cinq minutes suffisent pour préparer un cylindre d'eau gazeuse à 10 atmosphères. Cet appareil peut se loger dans un petit espace d'environ 2 mètres; il peut fabriquer de 500 à 1,000 bouteilles par jour. Il est muni d'un manomètre dont l'invention est aussi de M. Savaresse, et calculé spécialement pour la fabrication des eaux gazeuses. Le mercure a été remplacé par de l'eau, et la hauteur du tube manométrique se trouve à quelques centimètres; malgré son peu d'élévation, les divisions d'une atmosphère à une autre peuvent s'écarter à volonté. A cet effet, le tube manométrique porte deux renflements, dont l'un inférieur a pour but de raccourcir le manomètre en lui donnant une plus grande surface horizontale aux dépens de celle verticale; le second renflement, placé à la partie supérieure, a pour but de donner plus d'espace entre chaque atmosphère qu'on a le plus d'intérêt à connaître.

Ce tube manométrique peut se remplacer par la première personne venue, sans scellement ni mastic.

La fig. 685 représente l'appareil dans son ensemble.

A, est le récipient générateur dans lequel s'introduit l'eau acidulée; D, col allongé dans lequel on introduit le carbonate de chaux; S, pièce servant à isoler momentanément le carbonate de chaux du contact de l'acide; B, ouverture fermée par où l'on introduit la craie; T ouverture fermée par où l'on introduit l'acide; F, premier vase laveur; F, second vase laveur; C, manomètre; I, boîte à étoupes à rotule dans laquelle pivote l'axe du cylindre; N, cylindre saturateur; *a*, tube servant à conduire le liquide à l'embouteillage; *d*, robinet livrant passage au liquide qu'on veut introduire dans une bouteille; M, bouteille pour être remplie; E, machine à boucher, chassant le bouchon par un levier à parallélogramme; O, pédale servant à comprimer la bouteille lorsqu'on la remplit; P, robinet de retour dont on se sert dans la fabrication des vins mousseux; c'est par ce robinet que l'air atmosphérique de la bouteille remonte dans l'atmosphère gazeuse du cylindre, afin d'éviter la formation de la mousse et pour éviter la déperdition de l'arôme du vin; Q, seau formé, destiné à recevoir le résidu du générateur. Il suffit d'ouvrir le robinet Y pour que toutes les matières passent dans le seau, chassées qu'elles sont par la puissance du gaz



685.

On n'a pas besoin de se rendre compte des changements de température, comme cela a lieu à l'égard des manomètres à syphon, attendu que l'air ambiant communique à volonté dans le tube manométrique, ce qui fait que le manomètre est toujours exact, lors même qu'on fonctionnerait à des températures différentes.

qui reste encore dans le générateur lorsque l'opération est terminée; V, manivelle de l'agitateur servant au dégagement du gaz.

Les eaux gazeuses une fois fabriquées, on n'a encore que la moitié de l'ouvrage de fait, puis qu'il faut les introduire dans les bouteilles destinées à les livrer au commerce. A cet effet, on emploie deux genres de mé-

caniques : l'une est à engrenage semblable à celui du cric, et avec lequel on chasse le bouchon dans la bouteille ; l'autre est celle qu'on voit représentée dans la fig. 685. Le levier est chassé à l'aide d'un parallélogramme. Ce système a pour avantage de moins casser les bouteilles que le mouvement saccadé et brusque de l'engrenage.

C'est M. Vielcazal qui, le premier, a fait l'application de ce système.

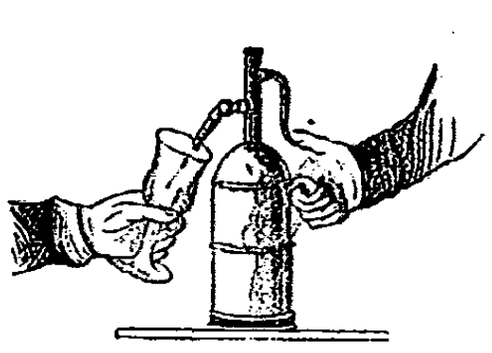
On comprendra que l'embouteillage des eaux gazeuses n'est pas sans danger à cause de la casse des bouteilles dont les fragments de verre sont divisés en lames aiguës et tranchantes, et pourraient blesser si on ne prenait les précautions nécessaires pour s'en garantir ; aussi les machines à boucher sont-elles munies d'un masque en métal.

C'est dans le but de remédier à ces inconvénients, et aussi pour rendre l'embouteillage plus facile que M. Savaresse a imaginé l'usage de ses vases syphoïdes, dont nous ferons dès à présent la description, puisqu'ils se rattachent à la fabrication des eaux gazeuses.

Il est inutile de s'étendre sur les inconvénients qui résultent de l'usage des bouteilles de verre pour le débit des liquides gazeux, car chacun a appris, par sa propre expérience, qu'au moment où l'on débouche une bouteille d'eau de Seltz, une partie en est rejetée par l'expansion du gaz, et le reste du liquide a bientôt perdu toute sa force ; les vases syphoïdes, comme nous l'avons dit, ont remédié à ces inconvénients ; mais, il faut le dire, ils sont d'un prix assez élevé, et demandent du soin pour leur entretien.

Le mécanisme de ces vases est du reste facile à comprendre.

Un cruchon en grès, très résistant, verni en dedans et en dehors, se trouve muni d'une tubulure à sa partie supérieure, à laquelle on adapte un appareil de fermeture permanente, en étain, qui porte un tube plongeur, qui descend jusqu'au fond du vase, un levier ou une clef à vis sert d'obturateur pour maintenir le liquide ; ce vase se remplit en le présentant à un robinet disposé à cet effet et communiquant au cylindre saturateur ; une issue a été ménagée pour laisser échapper l'air contenu dans le vase au fur et à mesure qu'il se remplit, et lorsqu'on veut en obtenir du liquide il suffit d'appuyer sur le levier ou de tourner un peu la vis ; le liquide s'échappe, obligé de fuir par la pression qu'exerce le gaz à sa surface, le vase étant fermé le restant du liquide conserve sa force. L'emploi des bouchons et des ficelles se trouve remplacé à perpétuité par l'appareil de fermeture permanente.



686.

687.

Ces vases restent toujours la propriété de l'établissement qui les reprend vides pour les remplir de nouveau ; on peut faire dans ces vases comme dans les bouteilles de verre, des limonades gazeuses ou tout autres boissons édulcorées ; il suffit pour cela d'y introduire le sirop préparé à l'avance comme cela se fait à l'égard des limonades ou orangeades, etc., etc.

Ces vases sont représentés dans les figures 686 et 687.

Nous indiquerons ici la manière de faire le sirop pour les limonades, comme étant indispensable à la fabrication des liquides gazeux.

Les limonades gazeuses se préparent avec l'eau saturée d'acide carbonique.

On prépare le sirop en faisant fondre ensemble deux parties de sucre et une partie d'eau en poids qu'on fait bouillir, environ un quart d'heure, en ayant soin d'écumer et de filtrer à chaud, puis on fait fondre séparément de l'acide citrique ou tartrique dans quatre fois son poids d'eau chaude ; lorsque la solution est complète on la verse dans le sirop qu'on agite, afin d'en opérer le mélange ; la quantité d'acide citrique qu'on emploie pour chaque livre de sucre est de 5 grammes ; lorsqu'on opère avec de l'acide tartrique il en faut 8 grammes. Ce dernier est d'un prix moins élevé et a aussi pour avantage que les limonades se conservent plus longtemps sans se moisir.

Le parfum du citron est donné avec l'essence du zeste de citron, dans la proportion d'environ une goutte par livre de sucre, et lorsqu'on veut faire des orangeades il suffit d'y mettre de l'essence d'orange au lieu de citron.

Le sirop étant préparé d'avance, placé au frais, ne s'altère nullement, et lorsqu'on veut faire des limonades gazeuses on introduit dans chaque bouteille trois onces de sirop, et l'on tire de l'eau gazeuse par dessus, lorsque la bouteille est bouchée et ficelée, on l'agite, afin d'opérer le mélange. La limonade est alors prête à être livrée au consommateur.

Les eaux médicinales se préparent de la même manière, c'est-à-dire qu'on fait d'abord fondre les sels ; on filtre les solutions et on les introduit dans la bouteille pour la remplir d'eau gazeuse ; nous ne donnerons ici que la formule des eaux de Sedlitz, attendu que ce sont les seules qui s'obtiennent de meilleure qualité que les eaux naturelles ; pour les autres eaux minérales, nous l'avons déjà dit, nous croyons qu'il est préférable de ne faire usage que de celles naturelles et prises aux sources ; néanmoins ceux qui voudraient se livrer à cette fabrication, devront consulter la pharmacopie de M. Soubeiran, dans laquelle on trouve l'analyse et la préparation de toutes les eaux minérales.

L'eau de Sedlitz se prépare avec le sulfate de magnésie, suivant la force ordonnée par le médecin, qui est ordinairement de 20 à 48 grammes par bouteille.

Le sel est d'abord dissous dans une quantité d'eau, environ trois fois son poids, puis filtré et introduit dans la bouteille qu'on remplit d'eau gazeuse. Chaque bouteille doit porter une étiquette indiquant le poids du sel contenu dans le liquide. n***.

Emploi des poudres gazogènes. — C'est en 1775, à Montpellier, que la préparation des eaux gazeuses par les poudres gazogènes a été inventée par Venel, qui faisait un mélange de deux solutions, l'une contenant un carbonate alcalin (du bicarbonate de soude par exemple), l'autre un acide (l'acide tartrique ou citrique). La décomposition du carbonate avait lieu aussitôt ; la dissolution du gaz était opérée par sa propre compression ou par l'agitation qu'on lui communiquait. L'effervescence cessant, l'eau gazeuse était prête. Ce procédé, rappelé par Gay-Lussac dans ses cours, a été exploité commercialement par M. Fèvre, et est employé dans les appareils gazogènes. Dans l'origine, on se contenta de diviser et de vendre les doses

convenables d'acide tartrique et de bicarbonate de soude dans des paquets séparés et de couleurs différentes. Il suffisait de verser deux paquets dans une bouteille, de remplir d'eau, de boucher et d'agiter. Le dégagement du gaz et sa dissolution avaient lieu, l'eau était faite; seulement, au lieu d'une boisson simplement agréable et salubre, on avait une préparation médicinale, et de grands inconvénients peuvent résulter de l'usage prolongé de ces eaux contenant des sels alcalins purgatifs. C'est pour y remédier qu'on a inventé les appareils à vases communiquants qui suppriment cet inconvénient sans cesser de faire de l'appareil à eau de Seltz un appareil d'économie domestique.

Appareils à vases communiquants. — L'idée première appartient à M. Robinet; elle fut réalisée de la manière la plus heureuse par Briet. On a pris depuis à leur sujet un grand nombre de brevets. Les divers modèles que l'on rencontre ne sont que des variantes plus ou moins bien réussies du même système et des applications du même principe. Deux vases accolés communiquant entre eux par un tube; dans le plus petit des vases s'opère la dissolution des poudres. Le gaz qui s'en dégage est refoulé par sa propre pression dans le plus grand, et y arrive, en se tamisant à travers des cribles plus ou moins ingénieusement disposés, dans l'eau qu'il doit saturer. On aide la dissolution par des secousses rapidement données à l'appareil, et l'eau gazeuse jaillit ensuite d'un robinet.

Cet appareil très-simple (fig. 687 *bis*), et formé de deux parties assemblées à vis, est d'un emploi commode; l'eau se place dans le vase supérieur B, placé sur son pied P, et les poudres dans le vase A plus petit. L'eau, en s'écoulant, permet aux deux substances de réagir l'une sur l'autre, et l'acide carbonique, se dégageant par le tube T, vient se dissoudre dans l'eau que l'on fait écouler à l'aide du robinet R. Ce système n'est pas sans inconvénient, surtout si l'on en fait un usage journalier. Le gaz acide carbonique n'arrive pas pur dans l'eau qu'il sature; il est toujours fortement alcalin, et l'action des poudres sur les tuyaux, les robinets ou les douilles, presque toujours en étain plus ou moins plombifère, peut produire des sels toxiques. Ces inconvénients augmentent si, par économie, on se sert d'acide sulfurique, substance d'ailleurs dangereuse pour les personnes peu habituées à la manipulation. Mais les appareils dans lesquels, ainsi que le fait M. Bazet, tous les ajutages métalliques sont remplacés par du verre, échappent à presque tous ces reproches et doivent être conseillés, surtout lorsqu'ils sont mis, par des enveloppes protectrices et de bonnes combinaisons de leurs organes, à l'abri de toute explosion.

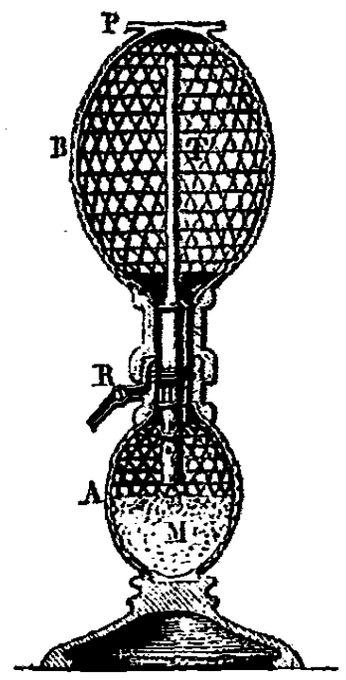


Fig. 687 *bis*.

La question des assemblages du verre et du métal, qui a permis l'usage habituel de siphons en verre, plus agréables à la vue que les siphons en grès de M. Savaresse, a été résolue par l'emploi de vis en étain sur les collets du verre, retenus par le reploiement en équerre du verre. Au besoin une rondelle en gutta-percha rend la fermeture hermétique.

En pharmacie, on a souvent besoin de rendre gazeuse une certaine quantité d'eau minérale artificielle ou d'autres préparations médicinales, et il y aurait parfois de graves inconvénients à laisser dans le liquide le résidu des poudres gazogènes. Les appareils à vases communiquants que nous venons de décrire ne sauraient saturer assez fortement le liquide pour qu'on puisse le transvaser dans des bouteilles, encore moins dans des siphons ordinaires. On a donc cherché à fabriquer des appareils dits *de laboratoire*, qui permissent de gazéifier à la fois 8 ou 10 litres de liquide.

Il existe plusieurs appareils de ce genre. Presque tous, ils présentent un cylindre oscillant qui déverse peu à peu de l'acide sulfurique sur du bicarbonate de soude ou de la craie. Le gaz produit est lavé ou épuré par son passage dans des vases ou compartiments intermédiaires avant d'entrer dans le liquide où il doit se dissoudre. Le principe de ces appareils est dû à MM. Vernaut et Barruel. La pression s'y engendre au moyen du gaz en excès, à mesure qu'il se dégage en vertu de la réaction chimique des agents mis en contact.

EAUX MINÉRALES. On appelle eaux minérales, celles qui contiennent des substances étrangères en assez grande quantité pour avoir une action marquée sur l'économie animale. Les unes sont chaudes et portent le nom d'*eaux thermales*, les autres sont dites eaux minérales froides. Sous le rapport de leur composition, on les divise en quatre groupes, savoir :

1° Eaux alcalines;
2° Eaux ferrugineuses;
3° Eaux salines;
4° Eaux sulfureuses.

Eaux alcalines. Ces eaux renferment des sels alcalins et ordinairement de l'acide carbonique libre. Les principales sont : à l'étranger, celles de Seltz; et en France, celles de Plombières et de Vichy. Elles sont prises comme boisson pour faciliter la digestion.

Eaux ferrugineuses. Ces eaux renferment du carbonate de fer tenu en dissolution par de l'acide carbonique en plus ou moins grande quantité; au contact de l'air ce dernier se dégage, et le fer se dépose à l'état de peroxyde. Elles sont souvent chargées de sels alcalins. Parmi les eaux simplement ferrugineuses, nous citerons Passy, Forges, Bussang et Pyrmont. Parmi les eaux ferrugineuses et alcalines, les principales sont : celles de Spa (Belgique), de Carlsbad et de Tœplitz (Bohême); celles du Puy-de-Dôme (Mont-Dore, etc.) et de Cransac en France. On les prend fréquemment à l'intérieur, comme boisson fortifiante par suite de leur teneur en fer.

Eaux salines. Ces eaux renferment une assez grande quantité de sulfate de soude et de chlorure de sodium, mais pas de carbonate de soude; elles renferment aussi souvent de l'acide carbonique libre. Les principales eaux salines de France sont les sources du Cantal, d'Aix, de Balaruc, de Bourbonne-les-Bains, de Niederbronn et de Bains.

Eaux sulfureuses. Ces eaux sont caractérisées par la présence de l'hydrogène sulfuré, quelquefois à l'état libre, mais le plus souvent à l'état de sulfures alcalins; ces eaux, qui ne sont employées qu'extérieurement, sont très-abondantes en France : les principales sont celles d'Aix-la-Chapelle en Belgique, d'Eaux-Bonnes, de Barèges, de Cauterets, de Bagnères-de-Luchon et de Bagnères-de-Bigorre, dans les Pyrénées, et d'Enghien près de Paris.

Lorsqu'on connaît la composition d'une eau minérale naturelle, on peut, en général, l'imiter artificiellement assez bien, mais, dans le cas où elles renferment des matières organiques, comme c'est le cas des eaux sulfureuses des Pyrénées qui contiennent une matière glaireuse azotée, la *barégine*, qu'il est impossible de reproduire, on n'obtient qu'une imitation

très-grossière, par l'addition d'une certaine quantité de gélatine.

M. Brongniart, partant de l'observation bien évidente que la composition des eaux minérales dépend de la nature des terrains qu'elles parcourent, a proposé de les classer en cinq groupes.

Le premier comprend les *eaux minérales des terrains primitifs* : ces eaux sont ordinairement thermales, proviennent des grandes profondeurs, et contiennent de l'acide carbonique, de l'acide sulfhydrique, des sulfures alcalins, de la silice, du carbonate de soude, etc. Telles sont celles des Pyrénées, de Cransac, de Chaudes-Aigues, etc.

Le second groupe est celui des *eaux minérales des terrains de sédiment inférieurs*. Ces eaux sont tièdes. Leur composition se rapproche beaucoup de celle des précédentes. Elles contiennent des sels de soude, du sulfate de chaux, etc. Telles sont les eaux de Plombières, de Luxeuil, de Bagnères-de-Bigorre, etc.

Dans le troisième groupe sont rangées les *eaux minérales des terrains de sédiment supérieurs*. Ces eaux sont froides, peu ou point chargées d'acide carbonique; les sels qui y dominent sont les sulfates de magnésie, de fer, les carbonates de chaux et du fer. Telles sont les eaux d'Enghien, de Forges, d'Epsom, etc.

Au quatrième groupe appartiennent les *eaux minérales des terrains de transition*, où se trouvent réunies les substances que contiennent les eaux des groupes précédents. Les eaux de Bath, de Spa, de Vichy, etc., sont de cette espèce.

Enfin, le cinquième groupe est formé des terrains provenant des *terrains trachytes anciens* et des *terrains volcaniques modernes*. La composition de ces eaux se rapproche beaucoup de celle des eaux des terrains primitifs. Exemple : les eaux de Mont-Dore, de Saint-Allyre, d'Island, etc.

EAU RÉGALE (*angl.* nitro-muriatic acid, *all.* kœnigswasser). Mélange en proportions variables d'acide nitrique et d'acide hydrochlorique. Par suite de l'action réciproque de ces deux acides, il se dégage du chlore à l'état naissant, et par conséquent dans l'état le plus propre à se combiner avec les métaux, de telle sorte que le mélange dissout certains métaux, l'or, le platine, par exemple, sur lesquels chaque acide pris isolément n'avait aucune action. Le nom d'*eau régale*, donné à ce mélange, vient de la propriété qu'il a de dissoudre l'or, le roi des métaux, d'après les anciens alchimistes.

ÉBULLITION (*angl.* boiling, *all.* kochen). La transformation d'un liquide en vapeur s'appelle en général *vaporisation*. Les liquides se vaporisent par *ébullition* quand les vapeurs se forment au sein de la masse, et par ÉVAPORATION, quand elles se forment à la surface.

L'ébullition se manifeste par des bulles de vapeur qui se forment sur les parois échauffées du vase renfermant le liquide, et qui augmentent de volume au fur et à mesure qu'elles s'élèvent dans l'intérieur de la masse liquide en vertu de leur légèreté, pour venir à la fin éclater à la surface. Pour que ces bulles puissent se former et s'élever au milieu de la masse liquide qui les presse de toutes parts, il faut évidemment que la vapeur dont elles se composent ait une tension égale à la pression environnante; c'est cette condition qui détermine les points d'ébullition des différents liquides, ainsi que ceux du même liquide soumis à des pressions différentes. Mais elle n'est pas suffisante, il faut en outre que la cohésion du liquide, la résistance qu'il oppose à un changement d'état, soit vaincue pour que la vapeur puisse se former, circonstance qui exige le plus souvent la présence d'un gaz étranger, se dégageant du liquide dans lequel il était dissous. Autrement le liquide pourrait rester tel jusqu'à des températures supérieures de 20, 30, 50 degrés et davantage à son point d'ébullition normal. De là, les retards dans l'ébullition de l'eau complétement purgée de gaz et surtout placée sous une couche d'huile. L'ébullition d'un liquide ainsi surchauffé se produisant tout à coup et avec violence peut entraîner des explosions dangereuses.

Puisque la température de l'ébullition de l'eau varie avec la pression, elle est d'autant moindre que l'on s'élève davantage au-dessus du niveau de la mer et, par conséquent, que la hauteur barométrique est plus faible, comme le montre le tableau suivant :

LOCALITÉS	HAUTEUR au-dessus de l'Océan.	HAUTEUR moyenne du barom.	DEGRÉ d'ébullition de l'eau.
	mètr	millim.	degrés.
Métairie d'Antisana. . . .	4104	454	86,3
Quito.	2908	527	90,1
Mexico.	2277	572	92,3
Hospice du Saint-Gothard.	2075	586	92,9
Briançon.	1306	645	95,5
Bains du Mont Dore. . .	1040	667	96,5
Madrid.	608	704	97,8
Plombières.	421	721	98,4
Moscou.	300	732	99,0
Lyon.	162	745	99,4
Vienne.	133	747	99,5
Paris (1er étage de l'Observatoire).	65	754	99,7
Niveau de la mer.	0	760	100,0

L'eau bouillante n'est donc pas également chaude dans tous les lieux de la terre, et par conséquent elle n'est pas également propre aux usages domestiques et à la préparation des aliments. A Quito, par exemple, où l'eau bout à 90°, on ne pourrait pas cuire beaucoup de substances qui peuvent être cuites à 100°.

Voici le point d'ébullition de divers liquides sous la pression barométrique de 760mm de mercure :

Éther sulfurique.	35°,8
Sulfure de carbone	48 ,0
Alcool	78 ,0
Eau.	100 ,0
Essence de térébenthine . .	161 ,0
Phosphore.	290 ,0
Soufre	443 ,0
Acide sulfurique.	310 ,0
Mercure	350 ,0

Les liquides précédents se volatilisent sans changer de composition chimique. Leur ébullition ne doit pas être confondue avec la décomposition de certains autres liquides avec formation de produits gazeux, telle que celle de l'huile de lin et des corps gras, vers 320°.

Lorsqu'on augmente la pression au lieu de la diminuer, on retarde l'ébullition, et d'autant plus que cette augmentation est plus considérable. C'est ainsi que dans l'appareil connu sous le nom de *digesteur de Papin*, on peut élever l'eau jusqu'aux plus hautes températures sans la faire bouillir. Cet appareil n'est autre chose qu'un vase cylindrique en bronze ou en fer, dont les parois sont susceptibles d'offrir une grande résistance. L'ouverture en est petite, et on la ferme avec une soupape que l'on charge de poids de manière à produire une pression de 40 à 50 atmosphères, suivant la force des parois. La vapeur qui se forme au-dessus du liquide acquiert une pression suffisante pour empêcher l'ébullition; mais lorsqu'on ouvre la soupape, l'eau s'élance en se vaporisant et avec une telle force qu'elle forme un jet de 8 à 10m de hauteur; en même temps, le vase se refroidit considérablement par suite

de la chaleur absorbée par le passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux.

Le digesteur inventé par Papin au milieu du dix-septième siècle servit alors à montrer la puissance mécanique utilisable que l'on pouvait accumuler dans la vapeur par l'action de la chaleur, ainsi que la puissance dissolvante de l'eau maintenue liquide à des températures supérieures à 100°. (Voy. GÉLATINE.)

L'*autoclave* inventé par D'Arcet est un appareil du même genre que le digesteur de Papin; il en diffère seulement par la disposition du couvercle.

Le point d'ébullition d'un liquide n'est pas changé par des corps étrangers, tels que du sable, qu'il tient mécaniquement en suspension; mais il est toujours changé par les corps qui s'y combinent chimiquement, tels que les sels solubles; il importe de remarquer que la vapeur que donnent ces dissolutions est de la vapeur d'eau parfaitement pure, sans aucune trace des substances dissoutes.

M. Legrand a fait des expériences très-intéressantes à ce sujet, et le tableau ci-après contient les résultats principaux auxquels il est parvenu :

Tableau des points d'ébullition de diverses dissolutions saturées et des proportions de sels correspondantes :

NOMS DES SELS.	POINTS d'ébullition en degrés centigrades.	QUANTITÉS de sel qui saturent 100 d'eau.
Carbonate de soude. . .	104°,6	48,5
Chlorure de potassium. .	108°,3	59,4
Chlorure de sodium (sel marin).	108°,4	41,2
Sel ammoniac.	114°,2	88,9
Nitrate de potasse (nitre).	115°,9	335,1
Nitrate de soude.	121°,0	224,8
Acétate de soude. . . .	124°,4	209,0
Carbonate de potasse. .	135°,0	205,0
Chlorure de calcium. . .	179°,5	325,0

ÉBULLITION ET DISTILLATION DE LIQUIDES MÉLANGÉS. — M. Berthelot a fait sur les phénomènes d'ébullition et de distillation des liquides mélangés des observations d'une grande importance pour les nombreuses industries où l'on cherche à séparer des corps différents par la distillation, c'est-à-dire en profitant de ce que leurs points d'ébullition sont différents. Nous sommes heureux de pouvoir reproduire cette intéressante étude.

Si deux liquides mélangés n'exercent l'un sur l'autre aucune action réciproque, la température d'ébullition sera nécessairement moins élevée que celle à laquelle le plus volatil, envisagé isolément, entrera en ébullition. En effet, les tensions des deux liquides doivent s'ajouter conformément au principe connu qui règle le mélange de deux corps gazeux. Soit, par exemple, un mélange d'alcool et d'eau. L'alcool pur bout à 78 degrés, l'eau à 100 degrés. A la température de 78 degrés, l'alcool possède une tension représentée par une colonne verticale de mercure égale à 0m,76; l'eau possède une tension égale à 0m,33. A 78 degrés, un mélange formé de ces deux liquides, s'ils n'exerçaient aucune action réciproque, devrait posséder une tension égale à 1m,09, c'est-à-dire notablement supérieure à la pression atmosphérique. Le mélange devrait donc entrer en ébullition à une température plus basse que 78 degrés, et qui serait précisément celle où les tensions réunies feraient équilibre à la pression atmosphérique. Ce serait, d'après les tables de M. Regnault, entre 69 et 70 degrés, la tension de la vapeur d'eau étant à 70 degrés de 0m,23, et celle de la vapeur d'alcool, de 0m,54, à cette température.

Mais la relation que nous venons de rappeler et qui règle la tension des gaz mélangés ne s'applique pas à la tension des vapeurs fournies par deux liquides mélangés. En général, d'après les expériences de M. Magnus et de M. Regnault, toutes les fois que deux liquides se dissolvent réciproquement, la tension de la vapeur émise par le mélange est moindre que la somme des tensions des deux liquides pris isolément; dans la plupart des cas, elle ne dépasse pas celle du plus volatil; souvent même elle lui est inférieure. C'est ainsi qu'un mélange de 6 parties d'eau et de 94 parties d'alcool possédera un tension de 0m,76 à 78 degrés, au lieu de 1m,03, et ne pourra entrer en ébullition au-dessous de cette température.

Non-seulement la tension de vapeur exercée par un mélange de deux liquides qui se dissolvent l'un l'autre est moindre que la somme des tensions isolées, mais elle varie avec la proportion des deux liquides mélangés; c'est là un point capital dans la distillation des mélanges. Plus le liquide le moins volatil domine, plus la tension du mélange diminue. Mais toutes les fois qu'il n'y a pas de combinaison proprement dite, la tension réelle demeure en général comprise entre les tensions qu'exerceraient les deux liquides pris isolément. A une température donnée, elle est la plupart du temps moindre que la tension du plus volatil, mais plus grande que la tension du moins volatil. Les mêmes variations s'observent dans l'étude des points d'ébullition. Tous ces résultats sont faciles à comprendre, puisque l'action réciproque qui tend à affaiblir la somme des tensions dépend des masses respectives des deux corps mélangés.

Ces faits entraînent diverses conséquences intéressantes, relativement aux proportions des deux liquides qui passeront successivement à la distillation, et aux variations du point d'ébullition du mélange, pendant le cours de cette même distillation.

Au moment où l'ébullition s'établit et où la distillation commence, les deux liquides se vaporisent ensemble, suivant une proportion déterminée par les tensions de leurs vapeurs respectives. Si l'on connaissait cette tension pour chacune des vapeurs, dans les conditions de l'expérience, ainsi que la densité réelle de cette vapeur, dans les mêmes conditions, il suffirait de multiplier la tension de chaque vapeur par sa densité, pour déterminer le poids de cette vapeur compris dans l'unité du volume. Or, le rapport entre les deux produits relatifs à l'une et à l'autre vapeur règle la distillation; car ces produits représentent les poids des deux vapeurs qui distillent en même temps. Si leur rapport était connu à chaque instant, il nous indiquerait la composition du liquide distillé.

Dans l'état actuel de la science, nous ne pouvons pas en général calculer ce rapport avec certitude; cependant on obtient dans la plupart des cas des résultats qui marchent suivant le même sens que la réalité, pourvu que l'on admette que chaque vapeur possède sa densité théorique, mais que sa tension est diminuée selon une proportion d'autant plus considérable que le liquide qui la fournit est moins abondant dans le mélange.

Examinons les divers cas qui peuvent se présenter. Dans le cas le plus ordinaire, le liquide le plus volatil sera entraîné d'abord en quantité plus grande que le liquide le moins volatil; cependant ce dernier passera à la distillation dès le commencement de l'expérience. A mesure qu'elle se poursuivra, la proportion du liquide le moins volatil augmentant graduellement dans le résidu, la tension totale des vapeurs diminuera peu à peu, et le point d'ébullition s'élèvera.

Le point d'ébullition change donc incessamment par le fait de la distillation. Il change à cause de l'action réciproque qui s'exerce entre les deux liquides; car s'il n'y avait point d'action réciproque, la somme des deux tensions, qui règle le point d'ébullition, ne serait pas influencée par le rapport variable des masses des deux liquides contenus dans la cornue : dès lors les poids des deux liquides qui distillent à chaque instant demeureraient entre eux dans un rapport constant. Mais il n'en est pour ainsi dire jamais ainsi : la tension, le point d'ébullition, la composition du liquide distillé varient continuellement. L'élévation du point d'ébullition en particulier a lieu d'une manière continue, depuis la température d'ébullition initiale, jusqu'au moment où l'on atteint le point d'ébullition du liquide le moins volatil.

Les proportions qui distillent à mesure renferment en général les deux liquides : seulement ils contiennent une quantité décroissante du liquide le plus volatil, et croissante du liquide le moins volatil. Un mélange d'eau et d'alcool, par exemple, ne donne pas, lorsqu'on le distille, de l'alcool pur; la température à laquelle il bout va en augmentant, et le liquide que l'on obtient est de plus en plus hydraté, à mesure qu'avance la distillation.

Mais il ne faudrait pas croire, et c'est ici le point délicat, que l'on puisse parvenir à séparer complétement deux liquides par la voie des distillations, même répétées à plusieurs reprises. Il n'en sera ainsi que dans des cas exceptionnels. Le plus souvent on obtiendra, à côté d'un liquide à peu près pur, un mélange renfermant les deux corps, mélange constitué suivant des proportions fixes, et désormais inséparable par distillation.

A partir du moment où les deux corps se trouvent associés dans la partie qui distille suivant les mêmes proportions que dans le liquide en ébullition, les conditions de la distillation restent constantes ; le produit obtenu restera donc également constant, et toute séparation sera devenue impossible. Pour un mélange d'eau et d'alcool, un pareil système est celui qui renferme environ 6 p. 100 d'eau. Il en est de même d'un mélange de sulfure de carbone et d'alcool renfermant 9 centièmes d'alcool.

De tels mélanges inséparables et à point d'ébullition fixe existent pour la plupart des liquides mélangés deux à deux. Ce n'est que dans des conditions très-particulières qu'ils ne se réalisent pas : il faudrait pour cela que dans tous les mélanges formés par deux liquides donnés, la tension du liquide le moins volatil se trouvât affaiblie suivant une proportion plus forte que celle du liquide le plus volatil, et sans qu'un rapport inverse dans les densités de vapeur vînt établir une compensation.

Lorsqu'un tel mélange est possible, il est facile de prouver qu'il tend à se produire d'une manière nécessaire dans le cours des distillations. Soient, par exemple, divers mélanges de sulfure de carbone et d'alcool : nous savons que le mélange inséparable renferme 9 parties d'alcool et 91 parties de sulfure de carbone. Supposons d'abord une proportion d'alcool supérieure à 9 centièmes : les premiers produits distillés seront moins riches en alcool que ceux qui resteront dans la cornue; ils se rapprocheront donc du mélange inséparable, tandis que le contenu de la cornue tendra vers l'alcool pur. Une nouvelle distillation suffira le plus souvent pour obtenir un premier produit constitué par le mélange inséparable, tandis que d'autre part on parviendra à l'alcool pur.

Si nous opérons au contraire sur un mélange plus riche en sulfure de carbone, les premières parties distillées entraîneront, en même temps que le sulfure, la totalité de l'alcool, et il restera du sulfure à peu près pur à la fin de la distillation. L'expérience prouve qu'il en est réellement ainsi. Ce résultat est remarquable, parce qu'il montre que le liquide le plus volatil peut passer le dernier dans les distillations, si sa masse est prédominante. Dans cette circonstance les premières parties se rapprochent, comme tout à l'heure, du mélange inséparable : elles y parviendront à la suite de nouvelles distillations.

Les faits que je viens d'exposer sont d'une application très-générale, bien qu'ils aient été souvent méconnus, et que l'on ait pris plus d'une fois des mélanges inséparables, et à point d'ébullition fixe, pour des produits définis.

Ce n'est pas qu'il soit impossible de séparer dans d'autres conditions de semblables mélanges, formés sous la pression ordinaire; il suffirait d'avoir recours à la distillation sous une pression différente, dans le vide par exemple. En effet, lorsque la pression extérieure varie, la température d'ébullition change : or, les tensions de vapeur ne varient pas pour deux liquides proportionnellement aux températures. Par le fait d'un abaissement de température, la tension du liquide le moins volatil s'affaiblit en général davantage que celle du plus volatil, et une certaine séparation devient dès lors possible.

Nous n'avons parlé que de la distillation des mélanges divers formés par deux liquides : c'est le cas le plus simple et celui dont la théorie peut être établie avec le plus de certitude, en se fondant sur les données expérimentales. Mais il n'est pas douteux que des faits de même nature, au moins comme signification générale, ne se présentent dans la distillation des mélanges qui renferment trois, quatre liquides ou davantage.

ÉCAILLE (*angl.* tortoise shell, *all.* schildkrœtenschale). L'*écaille* est une substance cornée qui recouvre, en plaques plus ou moins grandes, plus ou moins épaisses, la *carapace* de quelques espèces de tortues. La tortue appelée *caret*, et qu'on pêche en Asie et en Amérique, est celle qui porte la plus belle espèce d'*écaille*. On compte, sur chaque carapace, treize lames et vingt-six autres morceaux recourbés qu'on désigne sous le nom d'*onglons*, qu'on en détache à l'aide de la chaleur, soit de l'eau bouillante, soit, selon quelques voyageurs, en allumant du feu dans la carapace même. L'écaille est tantôt blonde, tantôt brune, tantôt noire; le plus souvent, ces trois couleurs se trouvent réunies sur le même morceau, qu'elles nuancent d'une manière agréable.

L'écaille se travaille à peu près comme la CORNE, et tout ce que nous avons dit de l'aplatissage et de la soudure de celle-ci s'applique à l'écaille, avec cette différence que l'on n'a que le léger bombement de l'écaille à faire disparaître dans l'aplatissage, et qu'il n'est pas nécessaire de la refondre comme la corne; enfin, quant à la soudure, il faut une température plus élevée que pour la corne, et il devient nécessaire d'employer l'eau salée (une poignée de sel par litre d'eau) dans laquelle on la laisse bouillir trois quarts d'heure à une heure, suivant sa nature. Les jeunes écailles doivent bouillir moins longtemps, mais dans une eau plus salée que les vieilles; enfin, la chauffe et le serrage, au moment de la soudure, doivent être beaucoup moins forts que pour la corne. Une autre différence à observer, c'est qu'il est tout à fait inutile de faire tremper préalablement l'écaille dans l'eau froide.

L'écaille est ordinairement moulée, de la même manière que la CORNE.

Pour faire des incrustations sur l'écaille, on prend du fil d'or ou simplement de cuivre doré que l'on contourne avec des pinces, de manière à former un fragment de dessin que l'on veut reproduire. Ce fragment s'applique sur l'écaille, au moyen d'une couche de gomme adragante. On dis-

pose successivement autour, ou à côté, les fragments du dessin dans lequel entrent souvent de petites plaques d'une nacre naturellement très mince et encore amincie à la meule, qu'on désigne sous le nom de *nacre de Burgos*, et dont les teintes et les reflets sont beaucoup plus vifs et plus variés que ceux de la nacre ordinaire. Lorsqu'il s'agit de lignes droites un peu longues, on creuse ordinairement un sillon avec un burin pour y loger le fil métallique, qu'il serait difficile d'empêcher de se déranger sans cette précaution. Lorsque le dessin est terminé, on remet la pièce dans le moule où elle a été fabriquée, et au moyen de la pression à chaud, on fait pénétrer dans l'écaille ramollie tous les fils métalliques ou les morceaux de nacre qui forment le dessin, et qui s'y trouvent solidement retenus par la contraction qu'éprouve l'écaille en se refroidissant.

On fait encore usage d'une autre espèce d'incrustation qui produit de charmants effets, et dont nous empruntons la description suivante à M. Boquillon :

Dans un premier moulage, soit en écaille fondue, soit en écaille naturelle, l'écaille reçoit du moule des entailles profondes, formant des dessins divers. On introduit ensuite dans ces sillons de la râpure d'écaille très fine et colorée, que l'on y tasse fortement, puis on essuie bien toute la surface, de telle sorte qu'il ne reste de la râpure d'écaille colorée que dans les sillons. On remet la pièce dans un autre moule exactement de même dimension, et portant, soit un *guillochis*, soit des dessins en relief, qui se raccordent parfaitement avec ceux qu'a produits le premier moule. Il résulte de ce second moulage des dessins d'une autre couleur que le fond, et qui produisent de fort jolis effets. Quant à la coloration de la râpure d'écaille, il suffit, pour la produire, de la mélanger avec la couleur convenable, lors des moulages successifs que l'on fait subir aux déchets et rognures d'écaille (voyez CORNE).

ECARLATE (*angl.* scarlet, *all.* scharlach). C'est une couleur rouge vif extrêmement belle et éclatante que l'on obtient en fixant la couleur de la COCHENILLE par un mélange de crème de tartre et de per-chlorure d'étain (voyez TEINTURE).

ÉCARRISSEUR, ÉCARRISSAGE. Écarrir, c'est abattre un cheval hors de service pour le dépecer et en séparer les matières premières nécessaires aux fabricants qui s'occupent du traitement des matières animales (prussiate de potasse, sels ammoniacaux, engrais musculaires, noirs d'ivoire, noir animal, colle, gélatine, phosphates, boyauderies, etc., etc., etc.). Les chevaux morts de maladie ou accidentellement sont achetés par l'écarrisseur; tous les animaux morts, chiens, chats, etc., passent entre ses mains. L'ouvrier qui s'occupe plus spécialement du dépeçage des chiens et des chats prend le nom d'écorcheur.

Près des grandes villes, le métier d'écarrisseur a toujours été profitable aux gens qui s'y livrent, mais il est pour le voisinage la source de tant d'inconvénients qu'il ne peut être exercé qu'à de certaines conditions et sous une surveillance des plus actives. Pendant près de cinquante ans, les particuliers n'ont cessé de porter plainte contre des établissements où l'écarrissage était encore à l'état de barbarie. A Montfaucon, la saleté était si révoltante, l'odeur si fétide, que les maisons avoisinantes n'étaient plus habitables. Grâce aux efforts soutenus et aux publications de MM. D'Arcet, Parent-Duchatelet, Payen, cette industrie a perdu ce qu'elle avait de repoussant et d'incommode.

Les matières jadis abandonnées, au détriment de l'agriculture et de l'industrie, sont maintenant utilisées; toutes les améliorations réclamées depuis si longtemps sont mises en pratique dans le bel établissement d'Aubervilliers, que nous aurons occasion de citer dans le cours de cet article. La répugnance qu'inspire généralement le dépeçage d'un cadavre s'est long-

ÉCARRISSEUR.

temps opposée, surtout dans les campagnes, au progrès de l'écarrissage. Nous voyons encore les paysans porter au loin les animaux morts, dont ils pourraient tirer un si grand parti. Cette répugnance est-elle fondée? l'écarrissage compromet-il la santé des ouvriers? les gaz que développent la putréfaction ont-ils quelque influence nuisible? non... Les enquêtes consciencieuses de MM. Parent-Duchatelet et Payen ont prouvé qu'en général, la santé des écarrisseurs était meilleure que celle des ouvriers employés dans les autres fabriques; au milieu de cette putréfaction, nous avons vu grandir et se développer des enfants sains et vigoureux.

Pour calmer les craintes imaginaires que fait naître cette industrie, disons que, dans le clos de Montfaucon, il ne s'est pas présenté un seul cas de choléra, pendant que ce fléau décimait les quartiers les plus riches et les mieux tenus de Paris.

En thèse générale, le dépeçage des animaux morts est sans danger, il est toutefois une circonstance où l'on doit s'en abstenir. Quand un animal succombe à la maladie connue sous le nom de charbon (anthrax), il faut bien se garder d'y toucher, l'entraîner avec un long croc dans une fosse préparée d'avance, et le recouvrir de terre. Au bout de deux ans, on peut extraire de la fosse les os, pour les vendre. Cette affection morbide est tellement caractérisée dans ses symptômes et dans sa marche, qu'elle ne peut donner lieu à aucune erreur. Les indices du charbon sont les suivants : tumeur gangréneuse surmontée de cloches, douleur vive, chaleur ardente. Les pustules se convertissent en escarres. L'animal est triste, agite ses flancs près desquels se développe une grosseur douloureuse au toucher et rendant le bruit d'une membrane sèche. Après la mort, qui survient au bout de 18 à 30 heures, la langue est noire, la chair et le sang colorés en brun. A ces signes évidents on connaît le charbon; dans le doute il vaudrait mieux s'abstenir et consulter un vétérinaire. Dans tous les cas, pourquoi d'ailleurs les ouvriers n'éviteraient-ils pas même l'ombre du danger, en imprégnant leurs vêtements de travail et leurs mains d'une solution de chlorure de chaux qui est si bon marché.

Nous avons prouvé que l'écarrissage n'était pas une opération insalubre, tâchons de prouver combien elle peut être lucrative pour les cultivateurs. Un cheval hors de service par suite de maladie, de vieillesse, ou d'une luxation qui ne peut être remise, vaut généralement de 10 à 15 francs. Traité par des procédés peu coûteux, à la portée de tous, il peut acquérir une valeur de 70 francs en moyenne. Une vache du poids de 400 kilogr. peut donner environ 60 francs. Les animaux plus petits présenteraient à proportion les mêmes bénéfices. Pour fixer les idées à cet égard, posons des chiffres, présentons les tableaux que nous devons à M. Payen. Ses comptes-rendus, fruits d'une longue expérience et d'une fabrication en grand, ne laisseront aucun doute dans les esprits. Prenons deux chevaux, l'un de volume moyen, l'autre en bon état, et nous verrons les matières qu'on peut en extraire et le prix qu'on en retire. Ces prix peuvent être modifiés suivant les localités, mais les produits mentionnés dans ces tableaux (voir à la page suivante) offrent en tout pays des applications nombreuses, soit qu'on considère l'agriculture ou l'industrie.

Tous les chevaux qui meurent sont conduits dans des entrepôts d'où ils sont transportés à Aubervilliers, les chevaux vivants doivent y être abattus le jour de leur arrivée. Les voitures, qui servent à porter les animaux destinés à l'abattage, sont munies de cordes et d'un moulinet, afin qu'un homme, en les attachant par la queue, puisse facilement les enlever. Pour que les jambes ne s'accrochent pas, les ridelles sont basses et inclinées.

Tableau n° 1.

	CHEVAL de volume moyen	CHEVAL en bon état
	kilogr.	kilogr.
Peau.	34	37
Sang.	18,500	20,810
Crins courts et longs.	1,000	1,220
Sabots.	1,500	1,860
Fers et clous.	450	1,800
Viscères et issues, foie, boyaux, cervelle.	38	39
Tendons.	2	2,400
Graisse.	1,150	31,500
Chair musculaire, viande. . . .	164	203
Os décharnés complétement après la cuisson.	46	48,500
Poids total des cadavres. . .	309,600	386,790

N° 2. Tableau des produits obtenus des matières fraîches par les plus simples opérations.

	CHEVAL DE VOLUME MOYEN.		
	Poids en kilog.	Prix du kilog.	Valeur en francs.
	k	f. c.	f. c.
Peau fraîche ou passée dans un lait de chaux léger. .	34	40	13,60
Crins courts et longs. . .	1	1	1
Sang cuit et pulvérulent calculé soit en raison de la nourriture qu'il représente pour les chiens, porcs, etc., soit comme engrais.	9	70	2,70
Fers et clous.	45	22	12
Sabots supposés réduits en râpures.	1,50	1,20	1,80
Viscères et issues employés à faire éclore les asticots pour engraisser les volailles.	8	20	1,60
Vidange des boyaux comme fumure.	20	05	1
Tendons trempés dans un lait de chaux et desséchés.	50	60	30
Graisse fondue.	4,15	1,20	4,98
Chair musculaire cuite et divisée pour servir de nourriture aux animaux de basse-cour ou comme engrais.	100	35	35
Os.	46	05	2,30
	224,50		f. c. 63,60

En refaisant le même calcul pour un cheval en bon état, on trouve, tant par suite de la différence du poids que par la plus value, la somme de 114 francs.

Dans le transport, souvent les rues sont salies par des épanchements de sang et de liquide. Ne pourrait-on pas prévenir ces inconvénients en doublant le fond de ces voitures de plaques métalliques, ou bien encore, ce qui serait plus économique, en plaçant sous les animaux une couche de matières absorbantes comme le noir animalisé. Pour abattre un cheval, on lui bande les yeux et l'on lui assène sur la tête un coup de masse; il est saigné immédiatement afin que le sang ne soit pas perdu. Ce moyen d'abattage est pour ainsi dire le seul admis aujourd'hui. Autrefois, pour montrer leur adresse, les écarrisseurs insufflaient une veine ouverte à dessein, ou bien encore enfonçaient une lame de couteau entre l'occiput et la première vertèbre. En pénétrant jusqu'à la moelle épinière, le couteau donnait immédiatement la mort à l'animal.

Une fois le sang recueilli, nous verrons ultérieurement les préparations qu'on lui fait subir, l'animal est étendu sur le dos, une incision est pratiquée dans le sens de la longueur, depuis le milieu de la mâchoire inférieure jusqu'à l'anus, en suivant la poitrine et le ventre; pour séparer la peau des membres antérieurs et postérieurs, on fait en croix deux autres incisions qui se prolongent jusqu'aux extrémités. Alors on fait une dernière incision circulaire. L'écarrisseur enlève la peau, en glissant son couteau dans l'incision longitudinale. Dans tous les cas, comme il vaut mieux endommager la chair que la peau, il faut toujours tenir le couteau appuyé contre les muscles, surtout si l'animal est maigre. La queue est coupée le plus près possible de sa racine. L'animal est ensuite retourné sur le dos, quand il est complétement dépouillé; la peau qui retient encore les lèvres, c'est-à-dire quelques lambeaux de chair, ce que les écarrisseurs font à dessein pour lui donner plus de poids, la peau est envoyée aux tanneurs, ou s'il fallait attendre, elle est étendue sur des bâtons pour être exposée à l'air. Il est bon de l'imprégner d'une solution de sel marin pour prévenir un commencement de putréfaction

Les tendons obtenus par la désarticulation des quatre membres devront être passés dans un lait de chaux; cette préparation facile leur donne une valeur plus grande. Ils sont expédiés aux fabricants de colle forte. Dans une exploitation rurale, hachés en morceaux et mélangés avec des pommes de terre, du son, des débris végétaux, ils peuvent servir à l'engraissement des porcs. La chair musculaire est enlevée ensuite par morceaux. A Aubervilliers, elle est divisée par un couteau mécanique avant de passer aux chaudières de cuite. Comme engrais et comme matière alimentaire, la chair musculaire constitue des produits assez importants. Bien qu'à Paris la police, dans des vues de prudence que nous ne saurions blâmer, ait interdit la vente de la chair de cheval comme viande de boucherie, il n'en est pas moins constant que la chair d'un cheval sain, loin d'offrir des dangers comme aliment, peut être d'une grande ressource pour les classes les plus pauvres et réparer les forces de ceux qui sont dans l'impossibilité de se procurer une nourriture animale plus délicate. En Danemarck, la chair de cheval se vend publiquement et avec autorisation.

Dans la Russie méridionale, les Tartares ne mangent, pour ainsi dire, que de la chair de cheval; leur santé n'en souffre nullement. Dans une fabrique que nous avons eu occasion de visiter, ils supportaient beaucoup mieux le travail que les ouvriers russes qui ne se nourrissent, une grande partie de l'année, que de végétaux. En lisant les ouvrages de Parent-Duchatelet et les rapports du baron Larrey, on pourra se convaincre que cet aliment, en admettant toutefois certaines restrictions, n'a rien de nuisible à la santé; c'est le seul point que nous tenons à constater.

La chair de cheval se vend encore pour les chiens, les animaux du Jardin-des-Plantes. Nous croyons qu'elle profite davantage aux porcs, quand elle est cuite et mêlée à des débris végétaux. La viande crue, leur occasionne parfois des maladies, surtout lorsqu'ils sont enfermés. Avant de passer à la cuisson de la chair et du sang, disons quelques mots de la graisse et de la manière d'utiliser quelques résidus, intestins, vidanges, sabots, clous, fer et poils.

L'écarrisseur détache la graisse des muscles dans la région des reins, autour des rognons. Après avoir enlevé les boyaux, il les gratte soigneusement sur une table, en se gardant bien d'endommager ceux qui doivent être livrés aux boyaudiers. La graisse enlevée doit être coupée par morceaux et jetée dans une chaudière, en observant de bien ménager le feu. La graisse fond et se sépare du tissu cellulaire qu'on peut enlever avec une écumoire. Autrefois, l'ouvrier, pour alimenter sa combustion, jetait sur le feu le tissu cellulaire; il vaut mieux le soumettre dans des sacs à une pression graduée, ce qui fournit encore une certaine quantité de graisse. La matière éclaircie, on la verse dans des baquets où elle se refroidit. Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails sur cette opération qui sera décrite plus au long à l'article FONDOIR.

On peut compter qu'un cheval en bon état fournira 40 litres d'huile. Un cheval maigre, 4 à 5 litres seulement. Un ouvrier emploiera 6 heures pour enlever toute la graisse d'un cheval en bon état, à peine une heure pour un maigre.

Par une ébullition dans l'eau suffisamment prolongée, on retire des pieds de chevaux une huile très estimée pour le graissage des machines. Elle vaut de 2 fr. à 2 fr. 50 c. le kilogr. Cette huile a des qualités qui la font rechercher par les émailleurs, elle est fluide, brûle également et sans fumée; elle sert aux hongroyeurs pour préparer les peaux et aux bourreliers pour assouplir les cuirs des harnais. Une fois les intestins débarrassés de leur graisse et vidés, l'ouvrier met à part une partie des intestins grêles, tous ceux qui peuvent servir aux boyaudiers, à la fabrication des cordes à poulie, etc., etc. Ces intestins doivent donc être soigneusement rincés à plusieurs eaux. On les fait sécher en les suspendant à l'air. Dans un établissement bien monté, on pourrait les exposer au soufrage, ce qui leur donnerait une plus grande valeur. Les vidanges d'intestins mélangés avec de la terre, des marnes, des cendres, des escarbilles, ou mieux encore avec du noir animalisé, fournissent un excellent engrais qui peut être utilisé sur les cultures aux environs de l'abattoir.

On peut utiliser les issues, les débris d'intestins dans la production de ces vers blancs, connus vulgairement sous le nom d'ASTICOTS, ces vers proviennent des mouches, *musca carnaria*, *musca cæsar*, *musca vivipara*, qui déposent leurs œufs sur les viandes en putréfaction, et valent à Paris 12 francs environ l'hectolitre. Il s'en vend chaque année pour une dizaine de mille francs C'est, comme on voit, un produit qui n'est pas à dédaigner. En détail ces vers se vendent encore assez cher aux pêcheurs à la ligne. On les donne avec avantage aux volailles. Les expériences à cet égard sont concluantes, c'est un fait bien connu des conservateurs des forêts, qui faisaient jeter çà et là dans les bois des débris d'animaux, pour développer ces larves dont les faisans sont fort avides.

Les fers sont détachés des sabots. Les clous, connus sous le nom de caboches, sont envoyés en province, principalement en Auvergne. Les sabots sont employés par les aplatisseurs pour les peignes à chignon et autres objets; rien n'est plus facile que de séparer le sabot de l'os intérieur, une fois que les attaches sont sèches, il suffit de le frapper sur un corps dur.

Par la fermentation en tas, l'hiver et l'été, par une macération de quelques jours dans l'eau, on arrive à désorganiser les parties pulpeuses. La connexion entre l'épiderme et le sabot est détruite. Les sabots ont peu de valeur, les 100 kilogr. valent de 4 à 5 francs. On pourrait tirer un plus grand parti des sabots en les râpant. La corne en poudre a une valeur d'autant plus grande, que la poudre est plus fine et moins souillée de corps étrangers.

Le poil des animaux se vend humide, 4 fr. 50 c. l'hectolitre : c'est un engrais puissant.

On peut avec les poils fabriquer un feutre grossier, qui, dans les pays froids, surtout dans les maisons en bois, sert à calfeutrer les cloisons. Ce feutre fournit aux chasseurs d'excellentes bourres, qui ne brûlent pas, une fois hors du fusil. Il est encore employé avec avantage dans les emballages.

Le sang se réduit par la dessiccation au tiers de son poids environ.

Les 100 kilogr. de sang sec valent de 18 à 20 fr. environ.

Différentes méthodes ont été employées pour la cuisson du sang; en petit, le moyen le plus simple serait la concentration à feu nu, dans des chaudières longues et peu profondes. Il faudrait, dans ce cas, remuer continuellement le liquide et modérer le feu, surtout vers la fin de l'opération. Pour accélérer l'évaporation, tantôt on faisait descendre le sang sur des piles de bois, tantôt on l'exposait en nombreuses surfaces au contact de l'air, au moyen de toiles qui plongeaient dans la chaudière et se relevaient alternativement. Ces moyens ingénieux, du reste, ont été abandonnés, l'emploi de la vapeur ayant prévalu dans la cuisson du sang.

Dans plusieurs établissements, on verse le sang dans un grand cuvier; un tuyau en serpentin percé de trous y amène la vapeur, le sang bouillonne; après un certain temps, l'albumine du sang est coagulée. On sépare la partie solide de la partie liquide, en soumettant le tout dans des sacs à l'action d'une presse. La partie solide est ensuite portée aux séchoirs. Le liquide qui s'est écoulé des presses peut servir à l'arrosage.

A Aubervillers, le sang se cuit en vases clos à haute pression, dans d'immenses chaudières cylindriques munies d'un double fond.

Ce sont les mêmes chaudières que l'on emploie pour la cuisson de la viande; une porte latérale permet de retirer par le bas, après l'opération, le sang ou la chair.

Dans le double fond se rassemble un liquide gélatineux chargé de graisse.

Des chaudières, le sang et la chair, vont directement au séchoir, sans être pressés.

La dessiccation s'opère, à Aubervillers, au moyen du ventilateur de M. *Combes* et à l'abri de l'air, avantage immense, car les matières azotées sont préservées de la fermentation. Après la dessiccation, le sang et la chair sont broyés dans un moulin, et mis en sacs ou en tonneaux. Le sang et la chair desséchés forment un engrais très puissant; il s'en expédie beaucoup aux colonies pour la culture des cannes à sucre.

Les fabricants de bleu de Prusse en emploient aussi une grande quantité. On préparait pour la clarification des sucres un sang desséché à basse température, dans le but de ne pas coaguler l'albumine. Il paraît que cette opération, qui n'a jamais été faite sur une grande échelle, a été abandonnée.

Le sang liquide s'emploie, dans quelques localités, comme matière colorante. On en fait un badigeon.

Quand on retire la chair cuite par la porte latérale, placée dans le bas de la chaudière, les os s'en séparent avec la plus grande facilité. Dans certains établissements, ils sont vendus directement sans avoir subi aucun traitement. A l'article OS, nous parlerons de leur constitution chimique, et nous entrerons dans des détails de fabrication que nous ne pouvons donner ici. Il suffit de savoir que les os sont employés à des ouvrages de tourneurs, tabletiers, etc., à la fabrication du noir animal, des produits ammoniacaux, de la colle-forte, de la gélatine, du phosphore, etc.

Ces os, suivant leurs dimensions, valent de 6 à 40 francs les 100 kilogrammes.

A l'article ABATTOIR, nous avons donné le plan d'un

clos d'écarrissage. Ce plan ne laisse rien à désirer sous le rapport des dispositions qui doivent faciliter le travail, assurer la salubrité et la surveillance de toutes les parties de l'établissement.

Ce plan sera toutefois modifié par les industriels qui voudraient annexer à l'écarrissage proprement dit les fabrications qui en dépendent, carbonisation des os, colle, boyauderies, ce qui pourrait être avantageux dans le cas où les matières premières, fournies par l'écarrisseur, devraient être envoyées à de grandes distances. O. VALERIO.

ÉCHAPPEMENT. Voy. HORLOGERIE.

ÉCLAIRAGE (*angl.* Lighting, *all.* Beleuchtung). L'art de l'éclairage, c'est-à-dire de faire naître artificiellement une lumière qui puisse remplacer pour nos besoins celle du soleil, qui ne consistait autrefois que dans l'emploi d'appareils extrêmement grossiers, a pris depuis la fin du dernier siècle, notamment depuis la découverte des becs à double courant d'air d'Argand et celle du gaz de la houille, un développement extraordinaire. Nous allons étudier en détail les grandes industries qui s'y rapportent.

1° PRODUCTION DE LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE. — COMBUSTION LUMINEUSE. — C'est l'éclat de la combustion lumineuse d'un corps qui est la principale source de lumière qu'utilise l'industrie. La lumière électrique a été cependant employée dans ces dernières années, mais dans des cas exceptionnels : nous en traiterons séparément. En général, on produit la lumière par la combustion, c'est-à-dire par la combinaison d'un comburant et d'un combustible. C'est toujours l'air formé d'oxygène et d'azote dans le rapport de 21 à 79 en volume qui, dans la pratique industrielle, fournit gratuitement le corps comburant, l'oxygène. Le rôle de l'azote est négatif; il diminue l'intensité de la combustion que produit l'oxygène pur. Quant aux corps combustibles employés, ils varient en raison de la facilité de leur emploi et de la quantité de lumière qu'ils donnent pour une même dépense. Voyons donc à déterminer d'abord les conditions générales de la combustion lumineuse.

Combustion des solides fixes. — Incandescence lumineuse. — Une chaleur intense soit communiquée à un corps solide, soit engendrée par la combustion de celui-ci, se manifeste sous l'apparence d'*incandescence*. La lumière que projette le corps varie en raison de la température à laquelle se produit celle-ci, et paraît se manifester sensiblement de la même manière pour tous les corps, sauf l'intensité variable en raison du pouvoir émissif, du pouvoir réflecteur, de la densité de chacun d'eux, etc. Si l'on suit la combustion rendue de plus en plus vive du charbon, on voit les couleurs se succéder ainsi. D'abord faiblement incandescent, il émet une faible lueur couleur rouge; d'abord le *rouge sombre*, puis le *rouge cerise*. La température s'élevant beaucoup, la couleur devient rouge jaunâtre (*rouge vif*), puis jaune approchant du blanc, puis verdâtre, enfin bleuâtre avec un très-grand éclat, c'est la *chaleur blanche*.

M. Pouillet (voy. PYROSCOPE, *Complément*) a cherché à évaluer, à l'aide du pyromètre de platine, les températures qui correspondent à ces apparences lumineuses. Il est parvenu aux résultats suivants :

Rouge sombre. . . .	700° c.
Rouge cerise	900° c.
Orangé clair	1200° c.
Blanc nuancé	1300° c.
Blanc éblouissant. . .	1500° c.

Nous dirons quelques mots plus loin de quelques combustions de corps solides extrêmement remarquables par la grande intensité de la lumière qu'elles rayonnent et qui, produites dans les cours de chimie, excitent la vive admiration des spectateurs, par exemple, la combustion du phosphore, du fer dans l'oxygène, celle du fer, de l'antimoine, dans le chlore, etc. Cette intensité sert à établir le principe fondamental de l'explication du pouvoir éclairant qui repose, dans tous les cas, sur l'incandescence des solides, de corps ayant une masse, par suite un pouvoir réflecteur et émissif considérable.

La fixité, l'infusibilité de l'oxyde formé, en limitant la combustion, paraissent rendre impossible le plus souvent l'application industrielle de la lumière formée par la combustion d'un solide; on vient toutefois d'entrer dans une voie d'utilisation d'une semblable combustion, dans un cas tout particulier il est vrai, mais intéressant en ce qu'il nous paraît dans une voie nouvelle; en effet, il n'est pas démontré que l'industrie ne puisse employer, au moins dans quelques cas spéciaux, d'autres combustions de corps solides. Il faudrait des expériences propres à apprécier non-seulement l'intensité de la lumière, comme nous l'indiquons ci-après, mais encore la quantité de lumière (ce que l'on conclut trop imparfaitement aujourd'hui de la mesure de l'intensité et de l'étendue de la surface éclairée, faute de pouvoir mesurer la force vive prenant la forme lumineuse, produite par une combustion) pour une combustion coûtant un prix connu.

Je veux parler du magnésium, dont la combustion est d'un admirable éclat et qui, pour la consommation d'un faible poids, dégage une grande quantité de lumière. Un fil, placé dans un appareil d'horlogerie qui le fait avancer, brûle en un point sensiblement fixe, et pendant tout le temps que le métal est fourni par l'appareil. La fixité et la durée de l'action, l'intensité de la lumière qui renferme une grande proportion de rayons chimiques, ultra-violets, sont assez grandes pour que les photographes aient pu l'employer pour tirer des épreuves.

Pour d'autres applications, d'autres métaux de valeur minime dont l'oxyde est volatil, ou se détache du fil, le zinc et le fer, par exemple, pourraient peut-être recevoir un semblable emploi. Si leur combustion dans l'air n'offre pas autant d'éclat que celle du magnésium ou que leur propre combustion dans l'oxygène pur, on remarquera qu'il serait facile de l'augmenter, en faisant passer par ces fils un courant électrique qui viendrait aider l'activité de la combustion. Or, on sait que la combustion des métaux par la pile a un grand éclat, et si la dépense de l'électricité venait ici s'ajouter pour produire un supplément d'éclat, elle n'enlèverait rien toutefois à la lumière produite par la seule oxydation.

Mais il n'y a pas à insister ici sur un point qui demande des recherches spéciales, notre intention étant seulement d'indiquer une voie curieuse à explorer.

Combustion des solides et de liquides réduits en vapeur, du gaz. — Nature de la flamme. — Quand le corps combustible est à l'état gazeux, soit originairement, soit à cause de la chaleur à laquelle il est soumis, le mélange du gaz avec l'oxygène de l'air et les produits de la combustion constitue la *flamme*, qui est, en réalité, une substance gazéiforme chauffée jusqu'à l'incandescence. Si le gaz combustible ou la vapeur et l'oxygène de l'air sont mêlés uniformément avant l'ignition, et si le mélange est en repos, la combustion prend la forme d'une explosion, la combustion se produisant en un instant dans toute la masse de matière gazeuse, qui paraît un moment totalement lumineuse. Un effet semblable a lieu pour un corps solide combustible, comme le soufre ou le charbon, si on le mélange intimement avec un nitrate, un chlorate ou autre corps solide qui peut fournir facilement de l'oxygène : si la température en un seul point d'un semblable mélange vient à être élevée jusqu'à celle de la combustion, par

frottement, percussion ou contact d'un corps chaud, l'ignition de quelques particules élève la température des parties voisines, et l'effet se propage à travers toute la masse en un temps extrêmement court, d'une durée inappréciable, produisant un soudain et violent dégagement de gaz qui occupent plusieurs milliers de fois le volume du mélange solide primitif. Le bruit qui résulte de l'explosion provient du choc violent que produit sur l'air environnant l'expansion soudaine des gaz chauds.

Mais quand le gaz combustible ou la vapeur sort par un orifice ou se dégage d'une mèche pour arriver dans l'air ou dans une atmosphère d'oxygène, la combustion se produit graduellement à la surface du contact des deux gaz, et il apparaît une flamme persistante, consistant en une partie inférieure sombre et peu chauffée, remplie de gaz combustible, et en une enveloppe incandescente marquant les limites des points où le gaz combustible et l'oxygène viennent en contact et se combinent, ou plus exactement les limites de la partie gazeuse portée à une température suffisante pour être lumineuse. On peut facilement prouver que telle est la structure de la flamme, en coupant en quelque sorte la flamme en divers points à l'aide d'une toile métallique comme Davy a appris à le faire (voy. FLAMME); soit encore en plaçant un morceau de phosphore sur la mèche d'une lampe à esprit-de-vin, le phosphore ne prend pas feu tant qu'il n'est pas poussé hors du centre. De la même manière, une chandelle allumée peut être éteinte en la plaçant au milieu d'une flamme d'alcool.

L'éclat ou le pouvoir éclairant d'une flamme ne dépend pas seulement, comme pour un solide, de la température, mais encore de la présence ou de l'absence de particules solides qui agissent comme des centres de rayonnement. Toute flamme qui ne renferme pas de semblables particules émet une faible lumière, même quand la température est extrêmement élevée; telle est, par exemple, la flamme du gaz hydrogène. Mais quand une flamme renferme des particules solides, l'éclat augmente avec la température de ces particules. Leur présence dans la flamme provient quelquefois de la combustion du corps combustible avec l'oxygène, par exemple, l'acide phosphorique ou l'oxyde de zinc, dans la combustion du phosphore ou du zinc; plus souvent, dans la combustion des substances hydrocarbonées à l'état gazeux notamment, ce sont des particules de carbone, celles que l'on recueille sous forme de noir de fumée quand on introduit un corps froid dans la flamme, qui se trouvent dans celle-ci. Toute flamme terne devient plus brillante quand on y projette un corps solide en poussière fine.

On peut citer, comme donnant une flamme terne : le gaz hydrogène, l'oxyde de carbone, le soufre, le sélénium, l'arsenic, l'esprit de bois, l'alcool; le phosphore brûle avec une flamme dépourvue d'éclat, dans le chlore, parce que le chlorure de phosphore produit par cette combustion est à l'état gazeux (H. Davy). Quand une spirale formée par un fil de platine ou un fragment d'amiante est placée dans une de ces flammes, ou que de l'oxyde de zinc en poudre y est projeté, la matière solide devient immédiatement blanche et émet une vive lumière (Davy). Du papier trempé dans une solution de chlorure de calcium et brûlé dans la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, se réduit en un réseau de cendres qui, au milieu de la flamme pâle de l'alcool, émet une brillante lumière (Talbot).

Si de la vapeur d'alcool est projetée par une série de tubes, et du gaz oxygène par une autre série, sur un morceau de chaux suspendu à un fil de métal, l'alcool brûlant dans l'oxygène chauffe la chaux jusqu'à un degré de blancheur éblouissante, telle que la lumière réfléchie par un miroir concave placé derrière est parfaitement sensible à une distance de 68 milles. On rend la chaux encore bien plus lumineuse en employant au lieu d'alcool et de gaz oxygène un chalumeau oxy-hydrogène. Prenant pour unité la lumière d'une bougie de cire, celle émise par un cylindre de chaux dont la circonférence est 1/5e de celle de la flamme de la bougie, est égale à 153 quand il est chauffé par la flamme oxy-hydrogène; à 76 avec la flamme d'éther et d'oxygène; à 69 avec l'alcool et l'oxygène; enfin à 19 avec le gaz d'éclairage et l'oxygène. Du calcaire qui n'a pas été chauffé, de l'argile blanche donnent beaucoup moins de lumière que la chaux vive.

En résumé, une brillante lumière est produite par la combustion des corps suivants :

1° Ceux dont la combinaison avec l'oxygène forme un composé solide : le phosphore, le potassium, l'antimoine, le bismuth, le zinc et beaucoup d'autres métaux;

2° Les composés contenant du carbone, et sur lesquels nous reviendrons tout à l'heure.

Figure des flammes et température. — Il importe de voir comment l'arrivée de l'air, des gaz et des vapeurs combustibles détermine la figure des flammes, et comment, par l'effet des dispositions générales qu'il faut adopter, la température s'y répartit.

Soit la flamme d'un corps riche en hydro-carbures, brûlant au moyen d'une mèche, une chandelle par exemple. Le suif fondu par la chaleur monte dans la mèche en vertu de la capillarité; il s'y décompose sous l'influence de la haute température que lui communiquent les parties déjà en combustion; de là résultent divers gaz et vapeurs combustibles qui se dégagent autour de la mèche. Ces abondantes vapeurs hydrocarbonées ne pouvant brûler que par les points où elles sont en contact avec l'oxygène de l'air, et se dégageant symétriquement autour de la mèche, cette flamme est formée ainsi qu'il suit : 1° un cône *intérieur obscur*, effilé à la partie supérieure, entourant la mèche et renfermant les produits de la distillation du suif, mêlés avec quelques produits de la combustion provenant de la partie inférieure, savoir : de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, enfin de l'azote de l'air; son existence se démontre facilement en coupant la flamme horizontalement par un papier qui est carbonisé suivant un anneau dont le centre reste parfaitement intact; 2° la *zone de lumière* bleue du bas de la flamme, qui est en contact avec un excès d'oxygène déterminant une combustion à peu près complète, de façon à rapprocher la couleur de la flamme à peu près privée de carbone solide, de celle de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène; 3° le *cône lumineux* entourant le cône obscur, et dans lequel les vapeurs hydrocarbonées se mélangent avec l'air extérieur et se combinent avec son oxygène. C'est là que se fait la combustion active rendue lumineuse par le carbone qui s'y trouve momentanément en suspension, et qui est porté à l'incandescence. Les gaz échauffés s'élèvent sans cesse, ce qui donne à la flamme son aspect conique. Au sommet du cône obscur, le cône lumineux fait dard. Ce cône est plus jaunâtre à mesure qu'on se rapproche davantage de l'extérieur, parce que le carbone disparaît. Le maximum de température est obtenu là où la combustion est la plus complète possible et où les gaz sont le mieux protégés contre le rayonnement et le refroidissement produit par le contact de l'air extérieur. Ces conditions multiples se trouvent le mieux remplies entre la pointe du cône obscur et la pointe extérieure du cône lumineux, plus près de la première que de la seconde; 4° *la pointe* où se réunissent les gaz hydrocarbonés et le carbone en suspension qui sont brûlés les derniers, abrités en quelque sorte contre l'oxygène par les produits de la

combustion des parties latérales qui s'élèvent verticalement. Aussi en ce point la combustion n'est pas très-intense, et c'est par là que le noir de fumée se dégage, très-abondamment si la mèche large et haute dégage abondamment, et à une grande hauteur, des vapeurs hydrocarbonées.

La flamme d'une lampe d'Argand, dont le bec circulaire est léché par un courant d'air extérieurement et intérieurement, peut être comparée à celle d'une chandelle qui aurait été aplatie, puis enroulée sur un cylindre. Elle affecte la forme d'un anneau presque cylindrique dans la plus grande partie de son étendue, se terminant par une pointe circulaire. On y reconnaît donc les mêmes éléments que dans la flamme conique, mais d'après la forme de la mèche la zone obscure a très-peu d'épaisseur.

La grandeur de la flamme dépend de conditions multiples dont les principales sont la température développée par la combustion, le volume de l'oxygène ou, plus généralement, du gaz comburant, le volume des produits de la combustion, la diffusibilité inégale des gaz les uns dans les autres, etc. Voici divers faits qui s'expliquent par le concours de ces conditions.

Quand différents gaz combustibles sont lancés en un seul jet dans du gaz oxygène ou dans des mélanges qui en renferment, on observe les effets suivants : l'hydrogène donne une flamme beaucoup plus petite que le gaz oléfiant (1 volume d'hydrogène a besoin pour brûler de 1/2 volume d'oxygène et le gaz oléfiant de 3 volumes). L'hydrogène mélangé avec de l'azote donne une flamme un peu plus petite que l'hydrogène pur. La flamme du gaz hydrogène dans l'oxygène est plus petite que celle du même gaz dans l'air ; c'est là une anomalie apparente, si l'on ne tient compte que des volumes des deux gaz qui entrent en combinaison, comme le fait observé encore, que l'hydrogène donne une moindre flamme dans l'air que dans le chlore ou le gaz nitreux, bien qu'un volume de gaz hydrogène nécessite 2,4 volumes d'air et seulement 1 volume de chlore ou de gaz nitreux.

La couleur de la flamme dépend en partie de sa température, en partie de la nature des substances qui y sont contenues.

Le gaz oxyde de carbone froid donne, en brûlant, une flamme bleue ; mais s'il a été préalablement chauffé, la flamme est rouge jaunâtre.

L'hydrogène et les autres gaz qui dégagent beaucoup plus de chaleur que l'oxyde de carbone montrent une flamme rouge jaunâtre quand on les brûle froids. Quand l'hydrogène sort par un petit orifice (comme dans l'appareil de Marsh) pratiqué dans une plaque de porcelaine, la flamme devient pâle verdâtre ; résultat de l'action réfrigérante de la porcelaine.

L'addition d'acide borique ou d'un chlorure métallique et d'acide sulfurique, dans l'alcool, donne à la flamme une couleur verdâtre qui, avec un fort chauffage préalable, tourne au jaune. Le chlorure de strontium et le chlorure de calcium colorent en rouge la flamme de l'alcool ; le chlorure de barium et le sel marin la colorent en jaune ; le protochlorure de cuivre donne une belle flamme rouge avec du vert et du bleu sur les bords. Les flammes des autres corps subissent de semblables altérations. Le chlorure de strontium rougit la flamme de l'hydrogène, du gaz des marais, du gaz oléfiant et aussi celle d'une chandelle ; mais, et seulement tant que le sel est humide, il ne produit pas d'effet dans la flamme de soufre. Dans tous ces cas, une partie de la substance ajoutée est sûrement volatilisée : mais on ne savait pas, jusque dans ces derniers temps, si elle se décompose et si la couleur de la flamme est due seulement à la présence de l'acide borique, du chorure de strontium, du chlorure de cuivre, etc., ou s'il se produit une décomposition, de telle sorte que du boro, du strontium, du cuivre sont réduits et produisent les différentes couleurs en brûlant dans la flamme. Davy avait proposé cette dernière explication des faits.

L'analyse spectrale a démontré que la manière de voir de Davy était la vraie, que le sodium et le chlorure de sodium, par exemple, donnaient toujours les mêmes raies, celles du sodium.

L'étude des couleurs des flammes est d'un grand intérêt pour les questions d'éclairage, car dans les comparaisons d'intensité, telles qu'on les pratique pour les applications industrielles dont nous parlons plus loin, on suppose toujours les lumières homogènes, ce qui est une source d'erreur manifeste. L'analyse spectrale pourra permettre de s'avancer dans une voie, où les moyens de comparaison manquaient tout à fait.

PROPRIÉTÉS ÉCLAIRANTES DES GAZ HYDRO-CARBONÉS. — M. Berthelot a eu l'obligeance de résumer pour cet ouvrage l'application de ces principes généraux aux gaz hydrocarbonés, qui constituent la principale source de lumière artificielle dans les sociétés humaines.

Tantôt les sources de lumière affectent naturellement l'état gazeux : tel est le gaz de l'éclairage proprement dit ; tantôt elles fournissent par leur décomposition et dans l'acte même de la combustion, des substances gazeuses qui deviennent le véritable support de la lumière produite : tel est le cas des huiles végétales, des résines, du bois, de la paille, des pétroles, de la chandelle, de la bougie, de la cire, etc.

Nous allons chercher à définir les conditions générales auxquelles cette combustion doit satisfaire pour donner un bon éclairage, en appliquant au cas normal de l'industrie et complétant les considérations indiquées ci-dessus.

1° *Présence d'un corps solide.* — Tout gaz lumineux doit renfermer, avons-nous dit, un corps solide en suspension : dans les cas dont nous nous occupons, ce corps solide est toujours du carbone.

2° *Température.* — Le gaz doit être porté à une très-haute température, capable de rendre lumineux le corps solide qu'il renferme, c'est-à-dire le carbone.

3° *Combustion.* — En observant que cette haute température est développée par la combustion du gaz lui-même, c'est-à-dire par la combinaison de l'hydrogène et du carbone du gaz avec l'oxygène de l'air, on tire de là diverses conditions relatives à la combustion et que nous développerons : en effet, il est évident que la combustion doit s'opérer dans les conditions les plus convenables pour que le gaz soit lumineux.

4° *Nature des rayons lumineux.* — Le gaz doit émettre des rayons lumineux incapables de fatiguer l'œil humain : ce qui exclut la prédominance des rayons empruntés aux deux extrémités du spectre, c'est-à-dire des rayons rouges d'une part, et d'autre part des rayons chimiques (telle que la lumière bleuâtre éblouissante de l'arc électrique ou du magnésium). En général, la lumière émise doit être aussi blanche que possible.

Développons les trois premières conditions, lesquelles sont corrélatives. Les gaz comme les autres corps ne deviennent lumineux que s'ils sont portés à une température suffisamment élevée ; mais cette condition ne suffit pas, les gaz qui ne renferment aucune particule solide, tels que l'hydrogène, peuvent développer par leur combustion une température excessive, capable, par exemple, de fondre le platine (2000° environ) sans cependant émettre autre chose qu'une lueur à peine visible. Les gaz hydrocarbonés, au contraire, deviennent lumineux par suite de la précipitation sous forme solide d'une partie du carbone qu'ils renfer-

maient en combinaison. Dans l'état naturel du gaz et à la température ordinaire, ce carbone n'est pas visible, parce qu'il est uni à l'hydrogène et constitue avec lui le composé gazeux. Mais au moment de la combustion deux actions se produisent, qui mettent à nu une partie du carbone : d'une part le gaz hydrocarboné est porté à une température très-élevée, ce qui détermine sa décomposition partielle en carbone et en hydrogène ; d'autre part, en présence d'une quantité d'oxygène insuffisante, l'hydrogène du gaz brûle le premier et le carbone se sépare en nature.

Telles sont les circonstances générales qui déterminent au sein de la flamme d'un gaz hydrocarboné la présence du carbone nécessaire pour le rendre lumineux. On pourrait également déterminer cette mise à nu du carbone par certaines actions chimiques, celle du chlore, par exemple, mélangé avec le gaz combustible, mais ce cas est en dehors de la pratique.

Cherchons maintenant à quelles conditions spéciales le gaz sera plus ou moins éclairant, c'est-à-dire émettra une lumière plus ou moins vive et blanche. Ces conditions se rattachent surtout à la présence d'une proportion convenable de carbone dans le gaz.

En effet, il faut que la flamme renferme une proportion de carbone suffisante pour produire une vive lumière et pour subsister en nature pendant quelques instants ; mais il faut en même temps que ce carbone brûle complétement à la surface extérieure de la flamme.

Si le carbone est en proportion insuffisante, il ne réfléchit qu'une quantité de lumière trop faible : c'est ce qui arrive, par exemple, avec l'oxyde de carbone. La couleur bleue de sa flamme paraît due à la présence d'une trace de carbone produite par un commencement de décomposition. La même chose arrive, mais avec production d'un peu plus de carbone, avec le gaz des marais, C^2H^4, dont la flamme est jaunâtre et peu éclairante.

Au contraire, si le carbone se trouve en excès, il ne brûle pas complétement à la surface extérieure de la flamme : une certaine proportion échappe à la combustion, cesse d'être lumineuse et rend la flamme fuligineuse, c'est-à-dire que le carbone non brûlé s'interpose comme un brouillard entre l'œil et les parties lumineuses de la flamme. Celle-ci devient ainsi moins éclairante, et de plus elle envoie à l'œil une grande quantité de lumière rouge émise par les parcelles de carbone au moment où elles ont cessé d'être lumineuses par suite du refroidissement.

Toutes ces circonstances se produisent dans la combustion de la benzine ou de l'essence de térébenthine, dans celle des torches de résine, de la paille humide, etc.

L'expérience a prouvé que les conditions nécessaires pour qu'une flamme hydrocarbonée brûlant au contact de l'air soit très-éclairante tiennent aux circonstances suivantes :

1° Rapport entre le carbone et l'hydrogène dans le gaz combustible ;

2° Condensation des éléments dans ce même gaz ;

3° Rapport convenable entre le gaz combustible et l'air employé pour le brûler ;

4° Pression exercée sur le mélange des gaz combustibles et comburants.

Entrons dans quelques détails :

1° *Rapport entre le carbone et l'hydrogène.* — Si l'hydrogène domine, comme il arrive dans le gaz des marais, C^2H^4, la flamme est peu éclairante. Si le carbone l'emporte, comme il arrive dans l'acétylène, C^4H^2, ou la benzine, $C^{12}H^6$, la flamme est fuligineuse.

Le maximum de pouvoir éclairant existe, lorsque les proportions des deux éléments sont rapprochées des rapports équivalents. Ainsi le gaz oléfiant, C^4H^4, donne une flamme très-belle et très-éclairante. Ce rapport a été regardé pendant longtemps comme l'élément principal de la question : mais la condensation joue ici un rôle également important.

2° *Condensation des éléments dans les composés pris sous forme gazeuse.* — On peut le vérifier en comparant la flamme du gaz oléfiant, C^4H^4, à celle du propylène, C^6H^6, et de l'amylène, $C^{10}H^{10}$. Ces trois corps sont formés des mêmes éléments, unis dans les mêmes proportions, mais avec des condensations différentes, comme les formules l'indiquent. Tous trois brûlent avec des flammes fort éclairantes ; mais celle du gaz oléfiant brûle avec un dépôt de carbone presque insensible, tandis que les deux autres sont fuligineuses et dès lors moins éclairantes.

De même la flamme de l'alcool méthylique : $C^2H^2 + H^2O^2$, est presque incolore ;

Celle de l'alcool ordinaire, $C^4H^4 + H^2O^2$, est fort pâle, jaunâtre, quoique plus lumineuse ;

Celle de l'éther, $C^8H^8 + H^2O^2$, est très-brillante :

Celle de l'alcool amylique, $C^{10}H^{10} + H^2O^2$, est brillante, mais déjà légèrement fuligineuse.

Or, tous ces corps peuvent être regardés comme formés par l'association des éléments de l'eau avec des carbures d'hydrogène de même composition, mais diversement condensés.

En raison de cette circonstance, on peut corriger les propriétés fuligineuses d'une flamme en associant le composé qui la fournit avec un corps moins carboné et capable de fournir par lui-même une flamme peu éclairante. C'est ainsi que la flamme de l'hydrogène est incolore et celle de la benzine fuligineuse ; mais l'hydrogène chargé de vapeur de benzine brûle avec une belle flamme blanche. De même, l'essence de térébenthine, à flamme fuligineuse, associée avec l'alcool à flamme pâle et jaunâtre, produit un liquide désigné autrefois sous le nom de *gaz liquide*, et qui brûle avec une belle flamme blanche et très-éclairante.

La même règle préside à la fabrication du gaz de l'éclairage préparé par la distillation de la houille. Les premiers produits obtenus à température basse sont riches en carbone, tels que benzine, acétylène, gaz oléfiant, etc., très-éclairants, voire même fuligineux ; les derniers sont formés principalement par du gaz des marais, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, tous gaz à flamme presque incolore. En mélangeant le tout dans les gazomètres, on obtient un gaz convenablement éclairant. Dans le cas où les premiers produits de la distillation ne sont pas assez riches en carbone, on y ajoute des produits de distillation des houilles grasses ou même des boghead, sorte de schistes qui fournissent des carbures d'hydrogène très-éclairants.

Ces faits montrent toute l'importance des notions théoriques que nous développons ici.

3° *Rapport entre le gaz combustible et l'air employé pour le brûler.* — Les propriétés éclairantes d'un gaz ou d'une vapeur hydrocarbonée varient suivant la proportion de l'air avec lequel il est mélangé au moment de la combustion. Il est facile de le comprendre, puisque cet air détermine une combustion plus ou moins complète du carbone dans la flamme.

Un gaz très-carboné, qui brûlerait avec une flamme fuligineuse dans les conditions ordinaires, peut donner une flamme blanche et très-éclairante, lorsqu'on le mélange avec une certaine quantité d'air. La flamme peut même devenir presque incolore sous l'influence d'un excès d'air. Ces faits sont faciles à constater avec le bec Bunsen, sorte de bec de gaz placé à l'extrémité supérieure d'un tube qui est muni à la partie inférieure d'un anneau percé de trous donnant passage à l'air, et à l'aide duquel on fait varier à volonté la

proportion de l'air que l'on mélange avec le gaz de l'éclairage, avant d'en opérer la combustion.

On peut constater que l'air que l'on mélange avec le gaz hydrocarboné peut intervenir de deux manières :

(*a*) Tantôt on mêle à l'avance le gaz et l'air, ce qui s'exécute dans le bec Bunsen, dans lequel la combustion s'opère seulement au haut d'une petite cheminée au bas de laquelle afflue le gaz de l'éclairage, par un trou spécial, l'air entrant par des ouvertures latérales; on obtient le même résultat en plaçant une toile métallique sur l'extrémité de la cheminée d'un bec d'Argand et en enflammant le gaz au-dessus de la toile métallique. L'effet du mélange du gaz d'éclairage avec un excès d'air se constate aussi dans une foule de cas, dans les illuminations publiques, par exemple. Mécaniquement poussé par le vent, l'oxygène pénètre jusqu'au cœur de la flamme, et celle-ci, blanche qu'elle était, passe instantanément à l'état de lueur bleue.

Un mélange analogue s'opère lorsque l'on emploie, au lieu de gaz d'éclairage, un courant d'air chassé, par un ventilateur ou par tout autre procédé, à travers un réservoir renfermant des carbures d'hydrogène très-volatils. Le mélange de la vapeur de ces carbures avec l'air, s'il est convenablement réglé, constitue un gaz inflammable et éclairant. Certaines lampes à huile de schiste reposent sur le même principe, la vapeur de l'huile échauffée se mélangeant avec l'air avant d'être enflammée.

(*b*) Souvent la vapeur ou le gaz combustible n'est pas mélangé à l'avance avec l'air, mais le mélange se fait au moment et dans l'acte même de la combustion, sans l'intervention directe d'une action due à un travail mécanique indépendant de l'appareil, comme dans les cas qui viennent d'être indiqués. Tantôt on parvient à ce résultat en forçant le tirage de l'air autour de la flamme, à l'aide d'une cheminée de verre de hauteur assez grande; tantôt on donne à la flamme

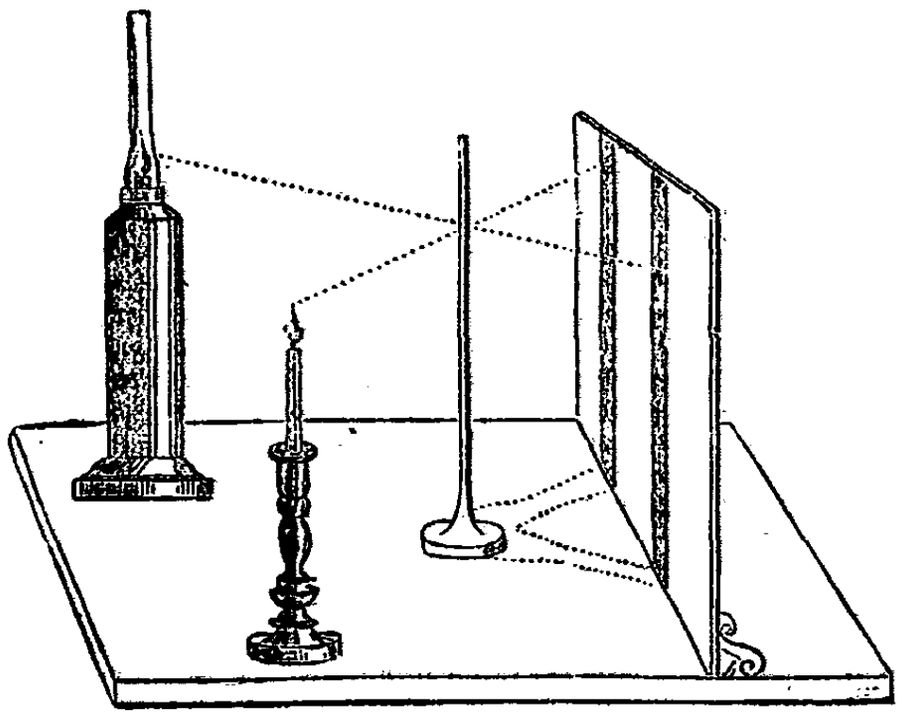


Fig. 688.

une forme spéciale destinée à augmenter sa surface pour une même quantité de gaz brûlé; les becs dits papillon font intervenir une condition de ce genre.

C'est d'après les principes généraux qui viennent d'être posés que sont réglées les innombrables dispositions qui ont été proposées pour la construction des becs de gaz, des lampes à huile végétale, à pétrole, à huile de schiste, etc. (Voir plus loin.)

4° *Pression des gaz.* — Le pouvoir éclairant d'un même gaz ou d'un même mélange gazeux varie suivant la pression sous laquelle la combustion s'opère.

On pourrait déjà prévoir cette influence de la pression, d'après les faits cités plus haut et qui sont relatifs à l'influence de la condensation sur le pouvoir éclairant de divers gaz qui possèdent la même composition.

Elle est révélée dans bien des circonstances. Une des plus curieuses sans contredit est celle que M. Tyndall raconte avoir été faite par le docteur Frankland, dans une ascension au mont Blanc. Six bougies furent allumées à Chamouni pendant une heure, et on détermina la perte de poids qu'elles avaient subie pendant ce temps. Ces mêmes bougies furent portées au sommet du mont Blanc, et on les fit brûler pendant une heure, sous une tente qui les mettait parfaitement à l'abri de l'influence du vent. Les flammes étaient petites, pâles, et cependant la quantité d'acide stéarique brûlée fut trouvée la même, à bien peu près, que dans le premier cas. Ainsi, quoique le pouvoir éclairant de la flamme fût diminué dans une proportion extraordinaire par la raréfaction de l'air, l'énergie de la combustion était restée la même.

Si la quantité de bougie consumée dans un même temps est, entre de larges limites, indépendante de la densité de l'air, c'est que par la compression de l'air, en même temps que l'on augmente le nombre des particules actives en contact avec la flamme, on diminue presque dans la même proportion la mobilité du gaz et par suite l'enlèvement des couches brûlées. En outre, lorsqu'un excès d'air entoure la flamme, son effet refroidissant tend à prolonger l'existence des particules de carbone à l'état solide, et même à empêcher leur combustion finale. Une des plus belles expériences du docteur Frankland consiste à montrer qu'en condensant l'air autour de la flamme pâle et sans fumée d'une lampe à l'alcool, on peut donner à cette flamme l'éclat de celle du gaz d'éclairage; on peut même, si l'on augmente assez la condensation de l'air, faire fumer cette flamme, parce qu'à cause de la diminution de la mobilité des produits de la combusion, l'oxygène de l'air ambiant ne suffit plus à la combustion complète du carbone.

M. BERTHELOT.

2° MESURE DE L'INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE. — PHOTOMÉTRIE. — Une condition essentielle de l'étude des moyens d'éclairage, c'est d'avoir des moyens de mesurer la lumière. Comment évaluer les intensités dont il est sans cesse question dès qu'on parle de lumière artificielle? Ce ne peut être, en attendant qu'on puisse définir et mesurer les quantités de lumière, qu'en évaluant les effets les plus directement utilisables de celle-ci, au moyen de la connaissance des lois fondamentales de la lumière, et en même temps des plus simples pour arriver à des méthodes d'une facile application.

Nous savons que la radiation de la lumière est rectiligne et que la vitesse de ses rayons peut être considérée comme infinie, puisqu'elle est de 70,000 lieues par seconde; chacun a également pu remarquer qu'un corps arrondi, éclairé par un corps lumineux quelconque, n'était éclairé qu'en partie. Ainsi une sphère soumise à l'action d'un corps lumineux reste obscure dans une partie de sa surface, et la dégradation de la lumière est presque insensible :

cette partie porte le nom de *pénombre;* la partie obscure est l'*ombre.*

L'intensité de la lumière décroît d'autant plus que la distance de l'objet éclairé au corps lumineux est plus considérable. La loi de ce décroissement d'intensité dépend évidemment du mode d'émission de la lumière; les rayons s'écartant d'autant plus que leur distance du point lumineux est plus considérable, l'intensité de la lumière diminuera dans le rapport inverse des surfaces des sections du cône de lumière, c'est-à-dire en raison inverse du carré de la distance. Cette loi donne un moyen simple et généralement usité pour mesurer l'intensité des lumières de même couleur, ce qu'on suppose dans la pratique, pour les sources lumineuses destinées aux mêmes usages que l'on compare, ce qui est loin d'être toujours permis; il y a là un grand et difficile progrès à accomplir, car on n'a pas encore tenté de tenir compte de cet élément dans les systèmes adoptés par la pratique. Effectivement, si un tableau est éclairé séparément par deux lumières, à l'aide d'un écran placé entre ces lumières, on pourra, l'une des lumières restant fixe, éloigner ou rapprocher l'autre jusqu'au moment où les deux ombres projetées sur le tableau seront jugées être de même intensité. Alors, prenant les distances de ces foyers au tableau sur lequel les ombres se projettent, on conclut, d'après la loi rappelée ci-dessus, que les intensités des deux lumières sont en raison directe du carré de leur distance au tableau qu'elles éclairent. C'est par ce moyen, dont la fig. 688 montre la disposition, que se font les expériences dites *photométriques.* Très-simple, mais évidemment assez grossier sous cette forme primitive, ce procédé ne peut donner, sans quelques améliorations, un peu de précision.

Un physicien bien connu, M. Foucault, a été obligé pour des expériences sur le gaz de tourbe, dont nous avons donné les résultats à l'article ÉCLAIRAGE, *Complément,* de vérifier l'exactitude des systèmes photométriques généralement employés, et a été conduit à la nécessité de les modifier.

Le procédé des ombres, dit M. Foucault, tel qu'on l'emploie ordinairement, ne me paraissait pas comporter une exactitude suffisante. Je redoutais l'étendue des flammes de gaz, qui faisant naître de larges pénombres, me semblait devoir jeter de l'incertitude sur la comparaison des ombres qu'il aurait fallu ramener à l'égalité. J'ai voulu essayer des nouvelles méthodes fondées sur les phénomènes de la polarisation chromatique, et j'ai pris un grand nombre de déterminations au moyen du photomètre que M. Babinet a spécialement proposé pour ce genre d'application. Je vais dire ici quelques mots de cet intéressant appareil, ne fût-ce que pour me justifier de ne l'avoir pas définitivement adopté d'une manière exclusive.

Le photomètre de M. Babinet se présente extérieurement sous la forme d'un tube de lunette qui, au milieu de sa longueur, donne embranchement sous un angle d'environ 70° à un second tube de même calibre : le tube principal vise sur la source rayonnante que l'on veut éprouver; la lumière qui pénètre dans l'instrument traverse une série de glaces planes obliquement situées, se polarise ainsi par réfraction et vient illuminer un disque de cristal de roche formé par la juxtaposition de deux segments égaux. On observe ce disque à travers une pièce oculaire que l'on nomme analyseur : il paraît alors vivement coloré de deux teintes partagées entre les deux segments et qui tranchent fortement l'une sur l'autre; on voit, par exemple, du rouge à droite et du vert à gauche. L'embranchement vise pareillement sur une autre source éclairante et la lumière qui en provient est encore ramenée vers l'œil par la réflexion qui s'opère sur les lames multiples de la pile de glaces. Mais comme la réfraction et la réflexion polarisent les rayons en sens contraires, les couleurs développées par ce second faisceau, au lieu de se montrer comme dans le cas précédent, se disposent en sens inverse; le rouge qui était à droite passe à gauche, et réciproquement pour le vert. On observe l'un ou l'autre effet suivant que l'on démasque l'une ou l'autre branche; mais lorsque les deux branches agissent simultanément, l'œil aperçoit un effet résultant qui rappelle plus ou moins l'un ou l'autre effet simple et qui dépend des intensités relatives du faisceau réfracté et du faisceau réfléchi. Si, par hasard, il arrive que ces deux faisceaux aient même intensité, les couleurs s'effacent et le disque apparaît uniformément blanc. Or, comme on dispose des distances des deux sources et comme les intensités varient avec ces distances, on peut toujours réaliser cette espèce d'équilibre qui fait évanouir les couleurs. L'expérience montre que l'appareil présente une assez grande sensibilité. Quand l'équilibre a été réalisé, on constate qu'il suffit de déranger l'une des deux sources de 1/100^{me} de sa distance à l'instrument pour faire reparaître les couleurs. On peut donc admettre que les deux faisceaux qui se font équilibre, possèdent des intensités sensiblement égales. Malheureusement il n'existe aucun rapport simple entre les intensités des faisceaux qui entrent réellement en lutte et les intensités des rayonnements directs émis par les sources. Cette imperfection est inhérente à la construction de l'appareil; la réflexion et la réfraction qui polarisent la lumière l'affaiblissent de part et d'autre dans des proportions inconnues, en sorte que, pour appliquer le nouvel instrument à des mesures exactes, il faut recourir à une méthode analogue à la méthode des doubles pesées.

Au lieu d'opposer l'une à l'autre les deux sources dont on veut comparer les pouvoirs éclairants, on les oppose successivement à une troisième et même source que l'on considère comme constante pendant toute la durée des deux observations, et, des distances où il faut placer successivement cette dernière pour obtenir dans les deux cas l'équilibre, on déduit les intensités des sources proposées. Je suppose qu'on ait à déterminer les rapports des pouvoirs éclairants de deux sources données : d'un bec de gaz et d'une lampe Carcel. On commence par placer le bec de gaz à une certaine distance en avant de la branche principale de l'instrument; on prend ensuite comme lumière auxiliaire une bougie, et l'on cherche à quelle distance il faut la placer en face de l'autre branche pour réaliser l'équilibre. Soit cette distance égale à 50 centimètres : cela fait, on substitue au gaz la lampe Carcel, et l'on rétablit l'équilibre en déplaçant convenablement la bougie. Admettons, par exemple, qu'il ait fallu la rapprocher à 25 centimètres, on est alors conduit à en conclure que le bec proposé éclaire quatre fois plus que la bougie. En effet, l'intensité de la lumière varie en raison inverse du carré de la distance à la source : quand la bougie est placée à une distance moitié plus petite, elle éclaire quatre fois plus. Or, dans les deux cas, elle fait équilibre aux sources qu'on lui oppose; il en résulte donc que, de ces deux sources, la première est quatre fois plus intense que la seconde.

Théoriquement, la méthode paraît irréprochable; mais en pratique elle comporte des lenteurs et des imperfections qui m'ont empêché, malgré l'élégance du principe, de la faire prévaloir.

Elle oblige expressément à recourir à une source auxiliaire, sans que cette source puisse servir d'unité commune dans l'expression définitive des rapports obtenus. Chaque détermination exige deux observations séparées, c'est-à-dire qu'elle comporte deux erreurs qui peuvent s'ajouter, indépendamment de celle qui provient des variations de la source auxiliaire.

L'appareil demande à être dirigé avec soin, de manière à viser à peu près sur les flammes; enfin il ne se prête qu'à l'observation monoculaire. Ces inconvénients ne se sont manifestés que par l'expérience.

J'ai disposé un nouvel appareil, en me préoccupant seulement d'illuminer les deux parties d'un même écran par le rayonnement direct des deux sources que l'on veut comparer, en satisfaisant à cette condition expresse que les deux régions soumises aux rayonnements différents fussent exactement contiguës sans interposition d'aucune pénombre visible. La sensibilité du procédé dépend de la disparition plus ou moins complète de toute limite perceptible entre les deux régions éclairées au moment où les deux rayonnements deviennent également intenses de part et d'autre. L'appareil que je vais décrire permet de réaliser assez commodément cette parfaite continuité d'un même champ illuminé localement par deux sources différentes.

Il consiste en une boîte cubique, qu'une cloison mobile dans son propre plan partage en deux compartiments égaux : le fond de la boîte qui fait face à l'observateur est formé par un écran très-mat, dont j'indiquerai la composition, et qui joue à peu près le rôle de la glace dépolie dans la chambre noire ordinaire. La paroi opposée fait défaut et c'est par là que les rayonnements des deux sources pénètrent librement et isolément dans leurs compartiments respectifs. On met naturellement l'appareil dans une position symétrique, de manière à ce que la cloison médiane partage en deux parties égales l'angle formé par les rayons des deux sources qui convergent sur le milieu de l'écran.

Dans cette situation, il peut arriver que les ombres portées de part et d'autre par la cloison sur l'écran se trouvent séparées par un espace lumineux, ou bien au contraire que ces deux ombres empiètent l'une sur l'autre; dans tous les cas, leurs bords intérieurs seront très-nettement terminés. Or, comme la cloison peut être mue dans son propre plan au moyen d'un bouton qui fait saillie au dehors, on lui donnera la position nécessaire pour amener exactement les deux ombres au contact. On saisit alors avec une facilité surprenante le moindre excès d'intensité d'un rayonnement sur l'autre, et comme on dispose des positions des deux flammes, on arrive à déterminer avec précision les distances respectives qui égalisent à l'œil les deux moitiés du champ, en faisant disparaître leur limite commune. Quand cette espèce d'équilibre se trouve réalisée, il ne reste plus qu'à mesurer directement les distances des objets lumineux, pour en déduire le rapport des pouvoirs éclairants.

Il ressort de cette description que l'effet produit sur l'écran s'observe par transparence, comme les images de la chambre obscure ordinaire pendant la mise au point. L'analogie semblait conseiller l'emploi du verre dépoli : cependant j'ai bientôt reconnu que cette sorte d'écran ne possède pas assez de pouvoir diffusif, qu'il est trop transparent; que, par suite, l'effet optique, contemplé à sa surface, dépendait trop de la position de l'observateur, et qu'on serait exposé à porter de faux jugements. Sous ce rapport, le papier aurait mieux convenu; mais les inégalités de sa structure auraient masqué des différences que l'œil eût saisies sur une trame plus fine et plus homogène. J'en suis donc arrivé à former cet écran d'une couche d'amidon suspendu dans l'eau et déposé par le repos sur une lame de glace. Cet écran possède toutes les qualités requises; on peut le rendre aussi diffusif que le papier, et, de plus, il offre à l'œil toute la finesse, toute l'homogénéité désirables. Le choix d'un bon écran n'était pas sans importance : en le formant d'une couche mate et fortement diffusive, on rend l'appréciation des intensités lumineuses à peu près indépendante du lieu de l'observation. On peut, sans bouger la tête, se servir indifféremment d'un œil ou de l'autre; on peut, par conséquent, observer avec les deux yeux à la fois, ce qui permet d'asseoir le jugement d'une manière plus certaine.

ÉCLAIRAGE.

Le nouvel appareil ne requiert aucune des subtilités de l'optique moderne; la manière dont il fonctionne est accessible à tout le monde; il isole et rapproche les éclairements des sources proposées; il permet de les ramener à l'égalité par de simples variations de distance, et il fournit par suite le moyen d'évaluer en nombres les pouvoirs éclairants : le tout se réalise au moyen d'une simple boîte, qu'en raison de son emploi et de sa construction j'appellerai *photomètre à compartiments*.

En essayant cette nouvelle méthode, j'avais principalement pour but de supprimer l'intervention d'une lumière accessoire; dès lors les gaz qu'il s'agissait d'éprouver devaient comparaître simultanément devant l'appareil et donner leurs flammes à des distances variables à volonté.

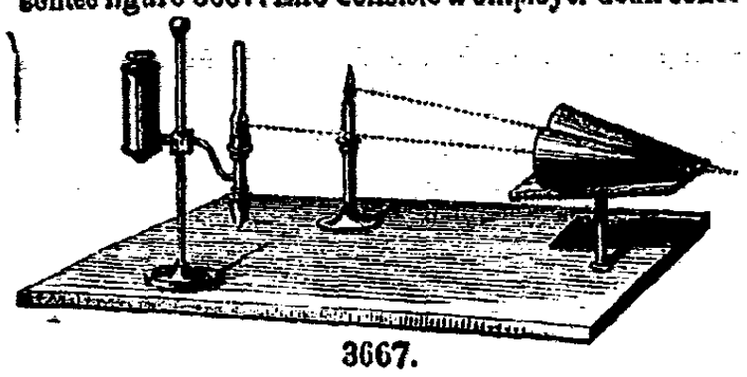
J'arrive maintenant à la recherche d'un moyen pratique pour déterminer la valeur photométrique d'un gaz en valeur absolue, ou du moins pour rapporter cette valeur à quelque unité suffisamment constante et facile à se procurer en tout temps. On a depuis longtemps proposé la bougie comme unité photométrique; mais les variations de cette source lumineuse sont tellement considérables qu'elles sautent aux yeux. Si l'on prend deux bougies dans le même paquet, et qu'on les mette à des distances égales au-devant du photomètre à compartiments, on reconnaît que l'équilibre ne se réalise que très-accidentellement; à chaque instant la supériorité d'éclat passe de l'une à l'autre, et l'instrument accuse presque constamment une inégalité choquante. Cependant cette fixité que l'on chercherait vainement dans une bougie isolée se réalise assez convenablement dans un système de bougies, et elle est d'autant plus parfaite que le groupe est plus nombreux. J'ai pensé qu'en réunissant en faisceau plusieurs de ces éléments dont l'instabilité m'avait d'abord frappé, on réussirait à former une source multiple qui donnerait au photomètre le même effet qu'une flamme simple, et qui déjà présenterait en pratique assez de stabilité pour être utilement employée comme terme de comparaison. Des bougies au nombre de sept se groupent naturellement en faisceau hexagonal, et si l'on a soin de maintenir entre elles une distance d'un centimètre, on trouve qu'elles brûlent avec une remarquable fixité; des courants d'air s'établissent qui tendent les flammes et leur donnent plus de stabilité que lorsqu'elles brûlent isolément. J'ai pris au hasard quatorze bougies de l'étoile et les ayant formées en deux faisceaux, j'ai placé ceux-ci à des distances égales en avant du photomètre. L'effet sur l'écran a été satisfaisant, non pas que l'équilibre ait été complétement et constamment maintenu, mais les différences qui se sont montrées étaient de l'ordre de celles qui apparaissent d'elles-mêmes, lorsqu'on met deux becs de gaz dans les mêmes conditions.

Pour reconnaître jusqu'à quel point on pourrait compter sur ce mode d'évaluation, nous avons employé une séance à évaluer les deux gaz (gaz de tourbe et gaz de houille) en bougies de l'étoile au moyen du photomètre à compartiments; la moyenne de cinq déterminations a donné le bec de gaz de tourbe comme équivalant à 23 bougies 1/4 : le même bec alimenté par le gaz de la ville, à la suite du même genre d'épreuves, a paru égal à 6 bougies 8/10mes : divisés l'un par l'autre, ces deux nombres de bougies donnent pour le gaz de tourbe 342, celui de la ville étant 100.

Nous avons ensuite comparé directement les deux

gaz et nous avons trouvé 331, c'est-à-dire le même nombre à 1/30me près.

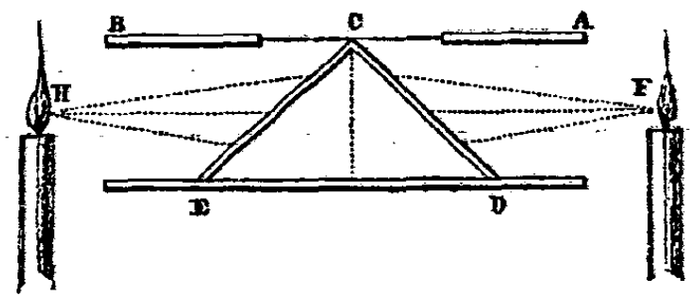
Une disposition du photomètre, analogue à la précédente, en ce qu'elle met bien à l'abri de l'influence réciproque des deux lumières à comparer, a déjà été employée avec succès en Angleterre. Elle est représentée figure 3667. Elle consiste à employer deux cônes



3667.

réunis vers leurs sommets, terminés à ces sommets par deux disques de papier.

Photomètre de Ritchie. — Une disposition à indiquer est celle due au professeur Ritchie, que l'on voit fig. 3668.



3668.

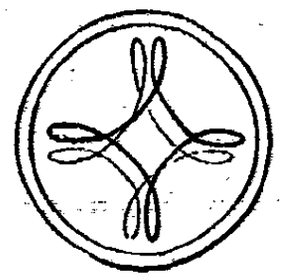
Elle consiste en une boîte rectangulaire ouverte à ses deux extrémités et noircie à l'intérieur. La face antérieure a une longue fente étroite, de forme rectangulaire recouverte avec un tissu fin ou du papier huilé. A l'intérieur on place deux miroirs, taillés dans la même pièce de verre, pour produire exactement la même réflexion. L'angle de réunion des miroirs est en C, et leur ligne de jonction partage AB en deux parties égales; cette ligne est couverte par un papier noir, pour éviter le mélange des lumières réfléchies par les deux miroirs.

Pour se servir de ce photomètre, on le place entre les deux lumières dont on veut comparer les intensités, et elles sont toutes deux réfléchies par les miroirs CD et CE sur le tissu AB. En faisant varier les distances de l'une de ces lumières à la ligne CF, on arrivera à l'égalité de lumière dont l'œil juge assez bien, n'étant pas gêné par la vue des foyers de lumière.

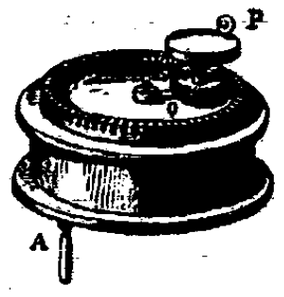
En employant des papiers imprimés (probablement huilés) en caractères très-fins, on apprécie très-bien si chaque lumière permet la lecture des types d'égale finesse, moyen excellent de mesure employé par les oculistes pour juger la netteté de la vision.

Photomètre de Wheastone.—Cet appareil est fondé sur la persistance de la sensation lumineuse sur la rétine. La partie principale est une perle brillante d'acier P (fig. 3669) montée sur le bord d'un disque de liége porté sur un pignon *o* qui engrène intérieurement avec une roue plus grande. Celle-ci est adaptée à une petite boîte cylindrique de cuivre qu'on tient d'une main, tandis que de l'autre on fait tourner une manivelle A, qui transmet le mouvement à un axe central et au pignon *o*. Celui-ci roulant dans l'intérieur du grand engrenage, la perle participe à ce mouvement en même temps qu'elle roule sur elle-même, et elle décrit, le rapport des rayons étant de 1 à 4, une courbe épicycloïdale à 4 nœuds telle que celle représentée fig. 3670.

Soient M et N deux lumières dont on veut comparer



3670.



3669.

les intensités; on place entre elles le photomètre et on fait tourner rapidement. Les points brillants produits par la réflexion des deux lumières sur deux points opposés de la perle donnent alors naissance à deux bandes lumineuses, grâce à la persistance de la sensation de la rétine, semblables à celles de la figure. Si l'une d'elles est plus intense que l'autre, on approche l'instrument de celle qui l'est le moins, jusqu'à ce que les deux bandes présentent le même éclat. Mesurant alors la distance du photomètre à chacune des deux lumières, leurs intensités sont proportionnelles aux carrés de ces distances.

Cet instrument n'est évidemment pas susceptible d'une grande précision, mais son emploi est commode pour obtenir des approximations suffisantes dans bien des cas.

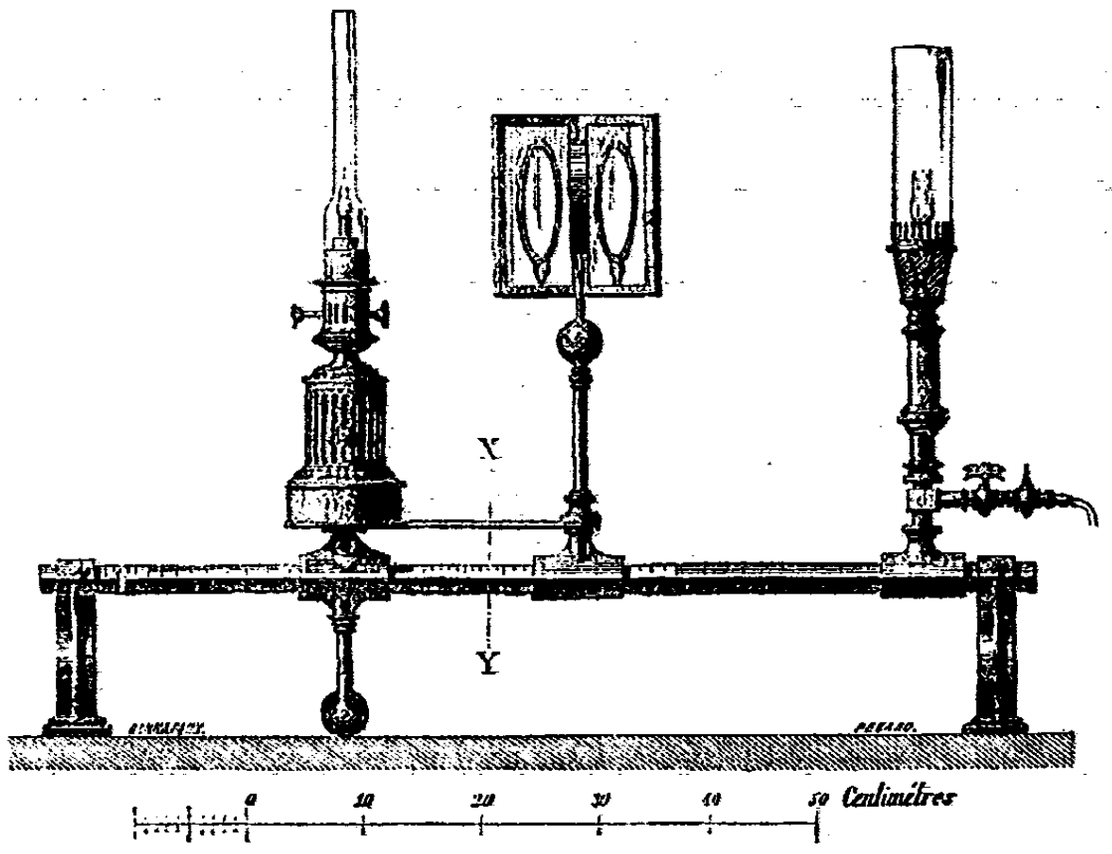
Photométrie photographique. — Les progrès de la photographie, en mettant à la disposition des expérimentateurs des substances dont l'impressionnabilité à la lumière est très grande, fourniront à la photométrie des ressources nouvelles, des moyens de mesure plus exacts que ceux qui exigent l'estimation d'égalité de lumière par l'œil, qui n'est pas un instrument bien précis pour estimer de petites différences. Lorsqu'au contraire on aura exactement la limite à laquelle des substances cesseront d'être impressionnées par un foyer lumineux, on pourra déterminer la même limite pour une autre lumière, et si la quantité pouvant produire une image peut être très-faible, il en résultera un moyen de mesure très-précis, donnant des renseignements précieux à la fois sur l'intensité et la nature des lumières comparées. Nous ne connaissons pas de recherches faites dans cette voie, mais elle s'ouvrira tout naturellement avec le progrès de la photographie et pourra conduire à d'excellents résultats. L'action chimique de la lumière, évaluée ainsi avec une grande précision, conduira sans doute à mesurer tous les éléments de son action, et par suite notamment ce que nous appelons son intensité, objet de la photométrie.

Photomètre de Bunsen modifié par M. Burel.— On emploie depuis quelques années en Angleterre, surtout pour les cas nombreux de mesure de lumière des becs de gaz, un photomètre dû à M. Bunsen, fondé sur un principe nouveau et fort ingénieux. Voici en quoi il consiste :

Une feuille de papier blanc, portant une tache de matière grasse en son milieu, tache qui le rend translucide dans toute la partie imprégnée du corps gras, est placée entre les deux lumières que l'on veut comparer, de manière que chacune des faces se trouve éclairée seulement par les faisceaux lumineux qui rayonnent de la source qui est en regard de la face considérée. Les rayons lumineux dont l'ensemble constitue les faisceaux incidents frappent à angle droit la feuille de papier, et si les deux foyers sont également distants et de même intensité, les deux faces devront présenter le même aspect. Mais l'expérience indique un phénomène bien plus remarquable, c'est la disparition, à peu près complète, de la tache au moment

où l'écran est également éclairé des deux côtés. Comment expliquer ce fait intéressant ? Voici comment l'analyse M. Boutan (de Rouen) :

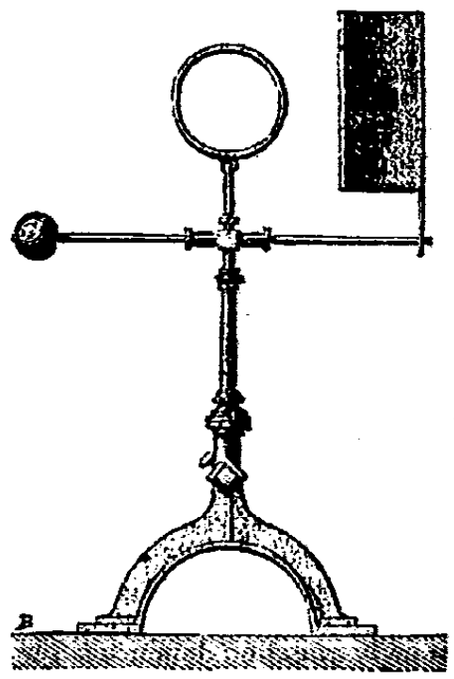
deux portions de surface, qui se trouvent cependant posséder des états moléculaires différents, seront donc identiques; la tache devra disparaître.



3674.

Qu'on examine la tache huileuse de l'écran de M. Bunsen, en interposant entre elle et l'œil la flamme d'une bougie, on reconnaîtra que la tache paraît presque noire ; ce qui prouve que le papier, dans cet état d'imprégnation par une substance grasse, a un pouvoir réflecteur ou diffusif à peu près nul pour les rayons lumineux qui le frappent perpendiculairement à sa surface, tandis qu'à côté de la tache le papier non huilé paraît d'un blanc mat et renvoie une forte proportion des rayons qui lui arrivent. Qu'on place, au contraire, le même écran entre l'œil et la lumière de la bougie, la tache paraîtra d'un blanc éclatant, tandis que le reste du papier sera beaucoup moins éclairé que tout à l'heure. Je conclus de ces deux observations que, lorsque l'écran sera disposé comme dans la méthode de M. Bunsen et que ses deux faces seront éclairées chacune par la source qui lui correspond, l'aspect de la tache, vue du côté droit, par exemple, dépendra des rayons qu'elle diffuse, lesquels lui arrivent surtout par transmission et lui viennent de la lumière qui est à gauche ; au contraire, l'aspect du papier non graissé sera dû principalement aux rayons que ce papier réfléchit à son tour, et qui lui viennent de l'autre lumière, de celle qui est à droite. Si maintenant on admet l'égalité des fractions de lumière perdue pour l'œil (fractions minimes toutes deux) dans le faisceau transmis par la tache et dans le faisceau diffusé par le papier blanc, quand les faisceaux incidents sont égaux en intensité, on comprendra sans peine que, si les deux lumières sont inégalement intenses, la tache, vue toujours du côté droit, sera perceptible sur le fond de l'écran et se dessinera avec une teinte obscure, si c'est la lumière de droite qui est le plus intense ; avec une teinte brillante, si c'est la lumière de gauche qui l'emporte. Si, au contraire, l'égalité d'éclairement est établie sur les deux côtés de l'écran, les rayons, diffusés sur une même face par la tache et le papier blanc, seront en même nombre ; les sensations produites par ces

Cette observation est le point de départ du procédé très-délicat combiné par le savant chimiste de Heidelberg, dont on reconnaît ici l'habileté manifestée par tant de beaux travaux.



Coupe sur XY

Fig. 3672.

Sans nous arrêter à la disposition proposée originairement par l'inventeur, ni aux diverses modifications de détail qui ont été successivement adoptées en Angleterre, nous décrirons celle adoptée par M. E. Burel, ingénieur civil à Rouen, qui a heureusement perfectionné le photomètre de Bunsen, et lui a donné un haut

degré de simplicité et de perfection. Il est représenté fig. 3671 et 3672.

La tringle qui supporte les diverses pièces de l'instrument est une barre prismatique en cuivre solidement établie et qui ne peut fléchir sous le poids du système qui marche avec l'écran, étant soutenue par un appendice vertical de cet écran terminé par un galet roulant sur la table qui sert de base commune à tout l'appareil. A l'une des extrémités de la barre de cuivre est maintenu, par une vis de pression, en un point qui est le zéro de l'échelle photométrique, le support qui reçoit les sources dont on veut mesurer l'intensité. La lumière prise pour unité est une lampe mécanique consommant une quantité d'huile connue, à l'heure, ou une bougie maintenue à une hauteur constante par un ressort à boudin, comme dans les lanternes de voitures ou mieux dans l'appareil analogue dit photophore où l'enveloppe de la bougie est une matière vitreuse, non métallique; de plus, la flamme doit être rendue immobile par l'adaptation d'une cheminée en verre.

Le centre de la flamme du bec de gaz qu'il s'agit d'évaluer, celui de l'écran et celui de la lampe, sont donc placés sur une ligne droite parallèle à la tringle; l'écran et la lampe, tous deux solidaires, peuvent se mouvoir le long de la tringle pour obtenir la mesure cherchée par la constatation de l'égalité de l'éclairement des deux faces de l'écran. En arrière de celui-ci se trouvent deux miroirs inclinés, qui permettent à l'œil la perception simultanée des deux faces du diaphragme, et favorisent la détermination de l'égalité d'éclairement. D'avance se trouvent inscrits sur la règle des chiffres qui donnent le rapport éclairant des deux lumières comparées, en prenant pour unité l'intensité d'une bougie: une ouverture pratiquée dans la pièce à coulisse qui porte la lumière type découvre l'échelle, et un index correspondant à l'axe vertical de cette lumière marque le nombre de bougies auquel équivaut la source examinée.

La solidarité permanente établie entre la bougie et l'écran est un perfectionnement notable de cet appareil, qui non-seulement simplifie le calcul des intensités, mais surtout qui fait que l'appareil possède, dans toutes les parties de son échelle, un degré à peu près égal de sensibilité. En effet, si c'est l'écran qui se déplace entre les deux sources lumineuses, comme dans l'appareil primitif de Bunsen et dans la plupart de ceux le plus fréquemment employés, le mouvement qu'il devra faire par unité de m, m étant le rapport des intensités, sera d'autant plus petit que m sera plus grand et correspondra bientôt à des différences que l'œil n'appréciera plus; tandis que, par la nouvelle disposition, l'éclairement constant de l'écran n'est égal qu'à l'aide de mouvements très-notables, d'où cette conséquence que les résultats obtenus à tous les degrés de l'échelle photométrique présentent à peu près le même degré de précision.

3° ÉCLAIRAGE PAR MATIÈRES SOLIDES.

La seule forme sous laquelle on emploie les matières solides, en laissant de côté les branches de bois résineux employés dans quelques contrées peu civilisées, est celle de chandelle ou de bougie. Diverses matières servent à la confection de cet appareil d'éclairage; ces matières sont le suif provenant du bœuf, du bouc, du mouton, la cire d'abeille qui sert à confectionner les bougies proprement dites, le blanc de baleine, enfin les acides margarique, stéarique et la paraffine.

Nous avons donné aux articles BOUGIE, CHANDELLE, la fabrication de ces produits; nous n'avons donc à traiter ici que de leur combustion. Se composant tous d'une mèche de coton, enveloppée par le corps qu'il s'agit de brûler, les phénomènes de la combustion y ont lieu d'une manière semblable. Prenons pour exemple une chandelle (fig. 688 *bis*). Aussitôt que la mèche est allumée, la chaleur faisant fondre les parties les plus voisines de la flamme, il se forme au pied de la mèche un bain liquide en forme de coupe, les parties de la circonférence plus éloignées restant plus longtemps solides. C'est donc en réalité un liquide résultant de la fusion du liquide par la chaleur dégagée par la combustion, qui vient servir à l'éclairage, absolument comme dans les appareils alimentés par des liquides, qu'on étudiera plus loin. Le suif fondu s'élève dans la mèche en vertu de l'action capillaire, et se décompose à mesure qu'il arrive dans la région de la flamme; d'où résultent des vapeurs combustibles qui, ne pouvant brûler qu'à la circonférence, donnent lieu à un noyau obscur entouré d'une enveloppe incandescente, terminée en pointe (sans noyau obscur), à la partie supérieure, où les gaz obscurs du centre finissent de brûler. Nous avons analysé en détail la forme de la flamme au commencement de cet article, et la figure permet de reconnaître les diverses parties décrites, et notamment le noyau obscur, facile à observer. Nous avons indiqué divers moyens de constater que la température y est peu élevée et la combustion impossible.

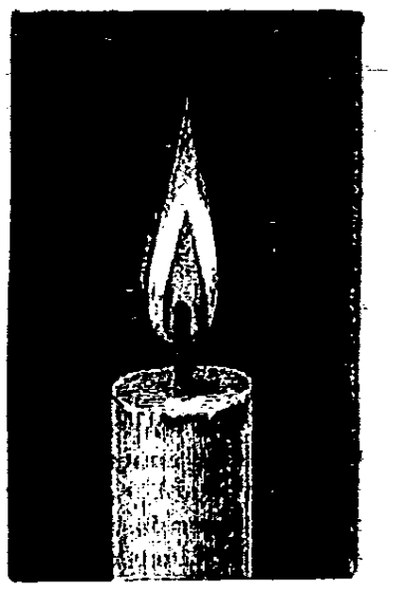


Fig. 688 *bis*.

Nous avons parlé de l'influence de la pression sur la combustion, et nous verrons, en traitant de l'éclairage au gaz, l'influence du courant d'air qui alimente la flamme, sur celle-ci. La question a moins d'intérêt pour l'éclairage par les substances solides, puisqu'on ne peut guère rien modifier dans cet éclairage un peu primitif, sauf toutefois la grosseur de la mèche qui détermine la grandeur du foyer de combustion, l'afflux du combustible; ainsi, dans les travaux imités de celui de M. Triger pour creuser des puits dans l'*air comprimé*, il faut réduire à un très-faible diamètre les mèches des chandelles; autrement, par l'activité de la combustion résultant de cet excès de pression, les chandelles sont consumées avec une extrême rapidité.

Un des plus grands inconvénients des chandelles consiste dans la nécessité de les *moucher*. La diminution de lumière qui résulte de la présence au milieu de la flamme d'une masse charbonnée est très-considérable, de plus elle donne lieu à des dégagements de gaz qui se brûlent imparfaitement et possèdent une odeur très-désagréable. Aussi doit-on considérer sous tous les rapports, comme le plus grand progrès qu'il fût possible d'accomplir, l'emploi des suifs sous forme de bougies stéariques, dont la mèche tressée est fine

et s'use d'elle-même en se tordant pour sortir de la flamme par son extrémité (voyez BOUGIE), qui ne coule pas, n'est pas grasse, et se trouve presque entièrement débarrassée de l'odeur particulière du suif.

4° ÉCLAIRAGE PAR LES HUILES.

Parmi les diverses espèces d'huiles, grasses, siccatives ou essentielles, les huiles grasses étaient, jusque dans ces dernières années, les seules adoptées pour l'éclairage, les huiles siccatives ne pouvant être employées à cause de leur durcissement à l'air, et les huiles volatiles ne brûlant qu'avec fumée et dégageant une odeur fort désagréable. Parmi les huiles grasses, les plus généralement employées sont celles d'olive, de colza, de navette et d'œillet. Pour purifier les huiles, on y verse 2 p. 100 d'acide sulfurique à 66° de l'aréomètre de Baumé et on brasse le mélange, auquel on ajoute deux fois son volume d'eau ; l'eau entraîne toutes les matières étrangères qui se déposent au fond du vase, et que l'on sépare par filtration à une température de 40° environ.

Tous les appareils d'éclairage à l'huile se composent d'un réservoir et d'un appareil où se fait la combustion. Dans toute lampe les deux parties importantes sont 1° le lieu de la combustion ou le bec, 2° le moyen de faire arriver l'huile sur le bec, ce qui comprend les *réservoirs* supérieurs ou de niveau avec le bec, et les moyens mécaniques employés pour faire arriver l'huile au lieu de la combustion.

Une lampe n'étant autre chose qu'un appareil dans lequel s'exerce une combustion extrêmement active; les conditions auxquelles l'appareil est assujetti sont celles de tout foyer.

Une cheminée qu'il est bon de faire la plus élevée possible (il faut qu'elle soit en verre pour ne pas intercepter la lumière), portant un étranglement ou coude pour mélanger les gaz et rendre la combustion aussi complète que possible; des entrées d'air disposées pour faciliter le plus possible le contact de la flamme et de l'air, en proportion convenable pour que la combustion soit complète sans mélanger de trop fortes proportions d'air, qui refroidissent la flamme ; telles sont les bases fondamentales de toute lampe.

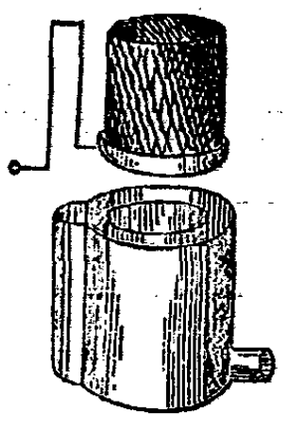
Becs ou appareils de combustion. Un appareil de combustion qui a été longtemps répandu et qui l'est encore, bien que reconnu mauvais, est la mèche plate ; elle est formée de fils de coton parallèles, et simplement plongée dans un réservoir renfermant l'huile, qui est aspirée par la capillarité de la mèche; dans cet appareil la combustion est incomplète, il en résulte que la lumière offre une teinte peu brillante et toujours rougeâtre. Tel était il y a 60 ans l'appareil de combustion le plus estimé, quand Argand fit la découverte de son bec à double courant d'air.

Description du bec d'Argand. Ce bec, représenté tel que l'a construit son inventeur dans les fig. 689, 690, 691. 692 et 693, se compose de deux cylindres concentriques; dans l'espace annulaire compris entre ces cylindres est placé un anneau qui maintient une mèche circulaire; la partie inférieure du cylindre communique avec un réservoir d'huile dont le niveau est un peu inférieur à celui de la partie supérieure des cylindres; un levier doublement recourbé et uni à l'anneau qui maintient la mèche peut lui donner un mouvement dans le sens vertical; enfin on adapte à ce système une partie cylindrique en métal qui vient supporter un cylindre en verre.

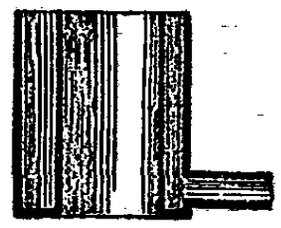
Il résulte de cette disposition que la flamme est léchée par l'air intérieurement et extérieurement, ce courant d'air est activé par la cheminée en verre, la combustion est complète et la flamme présente une intensité

et une pureté très supérieures à la lumière fournie par les appareils connus avant Argand.

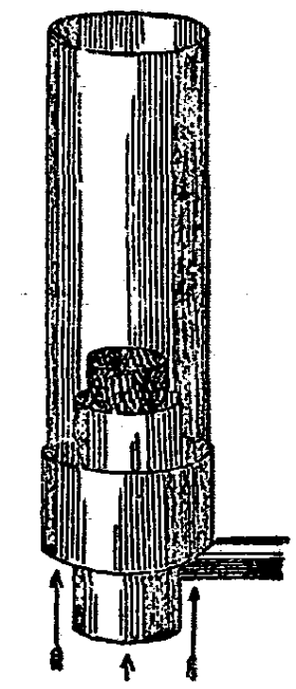
689.



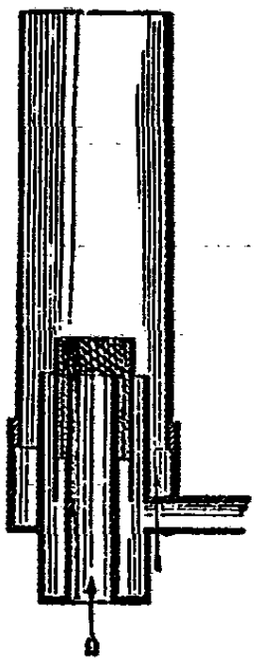
690.



691.

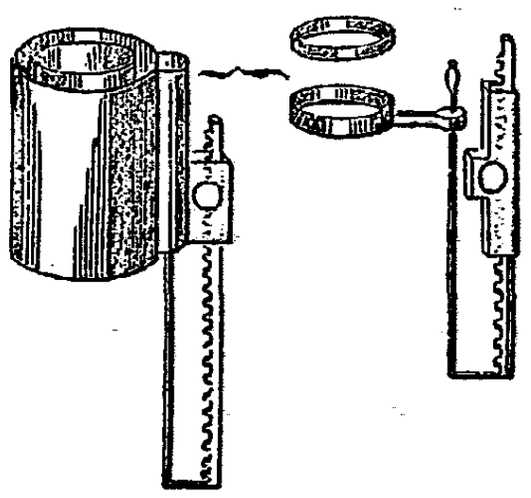


692.



693.

La seule amélioration importante apportée au bec d'Argand est celle qui consiste dans le retrécissement de la cheminée immédiatement au-dessus de la mèche; de cette manière l'air rejeté sur la flamme opère une combustion beaucoup plus complète; les autres changements qui ont été faits à cet utile appareil résident



694.

695.

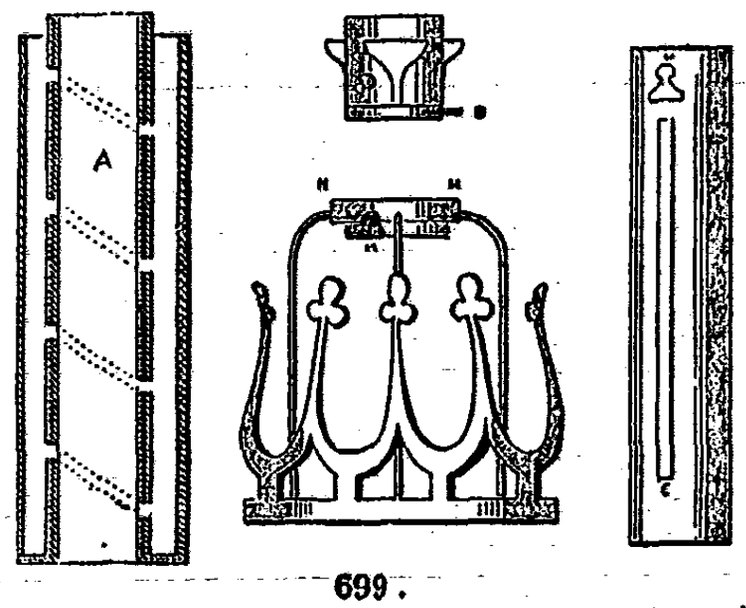
dans le mouvement qu'on doit lui imprimer pour faire monter ou descendre la mèche; le levier doublement coudé d'Argand était incommode, on a donné le mou-

ECLAIRAGE.

vement par un pignon qui engrène avec une crémaillère, comme le montrent les fig. 694 et 695.

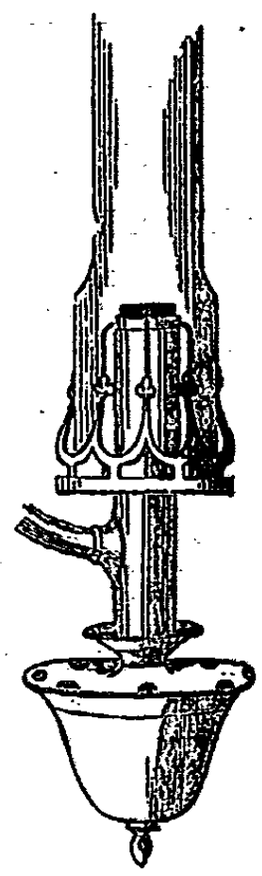
On construit aujourd'hui un appareil très ingénieux qui, quoique reposant sur le principe du bec d'Argand, en diffère totalement quant à la construction. Ce bec se compose de quatre pièces dont nous allons successivement donner la description et l'emploi. Deux cylindres concentriques (fig. 696) sont réunis à

696. 698. 697.



699.

la partie inférieure par une couronne circulaire, le cylindre intérieur porte une rainure en spirale, dans laquelle peut se mouvoir le porte-mèche, fig. 698, qui porte deux appendices, l'un extérieur E, l'autre intérieur B; pour donner le mouvement à ce porte-mèche, un cylindre (fig. 697) entre dans l'intervalle cylindrique réservé entre les deux cylindres concentriques et porte lui-même une rainure dans laquelle pénètre l'appendice extérieur du porte-mèche; ce cylindre est en outre garni à sa partie supérieure d'une saillie M, qui pénètre dans un anneau que l'on pose sur le bec (fig. 699); cet anneau est relié par quatre tiges à un anneau d'un plus grand diamètre, qui porte une galerie dans laquelle s'engage la cheminée; maintenant on conçoit facilement le mouvement de la mèche, le cylindre est mis en mouvement par l'anneau MN, et il communique ce mouvement au porte-mèche. La fig. 700 montre cet appareil monté.



700.

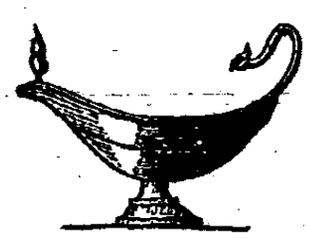
Bec à mèches multiples de Fresnel et Arago. Cet appareil de combustion exécuté en 1822 a pour but de produire une grande intensité de lumière dans un espace très petit; il a été imaginé pour être appliqué aux phares; pour modérer la hauteur de la flamme et éviter la décomposition de l'huile résultant d'une trop haute température, on dispose le réservoir d'huile de manière à ce que l'écoulement sur la mèche soit plus considérable que la quantité consommée; cette disposition est facile à établir en donnant la pression dans le réservoir par un tuyau vertical glissant à volonté dans une boîte à cuir. Afin de régler le tirage, on a surmonté la cheminée d'une partie cylindrique en tôle que l'on fait mouvoir à volonté, les mèches s'abaissent séparément à l'aide d'une crémaillère.

Un bec à deux mèches concentriques produit l'effet de cinq lampes Carcel, et ceux à trois et quatre mèches donnent une lumière égale à 10 ou 20 lampes Carcel, mais ces derniers becs dépensent plus d'huile que 10 et 20 lampes Carcel; les becs à 2 mèches concentriques dépensent à peu près dans la proportion d'une Carcel.

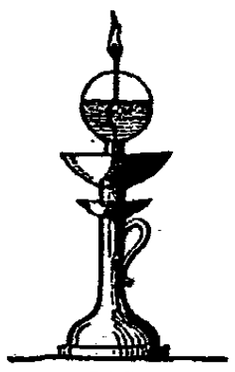
L'application des becs à mèches concentriques pour l'éclairage des salles de spectacle a été faite en 1825 par Locatelli au théâtre Fenice de Venise; l'appareil avait quelques dispositions particulières très ingénieuses, il était d'un fort bel effet.

Épaisseur du bec. Lorsque le bec est très large la mèche se charbonne jusqu'au niveau de l'huile, mais si on le rétrécit en lui donnant vers le haut une forme conique à l'extérieur, le refroidissement dû à l'effet de la partie métallique empêche la carbonisation de la partie inférieure de la mèche, et l'on peut alors *brûler à blanc*, pourvu que l'afflux de l'huile soit suffisante, par l'emploi des moyens que nous indiquons plus loin.

Réservoirs placés au niveau des becs. Dans ces réservoirs le niveau supérieur de l'huile est toujours inférieur à celui de la mèche dans lequel l'huile monte par la force de capillarité. Telle était la lampe antique représentée fig. 701. La disposition fig. 702 est encore assez répandue. On construisit plus tard des lampes à réservoir latéral; ces réservoirs sont fondés sur une propriété physique des liquides, qui consiste en ce qu'un liquide renfermé dans deux vases communiquant se tient toujours au même niveau dans chacun d'eux. Pour que le niveau égal s'établisse dans les deux vases l'air doit avoir un libre accès dans chacun d'eux, la mèche est toujours placée à une distance de 3 à 5^{mm} au-dessus du réservoir. La *lampe astrale* et la *lampe sinombre*, où le réservoir est disposé soit latéralement, soit en couronne, sont d'un grand usage.

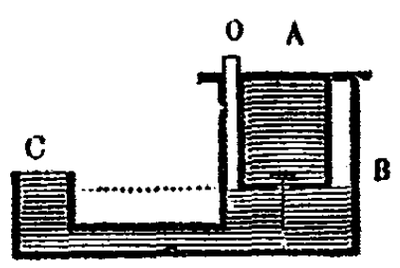


701.



702.

Réservoirs supérieurs aux becs. Nous établirons d'abord le principe reposant sur la propriété connue du vase de Mariotte, sur lequel est fondé la construction de ces réservoirs. Quand deux vases B, C, fig. 703, communiquent, si dans l'un d'eux B, on renverse un réservoir A qui s'ouvre par la partie inférieure quand il est placé dans le vase B, le liquide renfermé dans le vase A s'échappe et remplit les deux réservoirs B et C. L'air arrive par l'orifice O, pour remplacer le liquide qui s'échappe de A, et l'écoulement cesse quand l'air ne peut plus pénétrer, c'est-à-dire quand la partie inférieure du vase A touche au niveau supérieur du liquide dans le vase B. A mesure que la combustion s'opère en C, le niveau baisse dans l'espace annulaire et l'air entre dans le vase quand sa partie inférieure est découverte; ainsi la combustion ayant lieu d'une manière continue, le

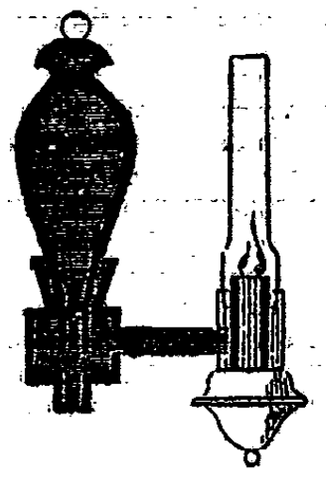


703.

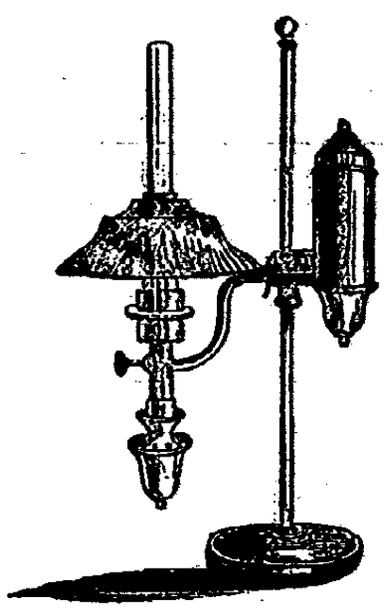
ECLAIRAGE.

niveau s'abaissera peu à peu, mais les variations seront faibles, car bien que l'entrée de l'air ne se fasse point d'une manière régulière, les bulles se succèdent à intervalles très petits.

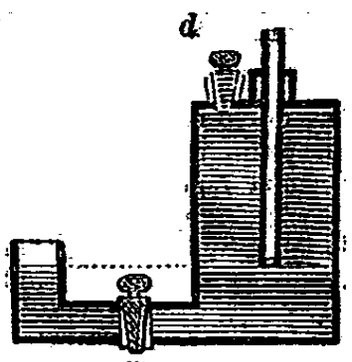
Les fig. 704 et 705 représentent des lampes établies d'après le principe que nous venons d'expliquer; il suffit de voir le dessin pour comprendre la disposition.



704



705.



706.

On a établi des réservoirs qui ont eu quelque succès et qui, différents des précédents, reposent néanmoins sur le même principe et que représente la fig. 706; l'espace cylindrique annulaire extérieur est remplacé par un petit cylindre intérieur qui communique avec l'atmosphère. Le bouchon *d* permet d'emplir le réservoir, et la communication s'établit avec l'appareil de combustion par le robinet *m*.

Une condition essentielle à remplir est de faire en sorte que l'huile arrive assez haut dans la mèche très peu au-dessous du bord; on peut alors faire sortir celle-ci de 6 à 10 millimètres, de telle sorte que la suffisante quantité d'huile élevée par la pression de l'huile et la capillarité empêche celle-ci de se carboniser au-delà de 2 à 4 millimètres. Au-dessous de l'anneau charbonné, il restera une partie blanche préservée par l'affluence de l'huile. On évite ainsi la distillation et décomposition de l'huile qui se produit par l'échauffement des parties métalliques, quand la combustion a lieu au contact de celles-ci. La lumière est ainsi beaucoup plus vive; en évitant une perte on *brûle à blanc* et on obtient une économie considérable d'huile qui ne brûle pas, ou brûle mal, en donnant peu de lumière.

Tous les réservoirs supérieurs aux becs sont soumis à l'action de la chaleur qui émane de ce bec, et la force de dilatation doit faire dégorger l'huile par l'orifice destiné à la combustion. Des expériences de M. Péclet ont prouvé que ce danger est peu à craindre, pourvu qu'il n'y ait pas d'air emprisonné dans la réservoir.

L'influence de la capillarité est évidente dans les différents appareils que nous venons de passer en revue, il est important de connaître la loi d'élévation de niveau dû à cette force physique; sans entrer dans les détails connus probablement du lecteur, nous allons donner les tables de M. Péclet, déduites d'expériences faites par lui-même avec le plus grand soin, et qui sont toutes particulières pour l'huile :

Elévation de l'huile au-dessus de son niveau dans un tube circulaire.

DIAMÈTRE intérieur du tube.	ÉLÉVATION exprimée en millimètres.
0mm,5	27mm,20
1	13mm,60
2	6mm,80
3	4mm,53
4	3mm,40
5	2mm,72
6	2mm,26

Élévation de l'huile au-dessus de son niveau dans un espace annulaire.

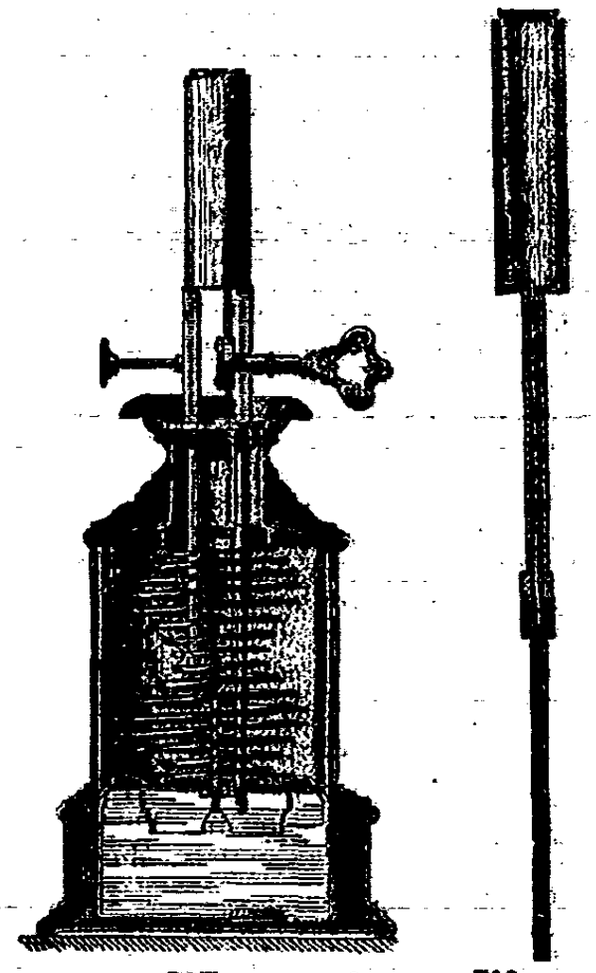
ÉPAISSEUR de l'espace annulaire.	ÉLÉVATION exprimée en millimètres.
0mm,5	13mm,60
1mm,0	6mm,40
2mm,0	3mm,40
3mm,0	2mm,26
4mm,0	1mm,70
5mm,0	1mm,26
6mm,0	1mm,13

Remarquons que la mèche sert non-seulement à élever l'huile, mais encore à la diviser et à faciliter la combustion en accroissant les surfaces inflammables.

Réservoirs inférieurs aux becs. Ce genre de lampes, qui offre sur celles qui précèdent le grand avantage de faire disparaître l'ombre que produit le réservoir d'huile, n'est possible qu'autant qu'on a pu accumuler dans l'appareil un travail moteur suffisant pour élever l'huile à la hauteur du bec pendant toute la durée de la combustion.

Les lampes de ce genre les plus employées aujourd'hui ne sont qu'une heureuse modification d'un système très imparfait et très ancien connu sous le nom de lampes à pompe. Nous voulons parler des lampes à modérateur, dont la fig. 707 représente une coupe. Un piston A se meut dans un corps de pompe formé par le pied de la lampe et renfermant l'huile; il est pressé par un ressort en hélice (de rayon variable pour pouvoir s'aplatir quand on resserre les spires) et force l'huile à monter par un tuyau d'ascension, qui la conduit jusqu'au bec. A mesure que le piston descend la force du ressort diminue, et la hauteur à laquelle il faut élever l'huile augmente. Le mouvement de l'huile serait donc irrégulier sans l'emploi du *modérateur*. On appelle ainsi une tringle placée à l'intérieur du tube par lequel l'huile monte (fig. 708), et qui rend très étroit le passage de l'huile entre la tringle et un petit tube fixé au piston et qui se meut dans la partie supérieure du tube qui est fixe. Cet étranglement est donc très sensible quand le piston est très haut, quand le ressort vient d'être fortement comprimé à l'aide d'un bouton portant un pignon engrenant avec une crémaillère. Il est minime, au contraire, quand le ressort est à l'extrémité de sa course.

L'huile est versée au-dessus du piston : mais quand on remonte la lampe, le vide produit à la partie infé-



707.

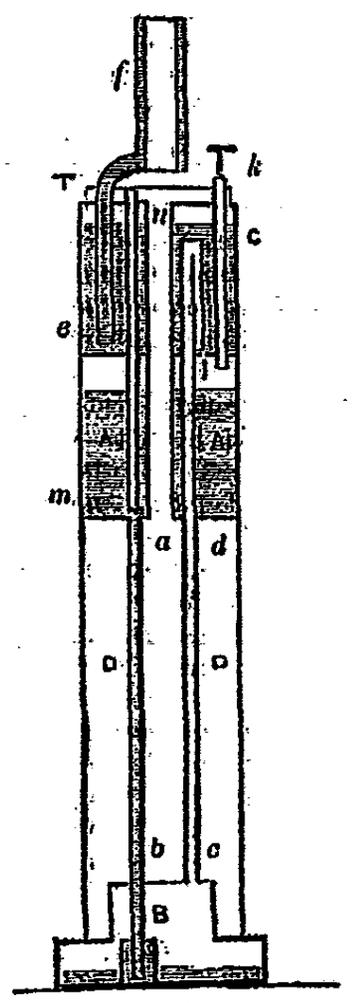
708.

rieure fait infléchir le cuir embouti, qui forme garniture, et l'huile repasse à la partie inférieure.

Les avantages de ces lampes sont, avec un prix peu élevé, les avantages des lampes Carcel, bien qu'à un degré moindre, c'est-à-dire que l'écoulement abondant de l'huile sur la mèche permet une combustion qui n'atteint jamais le bec métallique, une combustion à *blanc*.

Le bon marché de ces lampes, l'heureuse invention du modérateur, la perfection dans la fabrication de ressorts puissants, du bec, etc., sont autant de causes qui expliquent le succès de ces lampes, dont la construction est devenue un article d'une certaine importance pour l'industrie parisienne.

Une disposition très ingénieuse du réservoir inférieur est due à Girard, cette disposition repose sur le même principe que la fontaine de Héron; nous supposons cet appareil bien connu (voyez ce mot), et nous passons à la description de cette lampe, qui offre malheureusement l'inconvénient d'être trop compliquée et trop sujette aux variations thermométriques et barométriques, par suite du grand volume d'air qu'elle renferme.



709

ÉCLAIRAGE.

Cette lampe présente l'aspect d'un cylindre (fig. 709) divisé en quatre compartiments A, B, C, D, réunis ou séparés par des tubes *mn*, *ab*, *cd*, *ef*. Le réservoir A communique avec l'air extérieur par un tube *mn*, placé à sa partie inférieure. Il s'y produit une pression égale à la pression atmosphérique, et cette pression égale sur toute la section du liquide qui est au-dessus de ce point, donne au fluide un écoulement uniforme, quelle que soit la quantité de liquide qu'il y ait dans le réservoir A. Cet écoulement continu vient diminuer la capacité du réservoir B; il en résulte augmentation de densité de l'air renfermé dans ce réservoir, et pour que tout reste en équilibre, cet air vient exercer une pression sur la partie supérieure de l'huile renfermée dans le compartiment C; de là, ascension dans le tube *ef*. Ce tube se terminant par le bec, la combustion se trouve alimentée. On remplit cette lampe d'une manière assez simple par le tube IK : à cet effet on remplit d'abord le compartiment A, puis on bouche le tube IK et on renverse la lampe; B se vide dans C. On doit ajouter de l'huile jusqu'à ce que le compartiment A soit rempli; la hauteur de ce compartiment est calculée de manière à ce que l'écoulement du liquide suffise pour la combustion de l'huile que peut contenir C.

Nous dirons encore un mot de la lampe Thilorier, dite hydrostatique. Elle est fondée sur un principe de physique qui, du premier abord, paraît d'une application facile; cependant, avant la réussite de Thilorier, Keir, de Lange et de Vigi, avaient échoué. Voici quel est ce principe :

Si deux vases communiquant entre eux sont remplis de liquides de densités différentes, se faisant équilibre, les hauteurs de chaque liquide seront en raison inverse de leurs densités; avec un liquide plus dense que l'huile, on peut donc faire monter celle-ci de manière à ce qu'elle vienne constamment alimenter la mèche où s'opère la combustion. Le liquide, qui peut être employé comme auxiliaire, doit avoir une densité plus considérable que celle de l'huile; ne point attaquer le métal qui le renferme; n'exercer aucune action chimique sur l'huile; enfin, pouvoir supporter les variations de température sans altération sensible. Une dissolution de sulfate de zinc, étendue de son volume d'eau, possède toutes ces propriétés. C'est ce liquide que M. Thilorier a employé avec avantage; c'est à son emploi qu'est dû le succès de cette lampe. Il remplit la capacité supérieure, descend par un tube dans le pied de la lampe rempli d'huile, et fait monter celle-ci par un tube aboutissant au bec.

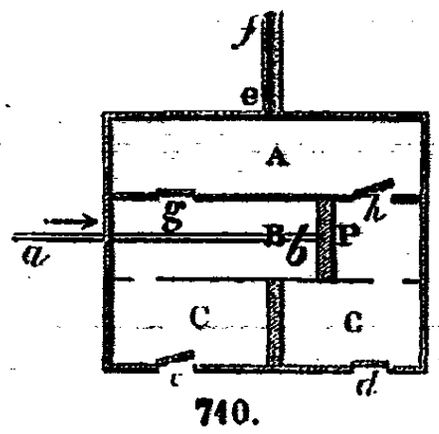
Le niveau de cette lampe n'est point constant, il baisse pendant la combustion, mais d'une manière peu sensible, un tube très fin qui établit la communication de la capacité qui renferme le sulfate de zinc avec l'air, agissant ici comme dans le vase de Mariotte.

Il nous reste à dire un mot des lampes à mouvement d'horlogerie; c'est à Carcel qu'on doit la construction de ces lampes. Elles ont pour effet de supprimer les ombres que donnent toujours les réservoirs dans les lampes à niveau supérieur au bec et de produire une flamme bien supérieure en intensité à celle des lampes précédentes. Cet effet est produit par l'écoulement continu et surabondant de l'huile sur la partie de la mèche où s'opère la combustion, d'où résulte une combustion à blanc extrêmement active.

Voici en quoi consiste l'appareil de Carcel : une boîte supérieure au mouvement d'horlogerie est divisée en trois compartiments, A, B, C (fig. 710); le compartiment B renferme un piston P, dont la tige *ab* est mise en mouvement par une manivelle mue elle-même par un mécanisme inférieur. C, est divisé en deux parties qui portent chacune une soupape *c*, *d*; à la partie supérieure du vase A, se trouve un tube *ef*, et à la partie inférieure deux soupapes. Cet appareil plonge dans le réservoir

ÉCLAIRAGE.

à huile. Le piston P étant mis en mouvement dans le sens de la flèche, les soupapes *c*, *h*, s'ouvrent, et *g*, *d*, se ferment; le liquide à droite passe dans A, et de là dans *ef*, d'où il se répand sur la mèche, pendant que B et C, se maintiennent pleins de liquide; le piston marchant en sens contraire, les soupapes, *g*, *d*, s'ouvrent et *c*, *h*, se ferment; il résulte de ce mouvement un résultat analogue à une aspiration continue du tube *ef*, et par conséquent une distribution régulière du liquide.

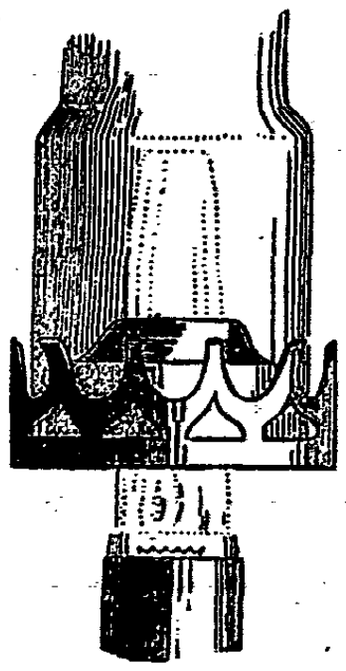


740.

Le mouvement de l'huile ne peut être constant avec une seule pompe; aussi dans la plupart des systèmes perfectionnés depuis que l'invention de Carcel est dans le domaine public, a-t-on employé deux pompes qui chassent l'huile dans le même conduit. On pourrait employer aussi une chambre à air intermédiaire. MM. Gotten, Gagneau, etc., se sont acquis une juste réputation en modifiant les détails du système Carcel.

M. Careau, a tenté assez heureusement de construire une lampe à mouvement d'horlogerie, à un prix modéré, qui permit d'en rendre l'emploi plus général. Pour cela, il a simplifié considérablement le mécanisme en supprimant le régulateur, et le réduisant à un barillet et à un excentrique portant la tige des pompes. Il régularise l'arrivée de l'huile par l'huile elle-même, forcée de traverser un diaphragme percé d'un trou très petit, et placé dans le tube d'arrivée de l'huile. La contraction au passage est d'autant plus grande que le ressort a plus de force. Ce moyen très simple donne de bons résultats mais exige des nettoyages fréquents.

Généralement dans les lampes à mouvement d'horlogerie on a mis les pompes au-dessous du réservoir d'huile, en faisant traverser à la tige des pompes une boîte en cuir. Il peut en résulter des inconvénients graves et notamment l'écoulement de l'huile à l'extérieur de la lampe. Aussi, doit-on préférer les dispositions dans lesquelles les pompes sont placées au-dessus du réservoir. On peut aussi, comme l'a conseillé M. Sainte Preuve, laisser les pompes au-dessous du réservoir d'huile et faire passer la tige communicatrice par un tube traversant le réservoir d'huile et soudé au fond de ce dernier; alors la tige s'élève au-dessus du bain d'huile, et c'est à son extrémité supérieure qu'on adapte les organes qui doivent la lier aux pompes.


741.

Lampe solaire. Une invention fort curieuse a paru dans ces dernières années. Elle permet d'obtenir sans mouvement d'horlogerie et en employant des lampes, qui, quant à la forme du réservoir se rapprochent des plus anciennes dispositions, une combustion éclatante de blancheur. C'est la lampe dite *solaire*. La figure 741 fera comprendre le principe de cet appareil. L'consiste en un étranglement que l'on fait subir à la flamme un peu au-dessus de la mèche. La flamme étant mélangée forcément avec l'air (comme cela a lieu dans les appareils fumivores), les parties charbonneuses non encore brûlées, et qui donnent à la flamme une teinte rougeâtre, se brûlent; celle-ci s'allonge et s'élève beaucoup au-dessus du niveau de l'huile, en dégageant une lumière extrêmement vive. Ce genre de lampes, aujourd'hui abandonné pour les huiles grasses, s'est trouvé très-convenable pour les liquides volatils, à combustion naturellement fuligineuse, qui offrent aujourd'hui tant d'intérêt. Nous y reviendrons plus loin en parlant des résultats auxquels on est parvenu par l'usage de liquides hydrocarburés d'origine minérale, qui va grandissant chaque jour, par suite de la grande économie qui résulte de leur emploi; mais il était curieux d'indiquer comment l'étranglement de la flamme, le mélange forcé des gaz à une certaine hauteur, ont fourni pour des liquides volatils une excellente solution du problème d'obtenir une combustion vive sans l'emploi d'aucun organe mécanique.

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

Découverte. — Résumé historique. — L'industrie de l'éclairage par le gaz ne date que d'un demi-siècle environ; c'est en 1792 qu'un anglais, Murdoch, en fit le premier l'heureuse application. Avant lui, certains auteurs ont parlé vaguement de la nature du gaz que la houille renfermait. Ainsi le docteur Clayton, en 1737 et 1738, cherchait par quelques expériences la nature des gaz produits par la houille qu'il distillait en vase clos; il n'arriva à rien de positif; il donna à ces gaz carbonés le nom d'*esprit de houille*. C'est seulement en 1786 que parut le thermolampe de l'ingénieur français Lebon; c'est à lui, sans contredit, que l'on doit la théorie de cette industrie. Murdoch attendit dix ans, de 1792 à 1802, que la pratique eut suffisamment constaté les avantages de sa découverte pour établir une usine importante destinée à l'éclairage d'un vaste établissement anglais, de l'atelier de construction de machines à vapeur de Watt et Bolton à Soho, près Birmingham. Cette application permit d'apprécier les nombreux avantages du nouveau mode d'éclairage. A cette époque, Winsor s'occupa avec beaucoup de succès de cette industrie; il tenta ses premiers essais en pays étrangers, à Hambourg, Brunswick, etc. De retour en Angleterre en 1803, il chercha à l'appliquer en grand; il eut à lutter pendant de longues années contre des habitudes établies et des intérêts positifs, malheureusement aussi contre des résistances sincères, et des craintes d'abord fondées sur la nature des gaz étrangers renfermés dans les produits de la distillation des houilles. C'est seulement en 1812 qu'une compagnie fut autorisée pour l'éclairage de Londres. En 1815, le même Anglais Winsor vint en France. La lutte qu'il eut à supporter fut encore terrible; elle fut moins longue, il est vrai, mais elle fut pour ainsi dire générale, et Winsor dut parler aux yeux pour réussir en 1817. Il éclaira seulement le passage des Panoramas. Plusieurs sociétés prirent successivement naissance: elles échouèrent. La première qui réussit, après des dépenses considérables, est celle qui est arrivée au succès sous le nom de Société Anglaise. Alors l'expérience étant faite, on put organiser sur des bases solides; des usines modèles ont été montées par les soins d'habiles ingénieurs, et maintenant Paris jouit presque entièrement de ce mode d'éclairage. Cette industrie ne s'est point bornée à répandre ses bienfaits sur la capitale de la France; toutes les villes de premier et de second ordre ont vu successivement ce progrès s'étendre dans leurs murs, et cela malgré les difficultés que rencontre toujours une industrie nouvelle.

L'éclairage au gaz est actuellement appliqué d'une manière générale et avantageuse pour tous.

Les matières premières qui peuvent être employées à la préparation du gaz sont très diverses. Ce sont les houilles, les résines, les acides gras de toute nature, enfin presque toutes les matières organiques, puisqu'elles donnent par la distillation des carbures d'hydrogène gazeux. Nous nous occuperons d'abord du gaz d'éclairage, produit par la distillation de la houille.

Les opérations qui constituent cette préparation sont les suivantes : 1° distillation ; 2° condensation et épuration. Nous allons successivement les étudier.

DISTILLATION. Dès l'instant qu'une qualité de houille produit du gaz d'un pouvoir éclairant suffisant et dans une certaine proportion, par exemple 18 à 20 mètres cubes par 100 kil., que le gaz produit est épurable sans trop de difficulté, elle est susceptible d'être employée dans une usine à gaz. Les conditions particulières de chaque localité, de chaque usine, de chaque saison pour la même usine, peuvent et doivent seules fixer le choix du fabricant de gaz ; aucune règle ne peut être donnée à cet égard. Ici on trouve avantage à distiller de la houille qui fournit beaucoup de coke, et on ne tient pas à obtenir un peu plus de gaz ; là, au contraire, le coke se vend mal, on veut de la houille qui produit le plus de gaz possible ; enfin, à égalité de produits, on préfère partout la houille qui coûte le moins cher. Ainsi, en France, on distille de la houille anglaise dans les usines à gaz voisines des ports de la Manche ; dans le Centre et une partie du Midi on emploie les houilles du bassin de la Loire ; dans le Nord et à Paris, ce sont les houilles belges et celles du bassin de Valenciennes qui ont la préférence ; c'est de la houille prussienne que consomme l'usine à gaz de Metz. Mais les houilles de ces diverses provenances présentent bien des variétés entre lesquelles le directeur d'une usine doit choisir.

La houille traitée en vase clos à une chaleur rouge se décompose et donne naissance à de l'hydrogène bicarboné, de l'hydrogène pur, de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique, de l'acide hydrosulfurique, des sels ammoniacaux, parmi lesquels nous pouvons signaler le carbonate, l'hydrosulfate, l'hydrochlorate, le cyanhydrate, le sulfocyanure, etc. ; du goudron, des huiles empyreumatiques, de l'eau ; toutes ces substances sont volatiles à la température rouge et se dégagent par l'ouverture dont est muni le vase distillatoire, dans l'intérieur duquel reste un produit solide nommé *coke*. Parmi les corps dégagés, les quatre premiers sont des gaz inflammables répandant, le premier surtout, de la lumière par leur combustion. On peut mettre cette lumière à profit, mais alors il faut séparer les quatre premiers corps des autres, qui ne peuvent être que nuisibles pour le but qu'on se propose ; cette séparation est le but de la condensation et de l'épuration.

Voici, d'après Clegg, une analyse du gaz de houille fourni par une usine d'Angleterre :

Gaz oléfiant (hydrogène deuto-carboné).	8
Hydrogène proto-carboné.	72
Oxyde de carbone.	13
Acide carbonique.	4
Acide hydrosulfurique.	3
	100

Nous pouvons dire dès à présent que plus la température de distillation est élevée, plus il se forme de gaz et moins de goudron et d'huile essentielle. Il ne faut pas cependant dépasser une certaine limite, car l'hydrogène bi-carboné pourrait être décomposé et devenir par cela même moins éclairant ; il ne faut pas dépasser le rouge cerise vif au rouge blanc Généralement, ce n'est point par excès de chaleur qu'on pèche dans les usines à gaz.

Suivant qu'on chauffe plus ou moins, le rendement de la houille en gaz, en goudron et en volume de coke, varie d'une manière très sensible : ainsi le même charbon fournira ici 3 à 3k,5 de goudron et 27 à 28 mètres de gaz ; là, il produira 4 à 5 kil. de goudron et 22 mètres cubes de gaz. La moyenne assez bonne est de 25 mètres cubes de gaz et de 4 à 4k 5 de goudron par 100 kil. de houille. Le volume du coke obtenu dépend aussi de la température de la distillation ; si elle ne dépasse pas la limite ci-dessus indiquée, il est beaucoup plus fort que celui de la houille distillée ; suivant la mesure de la houille, le volume du coke augmente de 30 à 60 p. 100. Ainsi un hectolitre de houille rend en moyenne 1h,40 et même 1h,50 de coke pesant 40 à 45 kil., l'hectolitre comble. Si la température était poussée et maintenue assez de temps au rouge blanc, et par conséquent au delà, le volume du coke diminuant, sa densité augmente alors nécessairement, et alors le volume du coke peut n'être plus supérieur à celui de la houille employée.

Il est presque inutile d'insister sur ce point que la chaleur doit être maintenue régulièrement pendant tout le temps de la distillation.

Il est évident que les quantités de gaz obtenues et le pouvoir éclairant varient suivant les divers moments de la distillation. Dans les premiers moments de la charge le gaz se produit abondamment, sans être toutefois aussi éclairant qu'une demi-heure après. Vers la fin de la distillation le gaz produit est peu abondant, très peu éclairant et plus difficile à épurer, car il contient alors plus d'acide hydrosulfurique, les pyrites de fer exigeant une température assez élevée pour que leur décomposition soit avancée. La durée de la distillation varie avec la nature des houilles et aussi les idées du directeur de l'usine ; elle varie de quatre à six heures. Les usines de Paris distillent presque toutes en quatre heures.

M. d'Hurcourt, dans son Traité sur l'éclairage au gaz, donne le tableau suivant des expériences faites à la Compagnie française, qui prouvent l'inutilité d'un chauffage trop prolongé, outre que les dernières quantités de gaz sont très peu éclairantes.

Ces expériences, faites au moyen d'un petit gazomètre dont les élévations étaient proportionnelles aux quantités de gaz obtenues, ont donné les résultats suivants :

Après 1 h.	de distillat.,	le gazom. avait monté de	38,00
2 h.	id.	en plus de	20
3 h.	id.	id.	22
4 h.	id.	id.	15,66
5 h.	id.	id.	9,33
6 h.	id.	id.	6,00

Les signes d'une bonne distillation sont faciles à apprécier ; l'aspect du coke à l'ouverture de la cornue suffit pour indiquer si l'on a tiré de la houille tout ce qu'elle devait produire. Dans ce cas, le coke est blanc et ne laisse émaner aucun gaz, dont la présence est indiquée par l'inflammation. Si au contraire le coke est brun, si de petites flammes se forment à sa surface, la distillation n'est point complète

Une autre condition essentielle est d'employer les houilles non mouillées, l'humidité exerçant une influence nuisible sur la distillation. M. Penot a fait à Mulhouse l'expérience suivante :

Un kilogramme de houille contenant 10 p. 100 d'eau a donné :

Gaz de bonne qualité. . .	460 litres.
Gaz de mauvaise qualité. .	92
Total.	252

ÉCLAIRAGE.

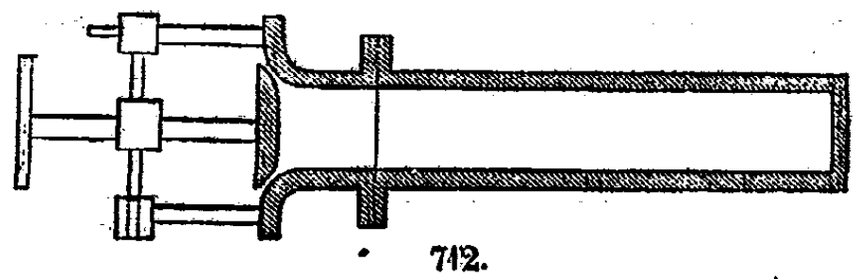
La même houille desséchée a donné :

Gaz de bonne qualité. . .	240 litres.
Gaz de mauvaise qualité.	92
Total.	332

Pour avoir la houille la plus sèche possible il faut la mettre à couvert, et non la laisser à l'injure du temps, surtout si elle est fine, lors de son entrée à l'usine. Lorsqu'on met les charbons en tas, même à découvert, il est nécessaire de prendre toutes les précautions possibles pour la ventilation des diverses parties de la masse, et éviter l'échauffement et quelquefois même l'inflammation ; ces accidents se produisent surtout dans les magasins quand la houille a été emmagasinée humide ; sous l'influence simultanée de la chaleur et de l'humidité, il s'y produit une espèce de fermentation, surtout dans les houilles menues et pyriteuses, par la transformation du sulfure de fer en sulfate, transformation accompagnée d'un dégagement de chaleur assez considérable qui amène le départ d'une quantité plus ou moins considérable de substances volatiles. Aussi il est d'usage d'étaler devant les fourneaux le plus longtemps possible la houille qui doit être mise dans les cornues. Non-seulement on obtient moins de gaz avec de la houille mouillée, mais on peut faire éclater les cornues si elles sont en terre réfractaire.

Cornues. Dans presque toutes les usines à gaz, on opère la distillation dans des cornues très souvent en terre réfractaire, quelquefois en fonte.

La cornue proprement dite (*fig.* 712) se divise en deux parties, corps et tête de cornue ; le corps est la partie placée dans le fourneau, la tête de cornue est extérieure. L'assemblage qui réunit ces deux parties de la cornue est généralement à brides ; ces brides sont serrées l'une contre l'autre par des boulons, et du mastic de fer placé entre elles vient les unir fortement et s'opposer aux fuites.



712.

Cette tête de cornue porte une tubulure ou manchon, dans lequel on assemble le tuyau d'échappement. Quelquefois cet assemblage se fait à collet ; mais l'assemblage à manchon est préférable et bien moins sujet aux fuites. La cornue est fermée par une porte en fonte lutée avec de l'argile, et maintenue dans une position fixe par une vis de pression qui passe dans un écrou relié à la tête de la cornue par des oreilles.

La forme qu'on a donnée aux cornues a beaucoup varié : ainsi on en a fait de rondes, d'elliptiques, d'autres avaient la partie inférieure bombée intérieurement. De toutes ces formes, celle qui paraît être la plus convenable est celle qui affecte la forme d'un ⏢ renversé dont les angles intérieurs sont arrondis. Dans ces cornues, la couche de houille pouvant être uniforme, la distillation est plus régulière que dans les cornues elliptiques ; de plus, cette disposition offre une surface de chauffe assez considérable, et présente aussi des avantages sous le rapport de la solidité. Suivant nous, il ne faut donner à la cornue que la hauteur strictement nécessaire pour l'accroissement de volume du coke et la facilité du défournement.

On donne aujourd'hui aux cornues les plus grandes dimensions possibles ; elles ont de 2m,30 à 2m,60 de long ; on peut avec de grandes cornues distiller plus de houille sans dépenser plus de chauffage ; l'entrée a 0m,45 de large sur 0m,35 à 0m,40 de haut.

Les cornues en fonte durent en moyenne neuf mois ; la qualité de la fonte influe sur leur durée d'une manière remarquable ; on a vu des cornues hors de service après six semaines ou deux mois, d'autres durer quinze mois.

Nous avons déjà dit que les cornues peuvent être en fonte ou en terre réfractaire. On a eu le temps depuis qu'on les emploie d'apprécier tous les avantages et les inconvénients des cornues en fonte, mais on n'a pas encore dit le dernier mot pour la construction et l'établissement des cornues en terre.

Les cornues en fonte sont chauffées plus facilement que les cornues en terre ; elles peuvent même faire produire à une même quantité de houille plus de gaz ; elles sont moins sujettes à des fêlures, à des ruptures instantanées, mais leur durée est moins longue ; généralement aujourd'hui les cornues en terre sont préférées ; cependant de bons fabricants de gaz n'hésiteraient pas à établir des cornues en fonte, surtout dans de petites usines où le nombre des cornues en fer est peu considérable, pour éviter précisément les conséquences graves d'*accidents qui pourraient arriver* à un four garni de cornues en terre.

Quand on fait usage de cornues en fonte, il n'est pas possible de les chauffer au goudron, la forte chaleur développée par la combustion de cette matière faisant fondre les cornues même quand elles sont préservées des coups de feu directs par des carreaux réfractaires.

Les cornues en terre réfractaire de bonne qualité présentent des avantages incontestables pour des directeurs d'usine et des ouvriers bien au courant des soins qu'elles exigent et des dispositions particulières de chauffage qu'il faut adopter surtout pour la mise en feu. La nature même de la cornue dispense de toutes garnitures ou carreaux réfractaires préservateurs des coups de feu ; elle se prête très bien au chauffage du four par le goudron.

Quand on veut monter un four avec des cornues réfractaires, on prend généralement la précaution de faire recuire les massifs et la voûte avant la pose des cornues ; pour cela on mure le devant du fourneau et on allume le feu. Puis quand les cornues sont placées, il faut chauffer avec beaucoup de précaution, éviter surtout les changements brusques de température, et ne pas charger avec du charbon mouillé. On sait que la terre réfractaire chauffée n'éprouve pas de dilatation mais bien du retrait.

La porosité des cornues réfractaires est un assez grave inconvénient. En effet, dans les premiers jours de la marche, le gaz traverse les pores ; mais peu à peu ces pores se bouchent à cause du dépôt du carbone occasionné par la décomposition du gaz deuto et même protocarboné. Ce dépôt se fait non-seulement dans l'épaisseur de la cornue, mais aussi dans l'intérieur, et principalement vers la partie du fond ; de sorte qu'au bout d'un certain temps l'intérieur de la cornue est tapissé d'une couche de carbone, appelé aussi quelquefois carbure dans les usines à gaz, matière excessivement dure, d'une sonorité presque métallique qui sert aujourd'hui avantageusement à la confection des piles électriques. Cette couche de carbone n'éprouvant point, par le refroidissement, le même retrait que la cornue elle-même, la différence de retrait peut très bien amener des ruptures, et par cela même la perte de la cornue quand on éteint le four. M. Grellet, directeur de l'usine à gaz du faubourg Poissonnière (Compagnie française), recommande de faire brûler cette couche intérieure en ouvrant les cornues lorsqu'on veut éteindre le four ; une fois cette couche disparue, il faut boucher

aussi hermétiquement que possible, toutes les ouvertures du four, ainsi que les cornues, et laisser alors éteindre le foyer. On abandonne le tout dans cet état jusqu'au moment où on veut rallumer le four, et même on ne débouche les cornues que quand le four est déjà chaud. Rien n'empêcherait, le four étant bien froid, de démonter les cornues pour les mettre dans un autre four. Quelques fabricants de gaz, le même M. Grellet entre autres, pensent que si on pouvait boucher les pores de la surface intérieure de la cornue, on empêcherait le dépôt de carbone en question; une couche de silicate de potasse ou de soude, ou même de potasse ou de soude appliquée au pinceau suffirait peut-être pour produire ce résultat, ces matières sous l'action de la chaleur devant produire une espèce de vernis. Si on ne réussissait pas ainsi, on pourrait ajouter un peu de métal, fer ou plomb, pour rendre le silicate plus fusible. Les cornues de terre peuvent être réparées facilement; on bouche les fissures qui se déclarent au moyen de terre à four, à laquelle on ajoute quelquefois du verre pilé ou du minium ; on a même mis des pièces à des cornues qui ont fait, malgré cela, un assez bon service.

Une curieuse expérience de M. Deville montre bien la nécessité de se préoccuper du vernissage intérieur des cornues en terre pour éviter la perte du gaz hydrogène et la rentrée, à sa place, des gaz du foyer. Il enferme un tube de terre dans un tube de verre plus large et disposé concentriquement autour de lui. Au moyen de bouchons de liége convenablement percés et fermant hermétiquement les deux tubes, on fait arriver de l'acide carbonique dans l'espace annulaire compris entre eux pendant que l'hydrogène traverse le tube en terre : les deux gaz sortent par deux tubes abducteurs distincts. L'un des deux courants de gaz est inflammable, et c'est précisément celui qui sort par l'extrémité de l'appareil communiquant directement avec la source d'acide carbonique. Les deux gaz ont changé d'enveloppe dans ce court et rapide trajet.

Fours. Les cornues étant décrites, nous nous occuperons de la description des fours, dont les dispositions ont déjà beaucoup varié et varieront encore. On a commencé par des fours avec une seule cornue, puis à deux, puis à trois cornues; on a été plus tard jusqu'à cinq cornues; mais ce nombre cinq, longtemps le plus fort, est aujourd'hui dépassé. Cependant les

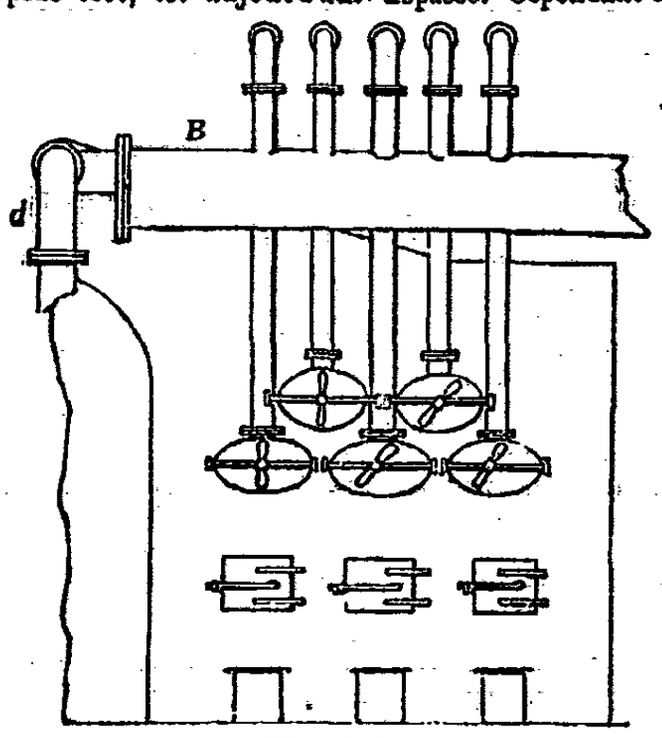
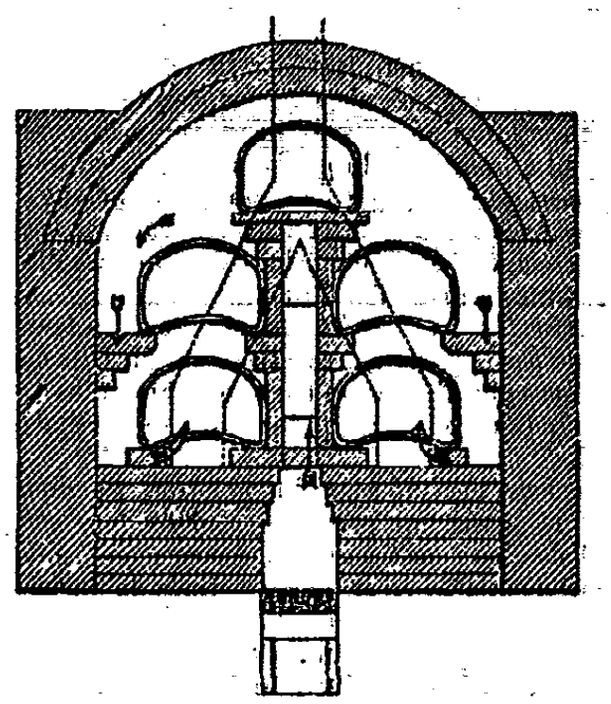


Fig. 714.

fours à cinq cornues sont encore les plus généralement employés, du moins en France. La fig. 714 représente un four à cinq cornues vu de face; seulement au lieu de trois foyers qui existaient primitivement, on n'en met plus qu'un. La fig. 715 représente



715.

une autre disposition due à M. Barlow, qui est bien plus avantageuse sous le rapport de l'économie de chauffage.

On voit des fours à sept et neuf cornues; nous pensons même qu'on en a établi jusqu'à treize à Londres seulement une fois le nombre neuf dépassé, les dimensions du four restant les mêmes on diminue les dimensions des cornues, et on ne laisse pour ainsi dire pas d'espace entre les cornues qui, en terre réfractaire, ne sont presque soutenues qu'en tête et en queue. Nous concevons parfaitement ces fours à cornues multiples dans des usines qui se trouvent à l'étroit et sont obligées d'économiser le terrain, mais nous ne sommes pas du tout convaincu qu'il y ait des avantages notables à modifier dans ce sens des fours à cinq grandes cornues qui peuvent encore marcher. S'il s'agissait de fours à remonter à neuf, ce serait différent. On obtient une économie dans le chauffage, mais les deux cornues qu'on place souvent de chaque côté du foyer et à son niveau, pour ainsi dire, chauffent toujours moins que les autres et produisent moins de gaz surtout quand on chauffe au coke. Cet inconvénient est moindre, ou ne se présente pas quand on chauffe au goudron, qui donne une flamme très longue ou encore quand on chauffe avec de la houille. Si on pouvait mettre le foyer en contre-bas du sol on pourrait bien augmenter le nombre de cornues et le porter à sept ou huit; mais on est arrêté par la difficulté du service d'un foyer ainsi établi ; cependant il nous semble qu'il y a quelque chose à faire à cet égard, car pour le bien du chauffage, il est utile que le corps à chauffer soit placé au-dessus du foyer. Pour des usines à gaz peu importantes, il peut être nécessaire et indispensable d'avoir des fours à trois, à deux et même à une cornue.

Pour un four à cinq cornues pouvant distiller 2,500 à 2,600 kilog. de houille en vingt-quatre heures, on brûle, quand le four est bien construit et le feu bien conduit, de 12 à 14 hectol. de coke, soit 30 à 35 pour 100 du coke produit. Remarquons ici que pour obtenir un chauffage énergique en même temps qu'économique, il ne faut pas que le coke, et par conséquent la houille dont il provient, soit trop tendre ; le coke de houille tendre brûle à peu près comme des allumettes. Un hectolitre de goudron bien brûlé peut remplacer dans le chauffage des fours de 3 à 4 hectol. de coke, suivant sa qualité. Quand on chauffe à la houille, les foyers n'ont pas besoin d'être aussi étendus que ceux destinés

ÉCLAIRAGE.

au chauffage par le coke, qui ne brûle bien qu'en masse volumineuse.

Les foyers à voûte ordinaire qu'on emploie pour chauffer au coke ou à la houille ne peuvent servir pour le chauffage au goudron; ces voûtes seraient bientôt détruites par la chaleur. Les foyers qu'on emploie alors se composent de deux murs verticaux ou pieds-droits assez élevés, permettant à la flamme du goudron de bien se développer, de former par des remous un mélange intime avec l'air; la disposition des cornues est alors changée, elle s'approche beaucoup de celle représentée dans la fig. 715.

Les fig. 716, 717 et 718 représentent un four chauffé par le goudron, construit par M. Gibon, à l'usine à gaz d'Arras, et qui a assez bien réussi. Nous indiquerons sur quels principes il était établi.

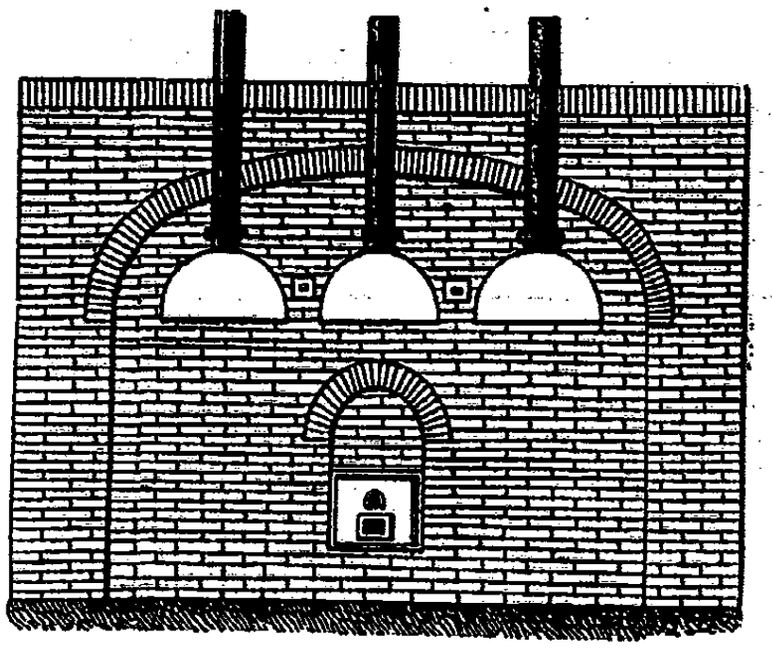
Un four chauffé avec du goudron ne doit avoir ni grille, ni porte; le mur de face est percé de deux orifices : l'un d'eux reçoit une gouttière en tôle ou en fonte inclinée de 35 degrés environ, et sur laquelle vient tomber en petit filet le goudron amené dans un tuyau en fer d'un réservoir supérieur, que dans l'hiver il est bon de chauffer au moyen de la chaleur perdue des fourneaux, pour que le goudron soit toujours bien fluide et l'écoulement régulier; on règle d'ailleurs cet écoulement au moyen d'un petit robinet : au-dessous de la gouttière se trouve le deuxième orifice d'un décimètre carré de surface. Nous verrions un avantage à ce que cet orifice eût plus d'étendue et qu'on pût le boucher partiellement, soit par un tampon, soit par une porte à coulisse, pour régler à volonté l'entrée de l'air dans le four.

La valeur qu'a prise le goudron et surtout la benzine qu'on en extrait, fait qu'on ne l'utilise plus pour un chauffage combiné surtout en vue d'en tirer un parti quelconque, et dans lequel il était plus souvent entraîné, dispersé dans l'air, qu'effectivement brûlé.

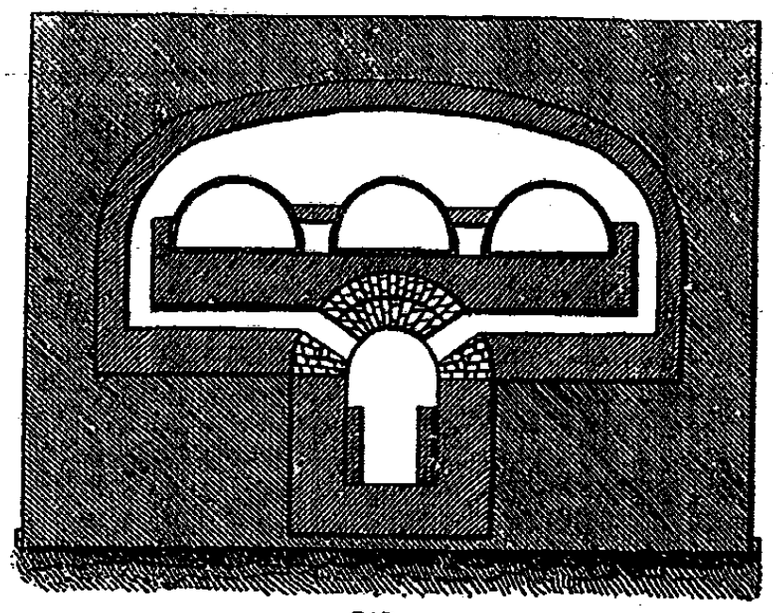
Quelle que soit la nature des cornues employées, la voûte du foyer est percée latéralement d'ouvreaux dont les sections vont en augmentant à mesure qu'elles s'éloignent de la devanture du four. La flamme qui s'échappe par ces ouvreaux circule autour des cornues avant de se rendre dans la cheminée; la manière dont la circulation est établie dépend essentiellement de l'ingénieur qui dirige la construction des fours.

Nous avons vu des fours à cinq cornues très-bien et très-économiquement chauffés au moyen de deux petits foyers à voûte placés symétriquement entre les trois cornues inférieures; on parvient ainsi à répartir uniformément la chaleur au moyen des sections des ouvreaux entre les trois cornues d'en bas que la flamme chauffe d'abord par-dessous, pour aller ensuite circuler autour des deux cornues du haut, la circulation étant établie de bas en haut, ce qui nous semble toujours préférable. Ajoutons enfin qu'on a reconnu que des fours accolés et adossés présentaient de l'économie pour le chauffage quand ils marchaient ensemble.

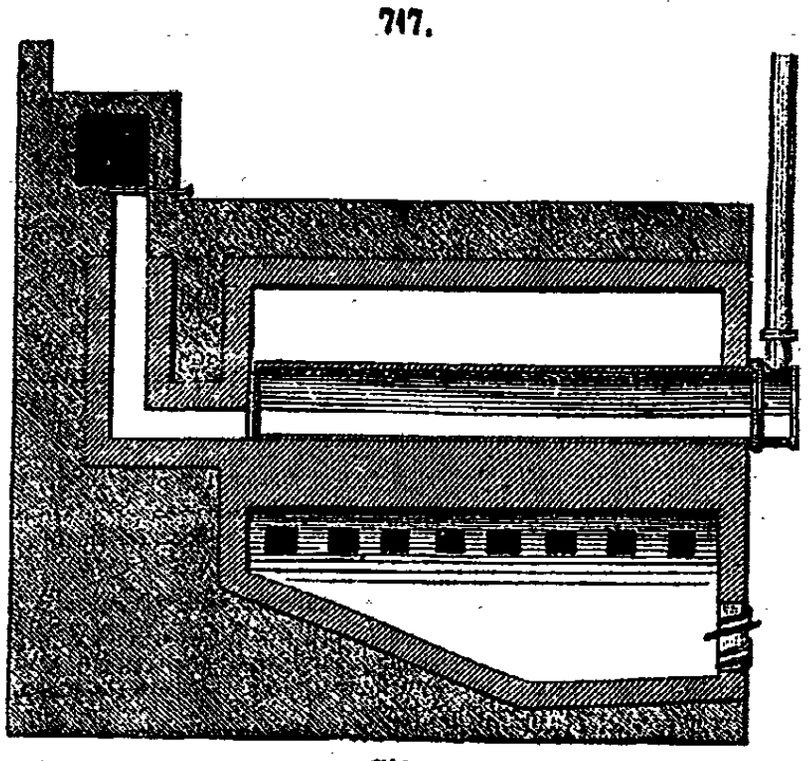
L'emploi des fours à gaz combustibles, des fours Siemens, pour réduire les frais du chauffage des cornues, est un des grands progrès à accomplir dans l'industrie du gaz. Plusieurs usines appliquent aujourd'hui cette disposition, et malgré quelques difficultés engendrées par la nécessité de modifier les fours en même temps que les moyens de chauffage, les résultats obtenus donnent la certitude d'arriver ainsi à une économie et à une grande simplification du travail; ce chauffage, à l'aide d'un seul four, pouvant



716.



717.



718

s'appliquer à un grand nombre de cornues à la fois et étant spécialement propre à la production de températures élevées.

Chargement des cornues. — Les cornues se chargent

généralement à la pelle, et les ouvriers ne tardent pas à acquérir une assez grande habileté dans cette manœuvre. On fait aussi usage du *scoppe*, espèce de demi-cylindre à talon d'un côté, muni d'une queue en fer qui sert à le soulever; on place la houille dans le scoppe quand il est à terre, et les ouvriers l'enlèvent pour l'enfourner dans la cornue où ils le retournent. On est obligé, en chargeant au scoppe, d'égaliser la houille dans la cornue. Quelquefois on place le scoppe sur un chariot à roulettes sur lequel on l'élève à volonté au moyen de crics faisant partie du bâti, pour le monter ainsi à la hauteur de la cornue qu'on veut charger. Cet instrument ne peut, suivant nous, rendre quelques services que dans une petite usine où il n'y a, par exemple, qu'un seul chauffeur pour soigner un seul four; il peut alors, au moyen du scoppe, charger une cornue sans la laisser longtemps ouverte.

La tubulure de la tête de chaque cornue doit être assez large et avoir de 42 à 45 centimètres de diamètre intérieur, de même que le tuyau qui la surmonte, et qu'on nomme colonne montante. Un excès de largeur ne nuit pas à ce tuyau, car il arrive souvent, surtout quand on chauffe fort, que la colonne montante s'obstrue, si elle est étroite, de goudron cuit et durci par l'effet de la chaleur. Les diverses colonnes montantes se recourbent et viennent toutes plonger de quelques centimètres dans un cylindre en fonte de $0^m,40$ environ de diamètre, contenant du liquide (goudron et eau ammoniacale) jusqu'à une certaine hauteur, et nommé *barillet;* de cette manière, chaque cornue est indépendante de toutes les autres, et on peut l'ouvrir sans qu'il y ait perte de gaz. Il est bon que les colonnes montantes et les tuyaux plongeant dans le barillet puissent être facilement nettoyés; ils doivent donc former ligne brisée, avec des regards munis de tampons aux deux sommets de chaque angle.

Aspirateurs.— Avec les cornues en terre surtout, on doit redouter les effets de la pression et aspirer le gaz produit au moyen de machines qui portent le nom d'extracteurs. De cette manière, le gaz n'éprouve, lorsque l'extracteur fonctionne régulièrement et a les dimensions convenables, que la pression du barillet, c'est-à-dire celle de la colonne liquide formant la garde des tuyaux de chaque cornue; toute la pression que le gaz éprouverait pour passer dans les condenseurs, les laveurs (s'il y en a) et les épurateurs, est annihilée. Toutes les machines destinées à l'aspiration des gaz et vapeurs peuvent servir dans cette circonstance, soit les cloches mobiles montant et descendant tour à tour, soit la vis d'Archimède, soit des aspirateurs à corps de pompe et pression, d'un effet plus certain. Le mécanisme qui fait mouvoir ces diverses machines doit être calculé et disposé de manière que l'aspiration produite réponde à la quantité de gaz fabriquée, de manière que d'un côté il n'y ait pas de pression après le barillet, et que de l'autre il ne se forme pas un vide dans la cornue, ce qui ne manquerait pas d'amener une aspiration d'air pouvant former avec le gaz un mélange explosif. Il faut que la vitesse du moteur soit réglée par le gaz lui-même; si la pression augmente, il faut que l'aspiration soit plus grande; si la pression diminue, devient négative, il faut que l'aspiration soit moins énergique. Nous avons vu, dans l'usine à gaz de la Compagnie parisienne, à Paris, un régulateur construit par M. Pauwels, et qui fonctionne admirablement; ce n'est autre chose qu'un petit gazomètre équilibré à la pression qu'on veut laisser au gaz, soit zéro; si la pression change, le gazomètre baisse ou monte, et son mouvement agit sur la vitesse de l'extracteur ou sur la durée de la couverture des orifices qui donnent passage au gaz.

Quel que soit le système de l'extracteur, il est indispensable que l'appareil soit agencé de telle manière qu'en cas d'aspiration sur les cornues le gaz des gazomètres puisse être aspiré par l'extracteur pour rendre impossible toute rentrée d'air.

Fours à coke dur. — La difficulté de vendre à un bon prix le coke des cornues, très-léger et qui par suite ne convient que pour les fourneaux de cuisine à cause de sa combustion relativement facile, a depuis des années fait songer les inventeurs au moyen de produire à la fois et du gaz suffisamment éclairant, et du coke dur pouvant servir au chauffage des locomotives et aux fonderies.

M. Pauwels a établi à l'usine de la Compagnie parisienne des fours qui marchent depuis plusieurs années et qui semblent résoudre le problème. Nous ne pouvons donner aucun détail sur la partie économique de la question, partie extrêmement importante, comme chacun sait; mais nous pouvons dire que ces fours produisent du très beau coke qui trouve son écoulement dans les chemins de fer. Ces fours ont une assez grande capacité, car ils contiennent six tonnes de houille; la durée de la cuisson est de quatre-vingts heures à peu près. Ils sont accolés nécessairement les uns aux autres, et au-dessus d'eux règne un petit chemin de fer sur lequel circulent des petits wagons contenant la houille destinée à la charge du four; la charge se fait par la voûte, garnie à son milieu d'une ouverture ou porte suffisamment grande; chaque wagon vient culbuter sa contenance dans le four, qu'on ferme immédiatement quand la charge est terminée; on enlève le coke produit par deux grandes portes placées en face l'une de l'autre. Sous la sole du four se trouve un foyer dont la flamme circule autour de la voûte pour la chauffer convenablement. Le four est hermétiquement clos et muni d'un tuyau pour l'échappement du gaz; ce tuyau est muni d'ailleurs d'une vanne pour arrêter au besoin toute communication entre le four et la conduite générale du gaz fabriqué. Dans les dernières heures de la distillation, le gaz produit est très-peu éclairant, car pour avoir du coke dur il faut pousser la température au rouge-blanc très-intense; alors on peut diriger le gaz du four dans le foyer et les carneaux des fours voisins. Les deux portes de chaque four sont munies de petits orifices pour donner, s'il est nécessaire, entrée à une petite quantité d'air à la fin de la distillation.

Ces fours sont établis en briques très-réfractaires, et leur construction indique qu'ils ne pourraient pas marcher sans l'aide d'un extracteur; ils paraissent exiger très-peu de réparations.

Nous savons qu'une usine à gaz de Londres, celle du Wauxhall, si nous ne faisons erreur, a adopté le système de M. Pauwels, et qu'il y est en application.

Ce système n'a soulevé qu'une objection : on s'est demandé si le gaz obtenu par les fours était bien éclairant, car au moment de la charge d'un four la masse de houille introduite est si considérable qu'il y a un grand refroidissement, ce qui est une condition peu favorable, du moins dans les idées reçues jusqu'ici, pour la production du gaz. L'adoption de ce système par une usine de Londres nous semble indiquer que l'objection n'était pas fondée. Pour être vrai, nous devons ajouter qu'outre les fours en question, insuffisants pour son éclairage important, les usines de la Compagnie parisienne font également usage des cornues.

Ces fours laissent quelque chose à désirer sur le temps nécessaire au défournement du coke, temps assez long pendant lequel l'intérieur du four se refroidit. M. Pauwels a voulu remédier à cet inconvénient en inclinant la sole des fours (voyez COKE).

Comme pour obtenir du coke très-bon et recherché pour le chauffage des locomotives, il faut lui donner une grande homogénéité et une grande pureté, il faut passer au moulin toute la houille des-

ÉCLAIRAGE.

tinée aux fours; la houille ainsi écrasée est tamisée, puis lavée, pour la rendre plus pure, pour la débarrasser en grande partie des pyrites et des matières étrangères qu'elle contient; puis elle est chargée dans les wagons qui doivent la mener aux fours; tout cela est produit mécaniquement.

Un seul point laisse, suivant nous, à désirer dans cet agencement, c'est que la houille arrive sinon mouillée, du moins très humide aux fours, ce qui doit augmenter le refroidissement. Si cette manipulation pouvait se faire sur le carreau de la mine, la houille aurait le temps de s'égoutter et de sécher pendant le trajet de la mine à l'usine à gaz.

CONDENSATION ET ÉPURATION. Avant d'envoyer le gaz produit aux récipients ou gazomètres, il doit être débarrassé, autant que possible, de tous les gaz nuisibles dégagés, afin de ne conserver de la distillation que les quatre gaz que nous avons indiqués au commencement. Pour cela, il faut d'abord le refroidir, le *condenser*. Cette condensation commence déjà dans le barillet, qui doit nécessairement être muni d'un dégorgeoir donnant un écoulement au goudron et à l'eau ammoniacale, de manière que le niveau du liquide dans ledit barillet soit constant.

A la sortie du barillet le gaz circule dans une série plus ou moins considérable de tuyaux en fonte, dont le nombre et le diamètre dépendent de l'importance de la distillation; généralement ces tuyaux, et cette disposition est bonne, sont disposés en jeux d'orgues. Quelquefois ces tuyaux sont boulonnés sur des caisses en fonte, dans lesquelles se rendent les produits de la condensation. Ces caisses sont munies de syphons, pour qu'il y ait toujours constance dans le niveau du liquide où plongent les diaphragmes nécessaires pour que le gaz suive la série de tuyaux. Quelquefois ces tuyaux sont ouverts par l'extrémité inférieure, ils plongent dans une espèce de barillet, toujours à syphon, et communiquent entre eux latéralement, alternativement par le haut et par le bas. Il est, dans tous les cas, indispensable d'établir ces tuyaux de condensation de manière qu'on puisse les nettoyer dans *toutes* leurs parties; des regards sont nécessaires, et la disposition des T est, suivant nous, très bonne. Le contact de l'air seul peut produire la condensation; mais il est plus sûr de refroidir la surface extérieure des tuyaux au moyen d'un filet continu d'eau froide. Il faut, autant que possible, que le condenseur soit placé au nord et abrité du soleil.

Les produits de la condensation sont du goudron, de l'eau ammoniacale, très peu d'huiles essentielles quand la distillation a été bien conduite, et quelquefois de la naphtaline et produits analogues. Plus la houille est sèche et plus la condensation est facile, moins il y a d'eau ammoniacale; mais cette eau est plus riche, plus dense. Plus le nombre des tuyaux est considérable, et il est énorme dans les grandes usines, plus aussi la condensation est complète. Mais il peut résulter d'une trop grande longueur de tuyaux un grand inconvénient, l'obstruction par la formation de sels ammoniacaux. Effectivement, les sels étant plus volatils que l'eau, si le parcours à traverser est considérable, il arrive un moment où les sels ne sont plus en dissolution; il y a dépôt à l'état solide. Nous avons eu occasion de constater ces dépôts, qui ne sont autre chose que du carbonate et de l'hydrosulfate d'ammoniaque; aussi doit-on éviter l'emploi absolu de ce moyen pour se débarrasser complétement des eaux ammoniacales.

La pratique donne les chiffres suivants pour déterminer la surface du condenseur : le condenseur étant continuellement rafraîchi par un filet d'eau froide, on estime que 30 décimètres carrés de surface peuvent condenser, par minute, l'eau contenue dans 3 décimètres cubes de gaz; ainsi un four de cinq cornues chargées chacune de 68 kil., dont la production en cinq heures serait de 315 mètres cubes, ou 3 mètres cubes par minute, exigerait un condenseur de 31 mètres carrés de surface.

Pour que la condensation soit bonne, il faut que les derniers tuyaux du condenseur n'aient pas une température plus élevée que celle de l'air ambiant; mais cette disposition seule ne suffit pas pour épurer le gaz des dernières traces de goudron et huiles volatiles qu'il contient avec lui, et qui nuiraient singulièrement à l'épuration, surtout si elle s'opère au moyen de substances solides, c'est-à-dire par la voie sèche.

Pour arrêter ce goudron léger, il faut ou laver le gaz ou lui faire traverser une couche de petit coke assez épaisse.

Quand on se sert de laveurs, il est bon, si on en a plusieurs, de les disposer d'une manière méthodique, communiquant entre eux et en cascade, de sorte qu'on évacue les produits du laveur inférieur qui, vide, reçoit le liquide de celui immédiatement au-dessus de lui; et le dernier laveur vide reçoit de l'eau pure. Les laveurs peuvent et doivent être encore employés lorsqu'on n'enlève pas l'ammoniaque par des moyens chimiques, les sels métalliques.

Les produits de ce lavage vont se rendre avec ceux de la condensation dans des citernes, pour la construction desquelles on ne saurait apporter trop de soin, à cause des inconvénients auxquels les fuites peuvent donner lieu. Il est bon d'avoir des citernes d'une certaine dimension et deux au moins; tous les produits se rendant dans une; le goudron, plus dense, occupe la partie inférieure, l'eau surnage, et un déversoir l'amène dans une autre citerne, de manière qu'on peut extraire facilement et sans mélange le goudron et l'eau ammoniacale.

Aujourd'hui on arrête souvent le goudron léger au moyen de coke : on dispose un large cylindre en fonte muni d'un diaphragme à claire-voie, sur lequel on place du coke d'abord en gros morceaux, puis en morceaux plus petits, de sorte que le volume de coke, qui a 2 ou 3 mètres au moins (si l'usine est importante), se termine par une couche de gros poussier. Le gaz arrive sous le diaphragme et sort par le haut de la colonne; les dispositions d'ailleurs peuvent varier. On arrose même quelquefois le coke de la colonne avec un filet d'eau; nous considérons ce lavage comme inutile, excepté au moment où on va enlever le coke, quand on épure le gaz de son ammoniaque, comme il va être dit plus loin.

La colonne est munie, au-dessus du diaphragme, d'une porte assez large, par laquelle on évacue le coke quand il est saturé de goudron; un tampon se trouve au haut de la colonne, par lequel on introduit le coke.

Au point où nous sommes arrivés, le gaz ne doit plus contenir que des acides carbonique et hydrosulfurique, des sels ammoniacaux en vapeur, et notamment le carbonate, l'hydrosulfate et le cyanhydrate.

L'épuration peut se diviser en deux parties : 1° l'enlèvement des sels ammoniacaux; 2° l'enlèvement des acides et surtout de l'acide hydrosulfurique.

Avant 1840, on n'avait pas suffisamment étudié la nature des produits à enlever au gaz, et en général on l'épurait assez mal. Un des premiers, M. Mallet a signalé ces divers produits et indiqué plusieurs moyens de les absorber économiquement; il ne s'est pas contenté d'en rester à la théorie, il a mis la main à l'œuvre, il a appliqué son procédé dans plusieurs usines et s'est établi épurateur de gaz; il s'est créé une spécialité. Les bons résultats de son procédé, ses publications, ses efforts, ont appelé l'attention de l'autorité, des fabricants de gaz, des chimistes; depuis lors, d'autres procédés que le sien ont surgi, nous les examinerons successivement; mais on peut dire que

c'est à M. Mallet qu'on est redevable, en France du moins, des améliorations considérables qu'a subies cette partie de la fabrication du gaz.

Parlons d'abord de l'enlèvement des sels ammoniacaux contenus dans le gaz.

En privant le gaz d'ammoniaque on obtient les résultats suivants : 1° l'ammoniaque qui vient nuire à la puissance éclairante du gaz, et qui, en se transformant partiellement par la combustion du gaz en acide azotique (1), agit d'une manière énergique sur notre organisation, est totalement absorbé ; 2° la chaux ou tout autre oxyde, en présence de l'acide hydrosulfurique, enlève beaucoup plus facilement au gaz la totalité de ce produit, toujours délétère, soit qu'il se transforme en acide sulfureux par la combustion du gaz, soit qu'il agisse comme acide hydrosulfurique dans les fuites de gaz ; 3° les eaux des citernes des gazomètres ne sont plus ammoniacales, et les infiltrations dans les puits environnants moins à redouter ; 4° l'absorption de l'ammoniaque rend bien moins fréquentes les obstructions des tuyaux de conduite par la naphtaline et autres produits similaires, car une portion de la naphtaline n'est contenue dans le gaz qu'en dissolution, pour ainsi dire, à la faveur de l'ammoniaque ; quand on enlève l'ammoniaque dans l'épuration, la naphtaline en question se dépose dans la substance absorbante ; sinon cette naphtaline va se déposer plus loin, alors que sous certaines influences de température ou d'humidité l'ammoniaque se condense, dépôts toujours à redouter, qu'ils se forment dans l'intérieur de l'usine ou au dehors. Quand ces dépôts se produisent, on lance dans les tuyaux de la vapeur qui dissout, entraîne la naphtaline et l'eau de condensation qu'on a soin de retirer encore chaude, la plus chaude possible ; 5° le gaz, privé d'ammoniaque et d'acide hydrosulfurique, n'attaque plus les conduites des rues, ni *les compteurs*, ni les appareils d'éclairage, ce qui se produit très énergiquement avec du gaz mal épuré ; le gaz brûle avec une flamme plus blanche en donnant peu de fumée, même quand la flamme est portée à une hauteur de 12 à 15 centimètres ; 6° la chaux n'exhale plus l'odeur d'ammoniaque caustique, qui gêne les ouvriers qui renouvellent les cuves ; 7° il faut beaucoup moins de chaux pour épurer ; aussi dans des épurations méthodiques, dont nous parlerons tout à l'heure, 1 hectol. de chaux suffit pour épurer complétement 1,500 mètres cubes de gaz environ.

On peut pour absorber l'ammoniaque employer 1° le procédé par la voie humide, 2° le procédé par la voie sèche.

1° *Voie humide.* C'est M. Mallet qui a le premier appliqué ce procédé au moyen des dissolutions métalliques neutres, et indiqué le premier la dissolution de chlorure de manganèse comme la plus économique. Le chlorure de manganèse étant le résidu de la fabrication du chlore, se trouve en grande quantité et à un prix d'autant plus bas qu'il est, pour les fabricants de chlorures décolorants, un produit encombrant, dont ils ne peuvent souvent se débarrasser qu'au détriment de la salubrité publique.

Il s'opère entre les sels métalliques et les sels ammoniacaux une double décomposition ; il se forme un sulfate ou un hydro-chlorate d'ammoniaque soluble, et il se précipite du sulfure et du carbonate de fer ou de manganèse. Les dissolutions épurantes sont placées dans trois laveurs en fonte nécessairement disposés en cascade. Pour obtenir un lavage méthodique, on a soin de diviser les gaz en bulles ; il suffit d'exercer sur chaque laveur une pression de 2 à 3 centimètres pour opérer l'absorption. Les laveurs sont munis d'agitateurs pour empêcher le précipité d'adhérer à la fonte. Ces laveurs portent, comme les laveurs à eau, un trop plein pour empêcher la pression de dépasser la hauteur déterminée. Les laveurs doivent être munis de robinets placés un peu au-dessous du niveau du liquide, afin de pouvoir à chaque instant connaître le degré de saturation du liquide. C'est toujours du premier laveur qu'on extrait les dissolutions ; lorsque celui-ci est vide, on le remplit avec la dissolution contenue dans le second laveur ; on remplit celui-ci au moyen du troisième qui, à son tour, reçoit une dissolution nouvelle, afin que le gaz rencontre toujours en premier lieu le liquide le plus saturé et qu'il achève de s'épurer dans le liquide qui possède encore toute son action. Ce liquide ne doit point être acide : on neutralise facilement avec les eaux ammoniacales les dissolutions du manganèse qui sont toujours acides.

Au lieu de chlorure de manganèse on peut aussi employer une dissolution de sulfate de fer de qualité inférieure, la potite couperose qui coûte 6 fr. environ les 100 kil. M. Mallet a, avec raison, rejeté, par des motifs très bien déduits dans sa notice sur l'épuration, l'emploi des acides pour absorber l'ammoniaque ; personne n'y songe plus aujourd'hui.

Le procédé des dissolutions métalliques neutres est en application depuis longtemps dans plusieurs usines à gaz ; celles de Saint-Quentin, Douai, Roubaix et Tourcoing, Bruges, Courtrai, Saint-Josse-Ten-Noode (Bruxelles), Gratz, etc.

2° *Voie sèche.* Dès que la pratique de plusieurs années eut démontré l'efficacité du procédé que nous venons de décrire, M. Mallet trouva des imitateurs et des concurrents. Pour faire autrement (et quand il s'agit d'un brevet à tourner, c'est un point important) et aussi pour employer une pression moindre que celle des laveurs, pression de 6 centimètres ; pour éviter dans les usines à gaz les manipulations des liquides et rester dans les habitudes des employés, plusieurs chimistes proposèrent de substituer la voie sèche à la voie humide. Nous ne parlons pas du but d'éviter des appareils nouveaux, car il est reconnu aujourd'hui sans contestation que pour arriver à un bon résultat, il faut des cuves pour arrêter l'ammoniaque et d'autres cuves pour arrêter l'acide hydrosulfurique.

En 1847, M. Johnson, chimiste anglais, conseilla de placer sur les claies ou grilles des épurateurs de la sciure de bois mélangée intimement avec du sulfate de fer pulvérisé, égrugé, le tout suffisamment mouillé pour rendre plus efficace l'action du sulfate de fer dissous dès lors en petite partie. Il faut six à huit couches de cette matière pour arrêter complétement l'ammoniaque. Ce procédé a été essayé et employé à l'usine à gaz de la Compagnie de l'Est à Paris ; la théorie de l'opération est absolument la même que celle donnée plus haut.

A peu près dans le même temps, M. R. Laming, aussi chimiste anglais, fit usage de sciure de bois imbibée d'une dissolution concentrée de chlorure de calcium (muriate de chaux). L'expérience a démontré que, contrairement à la théorie, on pouvait avec cet agent enlever toute l'ammoniaque du gaz ; le sulfhydrate d'ammoniaque contenu dans le gaz est décomposé par l'acide carbonique libre et transformé en carbonate d'ammoniaque sur lequel le chlorure de calcium peut agir, tandis qu'il n'exerce aucune action sur le sulfhydrate. Dans cette réaction, due probablement à l'affinité du chlorure de calcium pour le carbonate d'ammoniaque, l'acide hydrosulfurique de l'hydrosulfate est mis en liberté et va se joindre à celui qui existe déjà dans le gaz.

Le chlorure de calcium qu'emploie M. Laming est toujours mélangé d'une quantité notable de chlorure de manganèse, substance spéciale du procédé Mallet.

(1) M. H. Gore, chimiste anglais, a reconnu dans le gaz un composé cyanique qu'on utilise aujourd'hui.

Avec le chlorure de calcium, substance éminemment soluble, déliquescente, il ne faut plus six couches de matière pour enlever complétement l'ammoniaque, deux couches suffisent. Ce procédé est évidemment préférable à celui de M. Johnson; il fut employé à à Paris à l'usine de Belleville, de MM. Payn et compagnie, et à celle de MM. Lacarrière et compagnie.

En 1848, arriva M. de Cavaillon, qui, ressuscitant une ancienne application de Darcet et une idée de MM. Sucquet et Krafft, fit usage du sulfate de chaux, soit à l'état neuf, soit à l'état de plâtras. Nous conseillons aux amateurs de curiosités chimiques la lecture des brevets pris par M. de Cavaillon; il a commencé par conseiller l'emploi du plâtre *cuit* qui ne manquerait pas, en absorbant l'humidité du gaz, de transformer en cloisons les claies des épurateurs. Profitant des travaux de MM. Johnson et Laming, il eut soin de diviser ses plâtras, qu'il humecte du reste avec de l'acide sulfurique, au moyen de matières inertes, comme sable, sciure, poussier de coke. Les plâtras ainsi préparés enlèvent facilement l'ammoniaque du gaz. L'explication donnée à propos du chlorure de calcium s'applique aussi au sulfate de chaux.

Depuis l'apparition de ces procédés à la voie sèche, M. Mallet est venu à son tour apporter son contingent à ce système. Le premier il a conseillé l'emploi du sulfate de chaux, résidu du travail de l'acide stéarique, comme pouvant remplacer le plâtre avantageusement. Il alla plus loin, il voulut épurer le gaz complétement en une seule opération, avec une seule et même matière, sans avoir le moindre résidu, en employant toujours la même substance et en opérant par la voie sèche. Il fit et fait usage d'un mélange de sulfate et d'oxyde de plomb, mélange qui se revivifie d'ailleurs presque indéfiniment, tout en permettant d'obtenir du sulfate d'ammoniaque.

Le sulfate de plomb qu'il emploie est un résidu soit de la préparation de l'acétate d'alumine, soit de la fabrication de l'acide sulfurique; pour l'amener en partie à l'état d'oxyde, il le transforme partiellement en sulfure au moyen des eaux ammoniacales du gaz et par un passage préalable dans les épurateurs; puis il le grille dans un four à réverbère. Ce four a deux étages : l'étage supérieur est surmonté d'une chaudière dans laquelle s'évapore la dissolution de sulfate d'ammoniaque; c'est dans cet étage que le sulfure de plomb commence à sécher, et c'est dans l'étage inférieur qu'il est porté à une chaleur rouge cerise suffisante pour qu'ait lieu la transformation en sulfate et en oxyde. La matière suffisamment grillée, refroidie et mouillée, est placée sur les claies des épurateurs; sous l'action du gaz, il y a formation de sulfate d'ammoniaque et de sulfure de plomb. Après l'épuration, on lessive avec de l'eau ammoniacale, pour dissoudre le sulfate d'ammoniaque et utiliser l'acide sulfurique du sulfate de plomb non décomposé. Le four est disposé de telle manière que le même feu grille le sulfure de plomb, évapore le sulfate d'ammoniaque et le sèche.

C'est là une solution élégante et rationnelle du problème de l'épuration; le gaz fournit lui-même l'acide sulfurique nécessaire à sulfatiser son ammoniaque, et la matière sert presque indéfiniment, pourvu qu'on apporte les soins nécessaires à ce qu'il n'y ait pas de perte du sulfate de plomb, substance chère encore, trop chère pour être perdue. Dans l'usine à gaz de Versailles, où ce procédé est en application depuis plusieurs années, le déchet a été presque insensible depuis la mise en train, bien qu'on n'emploie aucune autre matière pour l'épuration complète du gaz. Ce procédé est en application dans plusieurs autres usines, celles de la compagnie du Nord et de l'Ouest, de Dunkerque, Saint-Omer, etc. Ce procédé si satisfaisant demande, à cause de la perte du sulfate de plomb, plus de soins qu'on n'en apporte dans beaucoup d'usines; du reste, on ne trouve pas assez de ce résidu pour qu'on puisse songer à une application beaucoup plus étendue que celle que le procédé a prise depuis son application. Il restait donc encore une lacune dans l'épuration; MM. Laming et Mallet se sont chargés de la combler; ils ont mis à profit une propriété du sulfure de fer hydraté, dont on n'avait pas jusqu'à présent tiré parti dans l'industrie. Le sulfure de fer hydraté exposé à l'air se transforme en très-grande partie en peroxyde de fer et en soufre, et en petite partie en sous-sulfate. Ils emploient un mélange de sciure de bois et d'oxyde de fer hydraté au lieu de chaux dans les épurateurs qui suivent ceux où est placée la matière absorbant l'ammoniaque; il y a formation de sulfure de fer et d'eau. La matière sortant des épurateurs est exposée à l'air, on a soin de la maintenir humide; de noire qu'elle était, elle ne tarde pas à devenir rouge, à cause du peroxyde de fer revivifié, qui se retrouve à l'état d'hydrate par suite de l'humidité de la matière; on peut dès lors employer celle-ci à nouveau, et ainsi de suite jusqu'à ce que le soufre se trouve en trop grande quantité et masque l'oxyde de fer qui se trouve aussi en partie combiné avec des produits cyaniques; le nombre de fois que l'oxyde de fer peut servir varie de soixante à cent vingt fois, suivant la nature de la houille. Voici comment se préparent aujourd'hui les matières de l'épuration.

Donnons d'abord la préparation de l'oxyde de fer :

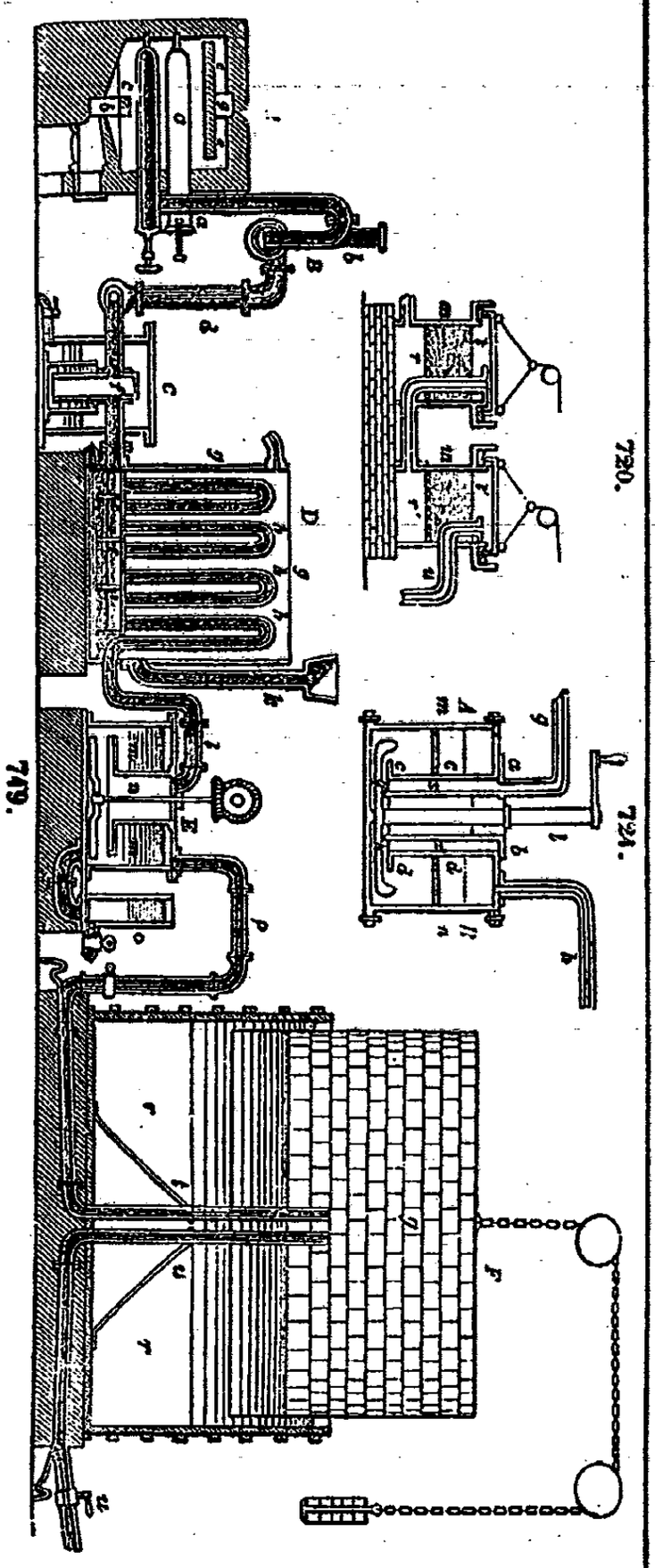
On prend 1 hectolitre de sciure, on pulvérise grossièrement 40 kilog. de sulfate de fer qu'on y mélange, et l'on fait passer dans la masse un courant de vapeur d'eau. La dissolution s'opère et la sciure en est complétement imprégnée. Le carbonate d'ammoniaque du gaz, en passant dans ce mélange, se transforme en sulfate en dégageant de l'acide carbonique. Après le lavage pour en extraire le sulfate, il reste de l'oxyde de fer très-divisé qui passe rapidement à l'état de peroxyde. On répète deux fois encore l'addition de 40 kilog. de sulfate fer et on finit par accumuler ainsi dans la sciure 12 à 15 p. 100 d'oxyde. Avant de faire servir la substance ainsi préparée à l'élimination de l'acide sulfhydrique, on y ajoute un dixième de chaux éteinte qui aide la révivification, en même temps qu'elle décompose le peu de sulfate de fer formé pendant l'oxydation à l'air. C'est à cet état qu'elle est portée dans les cuves, et, lorsqu'on la retire, de rouge elle est devenue noire, la sulfuration s'est accomplie. Après quelques heures d'exposition à l'air, et quelques pelletages, elle est redevenue rouge et propre à être utilisée. Avec une addition de chaux tous les quatre ou cinq mois, la même matière peut servir deux ans.

L'emploi de ces divers procédés d'épuration ne doit pas nous faire oublier le procédé d'épuration à la chaux, presque exclusivement employé jusque dans ces derniers temps pour absorber le soufre.

On a d'abord employé en Angleterre le lait de chaux. Les fig. 719, 720 et 224, qui donnent le dessin réduit de toute usine montée dans l'ancien système pour la condensation et l'épuration, représentent une épuration au lait de chaux. Le cylindre E, à sa partie inférieure, est terminé par une bride assez large et percée d'un nombre considérable de petits orifices destinés à laisser passer le gaz. Ce cylindre plonge dans un cylindre *m*, d'un diamètre plus considérable, dans lequel est disposé un lait de chaux mis en mouvement continu par un agitateur *n*, auquel on imprime le mouvement par des roues d'angle. Le gaz purifié s'échappe par la partie supérieure en p; un robinet à gros boisseau sert à vider l'appareil quand la chaux est saturée, et un vase latéral o sert à introduire de nouveau le lait de chaux.

Si nous admettons que dans 100 mètres cubes de gaz produit il y ait 5 mètres cubes d'hydrogène sulfuré et d'acide carbonique, il faut, d'après ce procédé, 280 kil. de chaux pour 1,000 mètres cubes de gaz; environ 1/16 du poids de la houille.

Ce système de purification ne donnait point en pratique de bons résultats; le gaz contenait encore une grande quantité d'hydrogène sulfuré. On a cherché à appliquer le lait de chaux d'une manière méthodique.



Trois vases, à des niveaux différents, communiquant l'un avec l'autre, et munis chacun d'un agitateur, étaient disposés de manière que le niveau inférieur du premier vase communiquait avec le niveau supérieur du second; celui-ci était disposé de même à l'égard du troisième. Le gaz entrait par le troisième vase et sortait par le premier; le courant de lait de chaux avait lieu en sens inverse; de cette manière, le gaz se trouvait en contact avec un lait de chaux

de plus en plus pur, et on obtenait ainsi une purification presque absolue. Mais ce système présentait le grave inconvénient d'augmenter d'une manière considérable la pression sur les cornues; il a cependant été appliqué dans quelques grandes usines à gaz de Londres.

On a encore disposé l'appareil différemment (voir la figure 721); le seul but qu'on paraît avoir voulu atteindre dans cette disposition, est de prolonger le contact du gaz avec la chaux, par des diaphragmes *m*, *n*, placés dans l'intérieur du bain; un agitateur, d'une forme particulière, permet de donner un mouvement continu à la chaux; le gaz entre dans l'appareil par le tube concentrique *s s*, traverse le bain et s'échappe par le tube *h*. On met l'agitateur en mouvement, soit à la main, soit par des roues d'engrenage, quand on dispose d'une force motrice.

On juge jusqu'à un certain point du degré d'épuration du gaz en faisant plonger un siphon d'un côté dans la cuve d'épuration, de l'autre dans un petit réservoir rempli d'acétate de plomb; l'hydrogène sulfuré non absorbé par la chaux décompose l'acétate de plomb en donnant naissance à du sulfure de plomb qui se précipite en noir. On arrive du reste à un résultat analogue en plaçant sur le couvercle de l'épurateur un robinet qui laisse échapper le gaz à volonté; en soumettant à l'action du gaz un papier trempé dans une dissolution d'acétate de plomb, on a une approximation de sa pureté.

Pour éviter la pression énorme des laveurs au lait de chaux, on avait proposé l'emploi de la vis d'Archimède; ce système a marché pendant quelques années à l'usine à gaz de l'hôpital Saint-Louis. Nous ne devons pas insister sur ces systèmes d'épuration à la chaux liquide, qui sont en général abandonnés. Les premiers ont l'inconvénient d'augmenter la pression dans les cornues, inconvénient assez grave par les fuites qu'il occasionne. Tous exigent une force motrice continue pour maintenir la chaux en suspension. Sans ce mouvement, la chaux ne tarderait point à se précipiter, il n'y aurait plus d'effet produit. Le gaz se frayerait un chemin unique qu'il saturerait bientôt complétement. Enfin, le peu de réussite de ce système doit être également attribué à la faible solubilité de la chaux dans l'eau, qui n'en dissout que 1/800. Les épurateurs secs à la chaux sont préférables; nous allons les décrire.

Épurateurs à la chaux et disposition des épurateurs. — Le principe d'une épuration est évidemment l'application de la méthode de déplacement, méthode générale et toujours avantageuse pour l'extraction d'une substance mélangée à d'autres.

Le premier principe à observer est donc de disposer les opérations en nombre suffisant et en ordre tel que le gaz ne rencontre jamais, au sortir du condenseur, des matières épurantes pures, mais au contraire les plus impures dont l'action soit conservée, pour sortir des caisses en quittant les plus pures, après avoir rencontré les substances dans l'ordre de leur impureté. Tel est le principe de la disposition des épurateurs méthodiques dont nous parlerons plus loin; mais, indépendamment des dispositions spéciales pour la circulation la plus commode des gaz, il faut toujours que la succession des caisses soit méthodique, fondée, comme il vient d'être dit, sur l'emploi de la méthode de déplacement, dont la généralité doit toujours être présente lorsqu'il s'agit d'établissement d'usines du genre de celles dont il s'agit ici.

Décrivons les épurateurs à la chaux pulvérulente.

Les premiers épurateurs dans lesquels on ait aussi employé la chaux ont été disposés comme l'indique la figure 720. Soient deux caisses rectangulaires

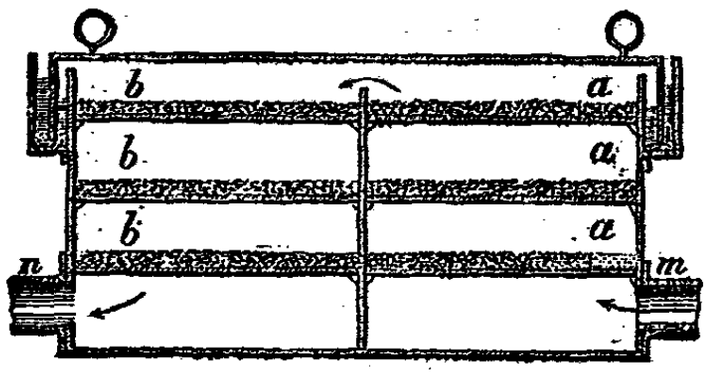
ÉCLAIRAGE.

de même forme ; r, r', deux espèces de tamis métalliques placés à la partie inférieure de ces caisses, et immédiatement au-dessus des tuyaux *t*, *t'*. Les caisses, ordinairement en fonte, portent une gorge *g*, que l'on remplit d'eau ; un couvercle également en fonte entre dans cette gorge ; il est maintenu dans une position fixe par deux barres en fer qui passent dans des oreilles *o*, *o*. Il empêche ainsi toute communication de l'intérieur du vase avec l'extérieur. Les tamis sont recouverts de foin et mieux de mousse. C'est sur cette matière que l'on répand la chaux, le plus légèrement et le plus également possible. Le gaz arrivant par le tube *t* traverse la couche de chaux qui se trouve dans le vase A, puis se rend par le tube *t' t'* à la partie inférieure de la caisse B, où il est soumis de nouveau à l'action de la chaux ; de là il se rend dans le réservoir par le tube *u*.

Le service de ces épurateurs est facile ; une chaîne adaptée au couvercle vient passer sur les poulies *p p*, *p' p'* ; à cette chaîne est suspendue un contre-poids qui fait à peu près équilibre au couvercle ; un homme le met à volonté en mouvement. On enlève les barres en fer, on soulève le couvercle, on enlève la chaux à l'état d'oxy-sulfure de calcium, on remet de la chaux neuve, puis on referme de nouveau ; mais il faut avoir plusieurs épurateurs, afin de ne point interrompre la fabrication pendant ce nettoyage, qui se renouvelle fréquemment.

Dans beaucoup d'usines ce système est adopté avec de légères modifications ; ainsi le couvercle, au lieu d'être plein, est percé à son centre et muni d'un tuyau par où s'échappe le gaz qui a traversé l'épurateur. Ce tuyau vient plonger dans une botte hydraulique entourant la conduite, communiquant directement ou indirectement avec le gazomètre, de sorte qu'en enlevant le couvercle on doit enlever le tuyau qui le surmonte. Le tuyau d'entrée et celui de sortie, au-dessous de la botte hydraulique, sont munis de vannes pour isoler l'épurateur au moment de renouveler la matière épurante.

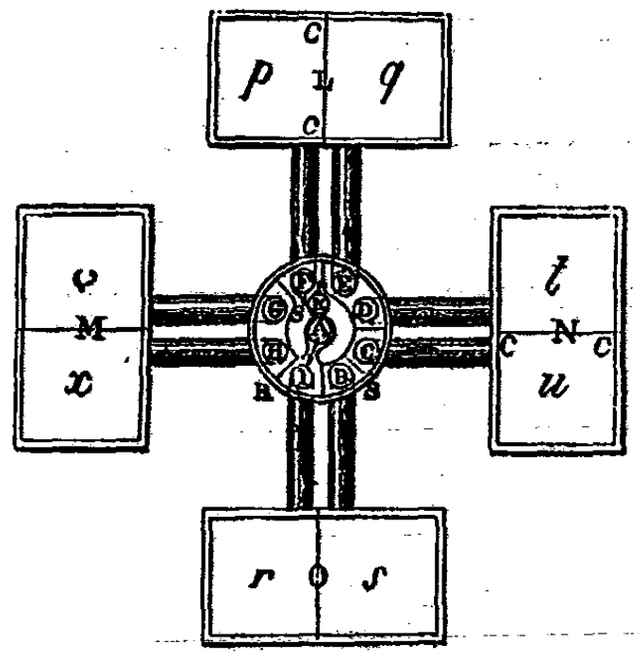
La disposition la plus efficace qui ait été imaginée pour l'épuration à la chaux sèche est sans contredit le système d'épurateurs méthodiques. Rien n'est plus facile que le service de ces épurateurs, et les résultats obtenus auraient dû donner un plus grand développement à l'adoption de cet appareil. Il est du reste employé avec grand avantage dans plusieurs villes importantes, Lille, Marseille, Arras, Bordeaux, etc.



723.

Il se compose de quatre caisses rectangulaires M, N, P, Q (fig. 724). Ces caisses sont en fonte et divisées en deux parties par une cloison également en fonte *c c*. La coupe verticale de ces caisses, dans le sens de la longueur, est représentée par la fig. 723 ; et comme celle-ci, chaque compartiment renferme trois ou quatre couches de chaux hydratée bien éteinte, disposées sur des claies en fer ou en osier.

Avec de la chaux bien préparée, il n'est nécessaire de mettre du foin qu'entre les contours des claies et les parois de l'épurateur pour que le gaz ne se forme pas de passage. Les couches de chaux ont de 5 à 6 centimètres d'épaisseur. Une caisse cylindrique occupe le milieu de cet atelier d'épuration ; dans cette caisse aboutissent huit tuyaux B, C ; D, E ; F. G ; H, I ; outre ces tuyaux de communication, la caisse en reçoit deux autres, l'un pour l'entrée, l'autre pour la sortie du gaz ; ce sont les tuyaux A et K.



724.

Une cloche divisée en cinq compartiments, comprenant chacun deux tuyaux, recouvre cette cuve. Le gaz arrivant par le tuyau A se rend dans le compartiment r de la caisse O, traverse trois ou quatre couches de chaux, puis arrive à la partie supérieure de cette caisse ; alors il revient sous la cloche en B, passe par le tube C, etc., jusqu'au moment où après avoir traversé les caisses N et L, il arrive en F ; de F il passe immédiatement en K, tuyau de sortie. Dans cette position, la cuve M est isolée ; on profite de cet isolement pour renouveler la chaux à heure fixe, on soulève la cloche, on lui fait décrire l'arc R S. Alors c'est l'épurateur O qui est isolé, et c'est dans l'épurateur M fraîchement renouvelé que le gaz passe en dernier lieu, arrivant toujours d'abord dans la cuve la plus ancienne et son épuration se terminant sur la chaux la plus neuve.

On fait quelquefois usage d'épurateurs méthodiques dans le système que nous venons de décrire, avec cette différence que la cloison au lieu d'être placée au milieu est très rapprochée d'une des parois, celle qui forme la largeur. Le gaz ne traverse la chaux ou autre matière épurante qu'en montant, et arrivé au haut de l'épurateur il descend par l'espace vide laissé entre la cloison et la paroi, issue correspondant à un tuyau qui ramène le gaz au distributeur central. Cette disposition a pour but et pour effet de diminuer la pression que le gaz éprouve en traversant une matière de haut en bas, et le tassement que cette matière peut éprouver. Nous admettons sans peine que tout d'ailleurs étant égal, il y a avantage à ce que le gaz traverse les matières épurantes de bas en haut.

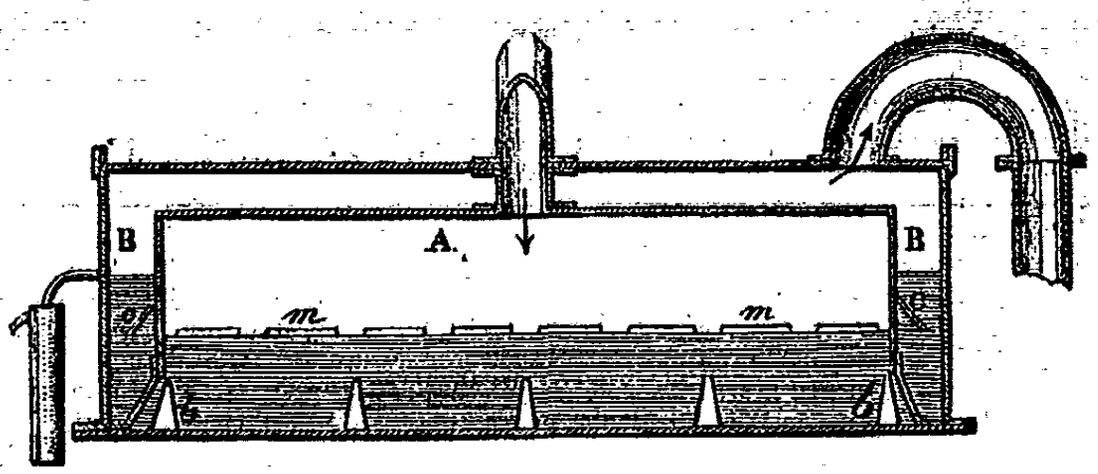
Les épurateurs méthodiques, dans les systèmes que nous venons de décrire, ne peuvent être avantageusement employés que lorsqu'ils renferment une seule et même matière épurante. On peut bien à la rigueur, dans les épurateurs à cloison médiane, placer à l'entrée du gaz une matière absorbant l'ammoniaque, et à la sortie une matière absorbant l'acide hydrosulfurique ; mais il vaut beaucoup mieux, quand on n'a qu'un jeu d'épurateurs méthodiques, ne faire manœuvrer que deux des quatre cuves (c'est très possible) alternativement ; l'une des deux cuves, la première, par

ÉCLAIRAGE.

rapport à l'arrivée du gaz contenant la matière à ammoniaque ; la deuxième, la matière au soufre. Une fois que le gaz marque à l'ammoniaque ou au soufre, on change au moyen d'un distributeur et on fait marcher les deux autres cuves; il est nécessaire, dans ce cas, de pouvoir essayer le gaz à la sortie de chaque épurateur.

Si les épurateurs sont indépendants au lieu d'être méthodiques, il faut en avoir deux séries, l'une pour arrêter l'ammoniaque, l'autre pour arrêter l'acide hydrosulfurique.

On a quelquefois voulu, en ne faisant usage que de la chaux, arrêter l'ammoniaque après l'épuration au moyen d'un appareil représenté fig. 725. Il se compose de deux caisses concentriques : celle intérieure recevant le gaz des épurateurs, celle extérieure communiquant avec le gazomètre. Le gaz sort par des fentes longitudinales *m*, *m*, et refoulant l'eau, en se brisant autour du rebord *c* qui règne au-dessus de ces fentes.

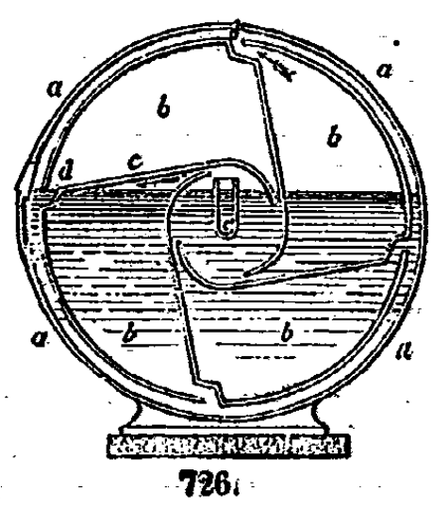


725.

Distribution du gaz. Le gaz étant propre à être livré aux consommateurs, il est important de lui donner à la sortie de l'usine une pression uniforme. Pour atteindre ce but, on réunit le gaz dans des gazomètres, ou plutôt dans de grandes cloches qui ne peuvent régulièrement mesurer le gaz, mais qui servent à l'emmagasiner et plus tard à lui donner l'uniformité de pression dont il a besoin.

Il est important pour les usines à gaz de savoir exactement la quantité de gaz qu'elles produisent journellement. Ce n'est point par l'élévation de l'appareil auquel on a donné improprement le nom de gazomètre (que nous nommerons ainsi, seulement pour nous conformer à l'usage), que l'on peut connaître avec une approximation satisfaisante la production soit d'une journée, soit d'une charge. On a imaginé en Angleterre un appareil particulier, connu en France sous le nom de compteur, qui remplit parfaitement le but auquel on se proposait d'arriver.

Cet appareil, représenté fig. 726, est une espèce de roue à augets dont l'axe est horizontal et les augets en métal (tôle galvanisée). Cette roue est plongée dans un cylindre rempli d'eau jusqu'à l'axe. Un tuyau *c* amène le gaz dans un auget. Celui-ci s'élevant et sortant complétement de l'eau, le gaz qu'il renferme se répand dans la partie supérieure du cylindre, et s'échappe par un autre tube disposé à cet effet. A peine le premier auget a-t-il vidé son contenu dans la partie supérieure du cylindre qu'un second auget s'emplit de la même manière. L'entrée et la sortie du gaz sont évidemment continues. Le gaz imprime un mouvement de rotation à la roue, et connaissant la capacité des augets, leur nombre et la quantité de tours faits en un temps donné, enregistrés au moyen de rouages mus par l'axe de la roue, il est facile d'en conclure la quantité de gaz fabriquée.



726.

Quand on emploie un compteur pour connaître le volume de gaz produit, il est indispensable d'avoir des valves d'entrée et de sortie pour cet appareil qui, dans certains cas, exige des réparations. On doit également, pour ne point interrompre l'opération pendant ces réparations, avoir une communication directe des épurateurs aux réservoirs qui, du reste, n'a jamais établie que dans ces circonstances, toujours rares.

Nous ne nous étendrons pas ici sur cet appareil, très-utile pour les fabricants qui veulent connaître d'une manière exacte leur fabrication. Nous décrirons en détail plus loin le compteur qui sert à mesurer le gaz livré aux consommateurs, et qui ne diffère de celui dont nous parlons ici que parce qu'il est plus petit.

Gazomètre. Ils ont pour but : 1° d'emmagasiner le gaz; 2° de lui donner pendant la consommation une pression régulière, qui assure l'uniformité de l'éclairage. Un gazomètre se compose de deux parties distinctes : 1° d'une cuve cylindrique en bois, en maçonnerie ou en fonte, entièrement remplie d'eau ; 2° d'un cylindre généralement en tôle, fermé à la partie supérieure, et dont la partie inférieure ouverte plonge dans la cuve pleine d'eau. C'est dans ce cylindre que vient s'emmagasiner le gaz. On lui donne toujours la forme cylindrique pour plusieurs raisons : la première, c'est que pour une même capacité, la surface développée est moins grande que pour toute autre forme régulière (la sphère exceptée) ; la deuxième c'est que cette forme est moins sujette à se déformer que toute autre, soit par son propre poids, soit pour cause d'accidents. On prend généralement pour hauteur du gazomètre le rayon de la base : cette dimension est en parfaite harmonie avec une solidité convenable. On augmente ordinairement cette hauteur de 3 à 6 décimètres.

On détermine la capacité du gazomètre d'après la quantité de gaz qui doit se consommer en un temps donné. Si pour l'éclairage d'une ville il faut $4000^{m.c.}$ en 10 heures, par exemple, si de plus les cornues sont chargées six fois en 24 heures, chaque charge doit produire $667^{m.c.}$ de gaz ; le gazomètre doit contenir quatre charges, soit $2664^{m.c.}$. D'après ce qui précède, on a pour la hauteur du gazomètre $h = \sqrt[3]{\frac{2664}{\pi}}$ et pour son diamètre $d = 2h$. Dans notre exemple $h = 9^{m},5$, et par conséquent le diamètre du gazomètre serait de 19^{m} : un gazomètre de cette dimension est déjà considérable. Les plus grands gazomètres ont 30 à 35^{m} de diamètre ; ce sont ceux des grandes usines qui fournissent l'éclairage des capitales. Les gazomètres des villes de province ont ordinairement de 15 à 20^{m}. Quelle que soit du reste la dépense de gaz d'une usine, elle doit avoir au moins deux gazomètres, afin de pouvoir suffire à l'éclairage, en cas d'accident ou de réparation. La marche du gazomètre en charge étant constatée avec soin, donne heure par heure une approxi-

mation de la production et de la dépense, et on ne doit négliger aucun moyen de s'en rendre compte.

Nous avons dit que les cuves étaient construites en bois, en maçonnerie ou en fonte.

Les cuves en bois sont assez rares; ces cuves sont composées de madriers accolés, maintenus par des cercles en fer, comme les douves d'un tonneau, et tendant toujours à s'ouvrir par la pression intérieure; les cercles sont destinés à s'opposer à cette pression; on évite difficilement les fuites, et si un cercle vient à se briser, il peut en résulter les dangers les plus graves; ce système est cependant employé avec avantage pour les cuves d'un petit diamètre. A Arras, il y a une cuve de 16m de diamètre, construite de cette manière; la hauteur de cette cuve est de 5m,50. L'épaisseur des madriers qui la composent est de 9 centimètres; les cercles de fer, distancés en progression croissante de 4 cent. du bas de la cuve à la partie supérieure, ont à la partie inférieure 10 cent. de hauteur sur 2 d'épaisseur, et dans le haut, 7 cent. de haut sur 1 d'épaisseur. Cette cuve, construite depuis sept années, n'a encore aucune fuite importante, et elle paraît n'avoir fait aucun mouvement sensible.

Les cuves en maçonnerie (fig. 727 et 728) sont généralement employées et doivent l'être. En effet, ce sont ces cuves que l'on peut construire avec le plus de solidité, le plus de sûreté. Les matériaux qui les composent, et qui varient du reste avec la localité, sont toujours reliés avec un mortier hydraulique de la meilleure qualité. Nous pouvons indiquer un moyen employé avec succès pour empêcher l'eau des citernes du gazomètre d'être en partie absorbée, et par l'enduit et par la maçonnerie, absorption qui se produit à cause de la porosité, surtout si la maçonnerie est en briques. Lorsque l'enduit est bien sec, avant d'introduire l'eau dans la citerne, on le recouvre d'une couche de goudron chaud dans lequel on a fait fondre 10 à 15 p. 100 d'une matière grasse, huile ou suif, de qualité inférieure.

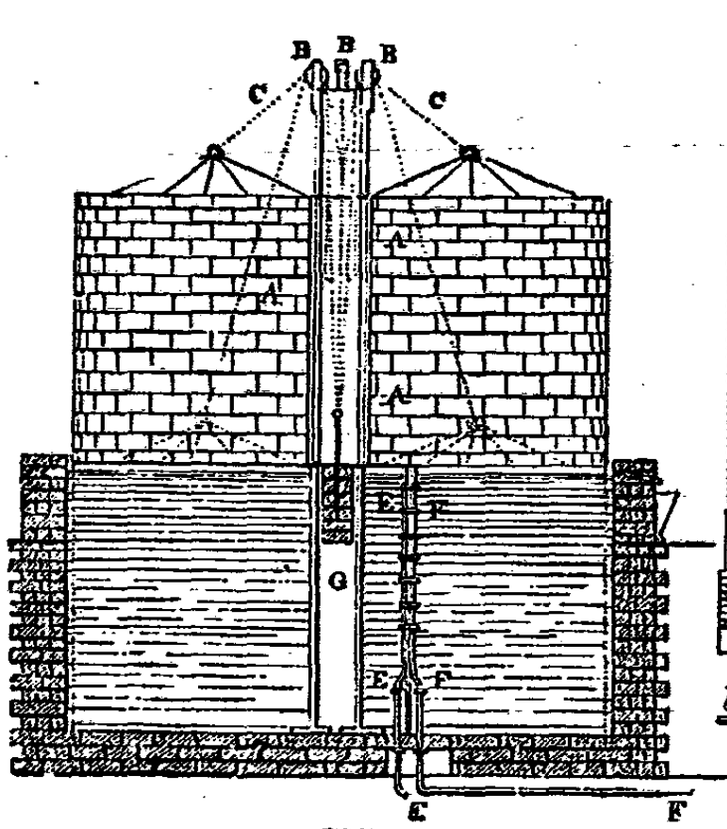
En Angleterre, on a généralement construit les cuves des gazomètres en fonte. Le bas prix de ce produit, joint à ses propriétés, a permis de l'appliquer avec avantage à cette construction; dans ce cas, la cuve est tout à fait cylindrique et formée de bandes de fonte qui s'assemblent au moyen de collets réunis ensemble par des boulons. Pour éviter les fuites, on remplit les interstices des collets avec du mastic de fer; des nervures, judicieusement disposées, consolident la cuve à la partie inférieure.

On a été conduit, dans certaines circonstances, à construire des cuves à double enveloppe, comme l'indique la fig. 728. On évite ainsi d'emplir la cuve d'eau; l'intervalle compris entre les deux surfaces cylindriques est seul plein de liquide et sert à donner passage au gazomètre. Ce système est beaucoup plus coûteux que ceux que nous avons décrits, et il ne présente aucun avantage en compensation de son prix élevé. Les tuyaux d'entrée et de sortie sont désignés par les lettres *a*, *b*. Les réparations intérieures se font facilement, et l'ouvrier chargé de ce travail pénètre dans la cuve par un orifice ménagé à la partie inférieure de la maçonnerie.

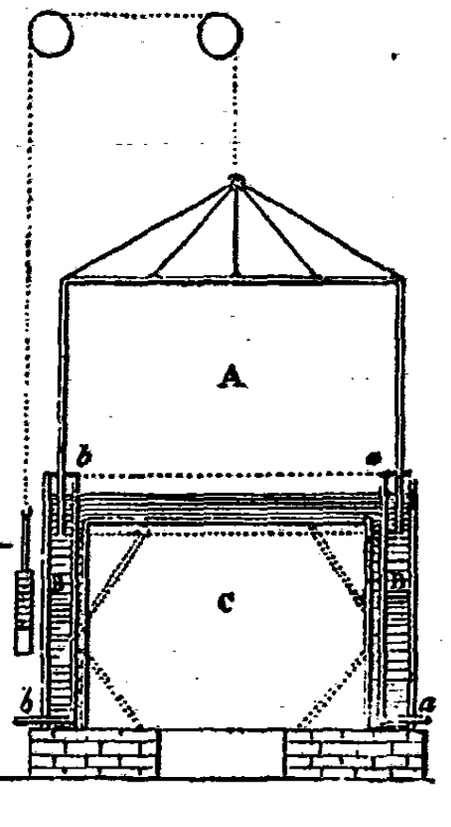
Les cloches dans lesquelles on emmagasine le gaz sont formées de plaques de tôle de 2 à 3 millimètres d'épaisseur; cette épaisseur varie du reste avec les dimensions de la cloche; les plaques de tôle sont rivées entre elles avec le plus grand soin, on les recouvre d'une couche de goudron chauffé. Il faut avoir soin de faire cette opération chaque année; on préserve ainsi la tôle de l'oxydation.

Ces réservoirs ayant un poids considérable, on doit les soutenir pour diverses causes : 1° Pour les guider dans leur mouvement; 2° pour éviter la pression considérable qui en résulterait sur tous les appareils, et qui causerait de nombreuses fuites et des détériorations fréquentes; 3° afin de pouvoir régler à volonté la pression du gaz à sa sortie.

Le gazomètre, en s'abaissant dans la citerne, perd de son poids une quantité égale au poids du volume d'eau qu'il déplace. Ainsi en s'abaissant, sa pression



727.



728.

diminue, et celle-ci est maximum quand il est entièrement hors de l'eau. On a imaginé divers modes de suspension des gazomètres, pour donner une pression uniforme au gaz qu'il emmagasine, afin que l'écoulement des gaz puisse être réglé régulièrement.

Dans le système de suspension, représenté fig. 728, on peut facilement donner à la chaîne le poids nécessaire pour que l'équilibre existe dans toutes les positions. Pour arriver à ce résultat, il faut et il suffit que le poids d'un mètre de longueur de la chaîne soit égal au poids du volume d'eau déplacé par 1 mètre de hauteur du gazomètre.

Dans le système de suspension, représenté fig. 727, on ne peut plus établir la permanence de l'équilibre. En effet, la chaîne de suspension est inégalement inclinée, suivant la position du gazomètre; il faudrait, dans ce système, faire varier le poids de la chaîne, qui devrait décroître, selon le point d'application du poids du gazomètre.

Le premier de ces deux systèmes est celui qui a été appliqué avec le plus de succès, mais on y a fait quelques modifications. Ainsi, on a adapté à la calotte du

ÉCLAIRAGE.

gazomètre et sur sa circonférence quatre, six, huit ou douze forts crochets, auxquels sont attachées des chaînes de fer qui passent sur une poulie et supportent chacune un contre-poids.

Un autre système de suspension, très-commode pour les petits gazomètres de 10 à 15 mètres de diamètre, consiste à prendre trois points également espacés sur la circonférence de la cuve et à les réunir à deux fortes charpentes. Des poulies sont fixées à ces points; sur les poulies s'enroulent des cordes en fil de fer qui viennent toutes s'unir à un contre-poids uniforme, faisant en partie équilibre au poids du gazomètre; le poids de la corde en fil de fer est calculé de manière à ce que la pression du gazomètre soit toujours la même, quelle que soit du reste la position qu'il occupe.

Quand on emploie comme moyen de suspension des cordes en fil de fer, il faut avoir soin de les peindre à l'huile de lin au moins une fois par an, et de les recouvrir également de minium; on les préserve ainsi d'une oxydation qui pourrait amener les plus graves conséquences pour la sûreté de la suspension.

Un système de suspension imaginé par M. Pauwels (fig. 729), est appliqué avec succès, à Paris, dans les usines de la Compagnie parisienne.

Il consiste en deux genouillères, l'une pour l'entrée, l'autre pour la sortie du gaz. Chacune se compose de

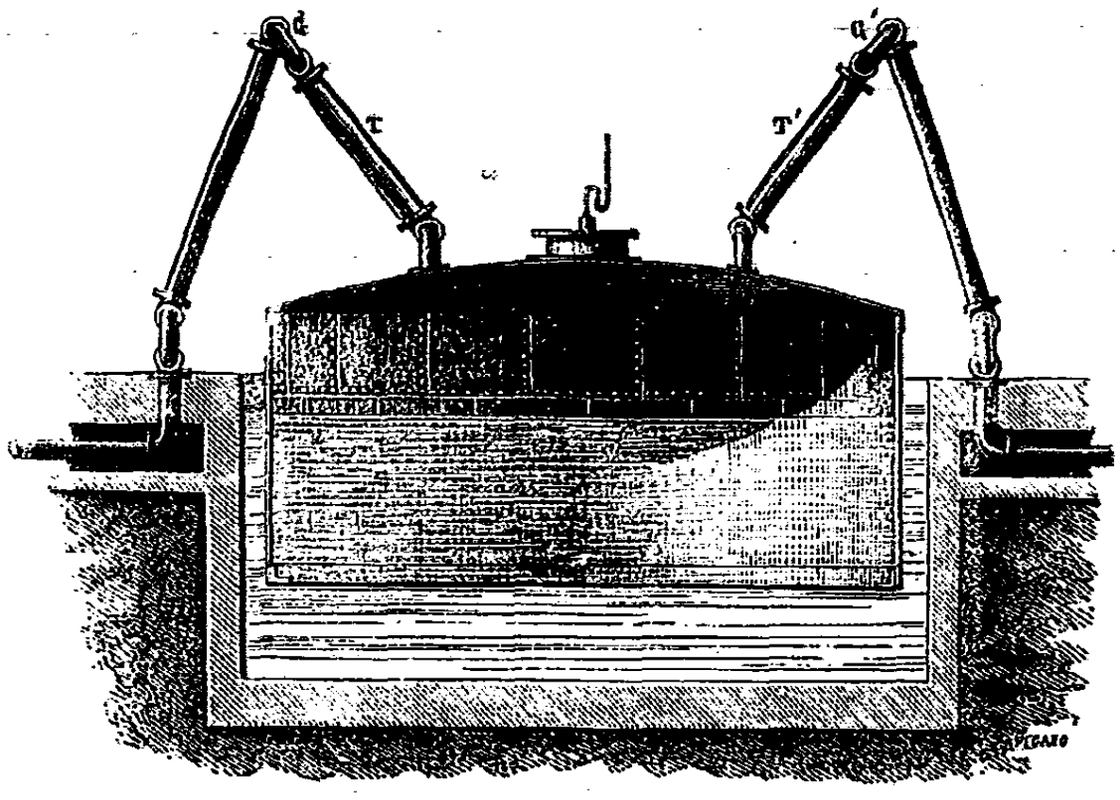


Fig. 729.

deux tuyaux mobiles T, T' réunis par des articulations G, G' dont le jeu est disposé de manière à ne permettre aucune perte de gaz. On évite ainsi le placement des siphons dans l'intérieur de la maçonnerie de la cuve, et les obstructions qui s'y peuvent produire, en même temps que le poids du gazomètre se trouve compensé en raison de l'inclinaison que prend la plus grande branche des genouillères.

La calotte supérieure des gazomètres est soutenue par des armatures en fer intérieures, afin qu'elle offre une résistance suffisante lorsque le gazomètre est au bas de sa course, et que le poids de la calotte n'est plus soutenu par la pression du gaz. On se dispense quelquefois aujourd'hui de ces armatures assez coûteuses en établissant dans l'intérieur de la cuve une charpente en bois, destinée à soutenir la calotte lorsque le gazomètre est au bas de sa course. Le gazomètre s'appuie par des galets sur les colonnes en fonte de la charpente qui accompagne le gazomètre pour que tout déversement soit impossible.

Le prix élevé de la cuve à eau dans laquelle vient se placer le gazomètre lors de la consommation du gaz emmagasiné, prix que les difficultés de la construction rendent quelquefois inadmissible, a fait imaginer un appareil qui diminue dans une grande proportion les premiers frais d'établissement; cet appareil a reçu le nom de gazomètre télescopique.

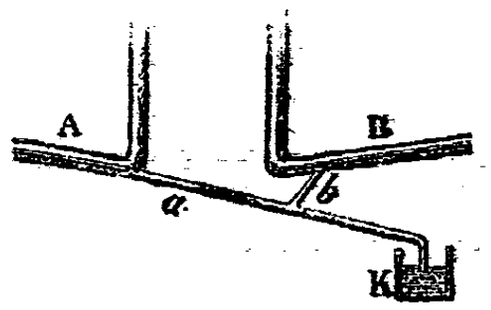
Le gazomètre devant avoir une hauteur donnée, on divise cette hauteur en trois ou quatre cylindres; un seul de ces cylindres est recouvert d'une calotte; les autres sont disposés de manière à entrer l'un dans l'autre. Quand il n'y a point de gaz dans ce réservoir, toutes les parties sont emboîtées, et la partie supérieure est au niveau de la cuve proprement dite, qui est en maçonnerie, et qui porte deux colonnes surmontées de poulies autour desquelles passent des cordes métalliques, qui d'un côté s'attachent au gazomètre et de l'autre portent un contre-poids pour l'équilibrer. Quand le gaz arrive dans cet appareil, la force élastique qu'il exerce contre les parois soulève le premier cylindre; quand ce premier cylindre est plein, un rebord ou gorge qu'il porte inférieurement vient saisir une saillie du deuxième cylindre et permet à celui-ci de s'élever. Le joint qui empêche les fuites de gaz est tout naturel, les deux rebords forment une soupape hydraulique, car, en sortant de la citerne, le rebord du premier cylindre est plein d'eau, et c'est alors qu'il accroche le deuxième. On conçoit qu'on pourrait ainsi établir une série de cylindres, mais en France du moins, où du reste les gazomètres télescopiques sont assez rares, le nombre de cylindres se réduit à deux.

Lorsque les gazomètres ont un grand diamètre, et que la tôle n'est pas très-épaisse, les contre-poids deviennent ou peuvent devenir inutiles, parce que le poids d'un cylindre creux n'augmente pas dans le même rapport que ses dimensions. Ainsi donc, si le gazomètre a de grandes dimensions, non-seulement on peut se passer de contre-poids, mais il faut même le charger, quand on veut que le gaz qu'il renferme passe dans les conduites. On charge ordinairement les gazomètres en répartissant sur les divers points de la calotte un certain nombre de briques ou de poids de fonte.

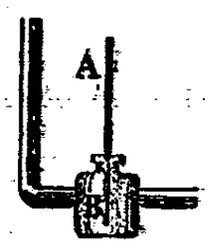
Le tuyau qui amène le gaz dans le gazomètre n'est pas continu; il est boulonné sur le dessus d'un réservoir ou réceptacle en fonte qui dépasse la maçonnerie dans le bas de la citerne, et empiète sur le gazomètre; il sort de la partie du réceptacle qui se trouve sous le gazomètre par un tuyau semblable au précédent, de sorte que toutes les condensations se rendent dans le réservoir, d'où part une pompe au moyen de laquelle on enlève les liquides quand il s'en est condensé une certaine quantité. Même disposition pour le tuyau de sortie du gaz, et souvent les deux réservoirs sont accolés l'un à l'autre, et ne forment pour ainsi dire qu'une seule et même caisse.

Anciennement on adoptait la disposition suivante : les tubes A, B (fig. 730) étant les tuyaux d'entrée et de sortie du gazomètre, aux portes d'écluses se trou-

vent des tubes *ab* par lesquels l'eau condensée s'écoule dans un réservoir K, d'où elle est puisée à volonté.



730.

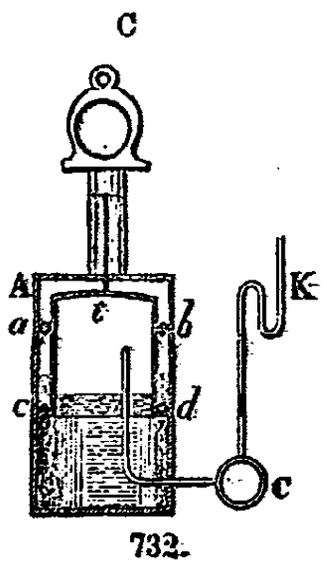


731.

Souvent aussi les eaux s'écoulent dans un syphon placé au point le plus bas, et d'où elles sont extraites par une pompe que l'on vient visser à la partie supérieure du tuyau A B (fig. 731).

Sortie du gaz du gazomètre. Nous avons conseillé l'emploi d'un compteur avant l'entrée du gaz dans le gazomètre, afin de connaître à chaque instant les résultats de la fabrication. Nous conseillons également l'emploi du même appareil pour la sortie du gaz du gazomètre. On sait ainsi ce que l'on dépense chaque heure, chaque minute, et l'emploi du compteur est le seul moyen de le savoir exactement.

Les valves de distribution doivent être placées à la sortie du compteur. Ces valves ne sont autre chose que des disques en fonte placées entre deux coulisses et qui se meuvent à l'aide d'une crémaillère. La sortie du gaz est réglée par l'ouverture de ces valves, et suivant cette ouverture, la pression que le gaz exerce dans les tuyaux de sortie est variable, le nombre de becs allumés variant dans une même soirée. On a imaginé un appareil fort ingénieux nommé *mouchard*, qui indique à chaque instant la pression qui existe dans la conduite principale desservie par une valve donnée. Voici en quoi il consiste. Imaginez (fig. 732) une cuve à eau recouverte d'une cloche, le tout dans un cylindre A, fermé à ses deux extrémités. Le tuyau de conduite principal C communique avec l'intérieur de la cloche *t*, dont le mouvement vertical est assuré par de petits galets roulants *a*, *b*, *c*, *d*. La pression qui existe dans la cloche est la même que celle du tuyau C. Cette pression variant, les positions de la cloche suivront cette variation; un manomètre K indique les pressions exactes du tuyau, et si la pression varie, le petit gazomètre suivra le mouvement de l'indicateur du manomètre. Ces mouvements sont accusés par la trace d'un crayon sur un cylindre auquel un mouvement de pendule imprime un mouvement circulaire. Le cylindre fait un tour en 24 heures. Il est divisé en 24 parties égales par des lignes parallèles à la directrice du cylindre. On sait de cette manière, sans être constamment présent, si les services indiqués aux chefs ouvriers sont exécutés fidèlement, et cette certitude suffit à l'ouvrier pour qu'il exécute les ordres donnés.



732.

Diamètre des tuyaux. Le diamètre dépend essentiellement du volume de gaz que l'usine doit livrer dans un temps donné. On doit aussi tenir compte dans cette détermination du frottement que le gaz éprouve dans les tuyaux de conduite, frottement dont l'importance est plus considérable qu'on n'est tenté de le supposer.

ÉCLAIRAGE.

Enfin il faut supposer l'extension la plus importante que pourra prendre l'éclairage dans les parties qui doivent être desservies par la conduite, afin de ne point avoir à renouveler à grands frais le matériel le plus dispendieux d'une usine à gaz.

Une condition doit encore être remplie autant que possible. C'est l'uniformité de pression dans tous les points de la conduite.

Des expériences faites avec soin ont prouvé que le volume de gaz qui traverse un tuyau sous une pression déterminée, est proportionnel au carré de son diamètre et en raison inverse de la racine carrée de sa longueur, ainsi D représentant le diamètre du tuyau, *l* sa longueur, V le volume de gaz écoulé par heure sera égal à $K \frac{D^2}{l^2}$; K étant un coefficient constant qui représente le volume de gaz écoulé par heure, et par un tuyau dont le diamètre et la longueur seraient égaux à l'unité de longueur. Voici maintenant un résultat d'expérience : un tuyau de 76 mètres de longueur, transmettant par heure 61 mètres cubes de gaz, doit avoir un diamètre de 2,53 centimètres.

De ces observations on a conclu une formule d'après laquelle on a pu dresser le tableau ci-joint.

NOMBRE des mètres cubes par heure.	LONGUEUR des tuyaux en mètres.	DIAMÈTRE des tuyaux en centimètres.
15	30	1,01
76	60	2,53
452	180	3,50
243	304	5,71
304	304	7,75
456	304	8,46
608	304	10,59
608	608	12,97
608	1216	15,51
608	1824	17,71
1824	304	18,46
1824	608	22,98
2452	304	21,19
2452	608	40,48

Nous rapporterons ici les résultats des expériences de MM. Girard et Cagniard de Latour, faites à Paris dans le but d'apprécier l'importance du frottement. Le gazomètre était plein de gaz provenant de la distillation de la houille, soumis à une pression de 4 cent. d'eau. Voici le tableau des vitesses d'écoulement, observées à l'extrémité d'une conduite d'une longueur variable, pour un tuyau de 54 millim. de diamètre.

Longueur du tuyau.	Nombres proportionnels aux vitesses d'écoulement.
0m, . .	0m,73000
128m,80.	0m,1248000
375m,80	0m, 071030
622m,80	0m, 064144

Ces observations prouvent la loi que nous avons dès l'abord énoncée : la quantité de gaz qui s'écoule par un tuyau est en raison inverse de la racine carrée de la longueur du tuyau.

Pour dire un mot des résultats de la pratique, on a reconnu qu'un tuyau d'un diamètre de 108 millim. suffisait sous la pression de 27mm d'eau pour l'écoulement de 288m cubes de gaz à l'heure. Du reste, il est fort difficile de dresser à cet égard des règles invariables, et les éléments qui entrent dans ce calcul l'expliquent as-

ses. En effet, d'un côté la difficulté d'écoulement croît avec la distance à parcourir ; de l'autre, la quantité de gaz à livrer à la consommation diminue à mesure que l'on avance dans la conduite. Généralement on doit forcer les diamètres. C'est une garantie de succès qui n'a d'autre désavantage que d'être un peu coûteuse.

Égalité de pression dans tous les points des conduits.— Gazo-compensateur de M. Pauvelle. M. Combes a fait à la Société d'Encouragement un intéressant rapport sur les inconvénients résultant des différences de pression et les moyens d'y remédier. Nous ne saurions mieux faire que d'emprunter au bulletin de la Société cet intéressant travail.

Le gaz, dit le savant rapporteur, arrive aux becs avec une vitesse déterminée par l'excès de la force élastique dans la conduite au-dessus de la pression de l'atmosphère ambiante. Un excès de force élastique, mesuré par une dénivellation de 12 à 15 millim. d'eau dans le manomètre ordinaire, suffit pour assurer la bonne alimentation des becs. Tout excès plus grand a pour conséquence l'augmentation des déperditions du gaz par les interstices accidentels, inévitables dans le nombre immense d'assemblages des tuyaux qui composent les conduites principales et leurs branchements multipliés, et par les becs où le gaz arrive trop abondamment. On peut, il est vrai, modérer l'écoulement par les becs en fermant partiellement le robinet particulier dont chacun est précédé ; mais on néglige de le faire la plupart du temps ; il est même à peu près impossible de le faire toujours à propos, quand la pression dans les conduites est sujette à de fréquentes variations : aussi le gaz brûle-t-il souvent incomplétement et avec fumée. Les déperditions de gaz sont quelquefois énormes ; il n'est pas très rare de les voir s'élever à plus de 35 p. 100 de la production totale d'une usine qui dessert un territoire fort étendu. Dans les circonstances les plus favorables, elles ne sont pas inférieures à 10 p. 100 ; elles constituent une charge lourde, écrasante, dans certains cas, pour les compagnies d'éclairage, et sont une cause grave d'insalubrité.

Les causes qui font monter la pression du gaz au-delà de ce qui est strictement nécessaire, dans les diverses parties des conduites posées sur un vaste territoire, sont de plusieurs sortes : la plus importante est le frottement du gaz dans le parcours des conduites. Par suite de cette résistance, un liquide ou un fluide élastique ne peut circuler dans un tuyau horizontal sans que la pression aille en diminuant constamment dans le sens de la circulation qui a lieu.

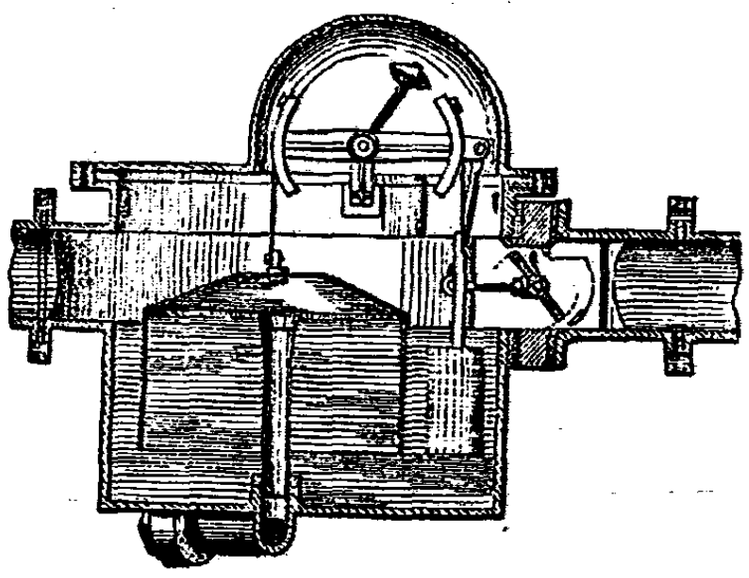
Ainsi, pour que le fluide partant du gazomètre de l'usine arrive aux conduites établies vers les limites du périmètre desservi, à une distance qui est souvent de 2 à 3 kilomètres, avec la pression strictement nécessaire à la bonne alimentation des becs, et qui sera de 10 millimètres d'eau par exemple, il faudra entretenir dans les gazomètres une pression d'autant plus grande que le parcours des conduites sera plus développé, leur diamètre moindre, la quantité de gaz à dépenser dans un temps donné plus considérable. Le service de la plupart des usines de Paris ne peut être assuré, au moment où la totalité des becs est allumée, qu'en maintenant dans les gazomètres un excès de pression mesuré par une colonne de 80 à 100 millimètres d'eau au-dessus de l'atmosphère ambiante. Cette pression tombe de 1 à 2 centimètres à l'entrée du gaz dans les conduites ; elle est ainsi de 60 à 80 millimètres d'eau à l'origine des conduites principales et latérales les plus rapprochées de l'usine, et va graduellement en diminuant dans les unes comme dans les autres à mesure qu'on s'en éloigne.

La résistance du frottement naît avec la vitesse du gaz en mouvement, et à peu près en raison du carré de cette vitesse ; il résulte de là que, si l'on vient à éteindre à la fois un grand nombre des becs alimentés par un système de conduites, on verra la pression augmenter à la fois dans toutes les conduites, bien qu'elle demeure constante dans les gazomètres. L'accroissement de pression sera plus grand pour les conduites situées vers les limites du périmètre que pour celles qui seront rapprochées des gazomètres. L'effet que nous venons d'indiquer se produit lors des extinctions des becs particuliers, qui ont lieu à dix heures, à onze heures et à minuit. On prévient une pression trop forte, soit en déchargeant les gazomètres d'une partie des poids qui tendent à les faire descendre, soit simplement en fermant partiellement les registres adaptés aux tuyaux de prise de gaz qui sont en tête des conduites principales.

Une seconde cause de variation de la pression qui détermine l'écoulement dans les conduites composant un système de distribution réside dans la légèreté du gaz d'éclairage. Sa pesanteur spécifique, par rapport à l'air atmosphérique, est à peu près 0,55, c'est-à-dire que si 1 mètre cube d'air atmosphérique pèse 1 kilog. 20, 1 mètre cube de gaz, à la même pression et à la même température, ne pèsera que 66 centigrammes. En partant de ces données, que l'on peut regarder comme des moyennes suffisamment exactes pour la ville de Paris, on trouve qu'une colonne verticale d'air de 1 mètre de hauteur exerce sur sa base, en vertu de son poids, une pression mesurée par une colonne d'eau de $1^{mm},2$ de hauteur, et qu'une colonne de gaz d'éclairage ayant aussi 1 mètre de hauteur exerce sur sa base, en vertu de son poids, une pression mesurée par une colonne d'eau de $0^{mm},66$. Il résulte de là que si une conduite établie suivant la pente d'une colline, distribue le gaz à des becs échelonnés sur son parcours à différents niveaux, l'excès de pression qui déterminera l'écoulement par les becs ira croissant avec la distance verticale des becs à l'extrémité inférieure de la conduite ; l'accroissement sera mesuré par une colonne d'eau de $1^{mm},20 - 0^{mm},66 = 0^{mm},54$ de hauteur par mètre d'élévation. Si donc on veut alimenter avec un gazomètre un système de conduites ascendantes, et si l'on a, au point le plus bas, près du gazomètre un excès de pression de 16 millimètres d'eau suffisant pour la bonne alimentation des becs établis dans cette région, on aura pour les becs établis à 10 mètres plus haut un excès de pression de $15^{mm},4$, pour ceux établis à 20 mètres plus haut, un excès de $20^{mm},8$, etc., abstraction faite toutefois de la résistance du frottement qui viendra atténuer ces différences. Si le gazomètre alimenteur est, au contraire, situé au point le plus élevé d'un périmètre accidenté, l'excès de pression du gaz sur l'atmosphère ambiante, à la naissance des conduites, ira constamment en diminuant à mesure que l'on descendra à un niveau plus bas, tant à cause de la résistance du frottement que de la légèreté spécifique du gaz d'éclairage, dont les effets s'ajouteront. Il faudra donc, dans ce dernier cas, maintenir dans le gazomètre une forte pression pour assurer la bonne alimentation des becs branchés sur les conduites établies aux points les plus bas du réseau. L'excès de pression qui existera à la naissance des conduites et sur tous les points élevés du territoire desservi, donnera lieu à des déperditions considérables. Ainsi la Compagnie parisienne, qui a des usines près la barrière d'Italie, et dont le périmètre embrasse un territoire extrêmement étendu et accidenté, où se trouvent la place du Panthéon, les quais voisins de l'Hôtel-de-Ville et le faubourg Saint-Antoine, est obligée, pour assurer son service, de porter la pression de ses gazomètres jusqu'à plus de 9 centimètres d'eau. On comprend dès lors comment elle subissait, il y a quelques années, des déperditions de gaz énormes comparativement aux autres compagnies d'éclairage de la ville de

Paris, bien qu'elle apportât le même soin à la pose de ses conduites et des tuyaux alimentaires des becs. C'est à ce fâcheux état de choses que M. Pauwells a voulu remédier au moyen de l'appareil qu'il nomme *gazo-compensateur*, et qui a pour objet de limiter l'excès de pression du gaz au-dessus de celle de l'atmosphère ambiante, dans une conduite ou portion de conduite, quelle que soit la pression dans le gazomètre ou la conduite qui précède et alimente celle qui est soumise au régime du gazo-compensateur.

Cet appareil, pour lequel M. Pauwells a pris un brevet d'invention le 19 juin 1849, consiste en une boîte de fonte de forme cylindrique, fermée supérieurement par un couvercle amovible et fixée par des vis (fig. 733). Deux



733.

tubulures situées à la même hauteur, et le plus ordinairement aux extrémités opposées d'un même diamètre, servent à raccorder la boîte avec les deux parties de conduites entre lesquelles elle est interposée. Le gaz arrivant de la conduite qui précède est admis dans la boîte par la première tubulure, et transmis de la boîte à la conduite suivante par la tubulure opposée. Dans le passage à travers la tubulure d'admission, sa présence est modifiée et réglée par le mécanisme intérieur que nous allons décrire. La partie inférieure de la boîte constitue une cuvette cylindrique qui se trouve en contre-bas des conduites de gaz; elle est remplie d'eau, dont le niveau est naturellement réglé par la partie inférieure des deux tubulures, parce que le trop-plein s'écoule, par l'une ou par l'autre de ces tubulures, dans l'une des conduites que le gazo-compensateur met en communication. Dans l'eau qui remplit la cuvette plonge une cloche en tôle semblable à un petit gazomètre; cette cloche est liée par un ruban d'acier flexible à l'un des bras d'un balancier terminé par un secteur circulaire, et dont l'axe est porté par une traverse en fonte ou en fer établie à la partie supérieure de la boîte. A l'autre bras du balancier, qui est également terminé par un secteur circulaire, est suspendu de la même manière un contre-poids qui équilibre la cloche. On augmente ou diminue, suivant la pression à laquelle on veut réduire le gaz, ce contre-poids, qui est ainsi le régulateur de l'appareil. Au même bras du balancier est articulée l'extrémité d'une tige de fer qui agit, par son autre extrémité, sur un levier solidaire avec l'axe d'une valve tournante logée dans la tubulure par laquelle le gaz est admis dans la boîte. Les choses sont disposées de façon que, lorsque les bords inférieurs de la cloche reposent sur le fond de la cuvette remplie d'eau, la valve ferme complétement la tubulure et empêche l'arrivée du gaz. A mesure que la cloche se relève, la valve, en tournant, assure à l'admission du gaz un passage de plus en plus grand. La boîte étant close, il est clair que le fond supérieur de la cloche est pressé de haut en bas par le gaz qui remplit la partie supérieure de la boîte, et passe de là dans la conduite suivante par la tubulure d'émission qui reste toujours entièrement libre. En dessous ce fond de la cloche est pressé de bas en haut par la pression d'une couche d'air qui occupe l'espace supérieur à l'eau dont la cuvette est remplie; or, cet espace est généralement en communication avec l'atmosphère ambiante par un petit tuyau qui s'élève verticalement dans l'axe de l'appareil et de la cloche jusqu'au dessus du niveau de l'eau, traverse le fond de la cuvette et débouche extérieurement dans une petite capacité ménagée sous ce fond.

Le fond de la cloche étant ainsi pressé de haut en bas par le gaz dont la partie supérieure de la boîte est remplie, et poussé de bas en haut par la pression d'une couche d'air qui est en communication et en équilibre avec l'atmosphère ambiante, si l'on veut limiter à 15 millimètres d'eau, par exemple, l'excès de pression du gaz sur celle de l'atmosphère, il suffira de régler le contre-poids de telle sorte qu'une couche d'eau de 15 millimètres d'épaisseur, posée sur le fond supérieur de la cloche, établisse, par l'intermédiaire du balancier, l'équilibre entre la cloche, dont les parois plongent dans l'eau, et le contre-poids.

Alors, en effet, toute pression du gaz dans la boîte qui sera supérieure de plus de 15 millimètres d'eau à la pression de l'atmosphère, déterminera l'enfoncement de la cloche et la fermeture progressive de la tubulure d'admission pour la valve tournante, jusqu'à ce que la pression du gaz soit descendue à la limite assignée, par suite de la dépense des becs alimentés par la conduite, postérieure à l'appareil, et de l'exclusion partielle de la tubulure d'admission.

Tels sont les principes sur lesquels repose le fonctionnement du gazo-compensateur de M. Pauwells.

L'expérience a montré qu'il était bon que le contre-poids de l'appareil ne fût pas constant, mais qu'il allât en augmentant à mesure que ce contre-poids descend en soulevant la cloche, et agrandissant l'ouverture à l'admission du gaz. Pour obtenir cette variation, M. Pauwells a imaginé de fixer sur l'axe du balancier intermédiaire, entre la cloche et le contre-poids, une tige en fer, qui est verticale quand les bords inférieurs de la cloche appuient sur le fond de la cuvette, et que la valve ferme complétement la tubulure d'admission. Une masse plus ou moins lourde, dont le centre de gravité est sur l'axe de la tige, est mobile le long de celle-ci et peut y être fixée à telle distance que l'on veut de l'axe du balancier. La masse, dès que le balancier s'incline et ouvre la valve d'introduction, agit par son poids pour soutenir la cloche, à l'extrémité d'un bras de levier qui augmente à mesure que la valve s'ouvre davantage.

Pour comprendre l'utilité de cette disposition, il faut se rappeler que le nombre des becs alimentés par une conduite est variable avec l'heure, depuis dix heures jusqu'à minuit, intervalle pendant lequel on éteint successivement tous les becs particuliers. Or, plus est grand le nombre des becs alimentés par la conduite qui est sous le régime du gazo-compensateur, plus la pression doit être élevée dans la boîte, afin d'assurer un bon éclairage des becs branchés sur l'extrémité la plus reculée de cette conduite. Il faudrait donc diminuer le contre-poids, qui tend à soulever la cloche et à ouvrir la valve d'introduction du gaz, lorsque l'on éteint un certain nombre de becs, pour réduire en même temps la pression à ce qui est suffisant pour le nombre de becs qui restent allumés. Ce but est atteint de la manière la plus simple par la masse fixée, ainsi que nous venons de le dire, sur une tige solidaire avec le balancier, de façon que le bras du levier, à l'extrémité

duquel elle agit par son poids, diminue à mesure que la valve d'introduction rétrécit le passage du gaz arrivant.

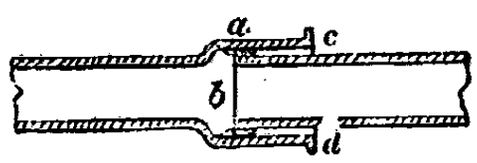
Un certain nombre d'appareils gazo-compensateurs permettent de limiter au strict nécessaire la pression dans les conduites qui alimentent les becs dispersés sur le territoire éclairé par une usine, quelque vaste et accidenté qu'il soit. Il convient, à cet effet, d'opérer une division appropriée des conduites qui sillonnent ce territoire en plusieurs groupes distincts, dont chacun recevra le gaz d'une conduite maîtresse commune à plusieurs groupes, à travers un gazo-compensateur convenablement réglé.

Il faudra toujours maintenir dans les conduites maîtresses et dans les gazomètres de l'usine un excès de pression assez considérable, et variable suivant les circonstances; mais ici on préviendra les fuites de gaz par des soins tout particuliers apportés à la pose et à l'entretien de ces conduites, et surtout en évitant de brancher directement sur elles des tuyaux alimentaires de becs. Les règles suivant lesquelles la division en groupes devra être faite dans chaque cas, et la situation des appareils gazo-compensateurs dans un territoire déterminé, découlent trop facilement des principes qui ont été longuement développés dans ce rapport, pour qu'il soit nécessaire de rien ajouter à ce sujet.

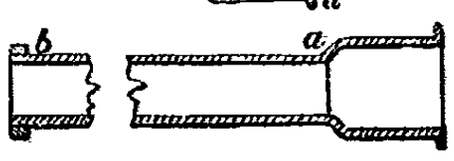
Des diverses espèces de tuyaux. Les tuyaux qui jusqu'à présent ont été employés sont en fonte, en grès, en tôle recouverte de bitume, en tôle galvanisée, en plomb et en zinc. Passons-les en revue.

Tuyaux de fonte. Ces tuyaux sont ceux qui sont le plus généralement employés. Ils ont ordinairement une longueur de 2m,50 à 3m,10, et s'assemblent à manchons (fig. 734 et 735). La tranchée ayant au moins 1 mètre de profondeur, on y pose les tuyaux, on place au fond de l'emboîtement des cordes ou filasses goudronnées que l'on mate avec soin, puis à l'aide d'un cylindre en tôle qui enveloppe le manchon et qui est percé d'un trou à la partie supérieure, on verse du plomb fondu qui vient remplir l'espace *cd*; après le refroidissement, on mate le plomb. Ce système d'assemblage donne d'assez bons résultats. Il est cependant défectueux; car le plomb n'a avec la fonte qu'un contact plus ou moins parfait, mais il n'y a point de soudure. Les tuyaux en fonte sont essayés avant leur emploi avec une pompe foulante; quand ils sont posés, il est très convenable d'envoyer immédiatement le gaz dans l'intérieur à une pression assez forte et de les flamber avec une torche; si les joints sont mal faits, les fuites sont évidentes et la réparation est facile. Les tuyaux de fonte ont le grand désavantage de s'oxyder par l'action successive de l'humidité et de la sécheresse. On a retrouvé des tuyaux de fonte totalement réduits en oxyde de fer pulvérulent. Les tubes en fonte ne peuvent être que d'épaisseur et par suite de diamètre assez forts. Pour les petits diamètres, on les remplace par des tubes en fer étiré, notamment pour les distributions des particuliers.

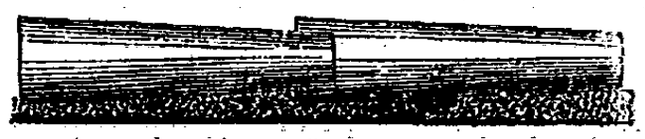
734.



735.



Tuyaux en grès. Ces tuyaux, absolument parlant, sont très bons: point d'altération chimique à craindre; ils sont pour ainsi dire éternels et coûtent 2/3 moins que la fonte. Cependant ils présentent de graves inconvénients dans leur mode d'assemblage. Ils sont légèrement coniques, de manière à pouvoir s'emboîter l'un dans l'autre (fig. 736). Leur longueur varie de 70 à 80 cent. Nous conseillerons de les placer au moins à 1m de profondeur, à 1m,20 quand les circonstances le



736.

permettront, ils devront reposer dans un bain de mortier. Les joints, faits par un ouvrier intelligent, seront en terre à potier de meilleure qualité possible. Les tuyaux devront être graissés préalablement avec cette terre aux emboîtements, intérieurement et extérieurement. Les joints terminés devront être également soumis à la pression du gaz et flambés, puis recouverts d'un bourrelet de mortier. Enfin, suivant la nature du terrain encaissant, on pourra les recouvrir par des couches de terre de 15 à 20 cent. en damant avec soin d'abord légèrement, ensuite fortement. Si le terrain encaissant est rocailleux comme il arrive souvent dans l'intérieur d'anciennes villes, il ne faut pas craindre de faire les frais nécessaires pour amener des terres, afin d'en recouvrir les tuyaux à 30 cent. au moins. Ces précautions doivent être prises, et nous sommes persuadé qu'on peut ainsi obtenir une bonne canalisation. Mais qu'on ne l'oublie point, la surveillance la plus grande est indispensable. Tout le succès réside dans les soins de détails auxquels doit présider l'œil du maître.

Tuyaux Chameroy. Ces tuyaux sont en tôle recouverte d'un mastic bitumineux qui empêche l'oxydation du métal. Ce vernis est peut-être insuffisant pour préserver indéfiniment les tuyaux de l'action du gaz à l'intérieur; l'étamage au zinc et plomb serait bien préférable. Leur assemblage à vis est très bon. L'essai a été fait à Paris, et ces tuyaux ont obtenu un grand succès. L'expérience a montré qu'ils rendent les réparations extrêmement rares. Ils ont en outre le grand avantage de présenter une économie de 4/3 sur les tuyaux de fonte. (Voyez TUYAUX pour leur fabrication.)

Tuyaux en tôle galvanisée. Ces tuyaux, d'une très grande résistance et s'assemblant à vis, offrent toute sécurité contre la plupart des accidents d'où peuvent naître des explosions. Le zinc trop attaquable par les acides devrait encore être recouvert de plomb, pour être à l'abri de toute action corrosive.

Tuyaux de plomb. Ils ont été généralement employés, surtout en France où le plomb est à un prix fort peu élevé; mais seulement pour les faibles diamètres de 40 centim. jusqu'à 8 millim. Dans les plus gros diamètres, ils présentent trop d'inconvénients, et alors aussi le prix devient considérable. Les poseurs d'appareils préfèrent le plomb aux tuyaux en fer étiré, parce qu'avec le plomb ils passent partout. Sans doute la dépense de main-d'œuvre pour la pose est moindre, mais outre qu'ils ont besoin d'un bien plus grand nombre de points d'appui que pour les tuyaux étirés, l'assemblage par soudure demande beaucoup plus de soin que l'assemblage à vis qui se fait pour ainsi dire seul; la différence de prix est donc moindre qu'on ne pourrait croire et le résultat tout autre. Les tuyaux en plomb n'éprouvent pas à l'air d'altération sensible et le gaz n'exerce sur eux aucune action chimique.

Tuyaux en zinc. Ces tuyaux ont en partie les avantages et les inconvénients des tuyaux de plomb, et les observations que nous avons faites pour la tôle galvanisée s'y appliquent de tout point. Les bords de la feuille qui sert à les fabriquer sont réunis par un système d'agrafage, comme nous l'avons dit à *banc à tirer*. Ils sont surtout employés en Angleterre où le zinc se trouve en abondance.

Après cet examen rapide des diverses natures de

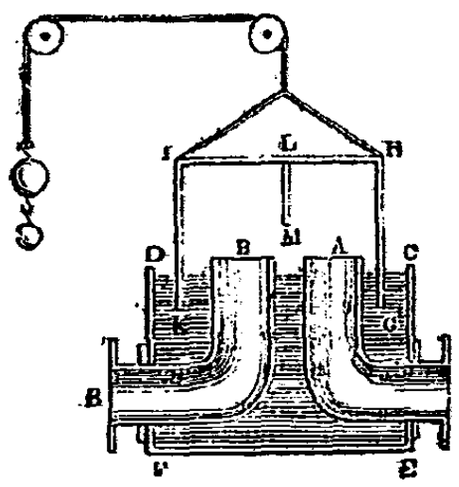
ÉCLAIRAGE.

tuyaux. nous pensons que pour réunir les avantages d'une canalisation générale établie sûrement, on doit employer les tuyaux Chameroy pour les conduites d'un fort diamètre de 54 millim. à 150, et les tuyaux en tôle galvanisée ou en fer étiré, pour les diamètres inférieurs, c'est-à-dire pour tous les branchements des particuliers. Le but qu'on doit se proposer dans toute canalisation est d'assurer un bon éclairage sur tous les points, d'éviter les fuites, et d'avoir une canalisation durable. Ces garanties nous paraissent exister avec les tuyaux Chameroy et pour les petits diamètres avec les tuyaux galvanisés ou tubes en fer. Effectivement ces tuyaux ne sont altérés ni par l'action de l'air ni par celle du gaz, et les joints à vis sont reconnus les meilleurs par la pratique, c'est-à-dire ceux qui garantissent le mieux des fuites.

Tous les tuyaux peuvent être employés pour la distribution quand le gaz est bien épuré, mais quand le gaz est mal épuré nous ne saurions recommander les tuyaux étamés ou galvanisés.

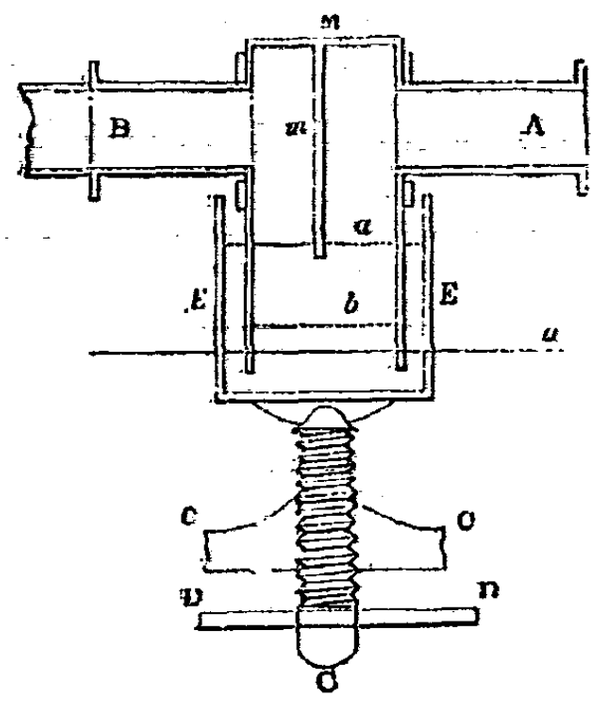
A cause des condensations il est nécessaire de disposer des réceptacles syphons partout où il y a des contre-pentes.

Nous avons dit que l'on employait, pour la sortie du gaz des gazomètres, des valves formées de disques métalliques placés perpendiculairement à l'axe du tuyau et se mouvant dans deux coulisses, etc. On a employé en Angleterre des valves disposées différemment. La première que nous allons décrire est dite à eau ou à mercure. Elle se compose (*fig.* 737) d'un réservoir en fonte plein d'eau. Un tuyau A communique directement avec le gazomètre, le tuyau B avec la conduite principale de la canalisation. Une cloche KIHG, maintenue en équilibre par un contre-poids, porte comme division la plaque LM, au moyen de laquelle on sépare à volonté les deux tuyaux, c'est-à-dire la canalisation et le gazomètre. Le jeu de cet appareil est trop simple pour nous y arrêter davantage. On a dû abandonner ce système; l'emplacement qu'il réclame est trop considérable; il ne donne point la facilité de régler à volonté la sortie du gaz, et le niveau d'eau n'est point constant, puisque le gaz dans son passage entraîne de l'eau, s'il n'est point saturé, et en laisse condenser, s'il l'est trop par rapport à la température du milieu dans lequel il se trouve.



737.

On a remplacé ce système par un autre analogue dans lequel le mercure remplace l'eau (fig. 738). Les inconvénients précités n'existent plus en partie, il n'y a plus d'évaporation, il peut y avoir et il y a certainement condensation; on règle à volonté l'ouverture par laquelle s'échappe le gaz à l'aide de la vis C, sur laquelle repose le réservoir EE. Effectivement, supposons A communiquant avec le gazomètre et B avec la canalisation. La plaque Mm étant dans la position qu'elle occupe sur la figure et la surface du liquide étant en *b*, la communication est établie entre les deux tuyaux, et la largeur de la section étant *b* et la hauteur *h*, la section d'écoulement est $b \times h$. A l'aide de la vis on peut faire varier *h*, les sections d'écoulement varieront alors dans le même rapport. On peut donc régler avec cette valve la quantité de gaz qui doit s'échapper dans la canalisation pour suffire à l'éclairage.



738.

Compteur. Nous avons déjà décrit le compteur en conseillant de placer un de ces appareils à l'entrée, l'autre à la sortie des gazomètres pour se rendre compte de la fabrication et de la dépense. Mais les compteurs ont un but bien plus général, bien plus important à remplir, et ils le remplissent à la satisfaction de tous.

A l'origine, les compagnies de gaz basaient le prix de la vente, non point au volume réel, mais d'après le volume approximatif de la dépense que pouvait faire un bec de gaz allumé de telle à telle heure. Ce prix fut dès l'abord défavorable aux compagnies, qui avaient calculé la dépense avec une flamme donnée, flamme dont les dimensions étaient bien indiquées dans l'engagement souscrit par l'abonné, mais qui étaient toujours dépassées, malgré les inconvénients qui en résultaient pour l'abonné lui-même. On dut alors prendre le volume maximum que pouvait dépenser un bec d'une disposition donnée, et baser les prix sur cette dépense; il en résultait un inconvénient plus fâcheux; les abonnés qui brûlaient bien le gaz payaient pour les autres, ou plutôt pour ceux qui en dépensaient outre mesure.

On était donc placé entre deux écueils; de plus, comment fixer un prix pour les usines qui éclairent tantôt un atelier, tantôt un autre ou une partie de la saison seulement, pour les maisons particulières où l'on éclaire aujourd'hui un appartement, demain un autre, etc.? On voit qu'il y avait là une lacune à remplir, il fallait trouver le moyen de compter le gaz dépensé par l'abonné, et lui faire payer le volume dépensé à un prix fixé d'avance; à tant le mètre cube. Le compteur que nous avons décrit est appliqué dans cette circonstance avec un grand avantage: plus de surveillance chez l'abonné; il dispose du gaz comme il disposerait de l'huile, la compagnie ne perd plus de gaz, et ce qui est bien aussi important pour elle, elle a la certitude que le gaz est toujours brûlé convenablement, puisque l'abonné a intérêt à éviter les flammes trop hautes.

Nous donnerons ici le résumé des précautions à prendre pour poser et régler la marche d'un compteur.

Cet appareil (fig. 739) doit être placé parfaitement de niveau, dans un endroit frais mais protégé contre la gelée, plus bas que les becs qu'il doit desservir. Le gaz entre dans le compteur en *i*, il en sort en *i'*. La vis B est appelée *vis de niveau*; elle sert à régler le niveau d'eau du compteur. L'ouverture A sert à verser l'eau

nécessaire dans le compteur; une ouverture fermée par une vis permet l'écoulement de l'eau versée en excès.

Tous les mois on doit s'assurer que le compteur a conservé son niveau; s'il y a une petite différence, due à l'évaporation ou à la condensation, on ajoute ou on retire un peu d'eau, après avoir pris la précaution de fermer le robinet de communication avec la canalisation de l'usine.

Malgré son emploi si général, le mécanisme du compteur est peu connu; aussi croyons-nous devoir le décrire avec quelque détail, en montrant les diverses pièces qui le composent, à l'aide des deux fig. 739 et 739 *bis*.

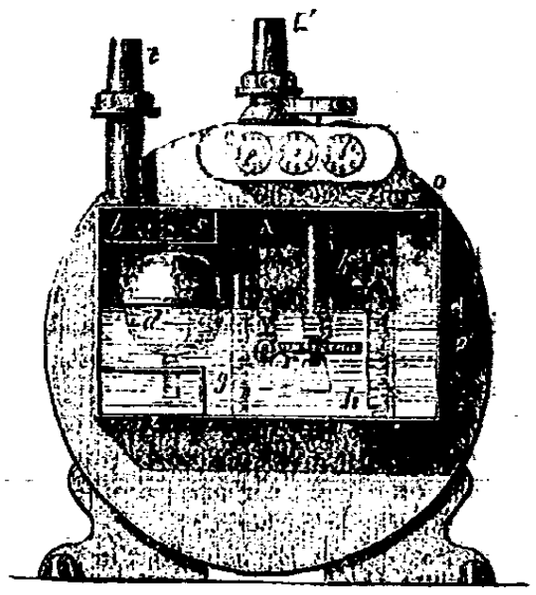


Fig. 739.

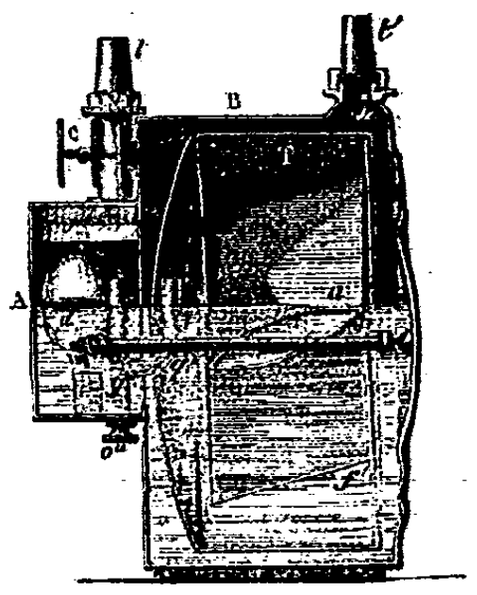


Fig. 739 *bis*.

Pour nous bien rendre compte du rôle de chacun des organes qui le composent, nous prendrons le gaz au tuyau d'arrivée, et nous le suivrons dans tout son parcours à travers les diverses parties de l'appareil.

Le gaz arrive par le tuyau *t*, pénètre dans une première chambre *b*, percée d'une ouverture qui se ferme au moyen d'une soupape *s*. Cette soupape se termine, à sa partie inférieure, par un flotteur *d*, dont nous reconnaîtrons tout à l'heure l'utilité. Le gaz se répand ensuite dans une chambre A à moitié remplie d'eau. Une seule ouverture existe dans cette boîte : c'est l'orifice du tube *g* qui s'élève au-dessus de l'eau. Ce tube *g* se recourbe en U, et sa seconde branche *g'* pénètre dans une grande boîte B, de forme circulaire, dans laquelle tourne sur un axe horizontal une grande roue ou tambour T, qui constitue l'organe essentiel du compteur. La boîte B étant également à moitié remplie d'eau, le tambour T se trouve immergé sur un peu plus que la moitié de sa circonférence. Ce tambour T est partagé en un certain nombre de compartiments par des cloisons sur lesquelles le gaz doit agir tour à tour. Sur la fig. 739 *bis* on voit d'abord une première paroi verticale formant un compartiment dans lequel pénètre le tuyau *g*. Le gaz peut donc s'échapper de la boîte A et remplir non-seulement ce premier compartiment de la roue; mais encore il pénètre dans une autre série de compartiments formés par des palettes *a*, *f'* inclinées de 45° sur les rayons de la roue. En vertu de sa grande légèreté spécifique, le gaz presse verticalement et de bas en haut sur ces palettes, et imprime au système un mouvement de rotation. Puis, après avoir cédé au tambour une partie de sa force ascensionnelle, il se répand dans la boîte B à mesure que chaque auget plein de gaz s'éloigne de la surface de l'eau; celui-ci s'échappe par la tubulure *t'* dans les tuyaux de distribution.

La capacité intérieure de la roue T ayant été déterminée, on sait quel est le volume de gaz qui doit traverser l'appareil à chacune de ses révolutions; de sorte qu'il suffit d'enregistrer le nombre de ses tours pour connaître le volume du gaz dépensé.

Le compteur qui inscrit le nombre de tours du tambour se compose : 1° d'une vis sans fin V, placée à l'extrémité de l'arbre du tambour; 2° d'une roue dentée *r*, qui engrène sur la vis V; 3° enfin d'un arbre vertical qui transmet le mouvement à trois cadrans C, renfermés dans une boîte vitrée. Les rouages de ce compteur sont tellement calculés, que chacune des dix divisions du premier cadran représente 1 mètre cube de gaz. Le deuxième cadran inscrit les dizaines de mètres cubes, et le troisième les centaines; de sorte que la lecture des trois cadrans permet d'additionner jusqu'à 1,000 mètres cubes.

Le compteur à gaz pourrait être employé tel que nous venons de le décrire; mais on a jugé nécessaire de lui adjoindre quelques organes accessoires qui assurent son fonctionnement régulier et garantissent l'exactitude de ses indications.

Toute la précision de l'appareil réside évidemment dans l'exactitude du jaugeage du tambour et dans l'invariabilité des dimensions de celui-ci. Cependant la capacité de cette roue varie avec le niveau de l'eau que contient l'appareil, niveau qui change avec la quantité de liquide entraînée par le gaz lui-même. Or, quand le niveau s'abaisse, la capacité intérieure de la roue augmente, et la Compagnie qui fournit le gaz se trouve lésée. Si, au contraire, le niveau est trop élevé, la roue débite moins de gaz à chaque révolution, et il y a perte pour le consommateur. Le compteur à gaz doit donc être muni d'un régulateur de niveau qui évite ces variations. La soupape *s* règle le niveau minimum, et voici comment : le flotteur *d* se trouvant soulevé par l'eau contenue dans l'appareil, la soupape *s*, qui en est solidaire, est ouverte; mais le niveau vient-il à baisser, le flotteur et la soupape s'abaissent; de sorte qu'à un certain moment, la boîte *b* est fermée et la distribution interrompue. Vient-on à verser de l'eau dans l'appareil et à dépasser le niveau normal, le liquide s'élève bientôt jusqu'au moment du tube *g*, tombe dans le coude qui réunit les deux branches *g*, *g'*; le passage du gaz est intercepté, et les becs s'éteignent.

Pour introduire l'eau dans le compteur d'où le courant gazeux en entraîne continuellement, surtout si une canalisation défectueuse a permis au gaz de se dessécher, et pour régler exactement son niveau, on en verse par l'ouverture *o* jusqu'à ce qu'elle s'écoule par la tubulure *o'*, soudée à la hauteur du niveau

moyen, et qui fait ainsi office de trop-plein. Si ces ouvertures o, o' étaient percées directement sur la boîte A, le gaz serait chassé au dehors chaque fois qu'on les ouvrirait. Aussi sont-elles percées sur une boîte intermédiaire e, qui ne communique avec le gaz que par un siphon h, continuellement rempli d'eau.

Ajoutons encore que l'axe du tambour T porte un rochet qui l'empêche de tourner en arrière, en sens contraire du mouvement donné par le gaz; de sorte que le consommateur ne peut, en aucune manière, faire rétrograder le tambour et les aiguilles du compteur.

Compteurs secs. — On a souvent tenté en Angleterre de combiner des compteurs à gaz sans eau, n'offrant pas par suite les inconvénients qui résultent de l'emploi de l'eau, notamment la congélation de celle-ci par le froid, lorsqu'on ne peut placer le compteur dans un endroit où il ne gèle jamais; on a d'ailleurs toujours soin de mélanger l'eau d'alcool, et au besoin on emploie celui-ci pur.

Ils consistent en des systèmes analogues à certains compteurs à eau, en des réunions de pistons alternatifs garnis de cuir comme ceux de la pompe des prêtres pour supprimer tout ajustement et qui ouvrent et ferment successivement des capacités d'un volume connu.

Ces appareils n'ont jamais réussi, leur résistance est toujours trop grande pour qu'ils puissent être mus longtemps par la faible pression du gaz, leur prix plus élevé, leur rapide usure, ne permettent pas de les mettre en parallèle avec le compteur à eau, dans lequel le liquide forme des ajustements si parfaits, faisant naître des résistances si minimes, et dont la construction en tôle de fer galvanisée ne comprend aucune substance facilement altérable comme le cuir. Très-perfectionnés en Angleterre, les compteurs secs n'ont pu être débarrassés de l'inconvénient de faire naître des oscillations du gaz, désagréables pour la vue, dès que la consommation dépasse les quantités pour lesquels ils ont été établis, oscillations que l'eau empêche de naître dans les compteurs ordinaires.

Compensateurs. — Le compteur à eau, dont la bonne qualité ne saurait être contestée, offre pourtant quelques défauts. On a senti la nécessité de le faire précéder d'un compensateur qui empêchât l'éclairage partant du compteur d'être altéré par les variations de pression du gaz dans les conduites.

Ces variations s'annulent par des appareils analogues au gazo-compensateur de M. Pauwels dont nous avons donné la description. Ne s'appliquant qu'à de petites variations de pression et à de faibles écoulements, ils sont de petites dimensions et peu coûteux; dans ceux-ci, on fait porter simplement à la cloche un petit cône qui vient fermer ou ouvrir en partie le tuyau par lequel pénètre le gaz en raison de la variation de pression. On évite ainsi les longues flammes insalubres et les consommations inutiles.

Si sans employer cet appareil on se proposait de tenir compte des variations de pression (peu importantes en général) du gaz mesuré par le compteur, seulement quant au volume, en négligeant la densité variable suivant la position du consommateur par rapport à l'usine, les dimensions du compteur, le nombre des becs allumés, voici comment nous comprendrions la solution du problème :

Supposons que l'on introduise dans la boîte du compteur un tube barométrique, ouvert d'une part à l'intérieur du compteur et de l'autre à l'extérieur. Un piston flotteur garnissant la partie qui pénètre dans le compteur, montera ou descendra avec la pression intérieure. Si donc ce flotteur porte une tige munie d'un pignon, comme l'appareil du dynamomètre totalisateur (fig. 683), et que la rotation du compteur fasse tourner un cylindre denté partiellement comme dans ledit appareil, on aura un système qui constitue un compteur à l'aide des causes d'erreurs que nous avons indiquées.

En effet, si le totalisateur est gradué pour donner les indications qui correspondent à un écoulement régulier lorsque le pignon correspond à une roue de vingt dents; s'il s'élève et remonte à vingt et une dents, l'augmentation de la pression donnera un accroissement de 1/21, et si la graduation est convenable, l'indication correspondra à l'écoulement du volume mesuré par le compteur sous la pression normale. L'inverse aura lieu si, la pression diminuant, le pignon correspondait à dix-neuf ou dix-huit dents sur le cylindre partiellement denté.

Composition du gaz de la houille. — Les produits de la distillation de la houille sont complexes, et variables surtout quant à leurs proportions en raison de la nature des houilles et des températures de la distillation. Nous avons reconnu :

L'eau ammoniacale, formée par divers sels ammoniacaux, et surtout le carbonate, le sulfhydrate et le cyanhydrate d'ammoniaque.

Le goudron, dans lequel on trouve, parmi de nombreux hydrocarbures voisins les eaux des autres : la benzine, la naphtaline, l'acide phénique.

Enfin, le gaz, dans lequel l'analyse a fait reconnaître les corps ci après : hydrogène bicarboné (gaz oléfiant); hydrogène protocarboné (gaz des marais); hydrogène; oxyde de carbone; azote; hydrocarbures liquides; sulfure de carbone.

Les hydrocarbures liquides dont le rôle est, comme nous allons le dire, considérable, sont : la benzine, le toluène, le cumène.

Les gaz peu carbonés, l'hydrogène, l'oxyde de carbone, l'hydrogène protocarboné, forment la partie peu éclairante de gaz de houille, étant peu carbonés; ils sont surtout producteurs de chaleur. Ils se rencontrent en quantité d'autant plus grande que la distillation s'est effectuée à une température plus voisine du rouge blanc. Les gaz carbonés et les hydrocarbures liquides comme la benzine, contenant un excès de carbone par rapport à l'hydrogène, fournissent les molécules de carbone qui donnent à la flamme son éclat, son pouvoir éclairant.

Ce rôle des hydrocarbures dissous dans les gaz, entraînés par eux, ne doit pas être oublié, car il rend compte de nombre de phénomènes, notamment de la diminution du pouvoir éclairant du gaz préparé depuis longtemps, qui renferme par suite une moindre proportion d'hydrocarbures qui se sont en partie déposés.

Composition de la flamme à diverses hauteurs. — La composition de la flamme du gaz d'éclairage à diverses hauteurs a été examinée par Landolt. Le gaz débarrassé d'acide carbonique, d'oxygène et de vapeur d'eau, était envoyé, sous la pression d'une colonne d'eau de 17 lignes de Paris, dans une boîte de laiton, ayant à la partie supérieure une ouverture de 7^{mm} et un tube du même diamètre à peu près passant à frottement doux à travers la base. Le gaz trouvait une issue à travers la fente étroite qui était ainsi formée et le tube était réuni à un aspirateur qui agissait sur le tube de laiton placé dans la flamme. Ces analyses, sans être applicables à tous les gaz préparés avec des houilles de formations différentes, peuvent être regardées comme des approximations assez grandes pour rendre bien compte des faits, qu'il serait souvent impossible de comprendre si on ne tenait pas compte de leur composition.

La table ci-après donne la composition du gaz d'éclairage purifié (L) et celle de la flamme à diverses hauteurs (D^{mm}) au-dessous du bec fendu, en centièmes de volume (F).

COMPOSITION DU GAZ D'ÉCLAIRAGE.

D	0mm		10mm		20mm		30mm		40mm		50mm	
	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F
Hydrogène	30,30	20,34	41,04	12,45	44,00	2,23	44,00	4,99	41,37	3,41	41,37	2,59
Gaz des marais	40,56	30,31	40,71	25,14	38,40	11,52	38,40	6,92	38,30	2,82	38,30	0,79
Oxyde de carbone	4,95	0,59	7,64	11,71	5,73	5,71	5,73	4,68	5,56	5,26	5,56	5,45
Éthylène	4,04	3,80	5,10	3,59	4,13	1,86	4,13	1,55	5,00	0,90	5,00	0,60
Propylène	3,15	2,75	2,18	2,05	3,14	1,34	3,14	1,00	4,34	0,77	4,34	0,58
Oxygène	—	0,59	—	0,65	—	0,19	—	—	—	—	—	—
Azote	8,00	26,40	2,75	32,20	4,23	57,25	4,23	59,18	5,43	64,01	5,43	66,59
Acide carbonique	—	1,74	0,58	1,95	0,37	4,11	0,37	4,81	—	5,62	—	7,01
Eau	—	7,48	—	9,66	—	15,79	—	16,87	—	17,19	—	16,39

L'acétylène, qui a été reconnu exister dans le gaz d'éclairage, n'était pas découvert lorsque ces expériences ont été faites, c'est pourquoi on ne le voit pas figurer ici; il est dosé comme avec les autres gaz de composition peu différente. D'après les résultats ci-dessus, Landolt a calculé les proportions de gaz et d'air qui, par leur action mutuelle, forment les diverses parties de la flamme. Les résultats sont un peu discordants selon que le carbone, l'hydrogène ou l'azote sont pris pour base de calcul. Les résultats les plus probables sont consignés dans la table suivante, dans laquelle A est le volume de l'air atmosphérique mélangé avec 100 parties de gaz; 100 + A = M le volume primitif du mélange non brûlé, V le volume du gaz de la flamme.

COMPOSITION DE LA FLAMME DU GAZ.

D	0mm		10mm		20mm		30mm		40mm		50mm	
A	27,08		45,43		172,76		227,73		335,30		381,66	
M	127,08		145,43		272,76		327,73		432,30		481,65	
V	111,41		120,09		245.96		311,37		422,59		461,23	
	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
Hydrogène	30,30	22,66	41,04	14,95	44,00	5,49	44,00	15,54	41,37	14,50	41,37	11,95
Hydr. protocarboné	40,36	33,77	40,71	30,20	38,40	28,34	38,80	21,55	38,80	11,92	38,30	3,64
Oxyde de carbone	4,95	7,34	7,64	14,07	5,73	14,05	5,73	14,58	5,56	22,21	5,56	25,14
Ethylène	4,04	4,23	5,10	4,31	4,13	4,58	4,13	4,83	5,00	3,80	5,03	2,77
Propylène	3,15	3,06	2,18	3,18	3,14	3,29	3,14	3,11	4,34	3,25	4,31	2,68
Oxygène	5,67	0,66	9,52	0,78	36,21	0,47	47,73	—	70,28	—	70,99	—
Azote	20,41	29,41	38,66	38,66	140,78	140,78	184,23	184,23	270,45	270,45	307,10	307,10
Acide carbonique	—	1,94	—	2,34	0,37	10,11	0,34	14,98	—	23,76	—	32,34
Eau	—	8,34	—	11,60	—	38,85	—	52,55	—	72,67	—	75,61
	127,08	111,43	145,43	120,00	272,76	245,96	327,73	311,37	435,30	422,59	481,66	461,23

L'accroissement subit de la quantité d'air mélangée avec le gaz entre les hauteurs de 10 à 20mm est attribué par Landolt à l'effet du verre. La proportion d'acide carbonique n'augmente pas vers la partie supérieure de la flamme autant qu'on aurait pu s'y attendre, probablement à cause de la réduction de ce gaz en oxyde de carbone, ou par l'effet du carbone incandescent de la flamme, ou plutôt résulte des phénomènes de dissociation constatés par M. Deville; c'est ce que montre l'accroissement soudain de la proportion d'oxyde de carbone entre la hauteur de 30 à 40 millimètres. Les quantité des divers gaz combustibles diminuent de bas en haut, en raison de leur combustibilité. De 0 à 20mm la décroissance de l'oxygène est très-rapide; l'augmentation de la proportion de ce gaz dans la flamme au-dessus de la hauteur de 20mm est due probablement à la réduction par le charbon de la vapeur d'eau et aussi à sa dissociation. Le gaz des marais diminue bien plus lentement et les hydrocarbures lourds encore davantage, ces derniers restant dans la flamme sans éprouver presque d'altération jusqu'à une hauteur de 40mm et ne brûlant que dans la partie la plus élevée.

La lumière la plus brillante se produit dans la partie de la flamme située au-dessus du sommet du cône obscur. Dans une flamme de gaz de 100mm de hauteur dans laquelle le cône obscur atteint 65mm, ce point est à 70mm, et en posant l'éclat de ce point = 100, celui des autres parties de la flamme est ainsi :

Haut. au-dessus du bec	80mm	70mm	60mm	50mm	40mm	30mm
Éclat au bord	66	100	77	47	20	4
Éclat au milieu	66	100	59	24	5	0

Du pouvoir éclairant. Le pouvoir éclairant du gaz provenant de la houille est plus faible que celui du gaz provenant de l'huile, et le tableau suivant marque dans quelles proportions; dans certaines limites un

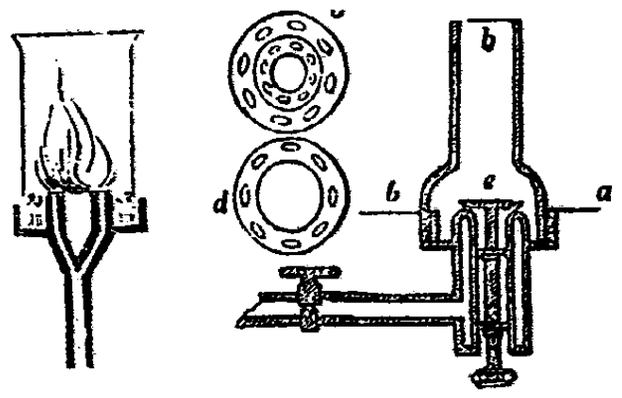
gaz est d'autant plus éclairant qu'il est plus dense, qu'il est plus carburé.

DENSITÉ, ou pesanteur spécifique.		PROPORTION DE LUMIÈRE, produite par le gaz provenant de la houille — de l'huile.		
Gaz de houille.	Gaz d'huile.			
0,659	0,848	100	:	140
0,578	0,940	100	:	225
0,605	1,110	100	:	250
0,407	0,940	100	:	354
0,429	0,965	100	:	356
0,508	1,175	100	:	340
Moyenne 0,529	0,960	100	:	272

La qualité de la houille, pour la production du gaz, va évidemment en décroissant dans le tableau qui précède. On emploie dans la pratique le chiffre moyen 100 : 272 comme le chiffre vrai ; toutefois il vaut mieux tenir compte dans chaque circonstance de la qualité du charbon.

Des becs. On donne ordinairement aux becs la forme des becs d'Argand (fig. 740); un raccord soudé au conduit reçoit un petit cylindre qui se bifurque en deux branches; ces branches portent un anneau creux dans lequel on soude à la partie supérieure une couronne

Fig. 740. Fig. 741. Fig. 742.



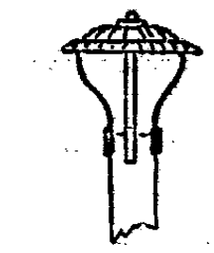
métallique percée de trous circulaires, dont le diamètre varie de 1/4 à 1/2 millimètre; l'air destiné à brûler le gaz vient le lécher extérieurement et intérieurement; une galerie disposée convenablement sur cet appareil reçoit un verre cylindrique de 6 centimètres environ de diamètre sur 18 de hauteur; ce verre a pour but d'activer et de régulariser la combustion, en soustrayant la flamme à l'action des courants d'air. Les fig. 741 et 742 représentent le bec d'Argand tel qu'on le construit habituellement.

Le bec Manchester, fort employé, est représenté fig. 742 *bis*. Il a ordinairement la forme d'un cône tronqué dont le sommet est percé de deux trous cylindriques dont les axes sont penchés l'un vers l'autre, de façon que les deux jets de gaz se rencontrent près de leur sortie; de ce choc résulte un aplatissement de la flamme, qui s'étale dans un plan perpendiculaire à l'orifice de sortie. Ce genre de brûleur fournit une vive lumière et est plus avantageux que le bec-éventail, qu'il remplace fréquemment aujourd'hui.

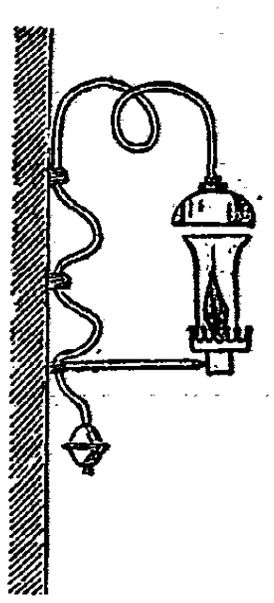
Fig. 742 *bis*.

Ce genre de becs, qu'on appelle aussi chauve-souris, est simple mais peu économique; ces becs consistent essentiellement en une espèce de demi-sphère en acier de 6 millimètres de

diamètre réunie à un pas de vis par une petite gorge. Dans cette sphère, qui est creuse, on pratique une ouverture avec un trait de scie, et cette ouverture a une largeur de 1/6 de millimètre environ; elle sert à l'écoulement du gaz, dont la flamme prend à peu près la forme d'une aile de chauve-souris, d'où ils ont tiré leur nom. Ils sont vissés dans un petit cube de cuivre qui porte un pas de vis intérieur, et qui est lui-même soudé à la conduite principale.



743.



La fig. 743 représente l'appareil dit fumivore, qui n'a pour objet que d'éviter que le gaz ne noircisse les plafonds. Celui représenté fig. 744, et qui porte le même nom, sert à condenser et à refroidir les produits de la combustion ; il paraît offrir quelques avantages, d'après les expériences de M. Payen, en modérant la vitesse de l'air affluent.

Plusieurs perfectionnements ont été apportés dans ces derniers temps aux becs qui servent dans l'éclairage au gaz, et constituent des progrès très-importants, vu la multiplicité des appareils auxquels ils s'adressent, et les résultats considérables que donne l'économie la plus minime apportée à chacun d'eux.

Un des modes de construction que nous devons citer, et qui exige une fabrication d'assez grande précision, est celui qui consiste à remplacer les trous de sortie du gaz par une fente circulaire extrêmement fine. La nappe de gaz est plus régulière et la combustion plus constante.

Un perfectionnement important pour nombre d'applications est celui dû à M. Macaud, la combinaison de l'accessoire aux becs qu'il a imaginé. Il enveloppe toute la partie inférieure du bec, celle par laquelle arrive l'air qui alimente la combustion, d'une toile métallique très-fine. Tout courant d'air, tel que celui qui résulte de l'ouverture d'une porte, se trouve rompu, ne peut plus agiter la flamme et produire de la fumée par une combustion incomplète. Les oscillations de la flamme du gaz, fatigantes pour la vue quand on fait un travail délicat, disparaissent entièrement. Nous ne parlerons pas des diverses dispositions équivalentes à la précédente, telles que l'emploi pour envelopper la partie inférieure du bec d'une bande de cuivre portant de petites ouvertures rectangulaires.

Depuis quelques années, on a fait usage de plus en plus de becs en porcelaine. La porcelaine présente sur le cuivre des avantages signalés : d'abord elle n'est attaquée ni par les impuretés du gaz (quand il est impur), ni par la haute température résultant de la combustion du gaz. L'absence d'oxydation fait que les trous très-petits se crassent moins facilement; de là moins d'entretien et une flamme plus régulière, plus belle. Enfin, ces becs sont plus propres que ceux en cuivre, et la blancheur de la porcelaine donne de l'éclat à tout l'appareil. Quelle que soit la forme des becs, on peut tous les faire en porcelaine.

Système Guyot. M. Guyot, pharmacien à Paris, a inventé un système propre à régler le courant d'air par la partie supérieure du bec, système qui, d'après les expériences faites à la Société d'encouragement

ÉCLAIRAGE.

permet de réaliser une économie de 25 p. 100 dans la consommation du gaz d'éclairage, pour la même quantité de lumière, comparativement aux becs habituellement employés. Ce résultat d'une meilleure utilisation des produits gazeux, dont aucune partie n'échappe plus à la combustion, est obtenu par l'emploi d'un disque que l'on place à la partie supérieure du vase ou cheminée d'un bec de gaz, et que reproduit la fig. 745.

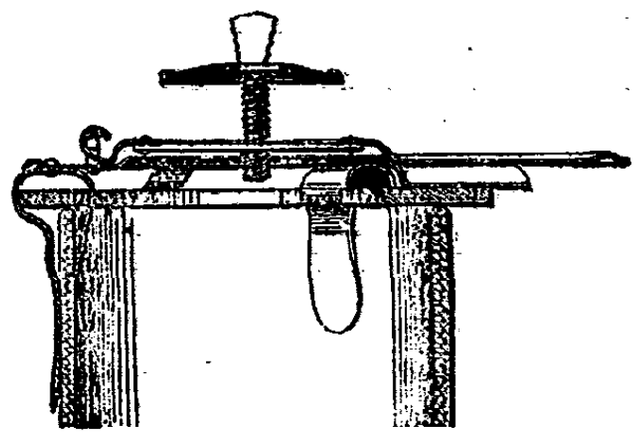


Fig. 745.

Le disque est fixé sur le verre au moyen d'agrafes; au centre est pratiquée une ouverture fermée par une soupape à charnière servant à l'allumage, pour éviter les explosions résultant du mélange du gaz éclairant avec l'air atmosphérique. Au milieu de cette soupape à charnière se trouve un deuxième disque mobile à l'aide d'une vis, lequel disque, s'éloignant ou se rapprochant de la soupape, modifie la vitesse du courant d'air. Afin d'éviter les ruptures du verre par le contact du disque en cuivre et du verre, M. Guyot interpose entre eux un disque ou biscuit de porcelaine qui remédie tout à fait à cet inconvénient.

Bec Gillard. M. Gillard est inventeur d'un procédé pour la fabrication du gaz hydrogène pur, par la décomposition de l'eau en vapeur projetée sur des charbons incandescents. Ce gaz, n'étant pas éclairant, ne pouvait être utilisé que par la construction d'un bec particulier.

M. Gillard a obtenu ce résultat en plaçant au milieu de la flamme une petite spirale fabriquée avec un tissu de platine. Le gaz hydrogène brûle d'abord avec une petite flamme bleue sans éclat, sans pouvoir éclairant; mais bientôt la petite spirale passe au rouge blanc, et projette une lumière blanche extrêmement intense. Nous revenons plus loin sur cette disposition.

De la combustion. La combustion n'est parfaite que dans la partie blanche de la flamme, et n'a lieu qu'à une certaine distance des orifices. La partie inférieure est toujours bleuâtre, ce qui prouve qu'en cet endroit le gaz brûle sans être préalablement décomposé; c'est par l'effet d'une décomposition partielle, comme nous l'avons déjà dit, que le charbon est précipité, et, étant incandescent, donne à la flamme sa vivacité et son pouvoir éclairant.

De ce que le gaz en brûlant dans des conditions différentes possède un pouvoir éclairant tout à fait variable, il en résulte qu'il est d'une extrême importance que les becs soient construits dans les conditions les plus favorables. Pour qu'aucune partie du gaz n'échappe à la combustion, il faut que la pression du gaz soit très-petite, comprise entre 3 et 6 millimètres d'eau, et que le bec satisfasse à diverses conditions que nous analyserons en rapportant les résultats de quelques recherches expérimentales sur le bec d'Argand.

Influence du courant d'air. MM. Cristison et Turner ont fait des expériences sur les variations du pouvoir éclairant d'un bec, en faisant varier l'arrivée de l'air. Sur une flamme de 1 centim. de hauteur, ils ont vu la lumière doubler, en ressorrant le courant d'air jusqu'à ce qu'il ne fût plus que de 12 millim. carrés. Il faut donc éviter l'excès d'air qui est nuisible, comme le serait son défaut, qui occasionnerait une flamme rougeâtre et sans éclat. Le diamètre le plus convenable à donner à la colonne d'air intérieure est de 9 à 10 millimètres, dimension un peu trop forte, mais qui donne toujours une lumière blanche et peu sujette à fumer.

Nombre de trous. Le gaz sortant par de petits trous sous forme de jets qui s'épanouissent et se réunissent pour former une colonne incandescente, ce qui a lieu d'autant plus facilement que le nombre des trous est plus considérable, on est parvenu par expérience aux résultats suivants :

Becs à	8	10	15	20	25 *trous*
Lumière.	360	360	391	409	382
Dépense.	367	318	296	289	375
Intensité relative.	98	118	132	141	139

Le nombre de 20 trous, généralement adopté, est donc le plus avantageux, et la distance la plus favorable entre ces trous est de 3 millimètres.

La diminution de pression qui résulte de la colonne d'air chaud renfermé dans la cheminée de verre, détermine et facilite l'écoulement régulier du gaz maintenu dans les tuyaux à une pression constante. Cependant, pour une même dépense, une cheminée trop haute fait brûler le gaz trop vite sans qu'il ait le temps de se décomposer, condition désavantageuse, et qui fait perdre de l'intensité de la lumière, au-dessus de la hauteur de $0^m,15$ à $0^m,18$ admise en pratique, et au delà de laquelle les verres cassent trop fréquemment.

Résumé. — Comme l'indiquent les principaux résultats constatés plus haut, c'était à tort que l'on croyait autrefois que le gaz ne donnait pas son maximum d'intensité, le plus souvent parce qu'une partie plus ou moins grande du gaz échappait à la combustion; presque toujours la perte de pouvoir éclairant provient d'une combustion trop rapide.

Pour brûler avantageusement, le gaz doit s'échapper lentement, sous une faible pression, par de nombreux, de grands orifices, dans les limites propres à conserver à la flamme la fixité et la forme convenables. C'est pour éviter les effets de l'accroissement de pression dans les conduits, que les becs nouveaux ont été presque tous munis de capacités formant réservoir, et encore mieux d'un régulateur en toile métallique très-fine et d'un disque percé d'un nombre de trous en rapport avec l'importance du débit du bec. Cette disposition assure à l'appareil une limite extrême que les plus fortes pressions ne peuvent faire dépasser.

Le savant M. Dumas, étudiant la question du maximum d'effet utile du gaz pour l'éclairage public de la ville de Paris, est arrivé aux mêmes résultats et a fait adopter le bec à large fente.

Décomposition du gaz. — Comme nous l'avons dit, le gaz provenant de la houille est d'autant plus éclairant qu'il contient plus de carbone, et il contient d'autant plus de carbone qu'il est plus nouvellement fabriqué. Cet effet est évidemment dû surtout à la précipitation des hydrocarbures en suspension dans le gaz. Il en résulte qu'on doit préparer le gaz à mesure de sa dépense, et c'est ce qui s'accorde parfaitement avec les moyens dont nous pouvons disposer pour l'emmagasiner.

Le gaz provenant de la distillation de l'huile, récemment préparé, a pour pesanteur spécifique 1,054; il donne la lumière d'une chandelle de 6 au 1/2 kilogr.

en consommant par heure 506 centimètres cubes. Si on le conserve deux jours, il perd une partie du carbone en excès qu'il renferme, par précipitation, et ne donne plus la même lumière qu'en consommant 544 centimètres cubes ; enfin, après quatre jours, la dépense à faire pour obtenir le même résultat s'élève à 607 centimètres cubes de gaz.

La détérioration du gaz de houille est plus rapide ; ainsi, nouvellement préparé, la dépense pour produire la lumière d'une chandelle est par heure 4012 centimètres cubes ; deux jours après, 4087 c. c., et quatre jours après, 1165 c. c.

Prix du gaz.—Nous ne fatiguerons pas le lecteur par une série de chiffres qui prouveraient l'économie de l'emploi du gaz. Nous avons rapporté, à l'article ÉCLAIRAGE du *Complément* de cet ouvrage, les expériences de M. Regnault faites dans le but d'en donner le prix de revient à Paris, prix minime auquel il y a à ajouter les frais généraux, les intérêts du capital d'établissement, les pertes, etc. Pour le moment, nous nous contenterons de citer un seul chiffre : le gaz est vendu à Paris à raison de 30 centimes le mètre cube. Avec un mètre cube de gaz, on peut entretenir pendant 10 heures un bec consommant 100 litres à l'heure et donnant plus de lumière que quinze chandelles.

Gaz portatif non comprimé. Une entreprise a quelque temps transporté le gaz à Paris, pour le service des grands établissements, dans de grandes voitures renfermant du gaz contenu dans une enveloppe imperméable. Par une pression exercée au moyen d'une espèce de filet, le gaz était envoyé dans un gazomètre où il était emmagasiné pour la consommation de la journée. La déperdition continue du gaz à travers des étoffes soi-disant imperméables et l'énorme volume de ces voitures pour transporter un poids de gaz insignifiant, rendaient le succès de ce système impossible.

Gaz portatif comprimé. Dans les premières années de l'emploi du gaz de houille, où il semblait qu'on ne pourrait jamais regagner les dépenses considérables qu'entraînait la canalisation, on a fait de très-grandes dépenses pour établir des exploitations de gaz portatif, comprimé à des pressions considérables. Après avoir été abandonné, ce système a été repris avec quelque succès. La difficulté de comprimer à 20 atmosphères le gaz en évitant les fuites, celle d'obtenir des écoulements de gaz constants, pour que la lumière ne varie pas à mesure que le gaz se brûle, ont été résolues d'une manière satisfaisante par la Compagnie du gaz portatif de Paris, en comprimant le gaz dans des faisceaux de tubes de fer, dans lesquels le gaz est comprimé à l'aide d'une pompe foulante à 12 ou 15 atmosphères sans aucun danger d'explosion à cause du faible diamètre des tubes, et en employant le régulateur de sortie du gaz décrit à l'article RÉGULATEUR.

Nous ne dirons ici quelques mots que de la pompe foulante. Celle-ci doit être à piston plongeur, allongé, maintenu dans un long stuffing-box, et le corps de pompe toujours plongé dans l'eau pour absorber les quantités très-notables de chaleur que dégage le travail de compression.

Comme l'avait montré M. Faraday, la compression donne lieu à la formation de diverses huiles et hydrocarbures, qui se gazéifient dans les réservoirs métalliques après s'y être liquéfiés. A cause de la cherté du transport, il faut employer un gaz très-éclairant et très-stable, comme celui produit par la distillation du boghead, ce qui permet, sous la pression élevée employée, d'emmagasiner dans une voiture traînée par deux ou trois chevaux, fort lourde à cause du poids des tubes en fer, 400 à 450 fr. de gaz, qui va se déverser dans les réservoirs également tubulaires, placés chez les consommateurs. Ce système rend des services dans les lieux que n'atteint pas la canalisation des usines à gaz courant, mais a le défaut d'exiger une installation coûteuse chez chaque consommateur. La Compagnie tend aujourd'hui à établir de petites canalisations pour réunir les consommations de plusieurs personnes, desservies par une petite usine renfermant le régulateur commun, ou mieux le gazomètre rempli chaque jour par les voitures de l'établissement central. Le succès de semblables dispositions, la multiplication des becs ainsi alimentés, conduirait évidemment bientôt à supprimer les dépenses de la compression et du transport du gaz, et à créer de petites usines de distillation de houille pour les desservir. En effet, les simplifications apportées chaque jour dans cette industrie permettent d'établir avec bénéfice des usines de moins en moins considérables, et on voit se multiplier les appareils, d'un maniement facile, qui conviennent pour l'éclairage au gaz d'établissements d'importance médiocre.

Gaz de l'huile, de la résine, gaz à l'eau, etc.

On a tenté à plusieurs reprises, dans ces dernières années, de remplacer la houille dans la production du gaz par diverses substances, notamment les huiles. Ces essais n'ont pas été couronnés de succès, et on aurait pu facilement le prévoir. S'il est vrai que les gaz ainsi produits sont en général d'une purification facile par l'absence d'hydrogène sulfuré, de sulfure de carbone et de sels ammoniacaux, ils ont le grand désavantage de coûter plus cher. En effet, à Paris du moins, le prix élevé auquel se vend le coke couvre presque entièrement la dépense d'achat de la houille qui a servi à le produire, de telle sorte que la matière première ne coûte presque rien. On ne pourrait donc songer à établir de semblables exploitations que dans des conditions tout à fait spéciales. Ainsi l'éclairage au gaz de résine pourrait être avantageux dans le cœur de la Russie, où la résine se trouve à bon marché, tandis que la houille est à un prix élevé ; mais pour la France et les pays où la houille est à un prix modéré, l'expérience n'a que trop prouvé que l'exploitation n'en saurait être avantageuse. Passons rapidement en revue les divers procédés qui ont été employés.

Gaz de l'huile. La conversion de l'huile en gaz se fait avec la plus grande facilité. L'appareil consiste en une cornue, dans laquelle on place du coke, destiné à diviser l'huile qui tombe dans la cornue, et, en augmentant les surfaces, d'accélérer la décomposition à une température modérée. Il faut de temps en temps renouveler le coke, dont les pores s'obstruent de matières charbonneuses.

L'huile est conduite dans la cornue au moyen d'un tuyau communiquant avec un réservoir supérieur dont le niveau reste constant. L'écoulement se règle au moyen d'un robinet.

Quand l'appareil ne doit pas alimenter un nombre considérable de becs, il peut être singulièrement simplifié en supprimant le gazomètre et le remplaçant par une cloche d'un volume peu considérable, dont les mouvements d'élévation et d'abaissement règlent l'arrivée de l'huile en faisant tourner le robinet d'admission.

On a cherché à diminuer l'inconvénient résultant du prix élevé de l'huile, en distillant directement les graines oléagineuses elles-mêmes, mais, ainsi qu'on aurait pu le prévoir, on n'a obtenu que de fort mauvais résultats. La distillation de la graine produit beaucoup de gaz oxyde de carbone, dont le pouvoir éclairant est presque nul.

Comme le dit M. Dumas, si on avait d'abord inventé le gaz de la houille, puis qu'un inventeur eût trouvé le moyen de le rendre liquide, de supprimer la dépense

ÉCLAIRAGE.

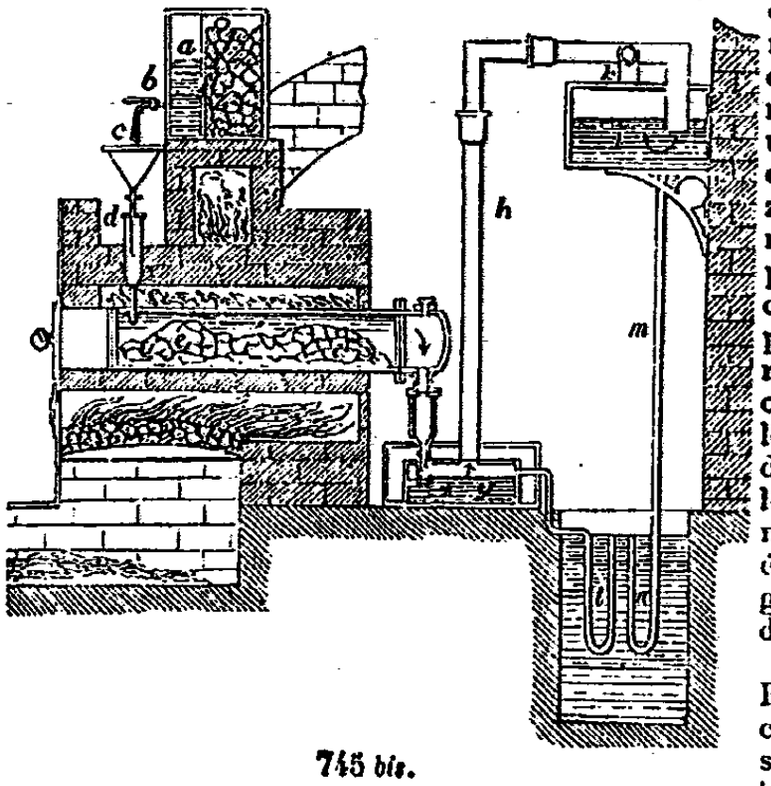
des usines, des tuyaux de distribution, etc., en permettant à chacun d'employer ce liquide dans des appareils portatifs, tout le monde eût admiré cette invention. Or, ce gaz liquide nous le possédons dans l'huile, et il paraît plus naturel de l'employer directement que dans de coûteux appareils.

Si la question économique condamne absolument, en thèse générale, l'emploi du gaz de l'huile, bien qu'à volume égal il soit trois fois plus éclairant que le gaz de la houille, il n'en est pas de même dans quelques cas particuliers, où des matières grasses se trouvent en abondance comme résidus sans emploi.

C'est un des beaux travaux du savant D'Arcet d'avoir prouvé qu'on pouvait ainsi utiliser avec grand avantage les *eaux savonneuses* produites en quantité très considérable dans le désuintage des laines. C'est par ce procédé que la ville de Reims et plusieurs autres villes ont été longtemps éclairées.

Gaz de la résine. La résine soumise à une chaleur rouge donne en grande abondance un gaz d'un pouvoir éclairant double, à volume égal, de celui de la houille, de l'eau et diverses huiles volatiles qui se décomposent difficilement à cause de leur volatilité.

La résine déposée en *f* (fig. 745 *bis*), et mélangée



745 *bis*.

avec les huiles volatiles des opérations précédentes, traverse une gaze métallique qui arrête toute impureté dans le réservoir *a*, à mesure qu'elle est liquéfiée par le feu. Elle en sort par un robinet *b* et tombe dans un entonnoir d'où elle passe dans la cornue *e* renfermant du coke incandescent. Les produits de la distillation se rendent dans des réfrigérants *g*, *h*, renfermant de l'eau, puis par un tuyau *k* dans le gazomètre. Les huiles volatiles condensées par les réfrigérants se rendent par les syphons *l*, *n* dans une citerne.

M. Chaussenot, qui a établi dans une filature un appareil de ce genre, qui fonctionne très bien, régularise l'arrivée de la résine par une cloche, comme dans l'appareil dont nous avons parlé ci-dessus pour la préparation du gaz de l'huile.

Il a aussi obvié à l'engorgement du conduit d'arrivée, qui se produit fréquemment par la décomposition de la résine, en y faisant passer par une broche que l'on fait mouvoir par le moteur de l'usine.

Gaz des hydro-carbures. Nous devons consigner ici comme une solution remarquable et économique de l'emploi du gaz pour les consommations de cent à trois cents becs, l'emploi des hydrocarbures liquides extraits de la houille, ou plus simplement de l'admirable houille dite boghead d'Écosse que l'on peut considérer comme un hydrocarbure. Les appareils, en partant de substances plus pures, sous un moindre volume, se simplifient, bien qu'au fond équivalents à ceux des grandes usines; aussi ils se multiplient chaque jour. La quantité de gaz que l'on peut obtenir est, en moyenne, cinq cents fois le volume à distiller, et la lumière certainement beaucoup plus vive que celle du gaz ordinaire, par suite de la plus grande densité des gaz produits. M. D'Hurcourt établit, d'une manière assez satisfaisante, que, pour un éclairage régulier de cent becs, le prix du gaz ne dépasserait pas 5 centimes par bec et par heure, les hydrocarbures supposés à 20 francs les 100 kilog., prix plutôt forcé que trop faible. (Voy. HYDROCARBURES, GAZ DE TOURBE, voy. *Complément*, article ÉCLAIRAGE.)

Gaz au bois. Tout le monde sait que l'ingénieur Lebon, le père de l'éclairage au gaz, avait d'abord obtenu le gaz en distillant le bois; on tente aujourd'hui d'employer aussi cette matière première.

Le gaz qui sert à l'éclairage du chemin de fer de Munich est fabriqué avec du bois. L'introduction de ce système en Bavière est due au professeur Pettenkoffer. On emploie pour cette fabrication une seule cornue, mais de dimensions telles qu'elle pourrait suffire à de grands établissements. Elle contient 50 kilog. de bois de sapin fendu, et fournit au gazomètre environ 10 mètres cubes de gaz à l'heure. La charge dure une heure et demie. La cornue est chauffée à la tourbe, et le chauffage coûte environ 30 centimes (10 kreutzers) l'heure. S'il y avait plusieurs cornues dans le même fourneau, la dépense serait encore moindre en proportion. Le charbon de bois que l'on retire de la cornue atteint 19 à 20 pour 100 du poids du bois employé. En retirant le charbon de la cornue, il est reçu dans des étouffoirs : le charbon de sapin ainsi obtenu est beaucoup plus compacte que celui produit par les systèmes ordinaires de la carbonisation ; on obtient de 5 à 7 pour cent du poids d'un goudron qui égale le vernis employé par les fabricants de laque. La lumière d'un bec qui consomme 127 litres à l'heure égale en intensité celle de 15 bougies de cire. Un des grands avantages du gaz au bois est sa rapide production.

Gaz à l'eau. En février 1834, M. Jobard prit en Belgique un brevet pour la fabrication d'un gaz d'éclairage au moyen de la décomposition de l'eau; il s'associa peu de temps après à Selligue, qui prit un brevet en France, et exploita ce procédé à l'usine de Batignolles (aujourd'hui usine à la houille). Il obtenait d'abord de l'hydrogène pur, qu'il enrichissait ensuite en le faisant passer dans un vase où distillait soit de l'huile de schiste, soit du goudron L'appareil qu'il employait se composait de trois cornues verticales, l'eau arrivant en petite quantité par la partie supérieure de la cornue de gauche, la traversait en descendant et en remontant la deuxième cornue, remplie comme la première de charbon de bois; le gaz produit passait dans la troisième cornue, dans laquelle il rencontrait de l'huile de schiste qui se décomposait en coulant le long de chaînes de fer. De là, enfin, les gaz carburés produits se rendaient au gazomètre. L'expérience a prouvé à M. Selligue que le véritable moyen, au moins en France, de tirer un parti utile des curieux résultats qu'il avait obtenus de la distillation des schistes, était de préparer des huiles minérales pouvant servir pour l'éclairage comme les huiles grasses, et que les limites du prix de revient des huiles étaient bien plus reculées pour cet emploi que pour la fabrication du gaz.

L'insuccès du procédé Jobard et Selligue à Batignolles, à Anvers et dans plusieurs autres villes, avait fait à peu près oublier le gaz à l'eau, lorsque en 1846

ou 1847 M. Gillard vint remettre la question sur le tapis; seulement, au lieu de vouloir rendre éclairante la flamme de l'hydrogène (qui dans les conditions ordinaires donne beaucoup de chaleur et pas de lumière), en chargeant le gaz de vapeurs carburées qui tendent à s'en séparer, il arrive au même but en interposant dans la flamme une espèce de mèche permanente, indécomposable et inaltérable, un fil de platine. C'est là une application heureuse d'un principe connu.

Pour obtenir le gaz hydrogène, M. Gillard décompose la vapeur d'eau dans une cornue contenant du charbon de bois, et chauffée au rouge blanc. L'oxygène de l'eau s'unit au charbon pour former de l'acide carbonique qu'il faut absorber, et l'hydrogène se rend au gazomètre.

M. Magnier, ingénieur, qui a tenté, dans les ateliers de MM. Christofle et comp., à Paris, l'éclairage par le système Gillard, a publié, dans le n° 1 du *Journal de l'éclairage au gaz*, un travail très intéressant, dans lequel nous allons chercher une bonne partie des renseignements suivants.

L'appareil se compose de deux cornues en fonte de 2 mètres sur $0^m,34$ et $0^m,024$ d'épaisseur, montées dans un four ordinaire à gaz, et garanties pour résister le plus longtemps possible à une haute température. Il y a là une grande difficulté : la fonte grise de deuxième fusion est fusible à 1,200 degrés ; de la chaleur orange clair à celle orange blanc, il y a 12 à 1300 degrés, et pour obtenir un résultat satisfaisant il faut chauffer les cornues aussi près que possible de cette couleur ; aussi, pour arriver à ce résultat et ne pas user trop vite les cornues, il faut une construction parfaite et d'excellents chauffeurs quand on emploie des cornues en fonte (1).

Les cornues en terre simplifieraient singulièrement la question si on pouvait les appliquer à ce travail ; mais leur porosité y met un obstacle, le gaz hydrogène, le plus léger de tous les gaz connus, passerait par les pores. Ici comme dans la fabrication à la houille on demande un vernis peu fusible, et M. Magnier se demande si le vernis employé de temps immémorial pour la poterie commune ne conviendrait pas. On sait que pour l'obtenir il suffit de jeter du sel marin dans le four qui contient la poterie, quand il est bien rouge.

A chaque cornue est adapté un tube qui amène de la vapeur à 4 ou 5 atmosphères ; comme la vapeur, à cette pression, n'a qu'une température de 145 degrés, il y a là une cause continuelle de refroidissement pour la cornue. Nous pensions que c'était pour éviter cet inconvénient qu'on avait essayé à surchauffer la vapeur avant son introduction dans la cornue. Cet essai n'aurait-il pas réussi? Le tube est longitudinalement posé dans la cornue au-dessus de la couche de charbon de bois qu'on y a étendue dès que le fourneau a été amené au degré de chaleur voulu. Ce tube est percé en dessous d'une grande quantité de petits trous extrêmement fins, qui envoient la vapeur perpendiculairement et un peu obliquement sur la couche de charbon de bois.

Ce tuyau est en fer : pour éviter l'obstruction des petits trous par l'oxyde de fer formé, on n'a trouvé rien de mieux jusqu'à présent que d'incruster toute la partie inférieure de ce tuyau de petits cylindres de porcelaine qui ressemblent à des bouts de tuyaux de pipe ; ils excèdent un peu la surface de l'intérieur du tube pour que leurs trous restent toujours libres.

Rien n'est changé d'ailleurs dans le système des cornues ; ce sont les mêmes que pour le gaz de houille, seulement le tuyau injecteur de la vapeur y pénètre par la partie inférieure de la tête, en faisant un coude à angle droit.

Après les cornues viennent le barillet et le condenseur ; une bonne condensation est nécessaire, car il se trouve toujours une quantité variable de la vapeur d'eau échappée à la décomposition. L'épuration du gaz à l'eau est beaucoup plus simple et plus facile que celle du gaz à la houille. Il ne s'agit que d'éliminer le gaz acide carbonique, ce qu'on obtient au moyen de la chaux et des épurations ordinaires. La pratique a démontré que chaque mètre de gaz (mélange d'hydrogène et d'acide carbonique) exige près d'un kilog. de chaux éteinte. Le carbonate de chaux formé peut très bien être revivifié dans un appareil convenable, tel qu'un four à chaux, de sorte que la même chaux peut toujours resservir ; mais il faut toujours compter un peu plus d'un centime pour le combustible employé à la revivification, la main-d'œuvre et la perte.

Voilà le gaz fabriqué : il se rend dans le gazomètre, où il s'emmagasine pour les besoins de la consommation. Avant d'examiner ses qualités et ses défauts, citons le compte de revient tel que le donne M. Magnier pour un fourneau à deux cornues, produisant 500 mètres de gaz en 24 heures, à Paris.

1 kilog. charbon de bois pour 3,500 litres de gaz, soit pour 500 mètres 143 kilog. charbon, à 10 c.	14 fr.	30 c
350 kilog. de houille pour chauffage, à 3 fr. les 100 kilog.	10	50
Vaporisation des 700 litres d'eau à peu près.	2	50
Revivification et perte sur 390 kil. de chaux nécessaires à l'épuration. . .	6	»
Main-d'œuvre.	5	»
Intérêt du capital, usure du matériel, etc. (Mémoire.)		
Total.	38	30

En divisant ce prix par 500, le nombre des mètres de gaz obtenus, on trouve $7^c,66$ pour prix de revient du mètre cube.

Un bec ordinaire dépense au moins 260 litres de gaz à l'heure. On voit donc que dans les conditions actuelles le prix de revient du gaz à l'eau est, à volume égal, tout au moins le même, sinon plus élevé que celui du gaz de houille, qui aujourd'hui à Paris ne peut pas coûter, abstraction faite des frais généraux, plus de 5 à 10 cent. le mètre cube dans une usine bien conduite. Or on consomme 250 litres de gaz à l'eau contre 150 du gaz de houille.

D'après un rapport de M. Jacquelain, publié dans le bulletin de la Société d'Encouragement, le prix de revient du gaz à l'eau, d'après des expériences faites par M. Christofle, est de 16 c. à 17 c. le mètre cube ; mais à cause des imperfections de l'évaluation, il ne doute pas que dans une usine bien montée le prix de revient ne descendit à 10 c.

Dans le même rapport, nous trouvons l'analyse très intéressante du gaz recueilli au sortir de la cornue. Nous la donnons ici :

Vapeur d'eau.	2
Acide carbonique.	2
Air.	5
Oxyde de carbone.	14,7
Hydrogène.	76,3
Volumes. . .	100,0

L'éclairage par le gaz à l'eau est beaucoup plus beau, plus riche, moins fatigant à la vue que par le gaz de houille ; il semble qu'on pourrait ajouter moins insalubre quand on apporte peu de soin à l'épuration de ce dernier. On se sert pour la brûler

(1) Nous pensons que l'oxygène de l'eau doit attaquer la fonte de la cornue.

de becs ordinaires, percés de trous extrêmement fins, et qui n'ont de particulier qu'une mèche de platine qui les surmonte. Cette mèche est un cylindre tant soit peu moins grand que la circonférence formée par trous du bec; il a 2 centimètres de haut, il est tissé en fil extrêmement ténu, enfin il se tient à 2 ou 3 millimètres au-dessus du bec, au moyen d'un anneau auquel sont liés trois bouts du fil de platine dont il est formé. Une de ces mèches a environ 160 mailles.

Dès que l'on approche une allumette du bec, l'hydrogène s'enflamme et la mèche passe au blanc éblouissant. Cependant comme la lumière qui provient de cette masse solide est uniforme et immobile, l'œil n'est nullement fatigué de son éclat, relativement à ce que fait éprouver la flamme vacillante, irrégulière dans sa forme, et ayant différents tons, des autres modes d'éclairage.

Le gaz à l'eau est exempt de fumée, en même temps qu'il se prête admirablement aux combinaisons les plus élégantes d'appareils.

Voilà ses avantages ; passons à ses inconvénients. Sa ténuité, sa légèreté occasionneraient pour son parcours dans un long périmètre des pertes énormes. Le gaz de houille, quatre à cinq fois plus dense que l'hydrogène, donne déjà naissance à bien des fuites dans les canalisations, et ces fuites se déclarent surtout aux jonctions des tuyaux.

Outre cette chance si grande de fuites et de pertes, il faut ajouter le danger d'explosion ; le gaz à l'eau étant inodore, les fuites ne se feront pas sentir, tandis que l'odeur *sui generis* du gaz de houille fait apercevoir une fuite presqu'à l'instant même où elle se déclare dans une habitation; il y aurait donc à redouter que le gaz ne se répandît en assez grande quantité pour pouvoir donner naissance avec l'air à un mélange explosible.

Nous ne parlerions pas des inconvénients auxquels peut donner lieu la présence de l'oxyde de carbone dans le gaz d'eau si ce gaz n'était pas inodore, car le gaz de houille n'est pas exempt non plus tant s'en faut de cet agent délétère Cependant il est à remarquer que d'après l'analyse rapportée ci-dessus la proportion est considérable.

Ainsi donc il serait indispensable d'abord qu'on rendît odorant le gaz pour empêcher les accidents. Si maintenant on envisage la question à son point de vue économique, on voit que le gaz de houille a encore un grand avantage sur le gaz à l'eau.

Nous devons faire remarquer, à l'occasion du gaz à l'eau, que les inventeurs de nouveaux systèmes de gaz ne doivent pas tant s'occuper du prix de la houille que du produit à retirer du coke : on peut très bien payer la houille cher si le coke se vend à proportion. On s'imagine avoir tout gagné en indiquant pour le gaz une matière première qui ne coûte rien, et très souvent on se trompe.

Tout récemment on a cherché en Angleterre à appliquer un système mixte : il consiste à introduire dans les cornues où distille la houille du gaz provenant de la décomposition de l'eau, qu'on fait arriver en petit filet dans une ou plusieurs cornues garnies de coke, chauffées convenablement, ces dernières cornues étant d'ailleurs semblables à celles où on distille la houille. Comme on le voit, c'est une simple modification du procédé Jobard et Selligue; l'hydrogène va prendre au gaz de houille, et surtout au goudron, le carbone qui lui manque, en augmentant singulièrement de volume. Comme c'est surtout au commencement de la distillation de la houille que se dégage le goudron et les huiles carbonées, on conçoit que l'émission de l'eau est réglée de manière que la production d'hydrogène soit très rapide au commencement de la distillation, et diminue graduellement jusqu'à la fin.

Plus la houille est riche en hydrocarbures, et plus on peut introduire d'hydrogène dans la cornue qui la distille. Ainsi pour deux cornues chargées de *wigan-cannel*, on avait monté dans le même fourneau une cornue pour la production de l'hydrogène; tandis qu'en opérant sur le *boghead-cannel*, on ne se servit que d'une cornue pour la houille, et les deux autres furent converties en cornues à gaz à l'eau.

Au lieu de gaz hydrogène on peut plus avantageusement diriger dans les cornues du gaz peu carburé, provenant de la distillation de substances organiques laissant un résidu utilisable, comme la tourbe.

Nous devons dire que l'application de ce système mixte préoccupe beaucoup tous les fabricants de gaz en Angleterre, où généralement le coke se vend mal, et où le goudron a très peu d'écoulement. Ce système a des partisans enthousiastes et des contradicteurs non moins chaleureux.

En résumé, le gaz à l'eau n'a pu prendre sa place dans l'industrie à côté du gaz de houille. Toutefois, dans certains cas, le système mixte qui vient d'être indiqué peut offrir des avantages, et il est évident qu'on pourrait très-bien, dans les usines à gaz où le coke se vend mal, et où le goudron serait un embarras, comme cela avait lieu autrefois, faire avec le goudron ce que Selligue faisait avec de l'huile de résine. Le goudron est trop recherché aujourd'hui pour la benzine qu'il renferme, pour qu'on puisse le considérer comme embarrassant.

Comme on le voit, il y a encore bien à faire dans la fabrication du gaz, et tout ce que nous venons de dire sur les divers moyens d'obtenir ce fluide éclairant montre la nécessité qu'il y a de constater non-seulement le volume et la pureté du gaz, mais aussi son pouvoir éclairant et calorifique, éléments extrêmement importants. Cette nécessité existe d'autant plus, que la baisse de prix du gaz le fait employer pour le chauffage, sinon des appartements, du moins de certains appareils de l'industrie et des fourneaux à faire la cuisine, ce qui rend aux petits ménages de très-grands services et fait croître la consommation du gaz, dont l'emploi est si commode.

ÉCLAIRAGE PAR LES CARBURES D'HYDROGÈNE LIQUIDES.

Dans le siècle d'inventions et de perfectionnements dans lequel nous vivons, on cherche, non seulement à améliorer en qualité les produits d'un usage assez important, mais encore à les remplacer par d'autres jouissant à peu près des mêmes propriétés, conduisant dans l'emploi aux mêmes résultats et procurant une économie plus ou moins sensible.

Il n'est pas étonnant qu'avec cette tendance générale des esprits, on ait, depuis plusieurs années, songé à remplacer l'huile et même le gaz par des liquides donnant ou pouvant donner un éclairage plus économique. Depuis longtemps la théorie avait indiqué pour cet emploi des substances fluides composées comme le gaz et l'huile, de carbone et d'hydrogène, mais en proportions différentes, et se vendant à bas prix, telles que : l'essence de térébenthine, les huiles de naphte et de pétrole, et plus récemment les huiles essentielles extraites des schistes, des goudrons du gaz, des résines, etc. Mais il ne suffisait pas d'avoir à sa disposition des carbures d'hydrogène liquides à bas prix, la difficulté était de pouvoir les appliquer à l'éclairage sans inconvénients sérieux pour les consommateurs. Or, il est impossible de faire usage pour cette application des appareils servant pour l'éclairage à l'huile, et cette impossibilité sera évidente lorsque nous aurons rappelé quelques points de la théorie de la flamme lumineuse.

La flamme est, d'après Berzélius, un gaz qui brûle:

son intensité dépend de la nature des corps qui se forment pendant la combustion. Lorsqu'ils restent sous la forme gazeuse, elle est peu lumineuse : telle est la flamme de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone, etc. ; mais si dans cette flamme on place un corps solide susceptible de résister à une température élevée, tel qu'un fil de platine ou d'amiante, et qu'elle puisse le faire rougir, ce corps devient lumineux, et l'éclat de la flamme est singulièrement augmenté. Ce phénomène s'explique par l'incandescence du corps solide au milieu de la flamme.

Les flammes du gaz d'éclairage, des lampes à huile, des bougies, des chandelles, ne sont si brillantes que par le dépôt de charbon très divisé qui y rougit jusqu'à son arrivée au bord de la flamme, où il brûle au contact de l'air. On le prouve d'ailleurs en plongeant dans ces flammes un corps froid ; le carbone, déposé, s'attache à sa surface en formant du noir de fumée. Voici comment s'opère ce dépôt de charbon : le gaz d'éclairage contient de l'hydrogène carboné, qui se produit aussi par la décomposition, due à la chaleur, des corps gras dans les lampes à huile, bougies, etc. La partie de l'hydrogène carboné qui se trouve au milieu de la flamme, est décomposée par sa température élevée, et abandonne une certaine quantité de son carbone.

Si le gaz qui brûle est trop peu carburé, il abandonne trop peu de carbone pour que la flamme soit assez éclatante ; par opposition, s'il est trop carburé, s'il laisse déposer trop de carbone, la flamme, au lieu d'être blanche et brillante, devient jaune ou rouge, terne et fumeuse.

Les huiles essentielles à bas prix, dont nous avons parlé tout à l'heure, sont très riches en carbone, et leur flamme, quand on les brûle par les procédés ordinaires, est très fuligineuse.

Deux moyens principaux se présentent d'empêcher cet effet : 1° mélanger ces essences très carburées à d'autres liquides combustibles très peu carburés, de manière à compenser l'excès de carbone de l'un par le déficit de l'autre ; 2° faire arriver sur la flamme qu'elles produisent une quantité d'air suffisante pour que l'excédant de carbone ne puisse pas se déposer, en échappant à la combustion, et former du noir de fumée, mais brûler dans la flamme en se combinant avec l'oxygène de l'air affluant en quantité convenable. Ces deux moyens ont d'ailleurs trouvé un puissant auxiliaire pour arriver au *desideratum* dans la vaporisation, la gazéification du liquide comburant, seul ou mélangé ; tous les carbures d'hydrogène que nous avons cités tout à l'heure étant en effet volatils à des degrés différents.

Nous allons d'abord nous occuper du premier moyen.

I. Depuis trois ou quatre ans on voit reparaître en France un système d'éclairage importé en 1832, et vingt fois reproduit déjà avec plus ou moins d'adresse mais sans succès, jusqu'à ce que l'esprit ingénieux de quelques-uns de nos fabricants lampistes l'eût mis sous les yeux du public avec tant de goût et d'habileté qu'il a pris, pour ainsi dire, aujourd'hui droit de bourgeoisie. Ce système d'éclairage est dit au *gaz liquide*, à *l'hydrogène liquide*, au *gazogène*, noms différant avec les divers fabricants de liquide combustible ou même seulement de lampes destinées à la combustion.

L'on tomberait dans une étrange erreur si on regardait comme nouveau le moyen d'associer par opposition à une huile essentielle quelconque trop carburée un liquide peu carburé soit l'alcool, le méthylène (esprit de bois) ou l'éther, pour former un mélange, qu'on peut nommer *alcoolat*, susceptible de brûler avec une flamme non fuligineuse et assez blanche.

Les huiles essentielles qu'on peut employer pour opérer le mélange sont celles de térébenthine, de goudron de gaz, de naphte, de pétrole, de schistes, de résines.

Mais pour que les deux liquides puissent se mélanger intimement, pour que leur dissolution réciproque puisse s'opérer, il faut que l'alcool soit presque absolu, qu'il marque 98 centièmes à l'alcoomètre, il faut de plus que l'essence soit anhydre, et ait été rectifiée sur de la chaux ; hors de ces conditions pas de mélange possible. S'il restait dans un des deux liquides une certaine proportion d'eau, leur séparation ne tarderait pas à s'opérer au sein du mélange, et dans la lampe ils se placeraient dans l'ordre de leur pesanteur spécifique, et brûleraient nécessairement dans le même ordre ; on obtiendrait successivement deux flammes fort différentes qui ne conviendraient ni l'une ni l'autre. Celle de l'alcool aqueux serait d'un bleu pâle et sans éclat ; celle de l'huile essentielle serait fuligineuse et d'un éclat rougeâtre peu intense.

Sans nous arrêter pour l'instant aux procédés d'extraction de quelques-unes des huiles essentielles que nous avons citées tout à l'heure, nous avons dans la question d'éclairage par les *alcoolats*, à examiner plusieurs points principaux : d'abord les appareils à employer ; ensuite les avantages et les inconvénients du système en lui-même ; enfin la question économique.

L'appareil de combustion est une lampe qui se compose tout simplement d'un réservoir dans lequel vient plonger une mèche de coton pleine, non tressée ; le bout supérieur de cette mèche apparaît au-dessus du réservoir, comme celle des lampes ordinaires à l'alcool, quand elle est mince et que la lampe ne sert que de veilleuse et de bougie ; mais quand on veut une grande clarté, et c'est là le cas le plus général, on enveloppe cette mèche dans un fourreau de laiton peu épais qui s'adapte et se fixe sur le réservoir, qu'il dépasse d'une certaine hauteur. Ce fourreau ou tube cylindrique se termine à sa partie supérieure par un disque percé de trous très petits placés symétriquement et en nombre variable. Le cylindre porte aussi vers son extrémité une galerie à claire-voie pour recevoir une cheminée en verre comme les becs de quinquets ordinaires.

La mèche est nécessaire à l'ascension capillaire du liquide.

Voilà l'appareil garni, il s'agit maintenant de l'allumer. Mais pour pouvoir enflammer la vapeur du liquide comburant il faut nécessairement l'engendrer, il faut vaporiser l'alcoolat, et cette vaporisation ne peut avoir lieu que par une élévation de température. Pour obtenir ce résultat, on entoure le fourreau (dans sa partie supérieure) d'un anneau muni d'un fil métallique trempé préalablement dans de l'esprit de vin auquel on met le feu. Le liquide volatil dont la mèche est imbibée se vaporise, et la vapeur s'échappant par les jets ou orifices dont nous avons parlé vient s'allumer à la flamme de l'anneau.

Les jets sont séparés et ne se confondent pas en une seule nappe comme dans les becs à gaz, de sorte que le bec allumé présente l'aspect plus ou moins fidèle d'un artichaut dont les feuilles sont figurées par les jets lumineux. La cheminée en verre est employée pour redresser les jets de flamme et pour rendre la combustion plus complète.

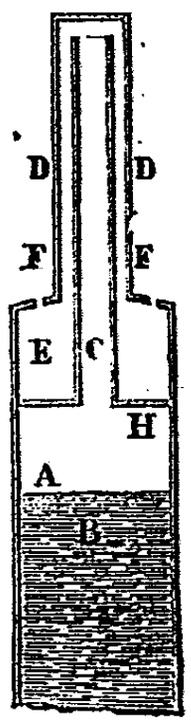
Les premiers becs de lampe à alcoolats étaient très imparfaits, ne permettant ni de régler la flamme ni de l'éteindre sans qu'il se répandît dans l'atmosphère une vapeur d'une odeur très désagréable. M. Robert, déjà connu par son système très ingénieux d'éclairage à l'huile par circulation continue, s'est occupé avec beaucoup d'habileté et de succès des perfectionnements dont était susceptible le système d'éclairage par les *alcoolats* tant pour le bec brûleur que pour le liquide gazogène ; nous devons à ses travaux une mention spéciale.

D'abord il remarqua que pour obtenir une régularité soutenue dans ledit éclairage, il fallait adopter pour les dimensions des becs une uniformité exacte et soute-

ÉCLAIRAGE.

nue, et pour le liquide une composition toujours uniforme au point de vue de sa richesse en hydrogène, carbone et oxygène quelles que fussent d'ailleurs les matières composant ce gazogène, car tel bec qui brûle convenablement avec un liquide donné, ne brûlera plus de même si on change la composition du liquide qui doit l'alimenter, et réciproquement. Un des premiers, M. Robert observa que pour la meilleure combustion possible l'alcool devait être absolu et l'essence bien rectifiée et aussi pure que possible ; qu'une quantité d'eau même très petite dans le mélange pouvait modifier l'essence dans sa composition, produire par là des parcelles de corps résinoïdes solides et crasser les appareils. Un des premiers il imagina que l'esprit de bois pourrait très bien remplacer l'alcool dans la préparation du liquide gazogène, de même que d'autres essences pourraient être substituées à celle de térébenthine.

Mais c'est surtout dans les becs eux-mêmes qu'il apporta d'heureuses innovations. Dans les lampes qu'il construit, la vapeur inflammable, avant d'arriver aux orifices par où elle s'échappe, vient circuler dans l'espace annulaire de deux tubes concentriques, dont l'extérieur est chauffé directement par la flamme du bec, et forme une espèce de cornue distillatoire où la vapeur subit une certaine décomposition et se convertit partiellement au moins, sinon totalement, en véritable gaz. C'est ce que représente la fig. 746 ; B est la mèche ; la vapeur, formée dans la chambre A H, s'élève dans le tube C, redescend dans l'espace annulaire D, se rend dans l'espace E, et s'échappe par les trous F. L'espace E forme isoloir, comme d'ailleurs l'espace annulaire, en ce sens qu'il s'oppose à la transmission directe du calorique à la chambre de vapeur A H. Cet artifice empêche la tension et la production de la vapeur d'augmenter, et procure à la flamme une immobilité absolue.



746.

L'espace E (fig. 746), comme l'espace annulaire, que la vapeur parcourt, sert d'épurateur, parce que là se déposent les corps étrangers et les portions du liquide qui pourraient être entraînés dans la distillation.

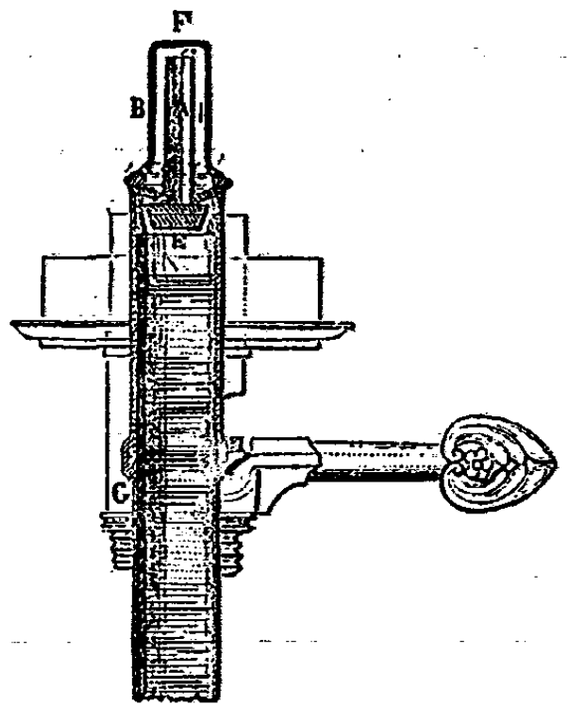
On voit dans la figure 747 le moyen ingénieux imaginé par M. Robert pour éteindre la lampe, en évitant les inconvénients que nous avons déjà signalés.

Une tige K, terminée par un petit bouton, imprime au tube B G un mouvement longitudinal et de spirale à la fois, or ce tube commande le cône E, qui vient s'abaisser à volonté et boucher l'orifice de la sortie de la vapeur quand on veut éteindre la lampe ; A représente la galerie du verre.

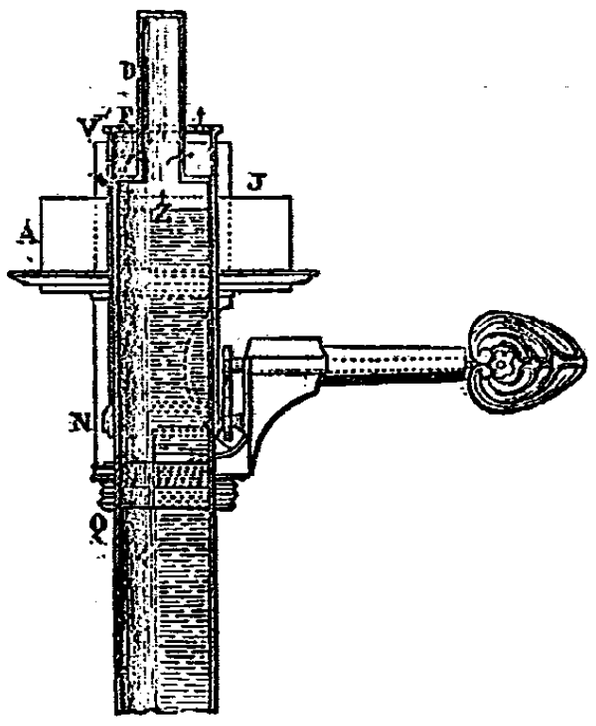
La condition de mouvement ci-dessus est indispensable pour procurer la décollation du tube, quand il se trouve quelques résidus. Deux petites pièces simples et solides le produisent ; une fourche et un tenon. La forme seule du petit tenon est un mécanisme ; elle permet de retirer le tube, dans le seul cas utile, et s'oppose à sa sortie pendant tout le mouvement dans lequel il doit rester dépendant.

Ce bec peut encore être modifié comme l'indique la fig. 748 pour donner le moyen de régler la flamme à volonté depuis la plus forte lumière jusqu'à la clarté d'une simple veilleuse. L'extinction de ce bec se fait sans odeur et non brusquement, ce qui permet de quitter une pièce sans se trouver dans l'obscurité, même après avoir tourné le bouton pour éteindre la lampe.

Ses dispositions sont fondées sur ce principe, que le tube D D (fig. 748), qui transmet au liquide contenu dans le bec le calorique, qui lui est communiqué par la flamme et est indispensable à la vaporisation, en transmet d'autant plus qu'il présente à cette flamme plus de surface chauffante.



747.



748.

En tournant le bouton et à l'aide du mouvement dont nous avons parlé tout à l'heure, on fait descendre ou monter le tube N et la portion supérieure du bec V F, ce qui raccourcit plus ou moins la partie du tube D chauffée par la flamme, et laisse à la lampe plus ou moins de flamme. Lorsque le tube D se trouve complétement noyé dans le tube V, le bec ne reçoit plus de chaleur, et la flamme s'éteindrait instantanément si la chaleur *acquise* ne vaporisait encore un peu de liquide ; mais cette chaleur acquise s'épuise bientôt, et avec elle finit la production de vapeur et de flamme sans que le bec exhale d'odeur (du moins d'après M. Robert, car nous n'avons pas vu brûler cette espèce de bec).

Il est évident par la disposition de ce bec que c'est non seulement en diminuant la partie du tube D soumise à la flamme, mais en éloignant la flamme elle-même du niveau du liquide qu'on ralentit la vaporisa-

tion et partant la combustion. Le tube D D, doit être nécessairement en platine, car tout autre métal s'oxyderait ou se tordrait de manière qu'il n'y aurait plus frottement juste et imperméable, tandis qu'avec le platine il n'y a pas la moindre fuite. Le prix élevé du platine augmente de 40 fr. la valeur du bec régulateur, aussi cette disposition est-elle moins répandue que la précédente.

Passons maintenant à l'appréciation de ce système d'éclairage.

La lampe, par sa disposition, par les ornements dont ont su la parer l'habileté et le bon goût des constructeurs, et auxquels elle se prête très bien, constitue un petit appareil de luxe qui ne manque pas de gentillesse et flatte beaucoup la vue, en excitant d'ailleurs la curiosité, tant par la diaphanéité du réservoir (presque tous sont en cristal), que par la gazéification du liquide. Elle a eu pendant l'hiver de 1843-1844 un succès de vogue dans les salons de la capitale; on s'en est amusé et on s'en amuse encore, comme on l'a fait il y a quelques années des cafetières en cristal. Mais ces agréments de société ne suffisent pas pour constituer un système d'éclairage convenable, bon et utile en toute circonstance, *et offrant une économie sur les systèmes* généralement employés. Ces conditions, le liquide gazofacteur les présente-t-il? c'est ce que nous allons examiner.

La flamme est convenablement blanche, ne donne pas de fuliginosité, et peu ou point d'odeur. La mèche, cachée dans le bec, peut servir pendant plusieurs jours sans être rafraîchie ni manipulée quotidiennement, comme dans les becs à huile (M. Robert conseille de la remplacer tous les huit jours); enfin, en faisant le service de ces lampes on ne risque pas de se tacher comme en manipulant le liquide oléagineux. De plus, l'huile contenant toujours des mucilages non volatils qui encrassent les mèches, il résulte que dans les becs à huile il y a toujours, après plusieurs heures d'éclairage, une diminution d'intensité de lumière sans diminution de dépense, ce qui n'arrive pas pour le gazogène. Il faut mettre aussi à l'avantage de ce dernier le prix plus élevé des appareils à huile, leurs réparations, leur entretien, et l'impossibilité d'obtenir un service régulier d'une lampe qui ne sert que rarement, à cause de l'altération par l'action oxydante de l'air, de l'huile qui brûle alors en produisant un charbon difficile à incendier qui bouche les pores de la mèche.

Malheureusement, à côté de ces avantages, il y a des inconvénients que notre impartialité ne peut dissimuler : d'abord l'odeur inévitable du mélange liquide, odeur persistante due à l'huile essentielle, et telle que si on a le malheur de renverser une lampe, ou une certaine quantité de *gazogène* dans un appartement, il faut le déserter pour un jour au moins; ensuite l'obligation d'avoir, le plus *généralement*, en réserve dans son habitation une certaine quantité du liquide qu'on ne trouve pas, et qu'on ne trouvera pas de sitôt chez tous les épiciers comme de l'huile à quinquet. Enfin, comme le liquide est très volatil, très inflammable, pouvant même s'enflammer à distance par une température élevée à cause de sa facile vaporisation, il présente des dangers d'incendie, surtout avec le peu de prudence et de précautions qu'on est forcé de reconnaître à la grande majorité des domestiques. Nous savons que l'hiver dernier, une lampe de ce système, à la lumière de laquelle travaillait une dame, fut renversée par mégarde et se brisa. Le liquide s'échappant du réservoir s'enflamma, et vint brûler d'une manière horrible la pauvre femme, qui, seule et effrayée, perdit l'esprit et succomba après d'atroces douleurs. Le danger d'incendie est l'objection la plus sérieuse que nous ayons à faire contre l'emploi des liquides gazéifiables pour l'éclairage.

Nous devons à ce propos mentionner un bidon très

ingénieux imaginé par M. Robert : l'anse est creuse, ses deux extrémités ouvrent, la première, tout près le goulot du vase, l'autre vers le milieu de la capacité, de sorte que l'air entre dans le bidon, qu'on vide, par l'anse, et non par le col lui-même comme dans les vases ordinaires; on évite donc le *glou-glou*, et par conséquent les projections du liquide toujours odorant. Pour diminuer les chances d'incendie, les orifices sont garnis de toiles métalliques, de sorte que le feu ne peut arriver au liquide du bidon.

Nous supposons dans tout ceci un liquide bien composé, bien rectifié quant à l'huile essentielle, car il faut avouer que jusqu'à présent les marchands de gazogène, en général, n'ont pas toujours fourni aux consommateurs un liquide normal, tant en richesse éclairante qu'en pureté. Ainsi le méthylène (esprit de bois) n'est pas toujours privé d'éther, qui s'acidifie facilement et peut attaquer le métal de la lampe. Plusieurs personnes prétendent que certaines variétés de gazogène donnent à la combustion beaucoup d'oxyde de carbone, substance très délétère.

Reste la question économique. Le pouvoir éclairant des lampes *gazogènes* dépend des proportions du bec et *de la quantité de liquide consommée*. Aujourd'hui, dans l'état actuel des droits sur l'alcool, un litre de *gazogène* coûte dans Paris 1 fr. 50 c., et à ce prix, une lampe de sept jets donnant une lumière égale à celle d'une bonne Carcel, dépense environ, par heure, 8 c. de liquide (à peu près 60 grammes), ce qui est bien plus cher que l'éclairage à l'huile.

Voyons si ce prix est susceptible de grandes modifications. En moyenne, l'hectolitre d'alcool rectifié au degré voulu pour la dissolution de l'huile essentielle, vaut 70 fr. (ce prix est de 90 fr. au moment où nous écrivons, à cause de deux mauvaises récoltes de vins); mais à ce prix il faut ajouter, en se plaçant au point de vue de Paris, 80 fr. par hectolitre pour droits d'entrée et de consommation, ce qui porte en définitive à 150 fr. le prix de l'hectolitre d'alcool dans la capitale. L'hectolitre d'huile essentielle, titrant 25 degrés environ, quelle que soit son origine, peut valoir aujourd'hui 75 fr. dans le commerce. Or, comme on doit compter qu'on emploie pour la composition du liquide gazofacteur 2 volumes d'alcool et 1 d'huile essentielle, le mélange revient donc à 125 fr. l'hectolitre; soit au prix actuel, 25 fr. de bénéfice pour le fabricant dudit liquide, ce qui n'est que raisonnable.

Les fabricants d'alcoolats, ainsi que les producteurs vinicoles, ont demandé l'exemption des droits de consommation et d'octroi pour l'alcool destiné à cet éclairage, sauf à le dénaturer et le rendre impropre à la boisson. Les Chambres ont fait droit en principe à cette réclamation, en laissant au gouvernement le soin de fixer, par un règlement d'administration publique, les conditions et les bases de la dénaturation de l'alcool destiné aux arts et à l'industrie. Il fallait donc trouver des dénaturants : la Société d'encouragement a appelé sur ce point l'attention des chimistes. Le plus simple des moyens de dénaturation indiqués par le rapport lu par M. Payen à cette Société (*séance du 27 décembre 1841, Bulletin de janvier 1844*), est le mélange à l'alcool de 5 p. 100 d'huile essentielle de goudron de houille. La question a été soumise au comité consultatif des arts et manufactures, qui n'a pas considéré ce procédé comme suffisant pour empêcher la révivification de l'alcool propre à la boisson; car le gouvernement propose aujourd'hui à la Chambre de réduire de 25 fr. par hectolitre les droits sur l'alcool, les frais nécessaires à la révivification s'élevant, d'après lui, à 30 fr. D'un autre côté, M. Robert annonce qu'il a découvert un moyen très simple et peu coûteux de dénaturer *complétement* l'alcool, moyen qu'il mettra dans le domaine public, en se réservant la fabrication du corps déna-

turant. Ne connaissant pas le procédé de M. Robert, nous ne sommes pas là dans les conditions nécessaires pour discuter les prétentions contradictoires du gouvernement et des partisans du dégrèvement radical.

Seulement nous pouvons dire qu'avec les moyens fixés par le gouvernement pour la dénaturation de l'alcool, le liquide renferme trop d'huile essentielle de houille pour servir à la plupart des préparations pour les arts. A la vérité, ce liquide est propre à l'éclairage, mais, au point de vue de cet emploi, la réduction n'est pas assez forte pour lui venir efficacement en aide, pour lutter contre la concurrence de l'huile.

Dans cette question, on ne peut se le dissimuler, il y a des intérêts importants et complexes engagés. En effet, l'éclairage au *gazogène* et liquides équivalents ne peut espérer de *vulgarisation*, précisément à cause de la nouveauté et des inconvénients qu'il présente, par son odeur et sa grande inflammabilité, que s'il offre sur l'éclairage à l'huile une notable économie. Sa vulgarisation apporterait à la fabrication de l'alcool une très grande extension, qui non seulement serait favorable aux départements vinicoles, mais qui ferait aussi augmenter en quantité l'emploi des autres matières premières de l'alcool autres que le vin, telles la betterave et la pomme de terre, en réduisant peut-être la culture des graines grasses. D'un autre côté, on objecte que les suifs et les huiles indigènes ne suffisent pas à la consommation, et que l'importation annuelle de ces produits est très importante; donc qu'on ne nuirait point au sol national, en permettant aux alcoolats de se substituer à ces matières premières d'éclairage qui nous arrivent de l'étranger. Voilà pour l'agriculture. Maintenant il y a les intérêts du trésor à ménager; il faut nécessairement que, sous prétexte d'éclairage, on ne puisse frauder les droits d'une partie de l'alcool destiné aux boissons. Enfin, il y a l'égalité à maintenir, au point de vue de l'octroi, entre les diverses substances servant à l'éclairage.

Ainsi, pour ne nous occuper que de Paris, les droits d'entrée sont, décime compris :

de 22 fr.	par hectolitre	d'huile
44	d°	d'essence térébenthine
0,33	d°	de houille
3,30	par 100 kil.	de suif
8,25	d°	de bougie stéarique.

Si on supprime ou si on abaisse les droits sur une de ces matières, il faut nécessairement, au point de vue de l'équité, agir de même pour les autres.

Il y a donc ici des questions qui sont plus économiques que technologiques, et dont la discussion s'éloigne un peu de notre cadre. Il suffit de les avoir indiquées; mais nous pouvons dire que, à notre avis, les parties intéressées dans l'extension de l'éclairage par les alcoolats auront bien de la peine à arriver à leurs fins; car on obtient très difficilement un dégrèvement, même pour des circonstances et des besoins particuliers.

Aujourd'hui il est incontestable que l'alcoolat ou gazogène est grevé, pour Paris, d'un droit de 50 centimes au moins par litre; et, à ce prix, la concurrence avec l'huile n'est pas possible, même avec la réduction de 25 francs par hectolitre d'alcool. L'éclairage en question reste donc, jusqu'à nouvel ordre, un éclairage de luxe.

Des chimistes ont eu l'idée de substituer pour cet éclairage, surtout pour tourner la question des droits, l'éther, et spécialement l'éther sulfurique à l'alcool, et nous devons citer MM. Bodson et Laugier, qui ont pris un brevet à cet effet. Il paraît que l'éther serait, en évitant les droits, à plus bas prix que l'alcool; mais jusqu'à présent le fisc a eu la prétention de faire payer le mélange d'éther et d'huile essentielle comme celui d'alcool.

Très probablement d'autres inventions, d'autres perfectionnements que ceux dont nous avons parlé ont été faits ou apportés, soit dans les lampes à *gazogène*, soit dans la préparation des liquides; mais nous pensons qu'ils ne sont pas encore arrivés à l'état d'application bien connue, et nous avons dû nous en tenir à ceux qui avaient pour eux la sanction de la pratique.

Nous n'avons point établi de parallèle entre l'éclairage par les alcoolats et l'éclairage au gaz, étant persuadés que ce n'est pas avec le gaz que le nouveau système peut avoir la prétention de lutter, mais seulement avec l'huile et sans avoir l'avantage d'une origine minérale, et par suite sans pouvoir arriver par la découverte de nouveaux gisements à un extrême bon marché, comme les *hydrocarbures liquides*, ou huiles essentielles pures, dont nous allons parler maintenant.

II. Nous avons dit au commencement de l'article qu'un des moyens proposés pour empêcher les huiles essentielles de fumer en brûlant, était de faire arriver sur la flamme qu'elles produisent une quantité d'air suffisante, pour que l'excédant de carbone ne puisse pas se déposer en échappant à la combustion et former du noir de fumée, mais brûler dans la flamme, en se combinant avec l'oxygène de l'air affluant en quantité suffisante. Au lieu de faire arriver sur la flamme une quantité d'air suffisante, on peut très bien aussi mêler la vapeur de l'essence avec de l'air et enflammer ensuite le mélange.

Nous devons d'abord faire remarquer que ce second moyen est en principe économique bien plus rationnel que le premier, qui, en définitive, consiste à mêler à l'essence une substance peu chargée de carbone, augmentant ainsi la dépense (1) en diminuant l'intensité de la lumière; nous verrons plus loin si la même supériorité existe dans la pratique.

Faire brûler seules et sans fumée les essences de houille, de schiste ou de térébenthine, c'était un problème très important à résoudre. Il y avait de grandes difficultés à surmonter, comme de grands résultats à obtenir. Aussi, bien des hommes s'y sont rebutés; car, dans le grand nombre qui s'en sont occupés, nous ne pourrons en citer que quelques-uns qui soient parvenus à des résultats importants, et cela par une persévérance qui a dû être bien soutenue.

Sans faire ici l'historique complet de la question, ce qui nous serait d'ailleurs difficile, nous devons parler cependant des résultats plus ou moins complets qui ont été obtenus jusqu'à présent, mais auparavant faisons remarquer qu'il y a plusieurs espèces d'huiles essentielles provenant de la même matière première; qu'en distillant soit de la houille, soit du goudron de houille, soit des schistes, ce sont les huiles les plus volatiles, les plus légères, les plus fluides, qui s'échappent les premières; leur fluidité et leur légèreté diminuent au fur et à mesure de la distillation, et les derniers produits volatilisables sont presque visqueux et susceptibles de se figer sous forme de matière grasse par le refroidissement, et très riches en naphtaline et en paraffine. Sans nous étendre davantage pour l'instant sur ce sujet, disons que pour nous une huile essentielle de houille ou de schiste, sera celle d'une densité de 0,84 environ, marquant 26 degrés à l'aréomètre. Les produits subséquents de la distillation sont moins volatilisables, et on a quelquefois donné le nom d'*huile morte* à un des derniers produits de la distillation du goudron de houille.

Il est évident que la solution du problème de la combustion sans fumée des huiles essentielles seules, réside surtout dans une disposition de lampe convenable; par-

(1) Aujourd'hui l'alcool, même mauvais goût, est et sera longtemps encore, pour ne pas dire toujours, plus cher que les essences de houille, de schiste et de térébenthine.

ÉCLAIRAGE.

lons donc des principaux appareils préparés *ad hoc*. Du reste, quelques-uns des inventeurs qui se sont occupés de cette question, ont eu la prétention de brûler non seulement des huiles plus ou moins essentielles, mais de l'*huile morte*.

En 1834, M. Beale, de Londres (1), est parvenu à faire une lampe dans le bec de laquelle, formant coupe, arrive en niveau constant l'*huile morte* dont nous avons parlé tout à l'heure. Au moyen d'un peu d'alcool on met le feu à la superficie de cette huile, et une cheminée en cône renversé appelle sur la flamme un courant d'air, passant par un petit tuyau à travers le liquide de la coupe, qui fait sur cette flamme un tourbillon ; de sorte qu'avec ce mélange d'air elle brûle assez bien ; mais ce n'était là qu'un point de départ.

Bientôt après, M. Busson-Dumaurier s'associa à M. Beale, et ces messieurs découvrirent le moyen de faire vaporiser les huiles essentielles, ou autres, dans l'intérieur d'un bec brûleur, et de mélanger à la vapeur produite une certaine quantité d'air avant la combustion.

La lampe se composait, pour son application la plus ordinaire, d'un réservoir renversé, par le moyen duquel le liquide vient alimenter, à niveau constant, un bec sans mèche, fermé à sa partie supérieure par un disque percé ; des ouvertures devant donner passage au mélange de vapeur et d'air, qui enflammé à la sortie fournit la lumière et en même temps la chaleur nécessaire pour la vaporisation de l'huile.

Le bec est divisé en deux parties, dont l'une glisse sur l'autre, de manière à s'allonger ou se raccourcir au besoin. Dans ce bec où le liquide se vaporise, se fait aussi le mélange d'air avec la vapeur, travail d'une haute importance pour la combustion complète de vapeurs si chargées de carbone, et dont la densité étant quatre ou cinq fois celle de l'air atmosphérique, rend le mélange intime très difficile.

MM. Beale et Busson-Dumaurier faisaient arriver l'air, dans le bec, sous une pression constante, d'environ 3 cent. d'eau, au moyen d'un soufflet, ventilateur ou gazomètre, placé au dehors de l'établissement. Cet air était amené dans le bec par un petit tube qui traversait l'essence, et dont l'orifice, au lieu de regarder la partie supérieure du bec, était dirigé vers la surface du liquide, de sorte que l'air, refoulé vers cette surface, se mélangeait forcément avec la vapeur produite et l'entraînait, mêlée avec lui dans la proportion convenable ; un robinet ordinaire réglait l'introduction de cet air.

Comme MM. Beale et Busson-Dumaurier voulaient pouvoir brûler avec le même bec toutes les huiles obtenues par la distillation du goudron, comme ces différentes huiles se vaporisent à des degrés très différents, il fallait par conséquent prévoir ces diverses circonstances dans la construction du bec. C'est pour cela qu'une partie rentrait sur l'autre, de manière à pouvoir rapprocher ou éloigner à la volonté la flamme du niveau du liquide, pour faciliter ou retarder la vaporisation.

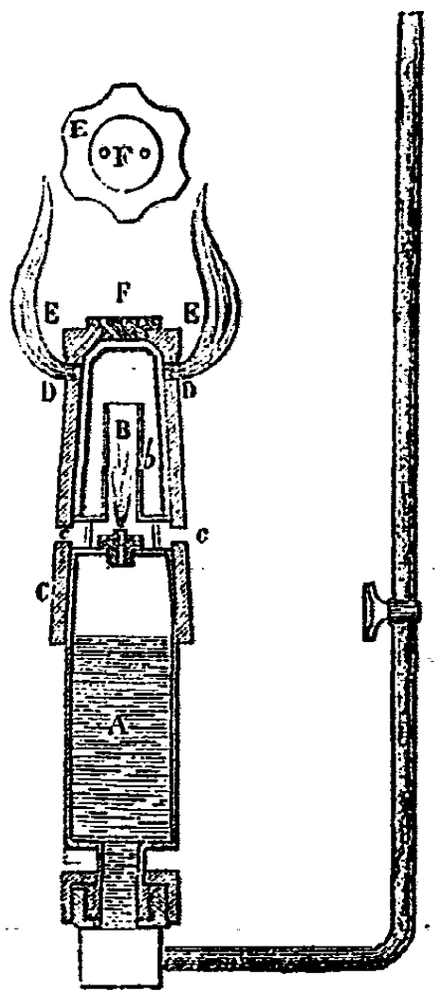
La disposition de cet appareil était très-ingénieuse ; la flamme obtenue était brillante, mais non exempte de uliginosités ; mais surtout l'emploi d'un soufflet, ventilateur ou gazomètre amenant de l'air dans chaque bec, était très-coûteux et très-incommode pour l'usage domestique. Cette heureuse idée a conduit, pour les travaux au grand air, à la lampe Donny combinée pour brûler les huiles lourdes. Voy. ÉCLAIRAGE, *Complément*.

(1) Il n'est pas étonnant que les premiers essais aient été faits en Angleterre ; l'éclairage au gaz ayant pris tant d'extension dans ce pays, les usines fabriquant ce fluide éclairant produisent tant de goudron qu'il doit y être à très bas prix, et on a dû naturellement essayer de l'utiliser, lui ou les huiles provenant de sa distillation.

M. Busson-Dumaurier, se contentant trop facilement des résultats obtenus, passa en France et vint à Paris dans l'espoir de faire prendre ce système d'éclairage non seulement pour les rues, cours, etc., mais bien aussi dans l'intérieur des habitations. Il fit des expériences publiques, si nous ne nous trompons pas, rue Laffitte. Un soir, bon nombre de personnes, parmi lesquelles plusieurs dames aux toilettes élégantes, s'étaient rendues chez M. Busson pour être témoins de ses expériences, et l'encourager de leur approbation bienveillante, s'il y avait lieu. Les essais commencèrent à la satisfaction générale : la lumière était intense et assez belle, et cela depuis une grande demi-heure environ, quand tout à coup une des aimables spectatrices aperçut sur sa robe, elle était blanche, un petit point noir qu'elle voulut secouer avec la main ; mais par l'effet du frottement le point se transforma en une raie noire aussi, puis elle remarqua à sa grande surprise (nous parlons de la dame), que ce point noir avait un certain nombre de frères jumeaux engendrant aussi des raies noires. Cette remarque appela l'attention des dames voisines sur leurs vêtements et, vérification faite d'un résultat identique, elles se sauvèrent toutes sous l'impression d'une véritable terreur panique.

M. Busson put se convaincre que son appareil n'avait pas atteint la perfection désirable pour l'emploi ; aussi pour arriver à ce but il s'associa à M. Rouen, un des fabricants lampistes les plus distingués de la capitale. Ces deux messieurs se rendirent d'abord acquéreurs d'un brevet pris pour le même objet par M. Lebreton, qui s'était occupé aussi avec quelque succès de l'éclairage aux hydrocarbures liquides, et travaillèrent avec persévérance à l'amélioration et la simplification des becs brûleurs. Après bien des essais, bien des tâtonnements, voici le bec auquel ils se sont arrêtés, jusqu'à présent du moins, en n'employant d'ailleurs que les huiles les plus essentielles obtenues dans la distillation de la houille, schistes bitumineux ou goudron, et marquant au moins 25° à l'aréomètre.

La fig. 749 nous représente le bec. A est la partie inférieure, communiquant par le bas avec un tube qui amène le liquide d'un réservoir à niveau mort. Un robinet placé sur ce tuyau intercepte à volonté la communication entre le réservoir et le bec qui étant placé au-dessus de lui, donne au liquide qui y arrive une certaine pression. Sur la partie A s'adapte la tête du bec, et ces deux parties sont séparées par une cloison portant un ajutage B à petit orifice. Les parois C, C de la tête du bec, sont en cuivre rouge assez épais, très bon conducteur du calorique ; un peu



749.

au-dessus de la cloison, les parois sont percées suivant une circonférence de plusieurs ouvertures *c*, *c*, donnant accès à l'air atmosphérique, ouvertures qu'on pourrait, au moyen d'un anneau extérieur au cylindre, diminuer de section à volonté. La figure montre de petites tiges reliant la tête du bec avec la partie inférieure; au-dessus de l'ajustage B se trouve un tuyau ou cheminée *b*. La partie de la tête environnant ce tuyau *b*, forme une espèce de chambre ou réservoir, dont les parois sont tapissées d'une toile métallique (représentée par le pointillage). D, D, sont des orifices percés à la circonférence de la tête en nombre variable et d'un diamètre de 2 à 3 millimètres. A la partie extrême, dans la pièce de dessus E E, se trouve vissée un tampon F, pour pouvoir au besoin nettoyer l'intérieur dudit bec. La tête du bec peut être munie d'une galerie à claire-voie pour y poser un verre ou cheminée, avec un étranglement qui force l'air d'arriver sur la flamme et rend la combustion plus complète.

Voilà la description du bec, passons à sa manière de fonctionner.

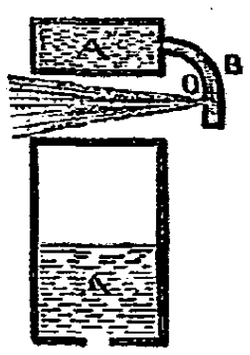
Comme dans les lampes *gazogènes*, il faut commencer par vaporiser le liquide; pour cela ces messieurs chauffent le bec au moyen d'une espèce d'*éolypile* de leur *invention*, dont nous donnerons la description tout à l'heure. La vapeur se forme en effet dans la partie A, s'échappe par l'ajutage B, et en vertu de sa tension elle entraîne avec elle de l'air entrant par les ouvertures c, c. Ce mélange d'air et de vapeur se dilate d'abord dans le tube, et arrive dans la tête du bec où il éprouve un certain remous favorisant le mélange, que rendent encore plus intime les petits trous des toiles métalliques que l'air et la vapeur sont forcés de traverser pour arriver aux jets D, D, à la sortie desquels l'inflammation se produit.

Il est bien entendu qu'alors le robinet est ouvert; la colonne liquide du réservoir exerce sur le liquide contenu en A une pression constante, de sorte que la vapeur s'écoule sous l'influence de cette pression nécessaire d'ailleurs au bon fonctionnement du bec. Les parois C,C, transmettent à chaque instant au liquide de A la chaleur nécessaire à sa vaporisation. Le bec se règle lui-même par sa disposition; ainsi en supposant qu'une trop grande quantité de liquide soit vaporisée, la tension de la vapeur formée augmentant fait remonter le liquide de la partie A dans le réservoir et l'éloigne de la source ce qui ralentit la vaporisation.

MM. Busson-Dumaurier et Rouen ont calculé les dimensions du bec, de manière à ce que la quantité d'hydro-carbure vaporisée répondit au besoin de la combustion. La quantité d'air qui se mélange à la vapeur doit être dans la proportion de 3 à 4 pour une combustion convenable.

La toile métallique, outre l'effet que nous avons indiqué, empêche aussi la flamme d'arriver dans le bec et d'agir sur le mélange de vapeurs et d'air qui pourrait être explosif.

Pour chauffer le bec avant l'allumage, ces messieurs emploient, comme nous l'avons dit, une espèce d'éolypile qui n'est, à proprement parler, qu'un bec de forte dimension, présentant avec le précédant une grande analogie, mais dont la flamme est horizontale. La fig. 750 représente la coupe sommaire dudit bec, dont la partie inférieure communique avec le réservoir à niveau mort, comme tout à l'heure. Le liquide arrive dans la capacité A, dans la partie supérieure de laquelle se trouve pratiquée une ouverture cylindrique indiquée dans la fig. par l'espace entre A et A'. De la partie supérieure A', part un petit tuyau B, percé d'un orifice



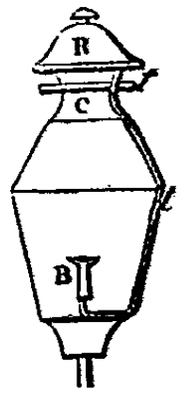
750.

O par où s'échappe la vapeur formée par la chaleur de la flamme, chauffant directement ici la capacité A et conséquemment le liquide. La vapeur s'échappant passe dans l'espace cylindrique entraînant avec elle de l'air nécessaire à la combustion complète de l'hydro carbure vaporisé, et le mélange est allumé comme à l'ordinaire. MM. Busson et Rouen avaient songé à employer aussi cette flamme horizontale pour l'éclairage des phares ou des vaisseaux.

Un bec ordinaire de ces messieurs consomme par heure 60 grammes environ d'hydro-carbure liquide. Nous avons vu annoncer, lors des essais de la place du Musée, une consommation de 70 grammes, à la densité que nous avons indiquée, et entrant alors en ébullition *à la température de 85 degrés environ*.

Passons à l'appréciation de cet éclairage.

D'abord, les appareils sont très ingénieux, c'est une chose incontestable et on ne saurait trop louer la persévérance et l'habileté des inventeurs. La flamme de ces becs est plus blanche et plus brillante que celle des becs à huile, mais dans ceux que nous avons vu lors de l'essai fait par les inventeurs sur la place du Musée et au Carrousel, nous devons dire que la lumière était inférieure pour la blancheur et l'éclat à celle du gaz. Notre conviction bien formée sur l'application de ce système à l'éclairage des rues, cours, etc., enfin pour l'éclairage extérieur, est qu'il pourra faire à l'huile une concurrence redoutable, et pourra même, on étant importé dans des localités peu importantes et trop pauvres pour songer à l'établissement d'un gazomètre pour l'éclairage public, y remplacer l'éclairage au gaz. Mais nous ne pouvons dissimuler que ces becs donnent encore de la fuliginosité, ce qui présente déjà un inconvénient pour l'extérieur, mais qui, dans les appartements, magasins, etc., serait un obstacle insurmontable. Nous n'avons pas vu brûler des becs Busson et Rouen dans l'intérieur, nous ne pouvons arguer que sur les essais dont nous avons été témoins comme tous les habitants de Paris qui ont pu s'intéresser à cette application des hydro-carbures liquides. Du reste, nous devons ajouter que cet éclairage n'a encore été employé qu'aux gares, ateliers, souterrains, embarcadères, stations de quelques chemins de fer, comme les gares de Saint-Cloud, de Colombe et Montretout. La fig. 751 représente une lanterne avec un bec Busson et Rouen. C est le chapiteau, le réservoir liquide est en R, et le liquide est amené au bec B par le tuyau *t*. Le réservoir ne doit pas être placé sur le chapiteau, mais en être séparé pour que la chaleur de la flamme ne vienne pas agir sur le liquide.



751.

Les inconvénients sont 1° plus ou moins de fuliginosité; 2° les préliminaires nécessaires pour l'allumage qui sont bien moins longs pour l'allumage des lanternes à gaz. L'allumage des nouveaux becs exige deux minutes, y compris le temps que met l'allumeur pour aller d'un bec à l'autre. A ces inconvénients il faudrait ajouter, pour l'éclairage à l'intérieur, l'odeur du liquide, non pas quand il brûle, mais quand on en répand par mégarde dans les appartements, odeur bien plus sensible que celle du gazogène; ensuite nécessité d'avoir chez soi du liquide très inflammable. Nous avons déjà insisté sur ces inconvénients, sauf celui de la fumée pour les alcoolats. Nous n'avons plus à y revenir. Quant aux inconvénients des alcoolats et des hydro-carbures pour l'odeur et la fumée nous devons ajouter que le gaz les partage aussi quand il est mal épuré, ce qui arrive très souvent. Les explosions dont la capitale paraît avoir le triste privilége doivent être si-

gnalées comme un des inconvénients du gaz à côté de l'inflammabilité des essences.

Reste la question économique. Il est incontestable qu'aujourd'hui cet éclairage est déjà moins cher que l'éclairage à l'huile, car les huiles essentielles de schiste fabriquées par M. Selligue se vendent, prises à Autun, 40 fr. les 100 kilogr., et les huiles essentielles de goudron valent environ 75 fr. à Paris, mais, même à ce prix, il y a une économie notable sur l'huile.

M. Rouen prétend pouvoir obtenir des hydrocarbures liquides, à bien plus bas prix, en distillant la houille à basse température, sur le carreau même des mines ou du moins à une très-petite distance, et réduire le prix de revient de ces liquides éclairants à 20 fr. pour 100 kilogrammes.

Lampes pour l'huile de schiste et le pétrole. — Les deux principes essentiels du bec adopté pour l'huile de schiste, — dans lequel l'épaisse mèche de coton ne sert, comme pour la plupart des systèmes destinés à brûler des produits plus ou moins voisins de la nature des essences volatiles, qu'à amener le liquide au-dessous du point où se produit la combustion, — sont les suivants :

Placer un peu au-dessus de la flamme et dans l'intérieur du verre un disque de métal qui rougit nécessairement et qui a pour but et pour objet de faire brûler le carbone qui aurait échappé à la combustion dans la flamme elle-même;

Donner au verre un étranglement qui force l'air à affluer sur l'extrémité de la flamme, de manière à rendre en ce point la combustion très-vive.

Cet appareil, à la construction duquel ont surtout contribué M. Ménage et M. Breuzin, qui n'ont guère tiré profit de leurs travaux, a été évidemment inspiré par la lampe solaire, mais modifiée heureusement pour les besoins d'une combustion dont on peut admirer souvent l'éclat pour les boutiques en plein air qui l'ont généralement adopté. A l'intérieur, l'odeur est trop forte pour que son emploi se propage beaucoup.

Pour le pétrole, qui rappelle à bien des égards l'huile de schiste, mais qui reste en général chargé de produits plus volatils que celle-ci, on en est revenu plus complétement à la disposition de la lampe solaire, modifiée dans le but de faire plus contribuer les parois métalliques à la production des vapeurs, ce qui résulte de la forme de fente substituée à la forme circulaire.

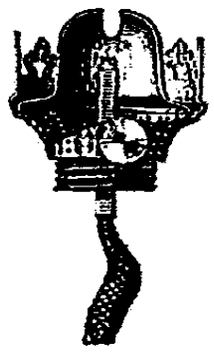


Fig. 752.

C'est ce que montre la figure du bec de lampe de pétrole représenté fig. 752, qui se fabrique à de très-grands nombres aujourd'hui; l'air pénètre par les trous placés au bas du bec.

Nous décrirons encore une lampe inventée par M. Kurtz, bien qu'elle ne soit pas restée dans la pratique.

La fig. 753 est une section verticale d'une lampe à mèche plate; *aa*, réservoir contenant le liquide; *bb*, pièce conique en métal ou en verre, dont la partie supérieure enveloppe le brûleur au-dessus de la mèche, afin que l'air passant dans l'intervalle ménagé entre cette pièce et le corps de la lampe arrive au milieu de la flamme, ce qui augmente son intensité; *c*, soupape fixée dans l'intérieur du cône et qu'on manœuvre du dehors. En ouvrant ou fermant cette soupape et une autre *d*, à l'opposé de la première, et à laquelle est attachée une tige taraudée *e*, le courant d'air nécessaire à la combustion se trouve convenablement réglé, et la flamme s'allonge sans que la lampe fume sensiblement. Les flèches indiquent la direction de ce courant. *f* est le porte-mèche qui se distingue des porte-mèche ordinaires en ce que le bord extérieur est plus élevé que le bord intérieur, de sorte qu'en garnissant la lampe, on coupe la mèche au niveau du bord extérieur, ce qui permet de la tenir parfaitement droite.

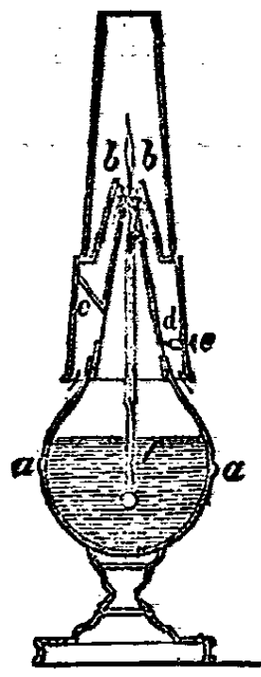


Fig. 753.

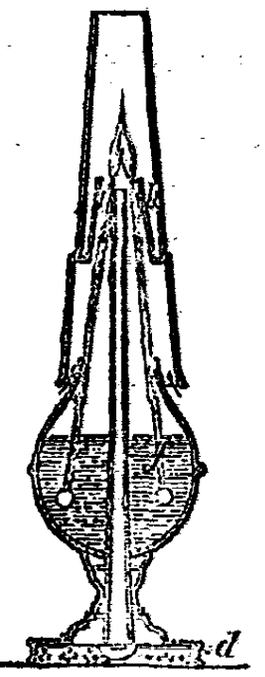


Fig. 754.

La fig. 754 diffère de la fig. 753 en ce qu'elle est à deux mèches plates, et que la soupape c qui règle le courant d'air intérieur est placée dans le socle de la lampe, au fond du tube *h*, où elle est gouvernée par la tige *d*. Il y a donc un double courant : l'un intérieur, et l'autre extérieur pénétrant par le cône *b*.

Nous avons toujours parlé jusqu'ici de l'alimentation de la combustion dans les lampes à hydrocarbures liquides avec de l'air; on a aussi songé à employer de l'oxygène pur, nécessairement plus actif. Cette idée n'a pas été mise à exécution pour l'éclairage par les lampes; mais M. Gaudin l'a pratiquée dans les essais très-intéressants qu'il a faits en 1838, 1839 et 1840, pour obtenir de grands foyers d'éclairage et dont nous allons dire quelques mots.

Nous ne nous arrêterons pas à l'idée que ce savant avait émise sérieusement de pouvoir éclairer toute une ville, ou du moins un quartier, au moyen d'une seule source de lumière (1), d'une puissance reconnue suffisante. Nous trouvons très-fondée et sans réplique l'objection qu'on lui a faite, et qui se présentait tout naturellement. Il faudrait placer ce foyer à une hauteur démesurée pour qu'il pût éclairer toutes les rues, toutes les parties d'une ville d'une manière à peu près uniforme; et pourquoi certains quartiers, ou même certaines portions d'un quartier, auraient-elles à perpétuité, pour ainsi dire, le privilége d'être mieux éclairées que telles autres?

Si l'on voulait discuter sérieusement cette question, il serait même facile d'établir que c'est une condition essentielle du succès d'un mode d'éclairage que l'on prétend appliquer à la voie publique, que de pouvoir être divisé facilement, à l'infini pour ainsi dire; que c'est le grand défaut de la puissante lumière électrique dont nous allons parler plus loin, de ne pouvoir être produite qu'en un foyer considérable de chaleur et de lumière. L'intensité de la lumière décroissant en raison du carré des distances, on éclairera évidemment mieux un grand espace, on donnera plus facilement une intensité suffisante, par de faibles foyers peu éloignés les uns des autres que par un foyer unique situé à une grande distance des extrémités. Si le nombre des foyers lumineux est *n*, F la quantité de lumière, on

(1) C'est pour cela qu'on a quelquefois appelé *sidéral* le système d'éclairage de M. Gaudin.

ÉCLAIRAGE.

aura partout $\frac{F}{n}$, tandis qu'avec un seul foyer on aura à une extrémité $\frac{F}{m^2}$ si m est la distance du point au grand foyer, qui aura bientôt une valeur moindre (1).

M. Gaudin, en partant d'un principe faux, à notre avis, celui de pouvoir éclairer un quartier avec un seul foyer, s'était arrêté à un procédé d'éclairage assez remarquable, celui qu'on peut obtenir en faisant brûler un mélange d'oxygène et d'hydrogène en présence de la chaux ou de la magnésie. Les deux gaz en s'unissant produisent de l'eau, et cette combinaison chimique développe beaucoup de chaleur et de lumière; mais à peine cette eau est-elle formée qu'elle rencontre à son tour une base avec laquelle elle s'unit avec un nouveau dégagement de chaleur et de lumière.

M. Gaudin avait la sage précaution d'isoler les deux gaz (oxygène et hydrogène) dans deux gazomètres particuliers. L'un d'eux était muni d'un tuyau se terminant au bec lui-même; le second communiquait avec un tube enveloppant le premier conduit, sans avoir avec lui la moindre communication. De cette manière, lorsque l'appareil fonctionne, les deux gaz affluent l'un par le tuyau central, l'autre par l'espace annulaire environnant et ne se trouvent en contact qu'au dernier moment.

Mais pour que la combustion soit complète, il faut non seulement opérer le mélange sans danger d'explosion, il faut encore l'opérer intimement. Pour cela M. Gaudin perçait les parois des tuyaux vers leur extrémité de nombreuses ouvertures convergentes (2). On pourrait remplacer la disposition de M. Gaudin par celle qui a été indiquée dans le chalumeau aérhydrique employé pour la soudure autogène du plomb dans le procédé de M. Desbassayns de Richemont. (Voir l'article CHALUMEAU).

Au lieu de se servir d'oxygène et d'hydrogène purs préparés industriellement par des procédés simples et peu coûteux, M. Gaudin avait cherché parmi les substances les plus répandues dans la nature ou le commerce celles dont l'un ou l'autre de ces gaz forme la base principale, et dans lesquelles les corps étrangers qui y sont mélangés ou combinés ne peuvent influer sensiblement sur leurs propriétés. C'est pour cela qu'il avait choisi l'air atmosphérique pour remplacer l'oxygène; et pour remplacer l'hydrogène, l'alcool, l'éther et les essences qui en renferment de fortes proportions. On voit que ces essais ont quelque analogie avec ceux de l'éclairage pratiqué avec les hydro-carbures liquides.

La chaux employée par M. Gaudin était préparée par des procédés de son invention; il la croit constituée en une masse de très petits cristaux, fondant cette opinion sur les innombrables facettes qui brillent à sa surface.

M. Gaudin était parvenu à brûler sans aucune fumée l'essence de térébenthine alimentée d'air, et obtenait une flamme dont la blancheur dépassait de beaucoup celle d'une lampe Carcel; avec l'oxygène pur il obtenait une flamme d'un blanc éblouissant, éclairant *cent cinquante* fois autant que le gaz de la houille; mais chose bien singulière, il était difficile de l'empêcher de fumer. Cette lueur si vive ne peut que faire un grand mal à la vue.

Le système de M. Gaudin n'a reçu jusqu'à présent aucune application ni pour l'éclairage public des villes ni pour l'éclairage particulier, car il conseillait de réduire les proportions de ses grands appareils d'éclairage par le mélange de gaz oxygène et hydrogène, pour obtenir de notables avantages. Nous devons cependant signaler l'emploi du système Gaudin à l'éclairage des foyers de microscopes, imitant la nuit les effets du microscope solaire.

Dans certains cas cependant on pourrait tirer un parti avantageux de cet éclairage, car la production de la même quantité de lumière demandant cent fois moins d'oxygène que de gaz d'éclairage, la lumière Gaudin est bien plus portative; ainsi pour l'éclairage des malles-postes, télégraphes, des vaisseaux, on peut espérer quelques succès des recherches intéressantes de M. Gaudin.

Nous savons qu'à la fin de 1842 des expériences ont été faites à Toulon par l'ordre du ministre de la marine sur l'éclairage en mer par le *gaz sidéral*. Le gaz oxygène préparé d'avance fut apporté à bord dans des récipients en métal où il était comprimé à plusieurs atmosphères; sur chaque récipient était vissée une boîte de la contenance d'un demi-litre renfermant de l'éther, que l'oxygène avait à traverser en se dégageant uniformément au moyen d'un régulateur Boquillon. Un réflecteur en cuivre rouge, plaqué en argent et de forme parabolique était adapté au bec de gaz et pouvant être tourné en tous les sens à l'aide d'une genouillère. Au foyer de ce réflecteur brûlait le mélange d'oxygène et de vapeur d'éther; un morceau de chaux ou magnésie de la grosseur d'un pois et retenu par un fil de platine était fixé au foyer.

Nous ne pouvons citer tous les résultats de cette expérience, mais disons du moins que les feux de deux appareils placés sur le Montebello ne devinrent invisibles pour le bateau à vapeur le Papin, gagnant le large et courant dans la direction du faisceau de lumière, qu'en disparaissant sous l'horizon; la distance des deux bâtiments était de 10 à 11 milles marins.

Les commissaires ont évalué la consommation de gaz oxygène à 70 litres par heure. La compagnie du *gaz sidéral* annonçait que ces appareils ne dépensaient que 15 centimes d'éther par heure; et que pour produire 1000 litres d'oxygène à 4 atmosphère de pression, il faut, terme moyen, 20 kil. de bon peroxyde de manganèse d'Allemagne au prix de 50 fr. les 100 kil.

Nous pourrions nous étendre encore sur l'application des carbures d'hydrogène liquides à l'éclairage; ce sujet étant nouveau, pour ainsi dire, a excité l'attention et appelé les travaux de beaucoup de chimistes, ingénieurs, industriels; suivant nous, le dernier mot des inventeurs n'a pas encore été dit, aussi nous devons borner ici nos appréciations.

En dehors des systèmes d'éclairage que nous venons de passer en revue, il existe encore une tentative qui est théoriquement d'une grande valeur à laquelle est consacré l'article suivant. A. MALLET.

ÉCLAIRAGE PAR LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

On commence déjà à parler d'éclairage électrique, et les personnes amies du progrès se plaisent à devancer en imagination l'époque où l'électricité se substituant au gaz carboné émanera d'un électro-moteur central et circulera dans des conducteurs ramifiés pour alimenter de distance en distance des foyers de lumière blanche et vive.

Si jamais cette conception se réalise, c'est qu'on aura beaucoup perfectionné ce que l'on possède actuellement; peut-être même faudra-t-il qu'on invente quelque chose de tout nouveau et dont nous n'avons encore aucune idée. Néanmoins, comme la production de la lumière électrique est un fait intéressant en lui-même, et comme son usage commence à se répandre dans les fêtes et dans les théâtres, il est convenable de donner comme annexe à l'article éclairage la descrip-

(1) On a repris en sous-œuvre l'idée de M. Gaudin. En bornant les prétentions à l'éclairage d'une grande place, comme celle du Carrousel, au moyen de plusieurs flammes concentriques de gaz surmontées d'un réflecteur, on est arrivé à des résultats assez satisfaisants. C'est au même but que tendaient les essais d'éclairage électrique de la place de la Concorde.

(1) A peu près à la même époque, un chimiste allemand, M. Kæppelin, conseillait la même disposition pour obtenir un chalumeau à gaz oxygène et hydrogène inexplosif.

ECLAIRAGE.

tion des appareils qui servent à la produire et à la diriger.

La première expérience de lumière électrique est due à Davy, qui, ayant fait construire la grande pile de la Société royale de Londres, eut l'idée, au commencement du siècle, d'ou armer les pôles de deux cônes de charbon et d'opérer la décharge par leurs extrémités ; il vit aussitôt jaillir une lumière d'un éclat supérieur à celui de toute autre lumière artificielle et comparable à celui du soleil. Persuadé que la combustion du charbon n'était pour rien dans la beauté du phénomène, il plaça les charbons dans le vide et il obtint en effet autant de lumière, tout en évitant la consomption du charbon par l'oxygène de l'air. Pour rendre ce charbon plus conducteur, il le calcinait à haute température et l'éteignait brusquement dans le mercure.

Pendant bien des années, l'expérience fut répétée solennellement dans les cours publics, en suivant exactement les indications de Davy. Elle était nécessairement de courte durée, les piles dont on usait alors ne fournissant pas un courant persistant, et puis les charbons incandescents dégageaient d'abondantes fumées qui en peu d'instants obscurcissaient la parois de globe destinée à les contenir dans le vide. On en serait sans doute encore au même point si la pile de Grove, modifiée par Bunsen, ne fût venue mettre aux mains des physiciens un courant fort et durable.

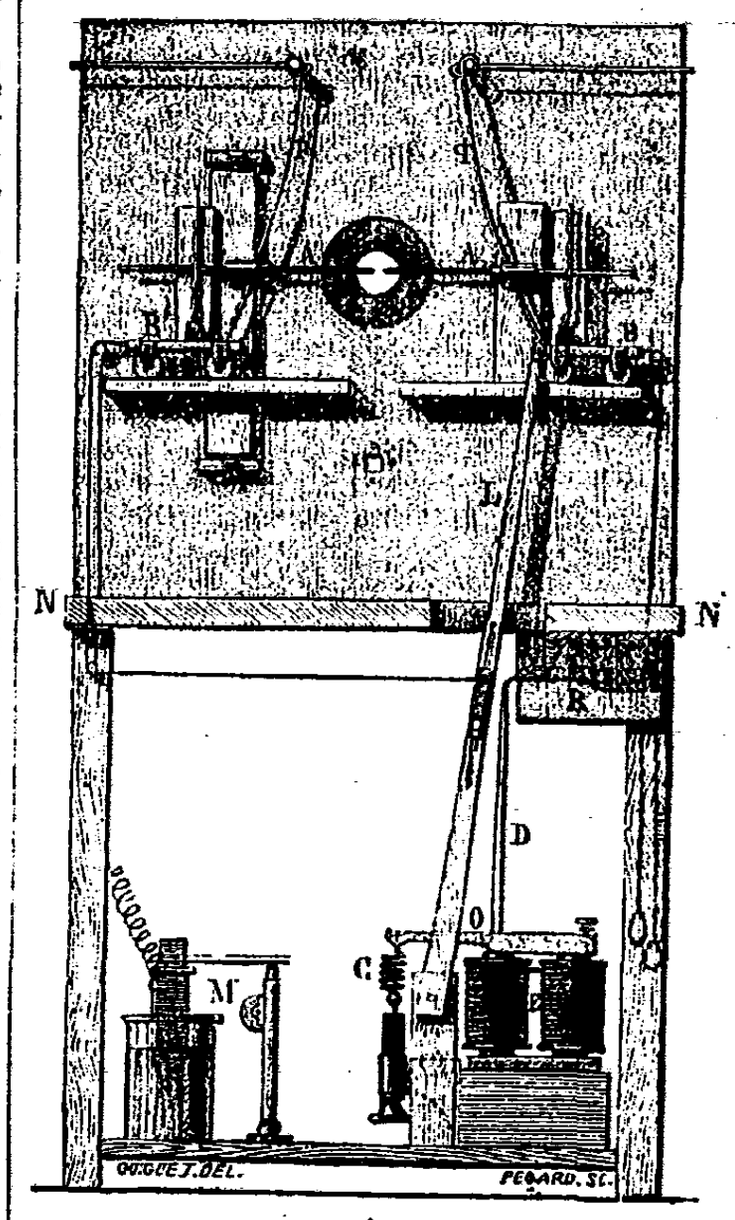
La pile de Bunsen parut en 1843, et de ce moment, un physicien, M. Léon Foucault, conçut la pensée de tirer parti de la lumière électrique et de l'appliquer au microscope solaire et généralement à toutes les expériences d'optique qui nécessitaient l'emploi de la lumière solaire.

Au mois d'avril 1844, M. Foucault présenta à l'*Académie des sciences*, en commun avec le docteur Donné, un appareil appelé microscope photo-électrique dont les résultats firent alors quelque sensation. La lumière était blanche, vive et d'un éclat assez soutenu pour permettre d'observer commodément les objets microscopiques. L'amélioration de la source lumineuse était due principalement à la nature et à la forme des charbons dont les pôles de la pile étaient armés. Aux cônes de charbon de bois éteints dans le mercure, M. Foucault avait substitué des baguettes prismatiques carrées de deux ou trois millimètres de côté, taillées par le lapidaire dans la masse du graphite dur et peu combustible qui se dépose à la longue sur les parois des cornues où l'on distille la houille pour en obtenir le gaz d'éclairage. En raison de sa conductibilité, de sa densité et de sa lente combustibilité, cette variété de carbone, communément appelée *charbon de gaz*, est jusqu'à présent supérieure à toute autre pour le dégagement de la lumière électrique. Quand il est taillé en longues baguettes suffisamment minces et d'une égale section dans toute leur longueur, le charbon de gaz permet d'opérer assez longtemps à l'air libre, et la lumière qui éclate aux extrémités continue de rayonner sans obstacle dans toutes les directions. Telles sont les conditions qui ont donné à la lumière électrique l'aspect qu'on connaît aujourd'hui.

En opérant au contact de l'air on acceptait l'inconvénient de l'usure progressive et inégale des charbons; aussi l'appareil était-il pourvu des organes nécessaires pour opérer le rapprochement *à la main*. C'était là une fonction assujettissante et délicate à remplir ; il était important d'en affranchir l'opérateur et de rendre l'appareil capable de se suffire à lui-même. Quelques personnes ont cru d'abord que ce soin pourrait être confié à un mécanisme indépendant chargé d'opérer ce rapprochement avec une vitesse uniforme et réglée d'avance sur la valeur probable de l'usure à réparer ; mais bientôt on s'est aperçu que ce rapport était insaisissable à l'avance et que toujours ce mécanisme auxiliaire marchait trop lentement ou trop vite. Ce qu'il fallait, c'était un organe impressionnable au changement de distance survenu entre les charbons polaires et capable d'agir à propos pour contenir ses variations entre deux étroites limites. Après deux années d'un travail assidu, M. Foucault a donné, en janvier 1849, l'appareil suivant qui résout le problème d'une manière satisfaisante. Cet appareil étant particulièrement destiné aux expériences d'optique satisfait en outre à la condition de conserver immobile dans l'espace le point radieux que l'on veut utiliser, en sorte que non-seulement les charbons se maintiennent spontanément à la distance la plus propre à exciter une vive lumière, mais qu'en outre ils s'avancent d'eux-mêmes avec des vitesses qui font respectivement équilibre à l'usure inégale de chacun d'eux.

L'appareil, considéré dans son ensemble, est partagé en deux étages par le plancher N, N' ; l'étage supérieur est habituellement enfermé dans une boîte dont une paroi est enlevée pour laisser en évidence les organes qu'il faut décrire. L'étage inférieur est à jour comme on le voit dans la figure.

Les deux charbons A et A', taillés en baguettes, sont montés horizontalement sur le prolongement l'un de l'autre et portés sur deux chariots B et B' (fig. 1), qui



1.

roulent dans des coulisses destinées à les empêcher de dévier. L'un d'eux, le chariot B, est affecté au pôle positif et l'autre B' au pôle négatif; ils sont assujettis par construction et au moyen du levier L à se mouvoir ensemble, mais avec des vitesses différentes. Leur genre de solidarité donne la plus grande vitesse au chariot B porteur du charbon positif dont la combus-

tion est la plus rapide. En marchant l'un vers l'autre, ils cèdent à l'impulsion de deux ressorts conducteurs P et P', mais ils sont retenus par un système de fils qui les relie à un mouvement d'horlogerie R dont la roue d'échappement, buttant sur un arrêt, oblige le tout à rester au repos. Quand l'arrêt est supprimé, le rouage défile et les chariots cheminent avec leurs vitesses respectives. Toute la difficulté se trouve donc ramenée à ceci : supprimer ou rétablir l'arrêt quand la distance interpolaire est trop grande ou convenable. Or cette fonction délicate, qui demande très peu de force, a été confiée à l'électricité elle-même.

Le courant qui illumine l'appareil passe à travers les spires d'un électro-aimant E dont l'énergie varie avec l'intensité du courant; cet électro-aimant attire un contact reposant sur son arête O et sollicité d'autre part à s'en éloigner par un ressort antagoniste C. Sur ce fer doux est montée la détente D qui enraye le rouage ou le laisse défiler à propos, et le sens du mouvement de la détente est tel qu'elle est en prise avec le rouage quand le courant se renforce et qu'elle le délivre quand le courant s'affaiblit. Or, comme précisément le courant se renforce ou s'affaiblit quand la distance interpolaire diminue ou augmente, on comprend que les charbons doivent se rapprocher au moment même où leur distance vient à s'accroître, et que ce rapprochement ne peut aller jusqu'au contact, parce que l'aimantation croissante qui en résulte leur oppose bientôt un obstacle insurmontable, lequel se lève de lui-même aussitôt que la distance interpolaire s'est accrue de nouveau.

Le rapprochement des charbons est donc intermittent; mais quand l'appareil est bien réglé, les périodes de repos et d'avancement se succèdent assez rapidement pour qu'elles équivalent à un mouvement de progression continu.

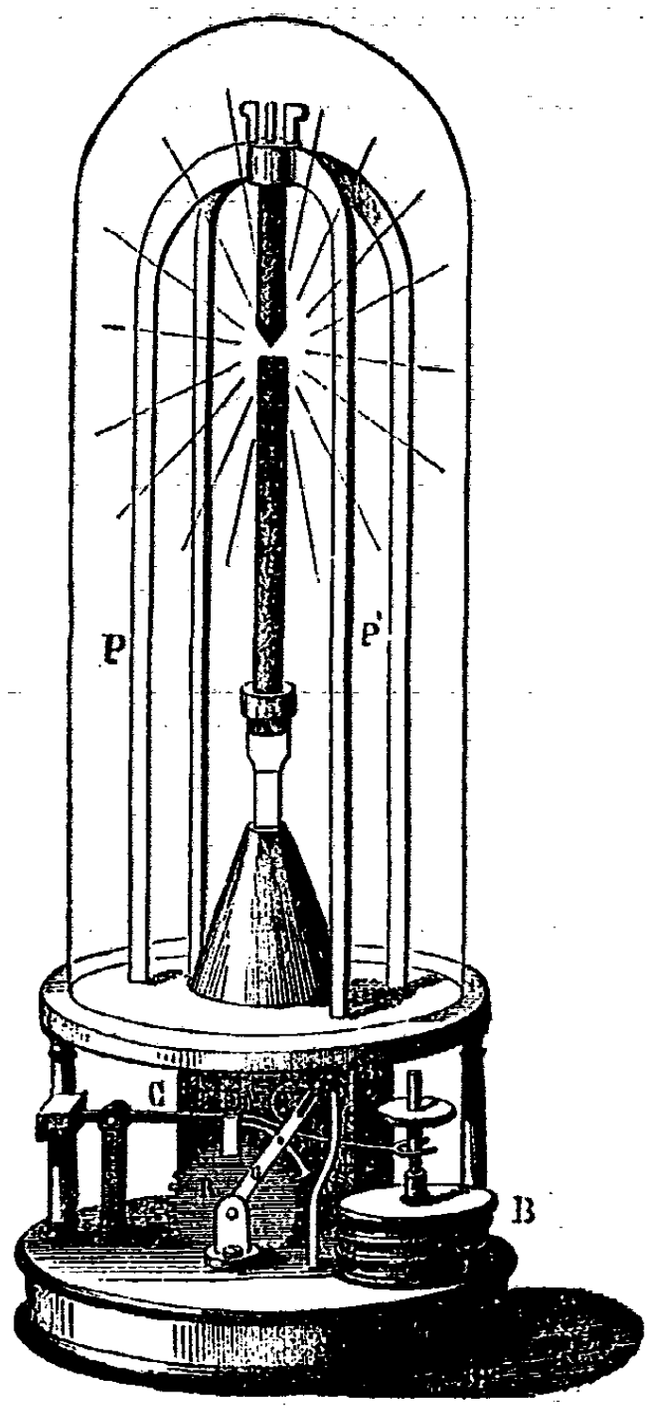
On voit de plus figuré en M un modérateur du courant formé de deux lames de platine disposées parallèlement à la distance d'un centimètre et plongeant plus ou moins et à volonté dans un liquide conducteur, soit une dissolution de sulfate de potasse.

Tel est l'appareil qui, malgré sa forme embarrassante, ait répondu le premier aux exigences d'un service public. Le concours de précautions prises pour assurer la fixité du point lumineux témoigne des préoccupations d'un physicien qui ne s'inquiétait pas encore de satisfaire aux besoins de l'industrie. Néanmoins cet appareil tel quel fut adopté au grand Opéra-National et employé à produire des effets de scène qui n'ont jamais manqué et ont été goûtés du public.

Cependant à la même époque on annonçait en Angleterre, au nom de M. Staite, un appareil plus abrégé dans sa forme et breveté dans différents pays. Dans l'appareil Staite (fig. 2) les deux charbons sont placés verticalement l'un au-dessus de l'autre. Le charbon négatif est fixe et attaché au sommet de l'arcade formé par le concours des quatre piliers métalliques P P' P''. Le charbon positif est porté et mu par un mécanisme qui agit de la manière suivante.

Ce mécanisme se compose d'un rouage à ressort qui court continuellement et qui fait tourner d'un mouvement continu l'excentrique F. Celui-ci communique un mouvement oscillatoire au levier G, mobile autour du même centre que la roue dentée R. Or ce levier agit sur la roue dans un sens ou dans l'autre ou n'agit pas du tout, suivant la position de l'ancre qu'il porte en A. Ce qui maintenant détermine la position de l'ancre, c'est un levier à fourchette C qui va s'appuyer sur un barreau de fer doux mobile au centre d'une bobine magnétique B traversée par le courant. Que l'on remarque enfin que la roue dentée engrène par un pignon avec le support du charbon inférieur, et l'on saura tout ce qui est nécessaire pour comprendre le jeu de l'appareil.

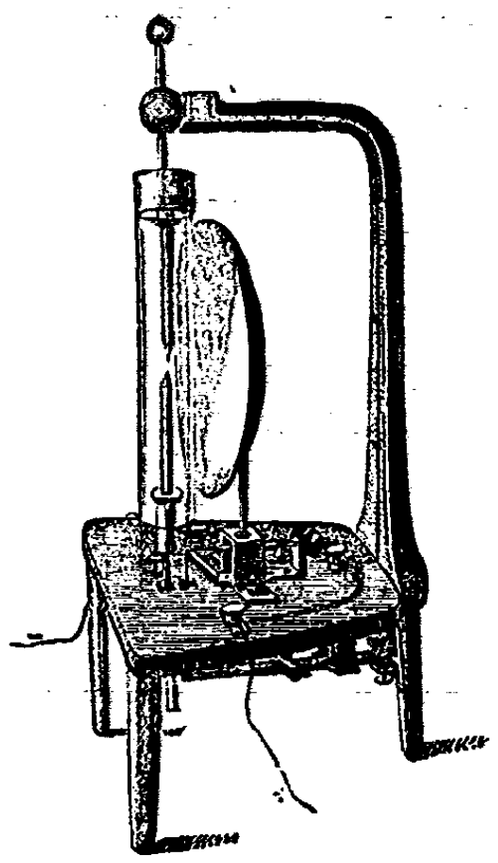
En effet, il ne peut survenir que trois cas différents : ou la distance des charbons est convenable ou elle est trop grande ou trop petite. Si elle est convenable, le barreau de fer doux, le levier à fourchette et l'ancre occupent une position moyenne qui fait que le rouage marche à vide sans agir sur la roue dentée dans un sens ni dans l'autre. Mais quand la distance augmente, le magnétisme de la bobine qui faiblit laisse retomber le fer doux, et par suite l'ancre s'inclinant agit comme un encliquetage pour faire tourner la roue dans le sens propre à opérer le rapprochement. Si au contraire les charbons eussent été trop près l'un de l'autre, l'ascension exagérée du fer doux aurait déterminé la manœuvre inverse.



2.

L'appareil Staite opère donc également bien selon les cas la fixation, le rapprochement et l'éloignement des charbons, mais il n'est pas sensible et agit trop lentement. Son usage ne s'est pas répandu en France, où chaque constructeur a préféré établir son appareil sur un modèle particulier. Ainsi M. Deleuil (fig. 3) a supprimé toute espèce de rouage, il a laissé immobile le charbon supérieur; le charbon inférieur seul est repoussé de temps en temps par le jeu d'un électro-aimant placé sous la tablette de l'appareil. Considérant que ce rapprochement ne s'opère que par très petits mouvements, M. Deleuil a taillé en crémaillère et à dents très fines la tige qui supporte le charbon in-

bile, et il a mis le côté ainsi taillé en relation avec le contact de l'électro-aimant par l'intermédiaire d'une lame de ressort, de façon à ce que le mouvement oscillatoire du contact oblige le charbon à monter pas à pas.



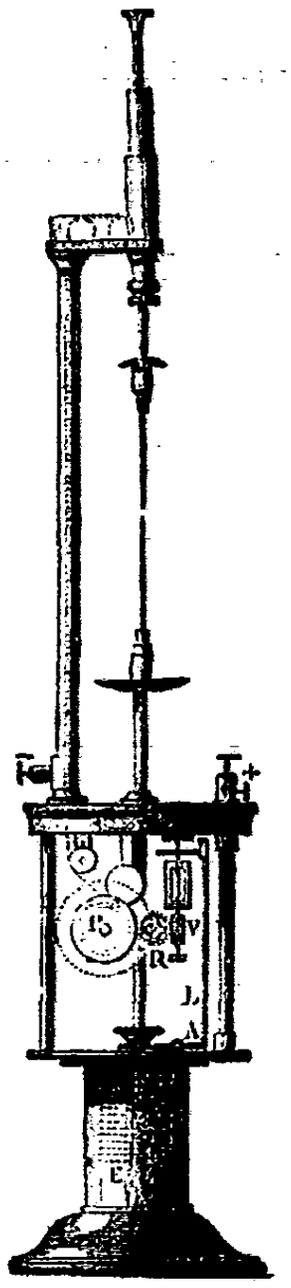
3.

Or il est à remarquer que c'est précisément au moment où la distance interpolaire s'agrandit que les variations rapides du courant déterminent le mouvement oscillatoire dont M. Delcuil a tiré parti pour opérer le rapprochement des charbons incandescents. Cet appareil est très simple, mais il ne procure pas l'immobilité du point lumineux; il est moins sensible que ceux qui sont pourvus d'un rouage et il exige pour marcher convenablement un courant plus intense.

M. Duboscq, successeur de M. Soleil, qui avait à satisfaire aux exigences des expériences d'optique, a conservé le rouage de l'appareil primitif, ainsi que la mobilité des deux charbons, répartie proportionnellement à leur usure respective; il a adopté la direction verticale des charbons comme la moins embarrassante, et il a placé dans le pied de l'appareil tout le mécanisme dont on aperçoit dans la figure les organes principaux.

Le rouage (fig. 4) qui règle l'avancement des charbons est composé de trois mobiles P, R, V, dont le dernier porte un volant et une roue dentée à rochet sur laquelle agit en temps convenable la détente électromagnétique. Un levier coudé L articulé en A porte à une extrémité cette détente, et à l'autre une pièce de fer doux placée dans la sphère d'activité de l'électro-aimant E caché dans le pied de l'instrument. Sans revenir sur la démonstration qui a été faite au sujet de l'appareil primitif, on voit qu'il y a là tout ce qu'il faut pour maintenir les charbons à la distance convenable; mais comme il fallait encore régler leurs vitesses respectives, on les a rattachés au rouage moteur par des cordons enroulés à deux poulies montées sur le premier mobile P, l'une à rayon fixe, l'autre à rayon variable à volonté; le fond de la gorge de la poulie à rayon variable est formé par une lame de ressort qui embrasse une demi-douzaine de chevilles, qu'un mécanisme particulier permet d'approcher ou d'éloigner graduellement de l'axe. La fig. 5 représente cet organe décomposé ou ses éléments constituants.

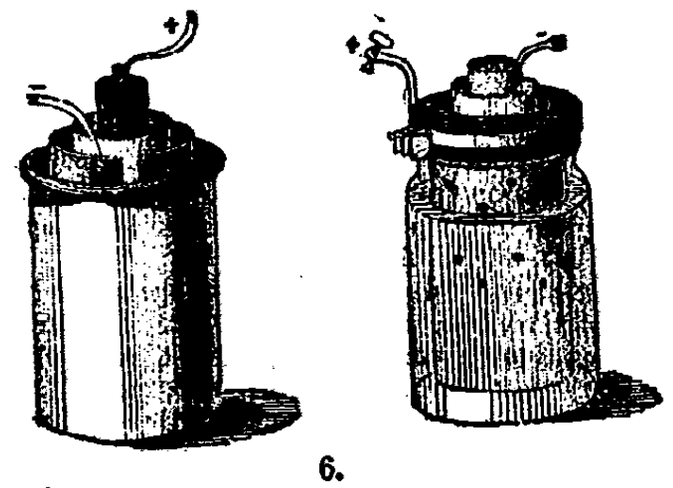
Quel que soit l'appareil qu'on adopte, la seule pile qui puisse encore fournir un courant suffisamment énergique et soutenu est la pile de Bunsen, dont chaque couple se compose d'un élément charbon plongeant dans l'acide nitrique et d'un élément zinc amalgamé immergé dans l'acide sulfurique étendu, les deux liquides étant séparés par une cloison en terre poreuse. Pour que l'on puisse maintenir entre les extrémités polaires la plus petite distance sensible, il faut que la pile soit formée d'au moins quarante à cinquante couples. Et quand on veut en employer un plus grand nombre, il faut les disposer en séries composées du même nombre de couples et les assembler pôle à pôle, de manière à ajouter les surfaces sans augmenter le nombre réel des couples de la pile entière Par cette association des séries, on augmente proportionnellement l'intensité du courant et la quantité de lumière produite.



4.

5.

Dans sa forme première, le couple de Bunsen (fig. 6) était composé d'un cylindre creux en charbon de coke aggloméré immergé dans l'acide nitrique contenu dans



6.

un bocal de verre ; le centre évidé du cylindre admettait un vase de porcelaine dégourdie et poreuse, qui contenait une dissolution d'acide sulfurique étendue à 15 degrés de l'aréomètre de Beaumé, et où l'on plaçait un cylindre de zinc amalgamé. Pour préserver l'ascension de l'acide nitrique dans la masse poreuse du charbon, on imbibait de cire la partie supérieure destinée à être

embrassée dans un collier métallique; ce collier ainsi que les cylindres de zinc étaient pourvus d'appendices métalliques à vis servant à établir les communications.

M. Deleuil, après avoir livré au commerce un nombre considérable de ces piles, a trouvé qu'il y avait avantage pour la simplicité de la construction et pour la durée du service à intervertir les positions des liquides et des éléments solides. Aujourd'hui il place l'acide sulfurique et le zinc à la circonférence et le charbon en cylindre plein avec l'acide nitrique ou autre. Le rapport des capacités est tel que les deux acides sont épuisés à peu près dans le même temps. La communication se fait aussi d'une manière plus simple en introduisant à force dans une cavité centrale du charbon l'extrémité conique de l'appendice adapté au zinc seulement.

Quel que soit l'appareil dont on se sert, la quantité de lumière versée dépend surtout de l'intensité du courant fourni par la pile, et cette intensité dépend elle-même de la quantité de zinc, d'acides sulfuriques et nitriques consommés dans l'unité de temps. Il est à regretter que l'on n'ait pas tenté de déterminer quel est dans l'état actuel de la science le rapport de la lumière électrique aux dépenses qu'il en coûte pour la produire. Il est vrai que M. Foucault s'est occupé en commun avec un autre physicien, M. Fizeau, d'estimer par les procédés photographiques l'intensité absolue de la lumière électrique et de la rappporter à celle du soleil prise pour unité; mais c'est là un renseignement purement scientifique, et ce n'est que dans l'application à certaines expériences d'optique que l'on trouve un avantage réel à user d'une source de lumière artificielle qui, considérée à l'unité de surface, vaille les 3/5 de la lumière solaire. Dans les applications à l'éclairage la question devient tout autre, et l'on demande combien les appareils actuellement connus et dépensant tant par heure peuvent remplacer de bougies?

En l'absence de tout document positif fourni par des recherches spéciales, on ne peut que rapprocher quelques renseignements recueillis à des sources diverses.

M. Bunsen, après avoir reconnu la propriété éclairante de sa pile, procéda à quelques mesures de photométrie qui lui donnèrent en moyenne une intensité de 550 bougies pour quarante-huit couples tels que ceux que l'on construisait alors; mais il ne dit pas quelle était la dépense occasionnée par la pile elle-même.

M. Deleuil, qui, de son côté, a dirigé une multitude d'expériences, estime que, dans une soirée de huit à dix heures, une pile de cinquante couples tels que ceux qu'il construit actuellement dépense, tous frais compris, de 15 à 18 francs. Or on peut, sans exagération, considérer la pile de M. Deleuil comme trois fois plus forte que celle dont se servait le chimiste allemand. C'est donc environ une dépense de 2 francs pour alimenter pendant une heure une source lumineuse valant de quinze à dix-huit cents bougies. Encore une fois, cette appréciation est très vague, et il n'en faudrait pas conclure qu'avec dix-huit cents bougies artistement distribuées, on ne fournirait pas une plus grande quantité de lumière utile qu'avec l'appareil qui leur est comparé.

D'ailleurs la lumière électrique possède une qualité qui ne ressort pas nettement dans les appréciations photométriques, et qui pourtant affaiblira toujours aux yeux du public sa valeur éclairante; elle est très blanche, et, par sa blancheur même, dès qu'elle apparaît elle éveille le souvenir du jour; il en résulte que ce n'est plus aux lumières artificielles qu'on la compare, mais au jour lui-même, avec lequel elle ne peut lutter sans désavantage. On ne raisonne pas cette impression, mais on l'éprouve, et le monde l'exprime en disant que la lumière électrique fait voir, mais qu'elle n'illumine pas.

Si en lui conservant son éclat on la rendait plus jaune, il n'est pas douteux que l'œil ne lui attribuât une puissance éclairante considérablement plus grande. Mais admettant que le public s'habitue à cette pâleur de la lumière électrique, il resterait encore à résoudre bien des difficultés qu'on peut énumérer aujourd'hui sans pour cela désespérer absolument de l'avenir.

1° Quelque soin que l'on prenne à régler les différents appareils imaginés jusqu'à ce jour, la lumière électrique n'est jamais fixe, et ses vacillations continuelles contribuent à jeter de l'incertitude sur son véritable pouvoir éclairant.

2° Quand un appareil est bien réglé, il ne l'est que relativement à une certaine intensité du courant qui l'alimente; quand la pile vient à faiblir ou à varier dans un sens ou dans l'autre, l'appareil, quel qu'il soit, ne marche plus dans de bonnes conditions, il peut même arriver qu'il s'éteigne. Il faudrait donc que la pile fût rendue plus constante qu'elle ne l'est, ou qu'on trouvât moyen d'interposer une résistance susceptible de contre-balancer d'elle-même les variations de l'électromoteur.

3° Cette même difficulté reparaît sous une nouvelle forme quand on veut alimenter plusieurs appareils avec une même pile. Les variations accidentelles qui surviennent dans l'un retentissent sur les autres et en peu d'instants, ils refusent tous le service. Reste donc encore à résoudre le problème de la distribution du courant électrique.

4° Enfin il y a encore, au point de vue industriel, une difficulté capitale que voici: on n'a jusqu'ici obtenu de belle lumière qu'en employant comme pôle le charbon de cornue fourni par les usines à gaz; or, si l'on veut faire concurrence à l'éclairage au gaz, on ne peut pas lui demander assistance.

Telles sont les principales raisons qui restreignent jusqu'à nouvel ordre les applications de la lumière électrique et l'empêchent, malgré sa puissance, de s'établir industriellement et de marcher de pair avec la galvano-plastie et la télégraphie, issues du même principe. L. FOUCAULT.

Nous compléterons l'article précédent, dans lequel il est aisé de reconnaître la main d'un maître, par la description de deux systèmes qui ont déjà ouvert la voie à une application du plus haut intérêt.

Régulateur Serrin.— Nous décrirons d'abord un régulateur perfectionné, et le lecteur sera charmé de trouver ici, au lieu d'une simple description, l'élégant rapport de M. Pouillet sur cette invention, dans lequel ce savant traite avec sa clarté habituelle du problème général qu'il a pour objet de résoudre.

Avant d'indiquer le mécanisme qui donne au régulateur de M. Serrin un caractère distinctif, essayons, dit-il, de rappeler sommairement les conditions générales auxquelles doit satisfaire un régulateur de la lumière électrique.

Il faut une pile ayant au moins 50 éléments Bunsen de grandeur ordinaire pour donner naissance à une belle lumière; 100 éléments réunis en tension donnent une lumière plus éclatante, mais cet éclat est encore surpassé grandement lorsqu'on les groupe en deux batteries de 50 éléments chacune pour les faire agir en quantité.

Tout le monde sait que le courant produit par de telles batteries est en quelque sorte foudroyant, et qu'il y aurait un véritable danger à fermer le circuit en touchant le pôle positif d'une main et le pôle négatif de l'autre. Cependant cette puissance foudroyante ne donne plus aucun signe extérieur dès qu'elle se propage dans un circuit uniquement formé par de gros fils métalliques. C'est alors, au seul moment de la fermeture et au seul moment

de l'ouverture du circuit qu'elle se montre avec violence : si la fermeture est brusque, on ne voit qu'un éclair; si l'ouverture est brusque, on ne voit qu'un autre éclair, ayant en général un aspect différent : mais si les deux fils, ou plutôt les deux corps qui doivent compléter le circuit, sont seulement mis en présence et assez près l'un de l'autre pour que le circuit ne soit en réalité ni tout à fait ouvert ni tout à fait fermé, alors le double phénomène devient permanent et se montre avec un éclat extraordinaire : aucune matière ne résiste à cette conflagration incessamment renouvelée et qui se maintient aussi longtemps que dure l'action de la pile, c'est-à-dire pendant des journées entières.

L'or, le fer et le platine, en baguettes épaisses, se fondent comme de la cire, et leurs vapeurs colorent de diverses nuances les enveloppes lumineuses qui semblent réunir les deux pôles; la silice, l'alumine et la plupart des substances les plus réfractaires, prises séparément, entrent de même en fusion et en volatilisation. Dans ce foyer où tous les corps se détruisent, il en est un cependant, et c'est peut-être le seul, qui se maintient plus résistant que les autres, qui, par un ensemble de circonstances véritablement heureuses, se trouve être bon conducteur de l'électricité, condition indispensable pour l'objet dont il s'agit, se laisse façonner comme il convient, et qui, de plus, n'est ni rare ni cher. Ce corps est le charbon, tel qu'il se concrète dans les cornues à gaz, ou tel qu'il peut se préparer de toutes pièces par des procédés particuliers. On en fait des baguettes rondes ou carrées, parfaitement droites, d'environ 30 centimètres de longueur sur une épaisseur variable de 5 à 10 ou 12 millimètres. Deux de ces baguettes sont adaptées par une de leurs extrémités à des pièces métalliques convenables, l'une terminant le fil positif de la pile et l'autre le fil négatif. Ces fils de bon cuivre rouge, de 3 ou 4 millimètres de diamètre, recouverts de soie ou de coton, peuvent avoir des centaines de mètres ou même plusieurs kilomètres de longueur, suivant la distance qui doit se trouver entre la pile et le foyer de lumière ou de conflagration. Le charbon positif et le charbon négatif sont en général disposés verticalement l'un au-dessus de l'autre; si leurs extrémités libres étaient planes et mises en contact parfait, le courant introduit au moyen du commutateur ne se manifesterait aucunement; il passerait dans le charbon comme dans le fil de cuivre, sans montrer au dehors aucun signe de sa présence. Le circuit serait complétement fermé.

Mais s'il arrive qu'il y ait dans l'appareil ou régulateur qui porte les charbons un électro-aimant pourvu d'une armature mobile convenablement disposée, le passage du courant fera tomber l'armature, et ce mouvement se communiquant, par exemple, au support du charbon inférieur pour le faire descendre de 2 ou 3 millimètres, le support du charbon supérieur restant fixe, on comprend que les extrémités libres du charbon ont cessé de se toucher, que le circuit s'est ouvert, que l'explosion de la lumière s'est manifestée, et que le phénomène sera persistant sous la seule condition que le circuit ne puisse ni se refermer ni s'ouvrir complétement, c'est-à-dire au delà des limites que le courant peut franchir.

Arrêtons-nous un instant à ce premier jeu de l'appareil et, pour pressentir les autres fonctions qu'il faudra lui attribuer, examinons avec soin les effets qui se produisent dans les charbons.

Le charbon résiste à la fusion, mais il ne résiste pas à une sorte de désagrégation moléculaire qui l'use rapidement, soit qu'elle résulte de la seule action de cette chaleur prodigieuse, soit plutôt que le courant exerce par lui-même un effort d'arrachement et de transport sur les dernières particules matérielles. L'usure est inégale, celle du positif étant en général un peu plus que double de celle du négatif; la combustion du charbon par l'oxygène de l'air n'y entre que pour peu de chose, car on n'observe pas de différence très-marquée quand les charbons sont maintenus dans une atmosphère d'azote. On remarque en même temps que l'incandescence du positif occupe plus de longueur que celle du négatif, comme si celui-ci n'éprouvait qu'un moindre degré de chaleur. Par cette destruction, il arrive donc après peu de minutes que l'espace qui sépare les charbons se trouve agrandi; il n'était d'abord que de 2 ou 3 millimètres, il est bientôt de 8 ou 10, ou même davantage, suivant la nature du charbon et la puissance du courant.

Pour mieux observer ces phénomènes, il faut projeter sur un tableau l'image des charbons avec un grossissement de 8 ou 10 fois; l'éclat en devient alors supportable, et les observateurs, groupés devant cette image, peuvent étudier avec facilité toute la série des accidents qui se produisent dans ce foyer de lumière et de chaleur, si constant en apparence et cependant si agité. Nous nous bornerons à dire que l'intensité de la lumière est affaiblie notablement par une sorte de champignon qui se forme de temps à autre sur la pointe du charbon négatif, par l'accumulation de parcelles qui arrivent du charbon positif, comme transportées par le courant. Ces champignons disparaissent et se renouvellent par intervalles; mais il est vrai de dire qu'on ne les observe presque jamais avec certains charbons et certaines intensités de la pile : par conséquent, il y a là un choix à faire pour obtenir une lumière plus constante.

La distance qui sépare les extrémités positives et négatives des charbons ne peut pas s'accroître ainsi indéfiniment dans le régulateur; il y en a deux raisons : 1° l'intensité du courant diminue à mesure que cet intervalle s'agrandit; 2° l'affaiblissement du courant entraîne l'affaiblissement de la lumière. Il faut donc limiter l'accroissement de l'intervalle pour limiter la diminution d'éclat. C'est là l'une des fonctions importantes du régulateur, et sa fonction la plus délicate. C'est l'électro-aimant dont nous avons déjà parlé qui doit gouverner le moteur chargé de rapprocher le charbon; mais ce rapprochement est un acte très-complexe :

1° Il faut que le centre du foyer de lumière reste à la même hauteur, et comme le charbon positif qui est en haut s'est usé plus que le négatif qui est en bas, chacun doit se déplacer en proportion de son usure, le premier en descendant, le second en montant;

2° Il faut que les charbons ne puissent pas venir au contact, puisque alors le circuit serait complétement fermé et la lumière éteinte, au moins pour un instant;

3° Il faut que ce mouvement s'accomplisse à l'instant voulu, c'est-à-dire avant que le courant ait éprouvé une certaine diminution d'intensité difficile à saisir.

La fig. 7 représente l'appareil de M. Serrin: le porte-charbon supérieur *a* communique avec le pôle positif, l'inférieur *b* par l'intermédiaire de l'électro-aimant et du rouage avec le pôle négatif.

L'armature de son électro-aimant peut être assimilée au plateau d'une balance chargé d'un poids fixe, dont la course de haut en bas et de bas en haut est limitée à 3 ou 4 millimètres par des vis butantes, et qui, au lieu d'avoir des contre-poids de l'autre côté, se trouve soutenu par deux ressorts à boudin dont le premier est fixe et fait à peu près équilibre à la charge, tandis que le deuxième reçoit des tensions variables par un mouvement de vis; un tel plateau de balance se réglerait aisément pour descendre à volonté par une surcharge de 10, 20, ou 30 grammes, suivant le degré

de tension que l'on aurait donné au deuxième ressort. Tel est le principe dont M. Serrin a fait ici une heureuse application. Son armature est chargée de tous les supports du charbon négatif et compose avec eux un système oscillant verticalement et librement dans les étroites limites de 3 ou 4 millimètres; les deux ressorts la tiennent soulevée, et la surcharge capable de la faire descendre est la force attractive de l'électro-aimant. Cette force diminue avec la force du courant, par conséquent elle diminue quand les charbons

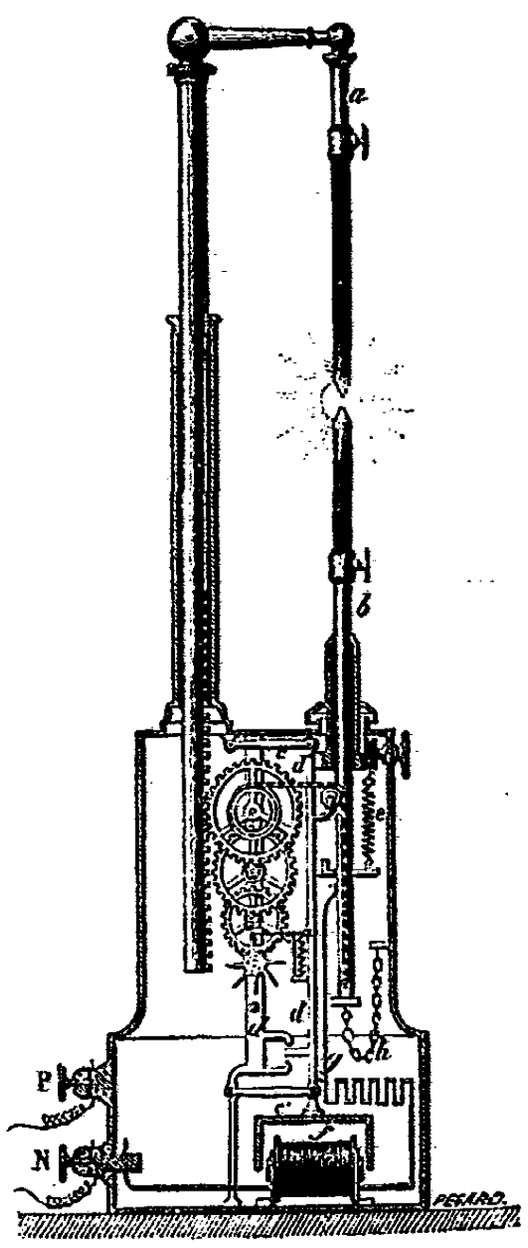


Fig. 7.

par trop usés laissent entre eux un trop grand intervalle et quand la lumière commence à s'affaiblir. C'est donc ce minimum de force qu'il faut saisir pour arrêter là du même coup le maximum de l'écartement des charbons et le minimum de la lumière. Le ressort à tension variable est en effet réglé sur cette donnée : à l'instant où ce minimum arrive, le plateau de la balance remonte, c'est-à-dire que le ressort enlève l'armature, la surcharge due à la force électro-magnétique trop affaiblie étant devenue insuffisante pour la retenir.

Un exemple fera mieux comprendre encore ce balancement entre la force de l'électro-aimant et l'éclat de la lumière. L'énergie de la pile et la nature des charbons permettent-ils un grand écartement sans que la lumière soit trop affaiblie, le ressort sera réglé à petite tension, afin que l'armature ne soit soulevée pour opérer le rapprochement des charbons qu'au moment où la force du courant sera fort réduite; d'autres conditions exigent-elles que l'écartement des charbons soit restreint à des limites plus étroites, la tension du ressort sera augmentée, afin que l'armature soit comme arrachée à l'électro-aimant avant que sa force ou celle

ÉCLAIRAGE.

du courant aient été diminuées dans une trop grande proportion.

Le degré de tension qu'il faut donner au ressort pour avoir un effet de lumière maximum et suffisamment constant, dépend à la fois de la nature des charbons et de l'énergie de la pile; cette tension une fois obtenue, ce qui est l'affaire de quelques instants, il n'y a plus à s'en occuper, l'appareil devient automatique et se gouverne lui-même jusqu'au moment où il est nécessaire de remplacer les charbons.

Ce sont les mouvements de l'armature, si libres et si pondérés, qui règlent tout dans l'appareil de M. Serrin. Au commencement, quand on introduit le courant, l'armature descend par la force attractive de l'électro-aimant et sépare les charbons, comme nous l'avons dit plus haut; ajoutons ici qu'en descendant elle place un arrêt sur le petit volant du système d'engrenage qui est destiné à opérer le rapprochement simultané des charbons dans la proportion voulue pour le positif et le négatif. Aussitôt que l'usure des charbons a produit entre eux l'écartement limite, ou, ce qui revient au même, le minimum de l'intensité de la lumière, le minimum de la force du courant et le minimum de la puissance attractive de l'électro-aimant, le ressort soulève l'armature, dégage le volant de son arrêt et rend la liberté au système d'engrenage; alors le poids qui presse sur la première roue du système met tout en mouvement : les roues tournent, les charbons se rapprochent, la force du courant augmente, l'électro-aimant devient capable de ressaisir l'armature et de la faire descendre; au même instant tout le mouvement mécanique s'arrête, parce que l'armature en descendant vient replacer l'arrêt sur le volant qui est la dernière roue de l'engrenage.

Ces périodes peuvent se renouveler plusieurs fois dans une minute, si l'usure des charbons est rapide et le ressort très-tendu, tandis qu'elles se reproduisent quatre ou cinq fois plus lentement si les conditions de la pile et des charbons exigent que le ressort soit plus lâche.

Ici un mot d'explication est nécessaire. Comment le charbon négatif, qui se trouve avoir 30 centimètres de longueur ou même plus quand il est neuf, peut-il remonter de 25 ou 30 centimètres pour que ses dernières sections viennent brûler à la même hauteur que les premières, tandis que nous avons dit que son support est invariablement lié à l'armature et forme avec elle le système oscillant de haut en bas ou de bas en haut, dont la course est limitée à 2 ou 3 millimètres? L'aspect seul de l'appareil répond à cette question; le support des charbons est composé de deux tubes de métal, le premier fixe, le second mobile, celui-ci montant et descendant dans le premier à frottement très doux et portant lui-même le charbon. C'est donc le tube fixe du charbon négatif qui est lié à l'armature et qui oscille avec elle; dans son mouvement d'oscillation il entraîne toujours le tube mobile et par conséquent le charbon. Mais l'inverse n'a pas lieu; quand le ressort de réglage a soulevé l'armature et par là mis en liberté le système d'engrenage, le tube mobile qui porte le charbon positif, taillé en crémaillère dans une longueur suffisante, descend par son poids, entraîne la première roue et toutes les autres. Alors une petite chaîne s'enroule par un bout sur une poulie de diamètre convenable qui fait corps avec la première roue et s'en va, par l'autre bout, au moyen d'une poulie de renvoi, faire monter de la quantité voulue le tube mobile qui porte le charbon négatif; ce glissement ascensionnel n'entraîne pas et ne peut pas entraîner le tube fixe qui est, ainsi que l'armature, à son point d'arrêt supérieur.

Les supports à deux tubes métalliques, l'un fixe et l'autre mobile, ne sont pas nouveaux, ils appartiennent

à la plupart des régulateurs de la lumière électrique; mais M. Serrin leur a donné une fonction nouvelle, en mobilisant le tube fixe de l'un des deux supports, en l'attachant à l'armature de l'électro-aimant pour le faire monter et descendre avec elle.

Ces innovations nous paraissent d'autant plus importantes que M. Serrin, dans la construction de son régulateur, est parvenu à concilier la liberté et la précision des mouvements automatiques avec une solidité qui exclut les causes accidentelles de dérangement.

Lumière électrique produite par machines. — Les appareils dont nous voulons parler sont la contre-partie des moteurs électriques, et ont pour but de produire de l'électricité à l'aide du mouvement relatif d'un conducteur et d'un aimant. La plus parfaite machine de ce genre appartient à une compagnie française représentée par M. Berlioz, directeur, et dont M. Joseph Van Malderen est le mécanicien.

Cet ingénieux appareil n'a aucun commutateur pour redresser les courants électriques. Ainsi, il utilise les courants d'induction alternativement renversés, ce qui permet d'attacher les conducteurs sur l'arbre même de l'appareil en rotation. C'est une importante innovation introduite depuis plusieurs années dans la construction de cet appareil.

Nous rapporterons, d'après M. E. Becquerel, les résultats des expériences faites à l'administration des phares de Paris, en vue de l'application la plus intéressante et la plus heureuse.

La plupart des machines construites sont formées de deux parties pouvant fonctionner séparément ou simultanément, à volonté, et formées chacune de quatre rouleaux à 8 bobines par rouleau; cela fait 32 électro-aimants par machine, ou 64 en totalité. Celle qui a servi aux expériences dont nous parlons ci-après a 6 rouleaux, chaque rouleau ayant 16 électro-aimants ou 96 électro-aimants et 56 aimants pour la machine entière. (Voy. ÉLECTRICITE.) *Complément.*

Chaque aimant permanent pèse 12k,5 et il peut porter environ trois fois son poids. La machine qui a donné lieu aux observations suivantes était mise en mouvement par une machine à vapeur qui, dans une première série d'expériences, avait la force d'un cheval 1/2 environ et consommait 6 kil. de coke par heure; dans une seconde série, la machine à vapeur avait la force de deux chevaux et consommait 9 kil. de charbon par heure. Les courants induits alternativement inverses étaient transmis à un régulateur électrique du système de M. Serrin.

Dans la seconde série, on a trouvé par heure, en divisant par deux les nombres obtenus, afin de rapporter les intensités lumineuses à la force d'un cheval :

	Intensité moyenne.	Intensité maximum lors des éclats lumineux.	Intensité minimum.
	bougies.	bougies.	bougies.
Avec des conducteurs en charbon de cornue convenablement triés.	700	de 1000 à 1100	de 480 à 520
Avec des conducteurs en charbon plus pur.....	de 800 à 880	près de 1380	»

On a déduit l'intensité lumineuse en bougies, de l'intensité d'une lampe Carcel brûlant 42 gr. d'huile à l'heure et estimée équivalente à 7 1/2 ou 8 bougies.

On voit que pour une dépense relativement très-minime, celle que cause le prix de la houille ou du coke nécessaire pour produire par heure la force d'un cheval dans une machine à vapeur, on a pendant ce même temps une intensité lumineuse soutenue, égale au moins à 700 bougies. Il est intéressant de comparer le prix de revient de cette lumière à celui des lumières produites par les moyens ordinaires. On a, d'après les recherches faites par M. E. Becquerel sur ce sujet :

SOURCES LUMINEUSES.	POIDS DES MATIÈRES consommées par heure, pour une intensité lumineuse correspondant à 1 bougie stéarique.	PRIX DE REVIENT de la lumière équivalente à 700 bougies stéariques par heure.
Lumière électrique (appareil magnéto-électrique).....	»	de 0f,10 à 0f,20
Id. Pile voltaïque de 60 à 80 éléments...	»	de 3 à 5 fr.
Gaz de houille.....	15 litres.	3f,20[1]
Huile de schiste légère.	4gr,52	3f,85
Huile de colza épurée.	5gr,18	6f,10[2]
Suif.....	10gr,55	12f,60[3]
Bougie stéarique....	10gr,40	26f,20[4]
Bougie de cire.....	8gr,26	32f,40[5]

1. Au prix de 0 fr. 30 le mètre cube de gaz.
2. Au prix de 1 fr. 70 le kil.
3. Au prix de 1 fr. 70 le kil.
4. Au prix de 3 fr. 60 le kil.
5. Au prix de 5 fr. 60 le kil.

On voit donc que, comme source lumineuse, celle qui résulte des courants magnéto-électriques est la moins coûteuse, pourvu qu'il n'y ait pas d'inconvénient à produire une lumière très-vive en un point donné et qu'on puisse utiliser toute cette lumière, car la division de la lumière, si nécessaire aux circonstances habituelles de l'éclairage public, n'est pas possible par ce procédé. Ce n'est donc que dans des cas spéciaux qu'elle peut être actuellement utilisée. Tel est au premier rang l'éclairage des phares, pour lesquels la longue portée d'une aussi vive lumière, sans aucun appareil accessoire, est d'un grand prix.

ECLUSE (*angl.* sluice, *all.* schleusse). Nous avons décrit à l'article CANAL les dispositions adoptées dans la construction des écluses, et nous avons cherché à faire comprendre toute l'importance de cette admirable découverte, sur laquelle repose la navigation artificielle des canaux. Le seul inconvénient grave de ce système est d'exiger une dépense d'eau considérable, ce qui rend l'établissement des canaux difficile, ou ne leur permet que d'être de peu d'utilité dans nombre de cas. En effet, à première vue, on ne voit pas comment il peut en être autrement : le passage d'un bateau d'un bief inférieur à un bief supérieur exige une dépense d'eau mesurée par la section horizontale du sas multipliée par la différence de niveau des deux biefs, dépense considérable, et qui, sur nombre de canaux, force à diminuer beaucoup le nombre des passages des bateaux, et par suite l'utilité du canal. En réfléchissant toutefois aux actions diverses qui ont lieu quand on ouvre les portes du sas, on voit qu'en réalité il passe du bief supérieur dans le bief inférieur une grande quantité d'eau dont la force motrice n'est pas utilisée, et qui, si elle l'était, pourrait théoriquement servir à remonter cette eau du bief inférieur dans le bief supérieur.

La difficulté d'imaginer une disposition pouvant éviter cette perte paraît avoir été surmontée d'une manière très-satisfaisante par l'invention de M. Girard. Le prix Montyon, décerné à l'auteur, et plus encore les conclusions du savant rapporteur, M. Poncelet (voir *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 fé-

vrier 1845), qui a fait ressortir tout ce que cette invention, jusque-là dédaignée, avait de remarquable et d'utile, sont des faits dont on ne saurait trop s'applaudir, et M. Poncelet nous permettra de consigner ici l'expression de l'opinion publique, en disant que son zèle pour la science lui a fait faire non-seulement un beau travail, mais encore une bonne action.

Nous extrayons du travail de M. Poncelet la description de cette invention qui réduit toujours la dépense d'eau pour le jeu d'une écluse (quelle que soit la chute) à un volume d'eau de 0m,10 de hauteur environ, c'est-à-dire presque exclusivement à la dépense de la chute du volume d'eau déplacé par le bateau (ou du poids élevé).

Depuis longtemps on a cherché divers moyens d'atteindre le but que s'est proposé M. Girard; on doit citer comme les plus marquants les plans inclinés de Reynolds et Fulton (voyez PLANS INCLINÉS), les écluses à chariot de l'ingénieur Mercadier, celles à sas mobile de Solage et Bossut, celles à flotteur et à contre-poids de l'ingénieur Betancourt, et enfin celles à piston et syphon de M. Burdin. Nous mentionnerons encore un système de M. Thilorier, mais, attendu que c'est par l'emploi d'une force auxiliaire, comme celle du vent ou des chevaux, que l'eau dépensée est remontée, on ne doit pas comprendre cette conception au nombre de celles qui ont pour but d'employer le travail de l'eau qui descend, ou en remonter à très peu près le même volume.

Dans les systèmes de Reynolds, Fulton et Mercadier, on opère la remonte d'un bateau en se servant de l'action de la descente d'un autre bateau, et en les plaçant directement sur des chariots pleins d'eau qui roulent sur des plans inclinés.

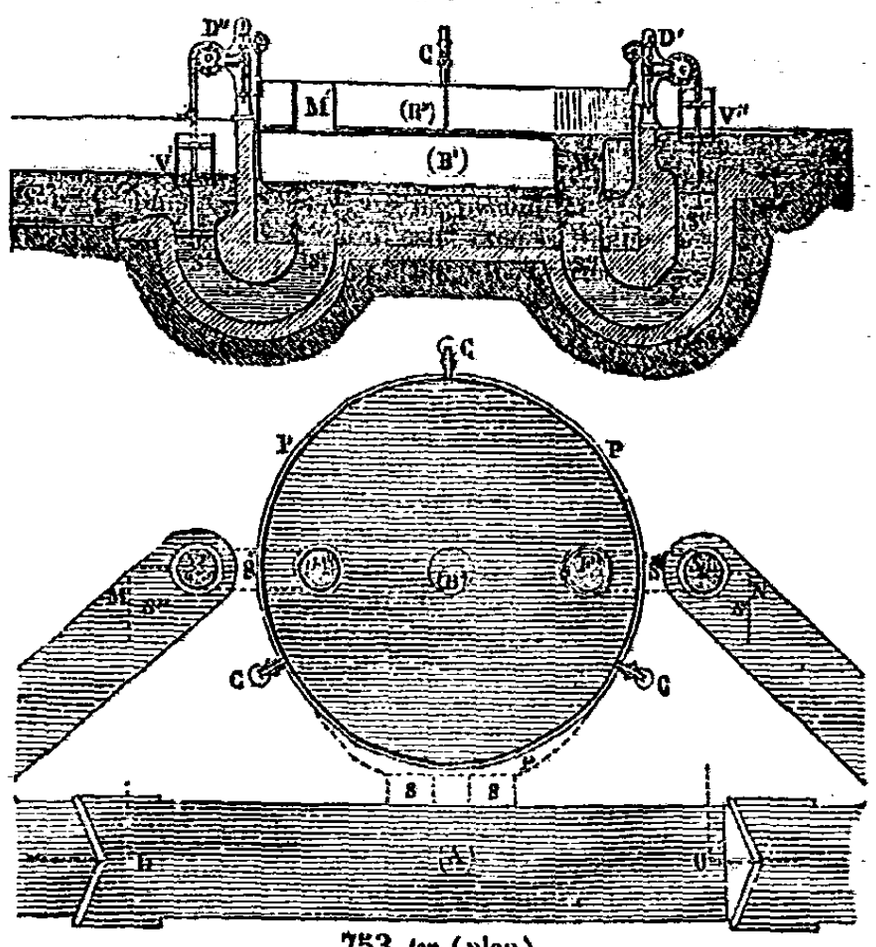
Dans l'écluse de Solage et Bossut, le sas mobile entre le bief supérieur et le bief inférieur, est supporté verticalement par un caisson plongeant dans l'eau d'un puits, dont le mouvement de descente ou d'ascension est produit par une addition ou une soustraction d'eau dans le sas. Le système de Betancourt consiste à mettre un réservoir en communication avec le sas et à faire monter et croître le niveau de l'eau dans ce dernier, au moyen d'un flotteur qui s'enfonce et se retire du réservoir avec assez de facilité, vu qu'il est équilibré à très peu près dans toutes les positions, au moyen d'un autre poids d'un effet variable.

Le système de M. Burdin est aussi basé sur l'usage d'un réservoir latéral en communication avec le sas; ce réservoir est fermé de tous côtés contre l'introduction de l'air par un couvercle et un piston renversé, de sorte que le mouvement du piston agit comme celui d'une pompe aspirante, pour faire entrer dans le réservoir ou en faire sortir tout le volume d'eau que peut contenir le sas, sans que néanmoins le centre de gravité de tout le liquide contenu dans les deux bassins change de niveau, et sans qu'on ait ainsi à dépenser, pour opérer le mouvement, d'autre travail que celui qui est nécessaire pour vaincre les frottements.

Le moyen imaginé par M. Girard diffère assez de tous ceux qu'on vient d'indiquer pour constituer une nouvelle invention; il participe à la fois du système à flotteur de Betancourt et du système à syphon de M. Burdin.

Avant d'expliquer le système de M. Girard, nous donnerons la figure de son appareil sous sa forme la plus complète, car sa première combinaison était loin d'offrir les mêmes chances de succès. Il faut pourtant le dire, la complication du système a encore fait reculer jusqu'à ce jour les praticiens.

753 *bis* (coupe suivant MNLO).



753 *ter* (plan).

A, sas principal ou intermédiaire, communiquant souterrainement avec le puits où plonge le flotteur; B, caisson ou bassin flottant; B', compartiment inférieur, et B'', compartiment supérieur du même; C, C, appareil à contre-poids guides servant à soulever ou à équilibrer le caisson; D' et D'' appareils à déclic servant à la fermeture spontanée des vannes d'entrée des syphons S' et S'' qui communiquent par des fourreaux mobiles avec les compartiments respectifs du flotteur dans ses diverses positions; M', manchon vide servant à écouler l'air du compartiment inférieur du caisson, et à rétablir l'équilibre des pressions du liquide sur les fonds respectifs de ce compartiment et du compartiment supérieur; M'', manchon plein servant à établir la communication entre le compartiment supérieur et la branche verticale du syphon, qui y amène l'eau au travers du puits; P, P, puits dans lequel flotte le caisson, et dont l'eau communique librement avec celle du sas principal A; S, S', syphons renversés qui établissent la communication entre les sas ou biefs d'aval et d'amont avec les compartiments B' et B'' du caisson; S, S', canaux d'amenée du liquide dans ces syphons, correspondants aux biefs d'amont et d'aval; V', V', vannes cylindriques découvertes servant à ouvrir ou à fermer l'entrée à une extrémité supérieure des syphons.

Décrivons d'abord le premier système de M. Girard:

A côté du sas on établit un large puits ou bassin rempli d'eau sur une assez grande profondeur; une caisse prismatique, soutenue par un flotteur vide de moindre dimension, et plongeant dans ce puits ou réservoir, contient elle-même de l'eau jusqu'à un certain niveau et en quantité suffisante pour remplir le sas. Lorsque celui-ci est vide et qu'on veut le remplir, le niveau dans le flotteur est de 0m,05 environ au-dessus de celui du sas, c'est-à-dire du bief inférieur. De grands syphons, toujours remplis d'eau, pouvant, par l'ouverture de robinets, mettre en communication le liquide qui est contenu dans la caisse flottante et celui du sas, l'écoulement s'opère de la première capacité dans la deuxième; mais dès que cet écoulement commence, le niveau, dans la caisse flottante, tend à s'abaisser; celle-ci, perdant une partie de son poids, se relève d'une certaine quantité, laquelle dépend des rapports établis entre la superficie de l'eau qu'elle contient et celle de l'eau sur laquelle elle flotte dans le puits. Il est facile de calculer ces rapports de telle sorte que le niveau de l'eau dans la caisse se relève de la même quantité que celui du liquide contenu dans le sas.

L'écoulement continue dans les mêmes conditions jusqu'à ce que, par des dispositifs de construction, et par la fermeture des robinets placés dans les syphons pour en arrêter ou en déterminer le jeu, il se trouve forcément suspendu. Ceci arrive quand l'eau, dans le sas, est à environ 0m,10 au-dessus du niveau du bief supérieur, celui du liquide dans la caisse flottante, étant alors à 0m,05 seulement au-dessous de ce même niveau. A cet instant, et pour faire passer le bateau du sas dans le bief supérieur, il suffit de tirer de celui ci, en ouvrant les portes d'amont, une dernière couche d'eau de 0m,10 d'épaisseur.

Le passage étant ainsi effectué et les portes refermées, il est facile d'exécuter la manœuvre contraire, c'est-à-dire de faire baisser le niveau dans le sas, et d'opérer la descente d'un bateau qui y serait entré en venant du bief supérieur; il suffit d'ouvrir les robinets des syphons. Le niveau de l'eau contenue dans la caisse flottante ou aboutissent ces syphons se trouvant, en effet, de 0m,05 plus bas que celui du liquide dans le sas, l'écoulement a lieu de cette dernière capacité dans la première, et, à mesure que la caisse flottante reçoit du liquide, elle s'enfonce et le niveau du sas s'abaisse. D'une autre part, le niveau dans le puits se relevant par cet enfoncement de la caisse, il en résulte, pour le niveau absolu dans celle-ci, une descente qui est la différence de deux effets opposés. Par les rapports déjà établis entre les sections de l'eau dans le sas, dans la caisse et dans le puits, ainsi que la section de flottaison du plongeur, le niveau s'abaissera dans la caisse, de la même quantité que dans le sas, c'est-à-dire en sens inverse de ce qui avait lieu dans la période ascendante. Ainsi l'écoulement continuera dans les mêmes conditions, et le sas achèvera de se vider jusqu'à l'instant où son niveau n'étant plus qu'à 0m,10 au-dessus de celui du bief inférieur, les robinets des syphons viendront à se fermer par le dispositif même des constructions ou à la volonté de l'éclusier. Le niveau de l'eau dans le flotteur n'est alors qu'à 0m,05 au-dessus de celui du bief d'aval, et, en faisant écouler dans ce bief les 0m,10 excédants de hauteur d'eau, qui restaient dans le sas, les choses sont ramenées à l'état primitif, puisque le niveau dans le flotteur se trouve à 0m,05 au-dessus de celui du sas.

Renonçant depuis à l'idée de se servir de syphons supérieurs, dont le jeu est très difficile à maintenir, et de faire plonger le flotteur dans un puits qui, par son extrême profondeur et son isolement, offre des inconvénients non moindres, M. Girard, après quelques tentatives qu'il est inutile d'exposer ici, fut conduit à remplacer le plongeur par une capacité de même forme et de mêmes dimensions que le bassin supérieur, destinée à recevoir l'eau du bief d'aval, au moyen d'un seul syphon renversé entièrement fixe, et dont la branche verticale correspondante traverse à la fois le radier du puits et le fond du bassin inférieur, muni, à cet effet, de garnitures en cuir.

De tels syphons étant exempts des défauts inhérents à ceux qui s'élèvent au-dessus des niveaux entre lesquels ils établissent la communication, l'auteur en a appliqué également le dispositif au bassin supérieur, à cela près, que la branche verticale correspondante du syphon y amène l'eau du bief d'amont, par l'intermédiaire d'un fourreau ou manchon cylindrique enveloppe, servant à relier les deux fonds du flotteur, que cette branche traverse librement en glissant contre des garnitures en cuir dont il est muni à son extrémité la plus basse; ces garnitures ont d'ailleurs, comme les précédentes, pour objet de s'opposer à l'introduction de l'eau, du puits ou du sas, dans les compartiments où elle est soumise à une moindre pression.

Tout l'appareil flottant se trouve ainsi réduit à un caisson prismatique divisé, par un diaphragme ou fond intermédiaire, en deux compartiments distincts, communiquant avec l'air extérieur, soit directement, soit par le moyen d'un tube qui traverse le plus élevé d'entre eux. M. Girard exécute les parois et le double fond de ce caisson en tôle de 3mm d'épaisseur, renforcée par des supports en fonte évidés, qui offrent un système suffisamment solide, vu que les pressions, exercées de part et d'autre du fond le plus bas, se font à très peu près équilibre. Un flotteur placé à la surface de l'eau du compartiment inférieur, indique, à tous les instants, la hauteur relative de cette eau ou son épaisseur. Enfin, les syphons, réduits au nombre de deux, sont, comme dans le système primitif de l'auteur, munis de clapets destinés à établir ou à interrompre la communication entre les compartiments et les biefs respectifs, lors de leur manœuvre, à l'aide d'un appareil à déclic et à leviers que le flotteur fait agir à la fin de chacune des oscillations.

Maintenant, si l'on suppose que, les niveaux des biefs étant invariables, on donne à chacun des compartiments prismatiques du caisson une hauteur égale à la distance de ces niveaux, qui constitue la chute à franchir, et une section horizontale équivalente à celle du sas et de l'espace demeuré libre dans le puits, on aura toutes les données nécessaires pour saisir la manœuvre de cette nouvelle disposition d'écluse.

Considérons, en effet, le système à l'instant où, les portes d'amont étant fermées et celles d'aval ouvertes pour introduire un bateau dans le sas, le caisson vide flotte librement à la surface de l'eau du puits dont le niveau est le même que celui du sas; il est clair qu'en vertu de son poids, il plongera au-dessous de cette surface, d'une certaine hauteur supposée toujours de 0m,05 par M. Girard, ce que l'on peut obtenir au moyen de contre-poids convenables servant en même temps à le diriger dans son mouvement vertical. Par suite, les fonds se trouveront respectivement abaissés, de cette même quantité, au-dessous des niveaux correspondants des biefs d'aval et d'amont, ce qui permettra à l'eau de ces biefs de s'introduire simultanément dans les compartiments, lorsque, après avoir fermé les portes d'aval on viendra à ouvrir les clapets des syphons. Supposant d'ailleurs les diamètres de ces syphons calculés de manière à écouler des quantités d'eau égales, sous une même charge motrice et dans le même temps; faisant, en outre, abstraction de l'épaisseur des parois du caisson, etc., et supposant que l'on ait rendu les sections, intérieure et extérieure, égales à celles du sas et de l'espace libre du jeu dans le puits, on verra en considérant les choses statiquement, ce qui est permis vu l'extrême lenteur du mouvement, que, si les compartiments reçoivent en effet deux tranches d'eau d'épaisseur égale h, le caisson s'enfoncera au-dessous du niveau extérieur mobile, d'une hauteur $2h$; et, comme ce niveau n'a pu se relever que d'une hauteur précisément égale à celle dont le caisson s'est abaissé en refoulant par sa base l'eau du puits dans le sas avec lequel il communique, il en résulte que cette élévation et cet abaissement absolus se réduisent simplement à h, c'est-à-dire à la hauteur même dont les niveaux se sont relevés dans les compartiments respectifs. Ces niveaux conserveront donc la même position absolue à toutes les époques de l'abaissement du caisson, si leurs distances, au niveau des biefs respectifs demeurés invariables, se trouvaient primitivement égales, ainsi qu'on le suppose.

Dans le cas contraire, on voit, *à priori*, que les dénivellations, dues aux charges motrices dont il s'agit, tendront à s'égaliser rapidement, en vertu même des conditions qui servent de base à l'établissement du système, car la charge initiale la plus forte donnant lieu, aux premiers instants, à une plus grande épaisseur de tranche d'eau dans le compartiment qui lui correspond, le caisson, et par conséquent le niveau dans l'autre compar

ÉCONOMIE DES MANUFACTURES.

timent, s'abaisseront de quantités absolues, supérieures à celles dont ce dernier niveau tend à s'élever d'une manière relative, c'est-à-dire en raison de l'accroissement d'épaisseur de la tranche d'eau produite sous la plus faible des charges motrices. Cette dernière charge s'accroissant ainsi de plus en plus, tandis que l'autre va, au contraire, en diminuant, il faut bien qu'elles convergent vers l'égalité et que le mouvement du système finisse, au bout d'un temps assez court, pour devenir permanent ou uniforme.

Cela étant admis, on conçoit que la manœuvre du caisson, soit dans la descente, soit dans la montée, s'effectuera d'après les mêmes conditions que pour le premier système de M. Girard, conditions que nous avons déjà indiquées, et sur lesquelles il devient dès lors inutile d'insister. Il nous suffira de faire observer que le flotteur recevant ici, simultanément, un double volume d'eau de la part des biefs respectifs, il doit en résulter une plus grande rapidité dans la manœuvre, une moindre amplitude de mouvement, une plus faible profondeur de puits, et enfin une hauteur considérablement moindre pour tout l'appareil flotteur.

M. Poncelet fait remarquer qu'il serait convenable d'ajuster les branches verticales les plus courtes des syphons, avec le fond des compartiments, au moyen de fourreaux fixes ou mobiles, évasés vers le haut et munis de cuirs emboutés, pour éviter l'introduction extérieure de l'eau. Cette disposition, qui n'exige nullement le polissage ou l'alésage des tubes, comme le prouvent les pompes de M. Letestu, offre d'ailleurs l'avantage de diminuer la hauteur des branches fixes des syphons, et de donner à l'ensemble des fourreaux mobiles, la liberté de jeu que peuvent réclamer les faibles oscillations transversales du flotteur.

Quant aux clapets destinés à ouvrir ou fermer à l'eau le passage au travers des syphons, M. Poncelet conseille l'emploi de vannes cylindriques verticales en tôle mince, analogues aux soupapes des machines à vapeur du Cornouailles, qui sont très faciles à manœuvrer et offrent de suite une large voie à l'eau,

ÉCONOMIE DES MANUFACTURES. M. Babbage a résumé sous ce titre un ensemble de principes, auxquels l'observation indique que se sont assujettis les manufacturiers qui ont le mieux résolu le problème de la production industrielle, de fabriquer le mieux possible, au plus bas prix possible. Nous allons résumer, d'après son bel ouvrage, les principaux résultats auxquels il est arrivé, en cherchant à traiter la question d'une manière moins abstraite qu'il ne l'a fait, c'est-à-dire en nous préoccupant un peu plus que lui du succès du fabricant même. En général, il est vrai, ce succès est obtenu par le bon marché et la perfection de la fabrication, en y joignant pourtant quelques autres conditions; il est clair en tous cas que comme le fabricant ne travaille pas uniquement pour créer, mais bien pour que le résultat de ses travaux, loin de lui être onéreux, lui soit utile et profitable, sa production doit bientôt cesser si elle ne satisfait pas aux dernières conditions dont nous voulons parler, et si par suite le prix de vente devenait inférieur au prix de revient des établissements établis dans de meilleures conditions.

1° DU LIEU D'ÉTABLISSEMENT. Le lieu naturel de l'emplacement d'une manufacture destinée à préparer un produit, paraît être celui où se concentre la matière première. Il n'en saurait guère être autrement quand celle-ci est lourde et encombrante; c'est ainsi qu'on trouve toujours les usines métallurgiques près des minerais, les fabriques de produits chimiques minéraux, le sulfate de fer, etc., près des lieux d'extraction.

Quand la matière première n'est pas d'un poids très considérable, relativement à la valeur qu'elle doit prendre par le travail, l'emplacement le plus convenable est déterminé par le bon marché d'un des éléments de la fabrication, la force ou le combustible.

C'est ainsi que nos filatures d'Alsace se sont concentrées dans les Vosges pour utiliser les nombreux cours d'eau qui s'y rencontrent; mais l'abondance du combustible est une base souvent préférable aujourd'hui, puisque par la machine à vapeur la force se trouve aussi à bas prix sur les mêmes lieux, en même temps que les moyens de chauffage nécessaires dans presque toutes les industries. C'est là la position des grands centres manufacturiers de l'Angleterre, celle que nous rencontrons en France à Saint-Étienne, et qui tend à se créer dans plusieurs autres localités.

Comme exemple curieux de l'influence du bas prix du combustible sur le lieu d'une exploitation, combiné avec quelques conditions spéciales, nous citerons, d'après Babbage, l'exemple suivant : le comté de Cornouailles renferme des filons de cuivre et d'étain, mais n'offre aucune couche de houille. Le minerai de cuivre, qui exige pour sa réduction des quantités considérables de combustible, est porté par mer jusqu'aux exploitations de houille du pays de Galles et fondu à Swansea. Les bâtiments qui le transportent prennent en retour des chargements de charbon pour les machines qui épuisent les mines, et pour les fourneaux à fondre l'étain qui sont sur le lieu même de l'extraction, le traitement de ce métal exigeant moins de chaleur que celui du cuivre.

Une troisième condition fixe souvent le lieu d'emplacement des fabriques, c'est le voisinage des débouchés. Cette condition est supérieure à toutes les autres pour les industries qui sont pour ainsi dire la suite des beaux-arts, et dans lesquelles le goût est la principale condition du succès. Telles sont, à Paris, l'industrie des bronzes et l'orfévrerie, qui ne sauraient avoir aucun succès dans des fabriques placées au loin, qui deviendraient bientôt étrangères aux changements perpétuels de la mode.

Nous poserons enfin comme condition essentielle dans la création d'établissements nouveaux, de se rapprocher des centres de fabrication déjà établis pour des produits analogues à ceux qu'on veut fabriquer. Ces centres formant le grand marché d'un produit manufacturé, peuplés d'ouvriers qui de génération en génération ont acquis une habileté spéciale, offrent des chances de succès qu'on ne saurait rencontrer ailleurs.

2° DIVISION DU TRAVAIL. Le principe de la division du travail est un des plus féconds en résultats parmi ceux auxquels est assujetti le travail manufacturier. Observé par Adam Smith, il a été exalté par ce savant économiste qui a démontré tous les admirables résultats qu'on avait su en tirer.

La division du travail doit être considérée sous deux faces, en tant que moyen d'une création rapide et économique des produits manufacturés, 1° au point de vue du travailleur isolé, 2° au point de vue de l'emploi du travailleur même.

1° Les avantages de la division du travail pour accroître la production du travailleur sont nombreux. Les principaux consistent dans : 1° l'extrême habileté que l'ouvrier acquiert à répéter un même détail peu compliqué; 2° l'économie du temps qu'il perdrait s'il lui fallait changer fréquemment d'occupation, et reprendre successivement des outils opérant suivant des modes différents; 3° l'extrême simplicité de chaque détail d'opérations, dont l'ensemble paraît extrêmement compliqué, d'où résulte, outre l'habileté qu'acquiert l'ouvrier, la découverte d'outils et de méthodes pour simplifier un travail qui absorbe toute son attention.

2° Au point de vue de l'emploi du travailleur même, la division du travail entre plusieurs personnes permet de n'employer pour chaque opération que la dose d'intelligence et de force (et par suite de dépense) stricte-

ment nécessaire au travail à produire. Il est évident que si une partie d'un travail exige un ouvrier capable de gagner 6 fr. par jour, le prix de revient devra résulter du prix de cette journée, si tout le travail devait être fait par cet ouvrier. Mais si la partie la plus simple peut être faite par une femme ou un enfant gagnant 2 fr. par jour le prix du produit en baissera d'autant. C'est sur cette division du travail qu'est basée l'organisation des fabriques.

Il faut remarquer que la simplicité des opérations (surtout quand les machines viennent aider certaines transformations) permet de rendre l'apprentissage facile et peu coûteux, vu le peu de temps qu'il est nécessaire de réclamer à l'ouvrier pour l'intervalle pendant lequel il travaillera d'une manière improductive et la quantité peu importante de matière qu'il gâtera pendant son apprentissage.

Il résulte de ce qui précède que :

Quand d'après la nature spéciale des produits de chaque espèce de manufactures, l'expérience a fait reconnaître à la fois, et le nombre le plus avantageux d'opérations partielles dans lequel doit se diviser la fabrication, et le nombre des ouvriers qui doivent y être employés, tous les établissements qui n'adopteront pas pour l'ensemble de leurs ouvriers un multiple exact de ce nombre fabriqueront chèrement.

La division du travail donne ainsi un minimum de l'importance des établissements, minimum qui s'élève sous l'influence des machines, qui sont des ouvriers d'un ordre supérieur assujettis aux mêmes principes de la division du travail, mais qui par la rapidité de leur production donnent ce résultat, que certains travaux ne peuvent plus se faire avec avantage que dans d'immenses établissements. Ce n'est que dans ceux-ci, que l'on peut établir une division de travail convenable entre les plus puissantes machines qui concourent à la production.

Remarquons encore qu'une bonne division du travail ne peut être obtenue que par une bonne disposition des ateliers, qui évite des transports inutiles, et facilite l'action de surveillance nécessaire pour obtenir le meilleur concours de toutes les intelligences et de tous les efforts.

Notons enfin, quant aux opérations qui exigent l'habileté manuelle de l'ouvrier, que l'avantage que nous avons reconnu à la division du travail, de ne faire faire par des mains habiles que les parties difficiles du travail, est surtout à l'avantage des petits ateliers et des associations d'ouvriers. Mieux que ne peuvent le faire de grands fabricants, un chef-ouvrier de Lyon peut, par exemple, utiliser les ouvriers les moins capables, dont il disposera le travail, en fera les parties difficiles, et le guidera par une surveillance de chaque instant. C'est dans les petits ateliers analogues à ceux de la fabrique lyonnaise que se trouve la limite du bon marché pour la production des articles qui ne sauraient entrer dans le domaine du travail purement mécanique. Dans ce cas, la concentration en grands ateliers n'offre pas, comme le prouve l'expérience, de résultats avantageux, à moins toutefois qu'elle ne soit que la juxta-position de petits ateliers conduits par des ouvriers habiles, intéressés directement à la production qu'ils dirigent.

3° EMPLOI DES MACHINES. L'emploi bien complet des machines est aujourd'hui dans les industries mécaniques la condition essentielle de la production économique. Tant qu'il ne s'agit que de produire quelques exemplaires conformes à un modèle déterminé, l'adresse manuelle suffit avec l'aide de quelques outils simples à *faire* ces objets. Mais quand il s'agit de *fabriquer*, quand la vente d'un produit peut avoir lieu pour un grand nombre d'objets de même nature, alors l'intervention des machines qui ne peuvent, en général, que répéter une seule et même opération, vient se prêter admirablement à réduire le prix du travail. Babbage en cite un exemple, qui a son analogue dans toutes les industries, et que nous citerons, car il indique fort bien l'avantage de l'emploi des machines dans des circonstances données. « Maudslay déclare dans une enquête faite devant le comité de la chambre des communes que lorsque le bureau de l'amirauté lui proposa de faire des caisses en fer pour les navires, il entreprit de faire une de ces caisses pour essai. Les trous des rivets furent percés avec des presses mues à bras d'hommes, et les 4680 trous d'une seule caisse revinrent à 7 schellings. Alors le bureau de l'amirauté qui avait besoin d'une forte quantité de ces caisses, lui proposa de fournir 40 caisses par semaine, pendant plusieurs mois. La commande était assez considérable pour qu'on pût commencer à *fabriquer*. Aussi Maudslay offrit-il de fournir 80 caisses par semaine si on voulait lui en demander 2000. La commande lui ayant été donnée, Maudslay fit alors des outils qui réduisirent de 7 schellings à 9 pences (de 8 fr. 75 à 90 c. environ) la dépense du perçage des trous des rivets des caisses. »

Le dernier progrès de l'emploi des machines est la fabrication AUTOMATIQUE. Quand une industrie est arrivée à ce point, il faut nécessairement que la lutte ait lieu entre établissements tous montés dans le même système; les autres ne pouvant subsister, si partie seulement de leur travail a lieu par machines; si même les machines employées sont moins parfaites et donnent des résultats moins avantageux.

Le travail incessant des inventeurs tend à amener le plus grand nombre des industries à cet état définitif, par l'appât du profit qui résulte de l'introduction de machines faisant mécaniquement et par suite à bon marché une nouvelle partie de la fabrication; machines qui en général donnent à leur origine des produits inférieurs, mais que des perfectionnements permettent bientôt d'obtenir parfaits et toujours semblables.

4° CONTINUITÉ DU TRAVAIL. De même que dans les industries mécaniques, la limite du perfectionnement possible paraît résider dans la manufacture automatique; dans les industries chimiques la perfection est atteinte par la continuité des appareils. La production obtenue dans ce cas presque sans travail et en quantités considérables, sans que la main de l'homme intervienne pour ainsi dire, est extrêmement économique. La production de l'acide sulfurique dans les chambres de plomb continues est un exemple remarquable de ce genre d'appareils, l'immense consommation de cet agent énergique et son influence sur l'industrie moderne fait bien concevoir tous les résultats importants de sa production économique.

Nous comprendrons aussi sous le titre de continuité du travail, une condition fort essentielle de succès, que les fabricants anglais excellent à réaliser, c'est celle qui consiste à conduire toujours la fabrication du même pas, à obtenir par suite du bon marché une demande incessante, et d'atteindre le maximum de la production possible avec un même matériel.

La manufacture (surtout la manufacture automatique) étant un être parfaitement organisé pour produire le plus avantageusement possible une certaine quantité de produits manufacturés, il est clair qu'on ne saurait altérer profondément sa marche régulière sans produire plus chèrement. Une production trop faible, devant supporter tous les frais généraux de la production régulière, deviendra onéreuse; une production forcée donnera des produits moins parfaits. Les pertes seront souvent bien moindres (à moins qu'il ne s'agisse de crises capitales, ou que la manufacture soit établie sur des proportions exagérées relativement à la vente moyenne de l'établissement) à fabriquer dans les temps de baisse dans la vente pour combler l'excédant qui correspond à des temps de hausse.

Les pertes d'intérêts résultant de cette marche seront souvent bien moindres que celles qui résulteraient de variations trop notables dans la production; souvent même le sacrifice qu'il faudra faire sur des marchandises fabriquées d'avance, pour en trouver le placement, sera une source de bénéfices dans l'avenir en ouvrant des nouveaux débouchés. La crise provenant de l'excès de fabrication atteindra peu le fabricant agissant ainsi, et il récupèrera ses pertes dans des temps plus prospères.

Il est clair que le principe que nous établissons ici n'a de valeur qu'autant que la position financière d'une manufacture de produits indépendants des variations du goût, lui permet de suivre une semblable marche en engageant seulement des capitaux disponibles, et qu'elle serait impraticable s'il lui fallait se procurer, en payant de gros intérêts, les capitaux nécessaires.

5° DE L'EMPLOI DES RÉSIDUS. Il n'est pour ainsi dire pas de fabrication qui ne donne sous forme de déchets une quantité considérable de produits, qui n'étant plus propres à la fabrication dont on s'occupe paraissent de peu de valeur. Presque toujours cependant on peut les utiliser, et c'est un des cachets les plus saillants de l'industrie moderne, non seulement de ne laisser rien perdre, mais encore de traiter de nouveau avec avantage des résidus d'anciennes fabrications, comme cela a lieu à Freiberg, en Saxe, pour d'anciennes scories, etc.

On conçoit facilement la diminution de prix de revient qui résulte pour l'objet fabriqué de l'utilisation de résidus autrefois perdus. Les grands établissements sont dans une meilleure position que les petits à cet égard, à cause de la masse importante de résidus qu'ils obtiennent, et qui valent les frais d'appareils particuliers. Cette perte est aussi généralement évitée dans les centres industriels, où les produits d'un grand nombre de fabriques peuvent s'accumuler. Comme exemple de ce genre, nous citerons l'application à l'éclairage de la ville de Reims, faite par M. Houzeau, d'après les indications de M. D'Arcet, des eaux savonneuses, autrefois perdues, produites en énorme quantité, dans cette ville, par le désuintage des laines.

6° COMPTABILITÉ DE LA MANUFACTURE. La comptabilité d'une manufacture doit être tenue avec le même soin que celui d'une maison de commerce. Des comptes en sommes pour chaque série de dépenses, des comptes de matières pour tout ce qui est l'objet d'une importante consommation, offrent le seul moyen de contrôler à chaque instant les dépenses irrégulières qui peuvent naître, et d'apporter un prompt remède aux causes qui les engendrent.

Quant aux dépenses en elles-mêmes, il est clair que le fabricant ne doit faire que celles d'une nécessité absolue. Devant reconnaître les travaux et les services des contre-maîtres et ouvriers capables par un salaire plus élevé, il doit se garder cependant de se laisser aller dans un moment de prospérité, à céder à des prétentions exagérées des personnes qu'il emploie; car bientôt la production, devenant plus coûteuse que celle de l'établissement voisin, lui serait onéreuse, loin de lui être profitable.

7° COMMERCE. La vente, le commerce que le manufacturier doit faire des produits qu'il crée, forme peut-être la condition la plus essentielle de l'industrie manufacturière, dont elle ne paraît à priori que l'accessoire. Mais on peut affirmer que sur 40 fabricants qui se ruinent, il n'y en a pas deux qui se ruinent pour avoir été mauvais fabricants, contre 8 qui se ruinent pour avoir été mauvais commerçants.

Le commerce du manufacturier est en effet d'une très grande difficulté en général. Ayant affaire à des marchands en gros, souvent fort habiles, qui ont de grands capitaux disponibles, il est à leur merci pour peu que les besoins d'argent le forcent à vendre; et en tout cas, le commerçant remplissant ses magasins lors de la baisse des produits profite presque seul de la hausse, et ne laisse au producteur qu'un bénéfice le plus souvent insignifiant. En attendant que les mœurs rendent sacrés les rapports de clientèle, source capitale des succès de l'industrie anglaise, où les intérêts du marchand en gros qui donne les ordres et du fabricant qui les exécute ne sont jamais séparés, d'où résulte la possibilité d'une fabrication sur une grande échelle, et par suite une grande économie de frais généraux pour ce dernier et sauf quelques cas particuliers, comme celui des fabriques situées dans des positions exceptionnelles, disposant de matières premières, de main-d'œuvre, de combustible, etc., à un prix plus avantageux que toutes les autres, nous croyons que le fabricant ne peut arriver, en France, à de grands bénéfices, qu'autant qu'il est assez fort pour pouvoir faire lui-même le placement de ses produits. Cette condition est celle des grandes manufactures, qui, créant dans les lieux de consommation des dépôts bien garnis, profitent des chances heureuses du commerce, et font elles-mêmes le bénéfice qu'eût fait un intermédiaire, sans pouvoir jamais être à la merci d'un ou deux commettants. Voy. ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

CH. LABOULAYE.

ÉCRITURES. *Manières de les multiplier.* Le célèbre Franklin a imaginé un moyen de multiplier les écritures; sa méthode consistait à écrire sur du papier avec de l'encre gommée, il saupoudrait l'écriture avec du sablon ou de la fonte pulvérisée et tamisée; il enfermait le papier entre deux planches; l'une de ces planches, destinée à recevoir l'empreinte des caractères, était de métal mou tel que l'étain; l'autre était de pierre dure ou de fer; elles étaient soumises à l'action d'une presse, et l'écriture se trouvait gravée sur la planche métallique; on imprimait ensuite par les procédés connus dans la taille-douce.

On voit que Franklin avait inventé, à bien peu de chose près, ce nous semble, ce qu'on a retrouvé de nos jours à l'imprimerie impériale de Vienne sous le nom d'impression naturelle, et qui ne s'applique bien qu'à du tulle, à quelques plantes telles que les algues d'épaisseur constante.

En 1804, Brunel inventa en Angleterre une machine dite *autographe*, qui donne le moyen de copier deux lettres ou deux dessins à la fois. Cette machine, basée sur le principe du pantographe, est décrite dans les *Annales des arts et manufactures*, tom. 5, pag. 59.

Plus tard, le célèbre Watt imagina un procédé fort ingénieux et très connu aujourd'hui en Europe.

Ce procédé consiste à appliquer une feuille de papier mince et non collé sur une lettre fraîchement écrite avec une encre hygrométrique, et à la soumettre ensuite à l'action d'une presse; par ce moyen la lettre est copiée avec autant d'exactitude que de célérité.

On peut se servir d'une presse ordinaire à plateau et à vis. *Bramah* a construit de petites presses hydrauliques destinées à cet usage. Mais l'on se sert plus communément d'une petite presse à laminoir, portative, et construite à l'instar des presses employées par les graveurs en taille-douce. Les deux cylindres de cette presse sont en cuivre ou en fer; leurs tourillons traversent deux jumelles en fonte. Une manivelle est adaptée à un des tourillons du cylindre supérieur qui reçoit l'action motrice.

De petits dessins réticulés sont imprimés avec une molette, sur la surface convexe du cylindre inférieur, qui, de cette manière, présente de petites aspérités pour saisir plus facilement la planche de la presse, sur laquelle sont déposés deux cartons en feuilles de zinc contenant les lettres et les feuilles prêtes à être copiées. Des vis règlent la pression.

Les jumelles sont fixées sur un plateau en bois que l'on pose sur une table à l'aide de deux agrafes à vis.

Pour se servir de cette presse, il faut avoir des feuilles de papier mince fabriqué pour cet usage; on mouille légèrement une de ces feuilles, on prend la lettre à copier, fraîchement écrite, on la pose sur un carton lissé à la cire; et, si elle est écrite des deux côtés, on mettra auparavant dessous une feuille de papier non collé humide, puis une autre feuille par dessus; ensuite le second carton; enfin, une couverture de drap qui est attachée dans une entaille faite à l'extrémité de la planche qui presse. Alors on passe le tout entre les cylindres, et la copie est faite

Comme l'épreuve se trouve nécessairement en sens inverse, chaque feuille ne peut servir qu'à la copie d'une seule page. On couche cette épreuve sur une page d'un registre en papier blanc du même format que le papier à copier, et on attache les quatre coins avec un peu de colle à bouche; le papier étant fort mince, on lit très distinctement les caractères à travers.

Pour que cette opération réussisse avec toute la perfection désirable; il faut se servir d'une espèce d'encre dont voici la recette : Prenez 4 litres d'eau bien pure, 750 grammes de couperose verte (sulfate de fer) pilée, 250 gram. de gomme arabique, et 125 gram. d'alun de roche également pilés; faites l'infusion à froid pendant six semaines ou un mois au moins, ayant soin de secouer le mélange tous les jours; après ce temps, on passera l'encre à travers un linge, et on la conservera pour l'usage dans des bouteilles soigneusement fermées.

On peut, par le procédé que nous venons d'indiquer, copier deux ou trois lettres à la fois (1).

Il y a plusieurs années, M. Lanet, de Bordeaux, a pris un brevet non expiré pour un procédé analogue, dit *prompt-copiste*, destiné à multiplier les écritures.

« On écrit, dit M. Payen dans un rapport fait à la Société d'Encouragement, avec une encre mucilagineuse et hygrométrique sur une feuille de papier ordinaire.

« La feuille, fortement pressée sur une toile vernie ou toile cirée épaisse et souple, y laisse les traces onctueuses adhérentes et légèrement humides, alors les composants pulvérisés d'une encre hygrométrique sont promenés sur la toile, s'attachent aux caractères tracés et les rechargent; puis, par une humectation facile et qui persiste seulement sur les caractères hygrométriques, les matières réagissent sous l'influence de l'eau, forment de l'encre, tandis que le reste de la surface polie de la toile ne retient pas sensiblement d'humidité. On conçoit que les choses ainsi disposées, on puisse, avec cette toile, imprimer sur le papier ordinaire assez absorbant pour retenir fortement et même en caractères assez indélébiles, puisqu'un peu de charbon très divisé entre dans la composition de l'encre; on comprend encore comment les traces sur la toile n'ayant fourni qu'une partie de leur substance, on puisse la recharger en y promenant de nouveau la poudre hygrométrique, et obtenir ainsi un deuxième tirage.

« Il en est de même de la feuille écrite qui, pouvant déposer sur une deuxième toile cirée des traces faciles à recharger, produit ainsi une deuxième matrice de laquelle on obtient encore deux tirages nets et foncés.

« Une seule circonstance atmosphérique peut gêner ces opérations; elle a lieu dans les temps très secs et par conséquent en hiver surtout et durant les gelées : c'est qu'alors la trop faible proportion d'humidité dans l'air ne permet pas les réactions fondées précisément sur le jeu des agents hygrométriques. Il convient, lorsque ce cas arrive, de rendre un peu humide l'air du lieu où l'on opère, soit en y plaçant un vase contenant de l'eau en ébullition, soit en y étendant quelques linges humectés.

« A l'aide d'une disposition très bien entendue, on peut porter directement sur un registre les épreuves de l'empreinte matrice; il suffit à cet effet de passer une tringle en fer dans l'espace que laissent les reliures brisées entre le dos des feuilles et le dos de l'enveloppe, les deux bouts de la tringle qui dépassent le registre sont alors posés dans deux crochets, et la solidité de ce simple support permet d'engager entre les rouleaux de la presse à copier la page sur laquelle on veut prendre la copie. »

Depuis quelques années, les commis-voyageurs du commerce, les maisons de banque, etc., ont adopté le rouleau à copier inventé par M. Scheibler en 1818 et perfectionné par MM. Delacour et Bovy (1).

Ce petit appareil, du prix de 5 francs, se compose d'un cylindre en bois autour duquel s'enroule une étoffe imperméable préparée au caoutchouc, et d'un manche octogone recouvert en crin pour faciliter la prise.

Pour se servir de cette presse, il faut employer pour écrire, l'encre connue sous le nom d'*encre communicative*. (Voyez ENCRE).

On place une feuille de papier sans colle et légèrement humectée, sur une étoffe imperméable, et par dessus ce papier sans colle, on étend le papier écrit dont on veut prendre la copie; on enroule le tout autour d'un cylindre, on presse modérément avec les mains, on entre les mâchoires d'une sorte d'étau cylindrique nommé *pressoir*, et la copie est faite.

On peut obtenir de cette manière deux et même trois copies d'un écrit sans altérer l'original.

Lorsqu'on veut reproduire une lettre de 4 pages, on pose sur chacune des pages écrites une feuille de papier sans colle mouillé, et l'on procède comme il vient d'être dit.

Dans les anciens rouleaux-copistes, on faisait usage de cuirs, de draps, de feuilles de papier imperméable, qui, par leur résistance, par l'inégalité de leur épaisseur, nuisaient souvent au succès de l'opération, produisaient quelquefois de doubles empreintes de l'écriture, et exigeaient un effort assez considérable.

L'étoffe souple et imperméable a l'avantage de simplifier l'appareil, de faciliter le transport de l'écriture et d'assurer la réussite de l'opération.

La manière d'humecter le papier sans colle, indiquée par M. Bovy, présente aussi plusieurs avantages.

Autrefois on humectait ce papier en le plaçant entre deux morceaux de calicots mouillés; il fallait pour que le papier fût convenablement préparé, le laisser ainsi sous presse pendant environ une demi-heure. Ce laps de temps présente des inconvénients, surtout lorsque l'on est pressé; d'un autre côté, l'on n'est pas toujours sûr d'atteindre le degré d'humectation le plus convenable. Trop sèches, les feuilles de papier sans colle ne prennent point l'encre de l'original; la copie ne se fait qu'imparfaitement ou seulement en quelques points et par parties détachées. Trop humides, on a beaucoup de peine à séparer les unes des autres les feuilles de papier sans les déchirer; les caractères sont trop chargés d'encre et la copie se lit difficilement.

M. Bovy recommande de mouiller avec une éponge imbibée d'eau le papier dont on veut se servir, il absorbe l'excédant de l'eau à l'aide de quelques feuilles de papier buvard qu'il place sur le papier sans colle mouillé, il comprime légèrement le tout avec les mains; le papier sans colle est alors préparé et humecté au point

(1) On trouve dans le Bulletin de la Société d'Encouragement le moyen d'écrire deux lettres à la fois, par Rochette, tome V, p. 90; par M. Obrion, tome XXI, p. 190; moyen de les copier, par M. Scheibler, tome XVII, p. 29.

(1) Voir le Bulletin de la Société d'Encouragement, années 1812, p. 29, 1840, p. 183, 1842, p. 14, et le tome LIV des *Descriptions des brevets expirés*.

convenable pour pouvoir être employé immédiatement.

Les copies de lettres sont collées au besoin avec de la gomme arabique, sur des *onglets* en papier, reliés en forme de registre.

Instruments pour écrire à l'usage des aveugles. Sans remonter plus haut que 1775, nous citerons le docteur Franeklin qui faisait usage de tablettes d'ivoire, pour écrire sans lumière pendant la nuit. Des feuilles de cette matière étaient disposées sous un cadre à peu près semblable pour la forme à ces règles de bureau qui servent à tracer les lignes parallèles; les espaces vides étaient destinés à recevoir le dessin des caractères. Ce mode d'écriture pouvait nuire, comme on le voit, à la formation régulière de certaines lettres dont la tête et la queue excèdent le corps; la main pouvait aussi se tromper de ligne.

M. Pingeron a publié, vers 1780, un instrument dont le conducteur des lignes se fixait, dans diverses échancrures pratiquées à droite et à gauche d'un châssis, pour la distance nécessaire à la régularité des lignes.

En 1784, la Bibliothèque physico-économique annonça la description d'une machine à peu près du même genre que celle de M. *Pingeron*, et imaginée par une dame parisienne privée de la vue. Cette machine était de l'invention de M. *L'hermina*, qui l'avait fait connaître sous le nom de sa femme. La règle directrice était conduite par deux ressorts qui lui étaient adaptés, et dont les talons s'arrêtaient dans des trous ou crans que présentaient les faces intérieures de deux règles fixes et parallèles, placées à la distance voulue pour la largeur du papier. La manœuvre simultanée qu'exigeait le jeu des deux ressorts de la règle directrice, devait rendre l'usage de cet appareil peu facile.

Vers 1804, le procédé de Valentin Haüy (1) fut consigné dans un ouvrage ayant pour titre : *Mélanges physico-mathématiques ;* il consiste à écrire en relief en appuyant sur un papier fort avec un poinçon en fer (on sait que les aveugles lisent à l'aide du toucher les caractères en relief). Ce poinçon est conduit par une suite de cordonnets de fil de laiton parallèles, et placés à distance égale sur un châssis posé sur le papier. Ce procédé ne peut convenir aux clairvoyants non exercés, qui ne sauraient se rendre compte de l'écriture ainsi tracée.

On trouve dans le même ouvrage deux moyens proposés par M. Bérard, juge à Briançon, et qui était devenu aveugle à l'âge de vingt-trois ans.

Le premier consiste dans l'emploi d'un stylet de fer, avec lequel on obtient une écriture noire, en posant sur le papier à écrire une feuille enduite d'un mélange de sain-doux et de noir d'ivoire, recouverte par une autre, sur la surface de laquelle on trace les lettres. Un des grands inconvénients de cette manière d'écrire, c'est qu'elle exige un apprêt dont la personne privée de la vue ne peut guère s'occuper.

Le second moyen de M. Bérard consiste dans l'emploi d'une planche qui porte, dans le sens de sa longueur, une coulisse dans laquelle se meut une règle conductrice des lignes à écrire, lesquelles sont également espacées à l'aide de crans que l'on reconnaît par le tact. On prend de l'encre à la fin de chaque ligne, avec une plume de métal taillée à l'ordinaire, dans un vase large et plat qui en contient une hauteur constante de 6 à 8 millimètres.

Ces documents sont extraits du Bulletin de la Société d'Encouragement, année 1817, dans lequel on lit aussi la description et les dessins de plusieurs appareils semblables.

Vers 1819, M. A. Barbier a imaginé de composer une écriture à l'usage des aveugles ; il indique sur le papier des points *qui représentent* la forme des lettres et font des reliefs. Vers 1839, M. Braille, aveugle-né, et répétiteur à l'Institution royale des jeunes aveugles, a modifié ce procédé, qui est seul enseigné aujourd'hui dans cet établissement.

Pour écrire, on a des planches en bois ou en métal, sur lesquelles sont tracées des portées formées chacune de 10 raies concaves et horizontales ; on applique sur chaque portée une espèce de grillage dont les jours ont assez de hauteur pour laisser apercevoir les 10 raies, et assez de largeur pour que l'on puisse faire deux points de front dans chaque ligne, et à l'aide d'une simple pointe en fer on fait les lettres en marquant, à cet effet, les points indiqués par la forme des lettres. Mais comme cette écriture doit être lue à l'envers, et que les lettres résultent du relief que fait naître le refoulement du papier piqué, l'aveugle a soin d'écrire les lettres de droite à gauche, et renverser chaque lettre, afin que la première ligne à gauche en lisant soit la première à droite en écrivant. On facilite cette manière d'écrire en appliquant sur le grillage une ou plusieurs traverses fixes, pour mieux faire connaître la position des queues et du corps de la lettre. On obtient du même coup plusieurs copies de ce qu'on écrit, en plaçant l'une sur l'autre autant de feuilles que l'on veut d'exemplaires, et en marquant les points sur le tout.

On peut remplacer la planche rayée par une planche recouverte d'un cuir, d'un molleton, ou de tout autre objet produisant un léger foulage. Le grillage peut être une toile métallique, une plaque percée à l'emporte-pièce, ou une réunion de fils métalliques croisés à angles droits, ou soudés l'un sur l'autre.

En 1843, M. Foucault, aveugle-né, a inventé deux machines fondées sur les principes déjà posés par MM. Barbier et Braille, et comme l'a dit avec raison M. Olivier (Bulletin de la Société d'Encouragement) : « Les aveugles pourront maintenant écrire et corriger eux-mêmes ce qu'ils auront écrit. L'aveugle-né n'a plus besoin de dicter ses pensées ; il pourra se relire, il pourra modifier l'expression de sa pensée, il pourra écrire. »

Ces ingénieuses machines se composent essentiellement de dix poinçons disposés en arc de cercle, dont les têtes sont maniées comme des touches, de manière à venir dessiner les formes des lettres. Les extrémités de ces poinçons viennent piquer un papier placé sur un cylindre, que l'on fait mouvoir horizontalement pour que les lettres se suivent, et avancer pour que les lignes se succèdent.

ÉCROU (*angl.* nuth, *all.* mutterschraube). Trou fileté par lequel passe une vis. Les écrous, qu'ils soient à filet triangulaire ou carré, se font de trois manières : 1° avec des tarauds, ce sont les *écrous taraudés ;* 2° avec le peigne, ce sont les *écrous filetés ;* 3° au moyen du rapport d'un filet en hélice, ce sont les *écrous brasés.* Nous renvoyons, pour leur construction, aux mots FILIÈRE et VIS, les vis se fabriquant par les mêmes procédés.

ÉCUME DE MER (*angl* sea-froth, *all.* meerschaum). C'est un hydro-silicate de magnésie blanc que l'on trouve en rognons dans la serpentine ; sa densité varie de 1,27 à 1,60 ; sa cassure est matte et terreuse ; elle est peu onctueuse au toucher, happe fortement à la langue et prend par le frottement l'éclat de la cire ; elle perd son eau par calcination. Elle possède une certaine ductilité et s'aplatit sous le marteau avant de se rompre. Suivant Lycherell, elle se compose de :

Silice.	60,87
Magnésie.	27,80
Eau.	11,27
Oxyde de fer et alumine.	0,09
	100,03

A l'état frais et encore humide, l'écume de mer est

(1) Le fondateur des premiers établissements pour l'éducation des aveugles, en France et en Russie.

très molle, et se laisse travailler presque aussi facilement que l'argile.

On emploie presque exclusivement l'écume de mer à la fabrication des pipes. La meilleure nous arrive toute façonnée de Turquie.

ÉDREDON. Nom donné au duvet dont l'*eider*, oiseau des pays septentrionaux, tapisse son nid, et dont les usages sont bien connus.

EFFERVESCENCE. On dit qu'il y a effervescence lorsque, par suite d'une réaction chimique, il s'opère un dégagement gazeux très rapide, qui se manifeste par la formation d'un grand nombre de bulles qui s'élèvent dans la liqueur, comme s'il y avait ébullition : ce phénomène se produit, par exemple, lorsqu'on verse un acide étendu sur de la craie.

EFFLORESCENCE. On dit qu'un corps s'effleurit, soit lorsqu'un sel hydraté et cristallisé, comme le sulfate et le carbonate de soude, tombe en poudre au contact de l'eau, par suite de la perte d'une partie de son eau de cristallisation, soit lorsque par suite de l'action des agents atmosphériques, il se forme des combinaisons salines par suite de la décomposition de certaines substances, comme les schistes alumineux et les pyrites de fer.

ÉGRISÉE. Voyez DIAMANT et LAPIDAIRE.

ÉLAINE. Voyez OLÉINE.

ÉLASTICITÉ (*angl.* élasticity, *all.* élasticität), propriété que possèdent tous les corps de revenir à leur forme primitive, quand celle-ci a été changée par une cause quelconque. Tous les corps sont parfaitement élastiques, lorsque le changement de forme ne dépasse pas certaines limites. L'écartement de ces limites pour chaque corps sert à mesurer son élasticité : ainsi on dira que l'acier est plus élastique que l'argent et que ce dernier l'est plus que le plomb. Le changement momentané de forme peut avoir lieu par compression, par traction ou par torsion. Cette propriété est utilisée dans les RESSORTS, les cordes vibrantes, etc. Lorsque l'effort exercé est trop considérable, les molécules ne reviennent plus parfaitement à leur même place, c'est-à-dire que l'élasticité est altérée. La limite supérieure de l'élasticité est en général 1/3 à 1/4 de celle qui peut déterminer la rupture, et qui mesure la ténacité.

Ce que nous venons de dire s'applique surtout aux corps solides. Les liquides étant très peu compressibles, ne peuvent développer que l'élastisté de compression, et entre des limites extrêmement resserrées. Les gaz au contraire sont parfaitement élastiques, dans des limites presque indéfinies, d'après leur état moléculaire même.

ÉLECTRICITÉ. Certains corps acquièrent par le frottement la propriété d'attirer à distance les corps légers. Sous ce rapport, il faut diviser les corps en deux classes : les corps mauvais conducteurs de l'électricité tels que la résine, l'ambre, le soufre, le verre, etc., qui développent de l'électricité par le frottement, et les corps bons conducteurs, les métaux, par exemple, lesquels ne développent pas de l'électricité sensible par le frottement, parce qu'elle s'écoule à mesure dans le sol ou de toute autre manière. Les différents phénomènes que présentent les corps électrisés s'expliquent en admettant deux espèces d'électricité : 1° *l'électricité positive* ou *vitrée*, parce qu'on peut la développer en frottant une baguette de verre avec un morceau de laine, et l'*électricité négative* ou *résineuse*, parce que le frottement la développe sur la résine. Lorsque deux corps sont chargés d'électricité de même nom, ils se repoussent; ils s'attirent au contraire lorsqu'ils sont chargés d'électricités différentes; et enfin, tous les corps à l'état naturel sont chargés d'électricités positive et négative, mais celles-ci sont combinées et se neutralisent respectivement de manière à ne pas être sensibles. Nous n'entrerons pas ici dans des détails qui sont du ressort de la physique, en renvoyant aux traités spéciaux de cette science, et notamment à l'excellent ouvrage de M. Pouillet, et nous nous contenterons de dire ici quelques mots sur la *pile galvanique*, qui trouve chaque jour de nouveaux emplois dans l'industrie.

Le contact de métaux hétérogènes et leur dissolution dans les acides produisent de l'électricité; ainsi, si l'on soude une plaque de cuivre et une plaque de zinc, il y aura décomposition des fluides électriques sur chaque plaque, et il s'accumulera une certaine quantité d'électricité positive sur le zinc et d'élasticité négative sur le cuivre. La force qui se produit au contact des deux métaux, qui détermine la séparation des deux fluides électriques et s'oppose à leur neutralisation, a reçu de Volta le nom de *force électro-motrice*. Cette force a une limite maximum, et si $+t$ est la tension du fluide positif qui se trouve sur le zinc, et $-t'$ la tension du fluide négatif qui se trouve sur le cuivre, la différence $t+t'$ des deux tensions est une quantité constante, quelles que soient les charges du fluide positif ou négatif. Si le cuivre était chargé comme le zinc d'électricité positive, la tension serait alors représentée par $+t'$, et la différence $t-t'$ serait encore la même. C'est cette différence des deux tensions que l'on *appelle tension maximum*, parce qu'elle constitue en effet le maximum de ce que la force électro-motrice peut arrêter et retenir pour empêcher l'équilibre ordinaire.

Cela posé, il nous sera facile de donner l'explication de la pile de Volta :

La pile se construit avec trois corps différents, deux métaux bons électro-moteurs et un corps non métallique, faiblement électro-moteur et bon conducteur de l'électricité. On place d'abord un couple ou une paire de disques, l'un de cuivre, l'autre de zinc soudés ensemble, une rondelle de drap humide, un nouveau couple, et ainsi de suite. Mettons, par exemple, la plaque de cuivre inférieure en communication avec le sol, il s'accumulera des quantités d'électricités positives dont les tensions respectives seront 1, 2, 3, 4, etc., sur les plaques de zinc, et 0, 1, 2, 3, etc., sur les plaques de cuivre. Si l'on prend une pile semblable, dans laquelle au contraire on mette l'extrémité du zinc en contact avec le sol, il s'accumulera sur les plaques de cuivre des quantités d'électricité négative dont les tensions sont 1, 2, 3, 4, etc. Si maintenant on met ces deux piles bout à bout en interposant seulement une rondelle humide entre les deux pôles qui communiquaient au sol, on obtient une seule pile chargée d'électricité positive à l'extrémité zinc et de l'électricité négative à l'extrémité cuivre. En réunissant ces deux extrémités par des fils métalliques communiquant directement entre eux ou plongés dans un liquide conducteur, les deux électricités dont sont chargées les *pôles* de la pile se combinent de nouveau, tandis que la *pile se recharge continuellement* par suite de la force électro-motrice, de sorte qu'il se produit un courant continu. Les effets de ce courant sont physiques ou chimiques. Les premiers dépendent de la quantité d'électricité que la pile peut développer en un instant et par suite de la surface des éléments qui la composent; les seconds, de la tension avec laquelle cette électricité peut s'écouler d'un pôle à l'autre, c'est-à-dire du nombre d'éléments de la pile. On donne le nom de pôle positif à l'extrémité zinc de la pile, et de pôle négatif à l'extrémité cuivre.

Les effets physiques sont ceux qui donnent lieu à une production de chaleur et de lumière; lorsqu'on attache à l'extrémité de chaque conducteur un petit cône de charbon, et qu'on met les deux pointes de charbon en présence, à une faible distance, il se produit une lumière comparable à celle de la lumière solaire et dont l'œil ne peut supporter l'éclat. Cette

lumière artificielle a été employée par MM. Foucault et Donné, pour des recherches microscopiques, mais surtout elle paraît devoir fournir pour l'éclairage, au moins dans un avenir prochain, des ressources puissantes, dont on ne peut encore apprécier l'étendue. On connaît les applications de cette lumière déjà faites à l'éclairage des grands chantiers, des phares. Voy. ÉCLAIRAGE.

Les effets chimiques consistent dans la décomposition des sels et oxydes. Dans la décomposition des oxydes, l'oxygène se porte au pôle positif et le métal au pôle négatif; la décomposition des sels se fait d'après les règles qui suivent :

1° Quand l'acide et la base sont difficilement décomposables, ces deux éléments sont simplement séparés; l'acide se rend au pôle positif, et la base au pôle négatif;

2° Quand l'acide est facilement décomposable, son oxygène vient au pôle positif, tandis que son radical se rend avec l'oxyde au pôle négatif;

3° Quand l'oxyde est facilement décomposable, il est lui-même réduit; le métal qu'il renferme vient au pôle négatif, tandis que l'oxygène vient au pôle positif, où il se combine avec l'acide, quand celui-ci est capable de se suroxyder;

4° Si l'acide et l'oxyde peuvent l'un et l'autre perdre aisément leur oxygène, la décomposition est complète : tout l'oxygène vient au pôle positif, et le métal de l'oxyde se rend au pôle négatif avec le radical de l'oxyde.

C'est la troisième de ces lois qui sert de base aux procédés de DORURE *galvanique*.

La pile de Volta, telle que nous l'avons décrite, n'est plus employée dans la pratique. On la remplace par la pile à auges, ou la pile de Wollaston.

La *pile à auges*, se compose d'éléments rectangulaires soudés ensemble, et disposés verticalement dans une caisse en bois, de manière à former autant d'auges que l'on remplit avec de l'eau légèrement acidulée avec 1/16e d'acide sulfurique et 1/20e d'acide nitrique, qui sert de conducteur intermédiaire. Avec de l'eau pure, l'intensité du courant est moins grande, parce que la dissolution du zinc développe une certaine quantité d'électricité qui vient s'ajouter à celle produite par la force électro-motrice.

Dans la *pile de Wollaston*, le cuivre de l'un des couples est entouré du zinc du couple suivant, dont il est séparé par une faible distance, et plonge dans le même vase rempli d'eau acidulée. On met en communication, au moyen de tiges métalliques, chaque zinc avec le cuivre du vase suivant, comme on peut le voir à l'article DORURE. Voy. art. ÉCLAIRAGE la pile de Bunsen, et l'article PILE du *Complément*.

ÉLECTROTYPIE. Voyez GALVANOPLASTIE.

ÉLÉMI. C'est une résine qui exsude d'incisions faites, durant un temps sec, à travers l'écorce de l'*anigris elemisera*, arbre qui croît dans l'Amérique du sud et au Brésil. Elle nous arrive en morceaux jaunes, tendres et transparents, qui se ramollissent aisément par la chaleur de la main. Ils ont une forte odeur aromatique, un goût chaud épicé, et contiennent 12 1/2 p. 100 d'huile éthérée. La résine cristalline de l'élémi a été appelée *élémine;* elle est employée pour donner de la dureté aux vernis.

ÉMAIL (*angl.* enamel, *all.* schmelzglas, email). On désigne sous ce nom une substance vitreuse opaque et colorée, dans laquelle on fait entrer diverses substances métalliques, telles que de l'oxyde d'étain, du phosphate de chaux, du borax, etc.

Le plus simple des émaux et celui qui sert de base à la préparation de tous les autres, s'obtient de la manière suivante :

On fait un alliage de 45 à 50 (ordinairement 25) parties d'étain, et de 100 p. de plomb, et l'on chauffe au rouge au contact de l'air; le bain métallique s'oxyde rapidement et se recouvre d'une poudre jaunâtre que l'on retire à mesure, et qui, pulvérisée et soumise à la lévigation, donne une poussière très ténue qui porte le nom de *calcine*. On mêle 200 p. de cette calcine avec 100 p. de sable siliceux et 80 p. de carbonate de potasse, et on expose le mélange à une température suffisante, seulement pour lui faire éprouver un commencement de fusion. La *fritte* ainsi obtenue entre dans la constitution de tous les émaux.

Émail blanc. Afin d'éviter toute coloration accidentelle, lorsqu'on veut préparer l'émail blanc, on mêle la fritte en poudre avec une quantité convenable de peroxyde de manganèse, que l'on a déterminée d'avance par quelques essais faits en petit; on introduit le mélange dans un feu vif et à l'abri de la fumée. Quand il est fondu, on le coule dans l'eau et on le pulvérise. Après avoir répété trois à quatre fois la même opération, on le coule une dernière fois et on le livre en cet état au commerce.

L'émail qu'on applique sur les métaux est assez difficile à préparer. Venise fournit la presque totalité de celui que consomme le commerce; M. Lambert, à Sèvres, fabrique un émail qui ne le cède en rien à celui de Venise.

On peut substituer dans la fabrication de l'émail blanc l'oxyde d'antimoine à l'oxyde d'étain, mais alors il ne faut pas y mettre d'oxyde de plomb qui produirait une coloration jaune. Il paraît que le composé que l'on obtient ainsi, convient bien pour les émaux colorés en pourpre ou en bleu. Voici, d'après Clouet, les proportions les plus convenables :

300 de verre blanc sans plomb;
400 de borax;
25 de nitre;
100 d'antimoine diaphorétique lavé.

Émail bleu. On colore l'émail en bleu au moyen d'une très faible quantité d'oxyde de cobalt ou avec de l'azur.

Émail jaune. Le mélange le plus employé pour colorer l'émail en jaune se compose de : 1 partie d'oxyde d'antimoine, 1 à 3 p. de carbonate de plomb, 1 p. d'alun et 1 p. de sel ammoniac, que l'on chauffe jusqu'à ce que tout le sel ammoniac ait été chassé, après avoir pulvérisé chaque substance à part et les avoir ensuite mélangées.

Émail vert. On colore l'émail en vert, soit par l'oxyde de chrôme, soit par du deutoxyde de cuivre pur ou mélangé d'un peu d'oxyde de fer.

Émail rouge. On colore l'émail en rouge, soit par le pourpre de Cassius ou le chlorure d'or, soit par l'oxydule de cuivre. Dans ce dernier cas il faut avoir soin que l'oxydule de cuivre ne passe pas à l'état de deutoxyde; en y ajoutant une proportion variable d'oxyde de fer, on peut obtenir toutes les nuances depuis le rouge pur jusqu'au rouge-orangé.

Émail noir. On colore l'émail en noir par un mélange de peroxyde de manganèse et d'oxyde de fer, auquel on ajoute une petite quantité de cobalt, lorsqu'on veut obtenir un noir très vif.

Émail violet. La coloration violette s'obtient en ajoutant à l'émail du peroxyde de manganèse.

Application de l'émail sur les métaux. L'émail ne s'applique que sur l'or et le cuivre : l'argent se voile aisément, et l'émail dont on le recouvre prend une texture bulleuse. L'or à émailler doit être au titre de 11/12e ou 0,917, savoir : 22 parties d'or, 1 p. d'argent et 1 p. de cuivre; s'il est plus fin, il n'est plus assez roide; et s'il l'est moins, il devient trop fusible.

On réserve sur le bord de la plaque métallique un petit filet ou bordure, qui sert à retenir l'émail lorsqu'on l'applique dessus. Si on ne doit recouvrir d'é-

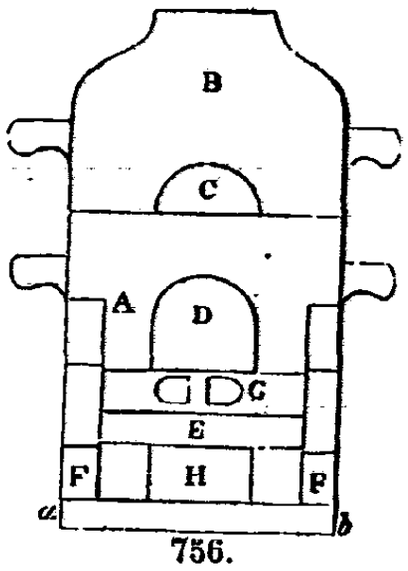
mail qu'un des côtés de la plaque, il faut que l'épaisseur de l'émail soit moins considérable, sans cela la pièce se bomberait. Lorsque certaines parties seulement de la pièce doivent être émaillées, on en trace les contours au burin, puis on les creuse bien uniformément sur une profondeur égale à l'épaisseur que doit avoir la couche d'émail. Enfin, on couvre quelquefois les parties qui doivent être émaillées, de hachures très fines et croisées, afin d'augmenter l'adhérence de l'émail et du métal.

La pièce ainsi préparée, on la décape, en la faisant d'abord bouillir dans une dissolution de potasse, la lavant ensuite, d'abord avec de l'acide acétique étendu d'eau, puis avec de l'eau pure, et l'essuyant avec soin.

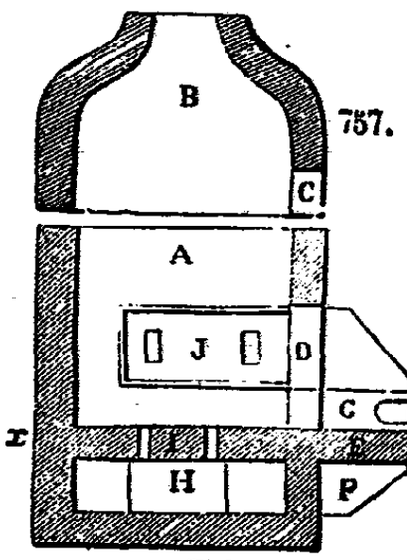
On pulvérise l'émail dans un mortier d'agate, on lave la poudre à l'eau, on l'étend encore humide sur les parties à émailler, et on laisse sécher à l'air libre. On place ensuite les pièces sur une feuille de tôle percée de trous (fig. 754) que l'on chauffe sur des charbons enflammés, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de vapeurs, et on l'introduit aussitôt dans le fourneau à moufle représenté fig. 756. Ce fourneau, en argile réfractaire, ou en tôle intérieurement revêtue d'argile, se compose du fourneau proprement dit A (figure 758) et du dôme mobile B (fig. 757) qui le recouvre; il ressemble beaucoup aux fourneaux de coupelle. On lui donne intérieurement 0m,24 de côté et 0m,23 de hauteur; le dôme à 0m,24 de hauteur, et les parois 0m,05 d'épaisseur. L'ouverture C qui sert à charger le combustible peut être fermée à volonté par un tasseau en argile *m* (figure 755). Les cendres tombent par les ouvertures I de la sole E, dans le cendrier H, muni de quatre portes; G est une brique mobile guidée par les murs F, F, qui soutient la moufle J, supportée à son extrémité par un tasseau également en brique qui n'est pas figuré; enfin,

754.

755.



756.



757.

758.

759. 760. 764.

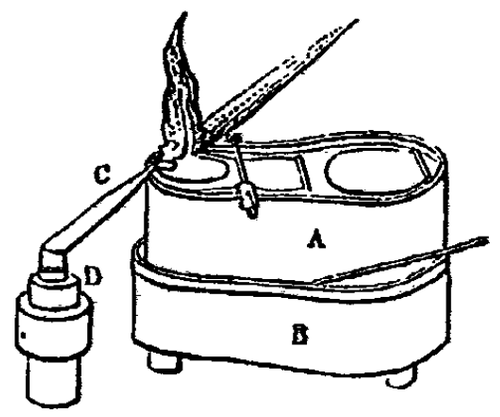
les fig. 759, 760 et 761, donnent la coupe transversale et deux élévations de la moufle J.

On chauffe d'abord graduellement la moufle avec du bois sec, puis avec du charbon de bois. Lorsqu'elle est arrivée au rouge vif, on y introduit avec des pinces la plaque de tôle fig. 754 chaude, avec les objets recouverts d'émail, et on la fait avancer peu à peu vers le fond; on place quelques charbons enflammés à l'ouverture de la moufle pour augmenter et régulariser la chaleur à son intérieur. Dès que l'émail commence à fondre, on fait tourner la plaque de tôle, de manière à en amener successivement chaque côté vers le fond de la moufle, puis lorsque l'émail est bien également fondu, on retire peu à peu la plaque, afin d'éviter les fissures qui se produiraient par un refroidissement brusque.

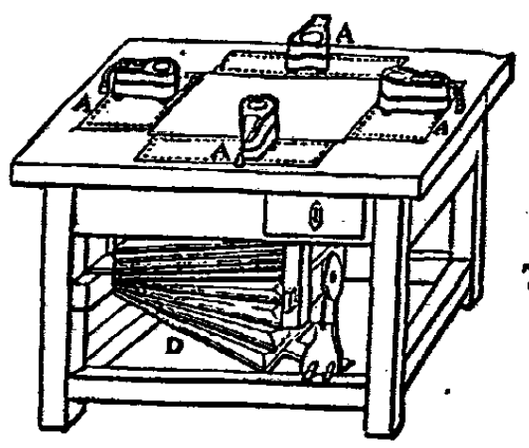
La pièce étant tout à fait refroidie, on y applique de la même manière une seconde et une troisième couche d'émail. Si on remarque des fissures à la surface de l'émail, on les élargit au burin, on remplit les rainures ainsi formées d'émail en poudre, et on reporte la pièce au feu. Comme la surface de l'émail présente presque toujours certaines rugosités, on la polit à l'eau sur une meule en grès fin, puis on remet la pièce au feu, afin de fondre de nouveau la surface et de lui donner le poli et l'éclat voulus.

On procède ensuite à la peinture. A cet effet, on pulvérise les émaux colorés, dont nous avons donné plus haut la composition, dans un mortier d'agate; puis on les porphyrise aussi fin que possible avec de l'huile de lavande, sur une table en porphyre, à l'aide d'une molette, et on place la bouillie que l'on obtient dans de petites assiettes en porcelaine, que l'on recouvre d'une plaque de verre ou d'un morceau de mousseline, et que l'on expose au soleil, jusqu'à ce que la pâte ait acquis la consistance convenable pour la peinture. Celle-ci terminée, on fait d'abord sécher les pièces à l'étuve, puis on les passe dans la moufle pour fixer les couleurs et les vitrifier.

Lampe d'émailleur. Beaucoup de petits objets d'émail et de verre, tels que les yeux d'émail, etc., se font très facilement et très promptement à la flamme d'une lampe dite lampe d'émailleur, qui n'est autre chose qu'un bec de chalumeau alimenté par un soufflet, dont le vent, dirigé sur une lampe à huile ayant une très grosse mèche, produit un dard de flamme, dont la chaleur est très intense. Cette lampe est représentée en perspective



762.



763.

(fig. 763), avec la table qui la supporte, et seule, sur une échelle plus grande (fig. 762). Le chalumeau C

glisse à frottement dans le tube D qui amène l'air du soufflet, et peut ainsi être élevé ou abaissé à volonté ; la lampe A est placée dans une cuvette B destinée à recevoir l'huile qui pourrait s'échapper par dessus ses bords et à l'empêcher de se répandre sur la table. L'ouvrier place ordinairement au-devant de la table un petit écran pour que la lumière de la lampe ne lui fatigue pas les yeux.

Il nous est impossible d'entrer ici dans les détails de l'art de l'émailleur à la lampe, art où tout dépend du goût de l'ouvrier et de son habileté à manier le verre et l'émail ramollis par l'action de la chaleur. La plupart des instruments et appareils de physique et de chimie, les thermomètres, les baromètres, les aréomètres, etc., se font à la lampe d'émailleur avec des tubes de verre, et nul ne peut se livrer à l'étude de ces deux sciences, s'il ne possède, du moins à un certain degré, l'art de souffler le verre. Nous traiterons à l'article SOUFFLER LE VERRE des principes fondamentaux de cet art. Voy. ÉMAILLAGE, *Complément*.

EMBAUMEMENT. Le procédé d'embaumement le plus généralement suivi, consiste dans l'injection, par la veine carotide, d'une dissolution concentrée de sulfate d'alumine (procédé Gannal); nous en avons déjà parlé à l'article CONSERVATION DES SUBSTANCES ANIMALES ET VÉGÉTALES, ce qui nous dispense d'y revenir ici. Nous ajouterons seulement que l'on a aussi employé avec succès l'immersion dans le chlorure de zinc.

ÉMERAUDE (*angl.* emerald, *all.* smaragd). Pierre précieuse très estimée, composée de silice, d'alumine et de glucine qui cristallise en prismes réguliers à 6 faces, et se divise en deux variétés principales :

1° *Émeraude verte*. Pierre d'un beau vert dont la dureté = 8, et la densité = 2,73 à 2,77, et qui tient le premier rang après le diamant, le rubis et le saphir. Elle est colorée en vert par une faible quantité d'oxyde de chrôme. La plus belle vient du Pérou, où elle se trouve dans les terrains primitifs. Les émeraudes sans défauts et d'une belle eau valent, lorsqu'elles pèsent 1 carat, 100 à 150 fr. — 2 carats, 300 fr. — 4 carats, 1,700 à 2,000 fr. — et 6 carats, 3,000 fr.

2° *Aigue-marine* ou *béril*. Dureté = 7,5, densité = 2,67 à 2,71 ; incolore ou faiblement colorée, ordinairement en bleu de ciel pâle ou en vert-d'eau. On trouve principalement cette pierre au Brésil et en Sibérie ; elle est beaucoup moins rare que la variété précédente et moins estimée. Une aigue-marine taillée de 1 carat, coûte de 10 à 15 fr., et le prix croît à peu près proportionnellement au poids.

On trouve enfin des émeraudes opaques, telles que celles des environs de Limoges, qui n'ont pas d'emploi. Voy. ÉMERAUDE (VERT), *Complément*.

ÉMERI (*angl.* emery, *all.* schmirgel). Ce minéral, principalement composé d'alumine, est très répandu dans l'île de Naxos, au cap Émeri, d'où l'on en tire des quantités considérables ; on le trouve aussi dans les îles de Guernesey et de Jersey, en Perse, en Saxe, en Suède, etc.

Sa couleur varie du rouge-brun au brun foncé. Il se présente, en masses informes, mêlé avec d'autres minéraux ; sa cassure offre un grain très serré ; sa densité est de 4 environ ; il possède une grande dureté, analogue à celle du corindon, dont il se rapproche par sa composition.

On se sert de l'émeri pour user, aplanir, disposer au poli divers corps durs, tels que les verres d'optique, les glaces, les cristaux, le fer, l'acier, les marbres, etc. On vend aussi sous le nom d'émeri des sables de grenat et de zircon, que l'on trouve assez abondamment dans un assez grand nombre de localités, et qui sont plus durs que les sables quarzeux.

ÉMÉTIQUE, TARTRE STIBIÉ. C'est un tartrate double d'antimoine et de potasse soluble dans l'eau, que l'on prépare le plus souvent en faisant bouillir du verre d'antimoine ou du sulfure grillé, avec son poids de crème de tartre, et 10 à 12 parties d'eau ; évaporant jusqu'à pellicule, laissant l'émétique se déposer par le refroidissement, et purifiant par plusieurs cristallisations successives. L'émétique est très employée en médecine comme purgatif et vomitif.

EMPOIS. Voyez AMIDON.

EMPORTE-PIÈCE. Voyez DÉCOUPOIR.

ENCAUSTIQUE. Sous ce nom sont comprises deux choses bien différentes : la peinture à la cire, dite encaustique, et le cirage à la cire, dit aussi encaustique. C'est de ce dernier que nous voulons nous occuper ici plus spécialement ; mais nous dirons d'abord quelques mots sur la peinture à la cire.

Peinture encaustique. M. le comte de Caylus, dans un mémoire qu'il lut à l'Académie des belles-lettres en 1755, mémoire qui fut imprimé à Genève dans la même année, et M. de Montabert, dans son excellent *Traité sur tous les genres de peinture* (chez Bossange, Paris, 1829), se sont efforcés de réhabiliter la peinture à la cire, dite encaustique, en ont exalté les avantages et la grande solidité, si on la compare avec la peinture à l'huile ; ils nous ont raconté tout ce que la tradition a transmis sur l'état de cet art chez les anciens, et ont fait ressortir tous les efforts tentés par les modernes pour le faire revivre parmi nous.

D'un autre côté, M. Durozier, pharmacien à Paris, dans une notice fort intéressante, annonce avoir réalisé avec un plein succès toutes les formules de M. de Montabert. C'est donc à ces ouvrages, de tous points complets, que nous renverrons le lecteur désireux de savoir les moyens de préparer et d'employer les couleurs à la cire, de connaître en un mot les procédés matériels de ce genre de peinture dont les anciens, dit-on, se servaient avec fruit, *parce qu'elle est la plus parfaite de toutes et la plus durable, la cire étant inaltérable à l'air et à la lumière*.

Qu'on nous permette ici quelques réflexions : que la lumière et tous les corps gazeux répandus dans l'air aient moins d'action sur la cire que sur les huiles fixes de lin, de noix ou d'œillette, c'est incontestable ; mais que les peintures faites à la cire, fussent-elles mêmes fixées par le feu, auquel cas seulement elles peuvent s'appeler *encaustiques*, soient parfaitement à l'abri des atteintes de ces agents de destruction, d'oxydation, nous ne le pensons pas ; car nous voyons en deux ans, plus ou moins, les bustes en cire des coiffeurs devenir d'un jaune à faire peur. L'air et la lumière ne sont donc pas sans action sur la cire.

A ces observations d'expérience, si vous ajoutez les difficultés que présentent l'application et le mélange des couleurs broyées à la cire, la confusion qui résulte dans les teintes et les lignes du tableau, alors qu'on y applique le feu pour en finir et faire valoir la peinture, vous vous expliquerez facilement le discrédit et l'abandon dans lesquels on laisse ce genre de peinture, qu'on ne connaît ou plutôt qu'on ne fait que deviner par le peu qu'en rapportent Pline (*Hist. nat.*, lib. XXXV, cap. XI), Macianus (*Tit. de fund. inst.*, L. XVII), et Julius Paulus, lib. VII et seq.

Encaustique, cirage. On donne dans les arts le nom d'encaustique à plusieurs préparations faites avec la cire, dans le but de la rendre plus facile à étendre en couches minces et uniformes à la surface des corps qu'on veut *cirer*, c'est-à-dire rendre luisants, inaccessibles à la poussière et à l'humidité, qu'on veut conserver et tenir propres sans de grands efforts ; car tel est le résultat qu'on se propose en cirant les tables, les lits, les meubles, les parquets, etc.

Beaucoup, en effet, se contentent de cirer les meubles ordinaires, ainsi que les parquets et les carreaux,

parce que la cire acquiert bientôt sous les frottements répétés une transparence et un poli qui imitent ceux du vernis; mais si le cirage résiste aux chocs, s'il peut facilement être réparé, soit par simple frottement, soit par une nouvelle application de cire, le brillant qu'il produit est terne, il ne relève pas, n'exalte pas comme le vernis l'éclat ni la couleur du bois. Le cirage est aussi bien plus tendre que le vernissage. Le dossier ciré d'une chaise tachera votre habit, si vous vous appuyez sur lui assez longtemps pour que la cire se ramollisse; un dossier verni ne produira jamais le même effet. Mais le vernis ne résiste pas aux chocs; il cède au travail du bois, il se fend, se lève en écailles, se raye au moindre frottement d'un corps dur, et ces accidents pour être réparés demandent l'enlèvement du vernis ancien et l'application d'un nouveau. Le cirage comme le vernissage ont donc leurs avantages et leurs inconvénients; mais les uns et les autres sont si connus qu'il devient inutile de nous appesantir sur ce sujet. C'est pourquoi nous allons donner de suite les différentes recettes des préparations de la cire connues sous le nom d'*encaustiques*.

1re recette. — *Encaustique ou pommade de cire à l'essence.* Faites fondre dans une bassine en cuivre bien propre :

500 grammes de cire jaune pure; lorsquelle est bouillante, retirez la bassine du feu et ajoutez-y peu à peu, en mélangeant sans cesse, 1,000 gr. d'essence de térébenthine que vous avez fait tiédir à part. Vous devez continuer d'agiter la masse jusqu'à entier refroidissement.

Remarques. En suivant cette méthode, en fondant la cire à part, en y ajoutant hors et loin du feu l'essence tiède, on évite toute chance de feu. Cette pommade, où la cire se trouve dans un grand état de division par son mélange avec l'essence de térébenthine, s'étend facilement et uniformément à la surface des corps ; l'essence pénètre le bois, donne du pied à la cire, et le brillant qui résulte d'un simple frottement avec un chiffon de laine est comparable à celui d'un vernis, et après sa complète évaporation, l'essence, si elle est pure, laissera la cire dans son état de dureté normale et le cirage sera aussi solide que s'il avait été fait avec la cire naturelle.

La pommade ci-dessus est jaune. Veut-on l'obtenir rouge? au lieu d'essence de térébenthine pure, il faut employer de l'essence dans laquelle on aura mis la veille digérer à froid 30 gr. d'orcanette par kilogr. d'essence, et dont le lendemain on aura séparé l'orcanette en la filtrant à travers une toile serrée.

2e recette — *Encaustique ou pommade à la potasse.* Mettez dans une bassine en cuivre à cul de poule, bien propre :

500 gr. de cire jaune en morceaux.
1,000 gr. d'eau de rivière clarifiée.
60 gr. de potasse d'Amérique.

Faites bouillir en agitant sans cesse avec une spatule en fer, jusqu'à ce que le tout forme une crème savonneuse bien homogène, et bien liée et sans grumeaux; continuez d'agiter jusqu'à entier refroidissement.

Remarques. Dans cette pommade, la cire est à l'état d'une sorte de savon ; aussi ne forme-t-elle pas une glace aussi solide que par la première recette, elle reste collante; mais pourtant on la préfère à la première parce qu'elle n'a pas d'odeur.

3e recette. — *Encaustique liquide.* Mettez dans une bassine en cuivre d'une capacité suffisante :

250 gr. de cire jaune pure en morceaux.
125 gr. de savon vert.
25 gr. de potasse d'Amérique.
4, 5 ou 6 litres d'eau de rivière clarifiée, selon que vous voulez obtenir un encaustique plus ou moins chargé de cire.

Portez la bassine sur le feu, agitez sans cesse avec une spatule, jusqu'à ce que presque toute la cire soit fondue; alors retirez du feu, laissez refroidir, puis avec les deux mains prenez les parties de cire qui surnagent, trempez-les dans le liquide en les frottant de manière à les dissoudre, comme on le ferait avec du savon. Renfermez pour l'usage. Chaque fois que vous vous en servirez, il faut agiter fortement la masse pour y répartir également les parties de cire qui se seraient déposées au fond.

4e recette. — *Encaustique ou pommade de cire dure à l'essence.* Les trois recettes d'encaustiques ci-dessus sont connues. Celle-ci ne l'est pas ou ne l'est que des personnes à qui nous l'avons indiquée.

Le reproche principal que l'on fait aux cirages, soit à la cire naturelle, soit à l'encaustique, c'est de n'être pas assez durs pour conserver longtemps leur brillant; on peut le leur rendre facilement, mais c'est toujours à recommencer; chaque fois qu'on s'est servi d'un meuble, il faut le frotter. La recette suivante, que nous pratiquons depuis longtemps, nous ayant toujours réussi, le cirage qui en résulte ayant presque la solidité et l'éclat d'un bon vernis à l'alcool, sans en avoir les inconvénients, nous la donnons avec la persuasion qu'il satisfera à un besoin véritable et généralement senti.

C'est la même chose pour les proportions que la première recette ci-dessus ; la seule différence consiste en ce que nous employons une cire durcie, au lieu d'une cire naturelle.

Nous mettons un kil. de cire jaune pure dans une bassine à cul de poule; nous la portons sur le feu quand la cire est fondue, nous ajoutons 120 gram. de litharge en poudre, nous mélangeons avec une spatule pour empêcher la litharge de rester au fond, et nous mélangeons souvent; nous conduisons le feu doucement pour donner à la cire tout le temps nécessaire de réagir sur la litharge. Lorsqu'enfin la cire a pris une couleur marron, que la litharge est en partie revivifiée et qu'une goutte de cire que nous faisons tomber sur une assiette est arrivée au point non plus de se couper, mais de s'écraser en poussière sous l'ongle, la cire est assez cuite. Nous ôtons la bassine du feu et laissons refroidir ; le lendemain, nous séparons de la cire le culot composé de litharge, plus ou moins revivifiée, et c'est avec 500 gr. de cette cire que nous faisons la pommade, comme nous l'avons dit ci-dessus, en y ajoutant 1 kilogr. d'essence.

TRIPIER-DEVEAUX.

ENCENS ou OLIBAN. Gomme-résine qui nous arrive de l'Afrique en morceaux, en larmes ou en grains de différentes grosseurs. C'est une substance sèche, friable, d'un jaune pâle ou blanchâtre, translucide et recouverte d'une sorte d'efflorescence; sa cassure a un aspect brillant; sa saveur est amère, et son odeur aromatique; elle se présente souvent en gouttes ou larmes oblongues, arrondies par leur extrémité, quelquefois seules, et d'autres fois géminées : on lui donnait, dans ce dernier cas, le nom d'encens mâle. Cette substance a été employée, dès la plus haute antiquité, pour la purification des temples et le culte divin. Elle est encore de nos jours consacrée aux mêmes usages; mais comme elle ne répand pas une odeur agréable lorsqu'elle est seule, on lui mêle d'autres aromates, tels que benjoin, musc, storax, ambre, baume de Tolu, etc.; on en fait une poudre qu'on projette par petites parties sur des charbons ardents.

ENCLIQUETAGE. On donne ce nom à un mécanisme très simple qui sert à empêcher le mouvement rétrograde d'une roue, quand le moteur cesse d'agir ou par toute autre cause, et qui se compose d'un ressort ou d'une languette appelée *cliquet*, dont l'extrémité vient contre-bouter contre les dents obliques d'une roue à rochet et prévient tout mouvement rétrograde. Lors de

la marche l'autre côté de ces dents soulève le cliquet, et la roue à rochet tourne facilement dans le sens direct. Voy. MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

ENCLUME (*angl.* anvil, *all.* ambos). Masse de fer ou de fonte ayant un poids, une forme et des dimensions appropriées aux travaux qu'on veut faire, sur laquelle on forge les métaux à chaud ou à froid. La surface sur laquelle on bat les métaux doit être dure et lisse; ordinairement le milieu, ou la *table*, a la forme d'un parallélogramme, et les bouts, appelés *bigornes*, sont l'un cylindrique et l'autre quadrangulaire, pour que l'ouvrier puisse façonner diverses pièces. Un trou carré, percé près du bord de la table, est destiné à recevoir un tranchet sur lequel on coupe le fer; les enclumes sont fixées sur des chabottes ou billots fixés en terre, ou dans un massif, près de la forge.

Les enclumes de fer doivent être aciérées en acier de bout, trempé à toute sa force. A cet effet, le fabricant brise son acier en bouts de 2 à 3 centimètres de long, qu'il met les uns à côté des autres, en trousse carrée, maintenue par un lien en fer. Il soude cette trousse dont il fait une planche, qu'il soude à son tour, comme une mise, sur l'enclume.

Le haut degré de chaleur nécessaire pour cette opération dénature l'acier, surtout à sa surface; pour lui rendre sa qualité, on fait chauffer l'enclume pendant quelques heures dans une boîte pleine de cément, et on la trempe en faisant tomber, sans interruption, une forte colonne d'eau froide sur la table, jusqu'à ce qu'elle soit presque complétement refroidie. Dans cet état, l'enclume doit faire rebondir le marteau avec force, et rendre un son clair et argentin

Dans les grosses forges, on n'emploie guère que des enclumes en fonte; celles-ci sont beaucoup plus économiques que celles en fer, et ne coûtent que les frais de moulage, qui sont peu élevés, puisque, lorsqu'elles se brisent, on en passe les débris dans le feu d'affinerie.

ENCRE (*angl.* ink, *all.* tinte). On peut considérer les encres connues comme étant de huit espèces différentes, que nous classerons en autant de sections.

La 1re section comprendra les encres noires dont on se sert pour écrire sur le papier, et qui se divisent elles-mêmes en encres liquides et en encres solides.

La 2e section comprendra les encres sèches, dites de la Chine ou à dessin, et celles composées d'après les mêmes principes, que l'on appelle improprement : encres indélébiles.

La 3e section comprendra les encres à marquer le linge et les étoffes.

La 4e section comprendra les encres colorées.

La 5e section comprendra les encres autographiques et lithographiques pour écrire et dessiner sur la pierre lithographique, le zinc, le cuivre, et autres métaux polis ou grenés.

La 6e section comprendra les encres dont on se sert dans les imprimeries typographique, en taille douce et lithographique.

La 7e section comprendra les encres communicatives dont on se sert pour la copie des lettres.

La 8e section comprendra les encres pour écrire sur le verre, le zinc, le fer-blanc, etc.

I. ENCRE A ÉCRIRE.

Tout le monde sait que les anciens écrivaient sur le papier (*papyrus*) ou le parchemin avec un roseau effilé dont la pointe était fendue comme celle de nos plumes : on le trempait dans l'encre comme nous y trempons nos plumes.

Pline nous apprend (liv. XXXV, ch. 25) même que les anciens composaient l'encre avec les charbons qui provenaient de la combustion du *téda*, lesquels étaient triturés dans un mortier et mélangés avec de la gomme. L'excellence de ce procédé a été constatée par M. D'Arcet, dans un rapport fait à l'Académie des Sciences, le 6 juin 1831.

Les Chinois ont aussi employé, de temps immémorial, l'encre composée avec du noir de fumée ou du charbon très divisé, tenu en suspension dans une solution savonneuse ou alcaline par le moyen d'un corps glutineux.

Un fait bien démontré, c'est que les écritures des manuscrits qui datent du Ve au XIIe siècle sont très lisibles et bien conservées, tandis que celles des XVe et XVIe siècles, etc., sont tellement décolorées qu'on a toutes les peines du monde à les lire. C'est sans doute parce que les copistes du Ve au XIIe siècle écrivaient sur du parchemin et des papiers de coton assez poreux avec l'encre antique, tandis que les écrivains des XVe et XVIe siècles employaient des papiers faits avec le vieux linge et moins poreux, et de l'encre composée de noix de galle et de sulfate de fer.

L'encre est une combinaison de tannin, d'acide gallique et d'oxyde de fer; les autres substances qui entrent dans sa composition servent seulement à lui donner de la consistance et du brillant.

Rien de si facile que la préparation de l'encre (*Chaptal*) : on mêle d'un côté 1/3 de copeaux de bois de Campêche à 2/3 de noix de galle pulvérisée, et on les fait bouillir dans 25 fois leur poids d'eau pendant 2 heures, en remplaçant l'eau à mesure qu'elle s'évapore. D'autre part, on sature de l'eau tiède avec de la gomme arabique concassée, et enfin, l'on fait une dissolution de sulfate de fer légèrement calciné, marquant 14 à 15° à l'aréomètre de Baumé, à laquelle on ajoute du sulfate de cuivre dans la proportion de 1/15e de la noix de galle employée. Cela fait, on mêle 6 parties en volume de la décoction de noix de galle et de campêche à 4 p. d'eau gommée; et l'on y verse ensuite 3 à 4 p. de la solution de sulfate de fer, en ayant soin d'agiter la liqueur, qui devient aussitôt d'un bleu-noir.

Matières premières qui entrant dans la composition des encres liquides. Nous ne nous attacherons pas à citer ici toutes les recettes d'encres connues; tout ce que nous pouvons faire de mieux, c'est d'indiquer les substances vraiment utiles dans la composition de l'encre ordinaire.

1° *Liquides.* L'eau pure est de tous les liquides celui qui est le meilleur. Des essais n'ont fait voir aucune différence entre l'eau crue et l'eau douce, l'eau de pluie ou l'eau de puits; cependant l'eau de pluie paraît préférable. La proportion d'eau la plus convenable est de 10 à 12 parties d'eau sur une de noix de galle. Quelques prescriptions indiquent de 4 à 16 parties d'eau. Quand on emploie trop d'eau, on peut facilement épaissir la liqueur par l'évaporation. On emploie aussi de la bière au lieu d'eau; elle remplace une certaine quantité de gomme; mais elle a l'inconvénient de rendre l'encre trop épaisse, de sécher trop lentement, de moisir plus facilement, et de donner une encre proportionnellement plus faible, parce que le tannin n'est pas aussi soluble dans la bière que dans l'eau.

Le vinaigre peut être employé pour l'encre parce qu'il empêche la moisissure. Cependant l'écriture n'est pas aussi noire que celle qui provient de l'encre faite avec de l'eau pure, et elle jaunit plus vite. Pour l'encre qui contient trop de fer une addition de vinaigre est utile; mais il ne faut pas prendre du vinaigre glutineux, parce qu'il la ferait facilement moisir.

Le vin blanc n'est pas à recommander à cause de son prix, et n'est d'aucune utilité. L'eau-de-vie l'est encore moins par la même raison; cependant, quand on veut tenir un peu de résine en dissolution dans l'encre, et qu'on veut la préserver de la gelée, on peut y ajouter un peu d'eau-de-vie.

2° *Corps qui contiennent de l'acide gallique.* Tous les corps qui contiennent de l'acide gallique et du

tannin peuvent servir pour la préparation de l'encre; mais la matière la plus avantageuse est la noix de galle, dont l'eau extrait du tannin et de l'acide gallique, qui s'unissent à l'oxyde de fer pour former une belle encre noire; la racine de la rose de mer (*nymphea alba*) donne une encre fine noir-bleuâtre, qui ne forme point de dépôt comme celle de noix de galle, mais il en faut davantage; la racine de tormentille donne une encre d'un noir-verdâtre; les fruits de l'aulne donnent une encre d'un noir-bleuâtre; l'écorce de chêne et la sciure de bois de chêne donnent une encre d'un noir-bleu; l'écorce des grenades donne une encre noir-brunâtre; le sumac et les écorces d'orange donnent une encre d'un noir-verdâtre, etc.

Les noix de galle doivent être pulvérisées pour en extraire plus de tannin et d'acide gallique; de la sorte l'encre est bien plus noire. Cependant on ne doit pas trop les diviser, parce qu'une partie resterait en suspension dans la liqueur et rendrait l'encre pâteuse.

3° *Sels de fer.* On emploie ordinairement le sulfate de protoxyde de fer (vitriol vert, couperose verte). L'infusion de noix de galle, en agissant sur lui, le décompose, et lui enlève son oxyde pour former un gallate de fer, qui est d'une couleur plus ou moins noire, suivant les proportions.

Cependant comme le fer y est à l'état de protoxyde, l'encre ne devient d'un beau noir que quand elle a absorbé de l'oxygène. Si on oxyde davantage le fer dans le sulfate, en le calcinant légèrement, jusqu'à ce qu'il prenne une couleur jaune de rouille, on obtient par ce moyen une encre complétement noire. On obtient le même résultat en prenant une décoction de noix de galle qui est restée exposée à l'air; on peut aussi employer d'autres sels de fer, particulièrement le nitrate de fer, qui donne une encre plus noire, parce que le fer y est à l'état de peroxyde.

L'acide sulfurique du sulfate n'est point nécessaire, et n'agit que comme dissolvant du fer, il est mis en liberté; par conséquent, il n'est pas nuisible d'en diminuer la quantité par l'addition de la potasse, ou par la calcination, avant le mélange avec la noix de galle.

4° Le *bois d'Inde* ou de Campêche contribue à la confection de l'encre, à cause de l'union que contracte sa matière colorante avec l'oxyde de fer; ce qui rend non seulement la couleur plus foncée, mais encore moins susceptible d'éprouver du changement par l'action de l'air et celle des acides.

5° Le *sulfate de cuivre* (couperose bleue, vitriol de Chypre), que Chaptal a indiqué dans une certaine proportion, rend l'encre plus foncée et plus consistante.

6° *Matières épaississantes.* Les principales sont la gomme, la bière épaisse; le sirop ne les remplace pas complétement; le sucre ne peut être employé qu'en petite quantité. Dans les recettes, on indique ordinairement la gomme arabique; mais celles du prunier et du cerisier sont aussi bonnes. La gomme augmente la viscosité de la liqueur, et maintient les matières colorantes en suspension; l'encre ne traverse pas le papier, et peut être appliquée plus épaisse; en même temps, la gomme colore l'encre d'une espèce de vernis compacte, qui, s'interposant entre l'encre et l'air, la garantit, lorsqu'elle est sèche, de son action. Si on prend trop de gomme, l'encre devient trop épaisse, coule mal de la plume et sèche difficilement.

Le sucre en petite proportion augmente la fluidité de l'encre, permet ainsi de mettre plus de gomme que l'encre ne pourrait en supporter sans cela, et lui donne plus de brillant; mais, en général, le sucre ne peut remplacer la gomme, car il ne tient pas comme celle-ci les matières colorantes en suspension; il rend l'encre plus difficile à sécher, et trop coulante, quand on le met en excès. La cassonade et la mélasse sont bien préférables; on les ajoute avec la gomme ou après.

Ainsi le sucre agit:

1° En rendant l'encre plus coulante; celle-ci exige alors plus de gomme.

2° En rendant l'encre moins collante, d'où il résulte qu'il en sort davantage de la plume, que les traits sont plus gros et plus brillants, ce qui est important pour la conservation de l'écriture.

3° En retardant la dessiccation, ce qui est un inconvénient dans certains cas; néanmoins on utilise cette propriété pour la préparation des encres destinées à copier les lettres, comme nous le verrons plus bas.

Des différentes matières que l'on ajoute à l'encre.

L'*acide muriatique* colore en rouge les traits faits avec l'encre ordinaire; mais à l'air, après quelque temps, ils redeviennent noirs.

Une addition de chaux rend l'encre brune; la potasse la rend verdâtre.

Le *sulfate de cuivre* est avantageux à l'encre qui contient du bois de Campêche; mais il ne faut pas en ajouter plus d'une partie sur huit de noix de galle ou même un peu moins. Si on en prend trop, la couleur de l'encre devient d'un gris sale.

Le *vert-de-gris* agit comme le sulfate de cuivre; mais avec le temps, il fait passer l'encre plus rapidement au jaune.

L'*alun* a été recommandé par Jeoffroy; mais il est nuisible, parce qu'il donne une teinte rougeâtre, et facilite le développement de la moisissure.

Le *sel de cuisine* est avantageux jusqu'à un certain point pour empêcher la moisissure; mais son action est peu efficace.

Le *sulfate d'indigo* et la *garance* donnent à l'encre une belle couleur noire. Cette pratique, du reste, est empruntée à l'ancienne teinture; car, pour faire un beau noir sur les étoffes, les ordonnances du roi, dressées sous le ministère éclairé de Colbert, prescrivaient, sous des peines convenables, *aux teinturiers* du grand et du bon teint, de guesder, garancer, etc., c'est-à-dire de teindre d'abord en bleu, en rouge, etc., les étoffes qu'ils voulaient mettre en noir.

La noix de galle étant d'un prix élevé, on en remplace souvent une partie par du sumac, par le gland ou l'écorce de chêne pulvérisés, par le châtaignier, le *mimosa babla*, les fruits et l'écorce d'aulne; mais, en général, les encres préparées avec ces substances sont d'une qualité inférieure, et n'ont d'autre mérite réel que d'être d'un prix de fabrication moins élevé.

Quelques fabricants, pour obtenir une encre double d'un noir tirant sur le violet, ajoutent une petite quantité de carbonate de manganèse. Les encres dites de la grande et de la petite vertu sont préparées ainsi avec plus ou moins d'eau et de gomme.

Préparation de l'encre liquide.

Par infusion. On arrose avec de l'eau le corps contenant du tannin, et on abandonne l'infusion dans un lieu chaud pendant un temps suffisant; on soutire la liqueur; on la remplace par de l'eau; on répète cette opération jusqu'à ce que tout le tannin soit extrait. On dissout d'abord la gomme dans l'extrait (1), et plus tard le sulfate de fer. L'encre ainsi obtenue est coulante, peu glutineuse, et n'a pas de penchant à la moisissure; elle est un peu pâle et facilement détruite par les acides; mais elle devient noire avec le temps. Elle revient aussi un peu plus cher que celle qui est préparée par la décoction.

Par décoction. On fait une décoction de la matière contenant du tannin; on la filtre, puis on y dissout la

(1) Quand l'extrait est trop aqueux, on fait concentrer à l'air libre ou par la chaleur.

gomme et le sulfate de fer (1). Par ce procédé, il se dissout plus de matières noires; mais l'encre est plus mucilagineuse, et a plus de penchant à la moisissure.

Par le temps. On laisse la dissolution de tannin, obtenue par infusion ou par décoction, dans des vases plats à l'air (six mois); on enlève de temps en temps la moisissure qui se forme à la surface; on la filtre pour enlever les pellicules et le tannin qui est au fond, et on y fait dissoudre 1/4 de gomme. Alors on ajoute autant de sulfate de fer, et on agite.

Proportions et mélanges des matières. Tout dépend, dans la préparation de l'encre, de la préparation de noix de galle et de sulfate de fer; mais comme la décoction contient plus ou moins d'acide gallique, la plupart des prescriptions indiquées par les auteurs ne sont pas exactes et complètes. Il serait mieux de dissoudre séparément la noix de galle et le sulfate de fer, et de mêler les liqueurs en proportions convenables pour obtenir une belle encre noire, et d'ajouter ensuite les autres substances.

Les recettes données diffèrent beaucoup les unes des autres; quelques-unes prescrivent 6 parties, d'autres 18, d'autres 1 seulement de noix de galle sur 1 de sulfate de fer. Il est vrai de dire aussi que, à cause de la grande variété des qualités de noix de galle et des matières qui contiennent du tannin, on ne peut pas indiquer un dosage qui puisse être employé dans tous les cas.

Nous résumerons ainsi les divers inconvénients d'un mauvais dosage :

Trop de noix de galle rend l'encre verdâtre ou rougeâtre, et par le temps elle devient sur le papier brune ou rougeâtre.

Trop de fer la rend bleue dans le commencement, ou violette, ou plus ou moins grise; mais avec le temps elle passe à la couleur rouille. Dans ce cas, les matières colorantes se déposent plus facilement.

Trop peu de fer rend la couleur plus pâle, mais par le temps elle ne devient pas facilement jaune.

Dans aucun cas, quand la noix de galle est bonne, il ne faut prendre plus de sulfate de fer que de noix de galle. Parties égales de ces deux matières donnent une encre qui, dans quelques semaines, devient brun-jaune. Si on prend davantage de sulfate de fer elle le devient encore plus vite. Une partie de sulfate de fer et 2 parties de noix de galle donnent une encre qui résiste plus longtemps; 4, 5 et 6 parties de galle donnent une encre plus solide, mais qui n'est pas aussi noire. La meilleure proportion, suivant Lewis et Bancroff, est de 3 parties de noix de galle pour 1 p. de sulfate de fer, et pour 2 p. de ce sel, suivant Ribeaucourt (2).

Propriétés d'une bonne encre. Les propriétés que l'on doit exiger sont :

1° Une couleur noire foncée;

2° Une couleur solide qui ne s'efface pas par le frottement et les lavages à l'eau, et qui ne change pas avec le temps;

3° Qu'elle sèche promptement;

4° Qu'elle se fixe solidement sur le papier, sans y pénétrer trop profondément;

5° Qu'elle coule uniformément et facilement de la lume;

6° Qu'elle ne moisisse pas.

(1) Il ne serait pas convenable de faire bouillir le sulfate de fer avec la noix de galle, parce que cette dernière ne serait pas complétement épuisée. Le précipité noir se dépose sur la noix de galle, de manière que l'eau ne peut pas bien y pénétrer et se renouveler; cependant la plupart des recettes indiquent l'ebullition de la noix de galle avec le sulfate de fer.

(2) M. Payen indique 5 parties de noix de galle et 2 p. de sulfate de fer, et son encre est excellente, d'après le témoignage des personnes qui en font usage.

Couleur foncée. La couleur noire provient, comme nous l'avons dit, du gallate de fer et du tannate de fer; elle n'est à son maximum que quand le fer est très oxydé; aussi elle ne s'acquiert qu'avec le temps dans la plupart des encres.

Solidité. Elle consiste dans les proportions des mélanges; elle est augmentée par la gomme et le sucre; ces corps forment un vernis qui préserve l'acide gallique et le fer du contact de l'air. On l'obtient encore plus sûrement quand on ajoute à l'encre un corps dont la couleur ne change pas ou difficilement (bleu de Prusse, noir de fumée, indigo, etc.) On ne peut les employer seuls, parce que les traits s'effacent trop facilement. Peut-être l'addition de l'alcool et de la résine serait utile pour cet objet.

Rapidité du séchage. La rapidité du séchage est d'autant plus grande que l'on a mêlé avec l'eau moins de corps épaississants, moins de gomme et de sucre. Le dernier surtout rend l'encre collante, même après le séchage. L'encre faite avec de l'eau-de-vie forte sèche vite, mais elle s'évaporerait trop vite dans l'écritoire, et reviendrait trop cher.

Pénétration. La fixité réside principalement dans l'action du sulfate de fer ou de l'acide sulfurique libre; et dans la porosité du papier. Elle est principalement importante pour la conservation de l'écriture, etc., parce que les traits ne peuvent être rendus invisibles sans altérer le papier. Si on emploie de l'encre trop épaisse, la pénétration n'a pas lieu, c'est ce qui arrive avec l'encre qui contient trop de sucre. Le collage du papier et les matières épaississantes préviennent une trop grande pénétration et le coulage de l'encre.

Coulage. L'encre trop liquide coule trop facilement; l'encre trop épaisse coule trop difficilement : ce dernier inconvénient provient d'un excès de gomme. Une petite addition de sucre en poudre ou de mélasse prévient cet effet.

Moyen de prévenir la moisissure. On a proposé beaucoup de moyens pour s'opposer à la moisissure, mais la plupart de ces moyens n'ont pas complétement réussi. La cause de ce phénomène provient de ce que la décoction de noix de galle contenait trop de matières glutineuses, ou que celle-ci était de mauvaise qualité. On peut prévenir cet effet en laissant la décoction à l'air jusqu'à ce que le mucilage soit décomposé, et l'employer seulement alors; les encres ainsi obtenues ne moisissent pas. Ensuite le meilleur moyen est l'emploi des clous de girofle; on en met quelques-uns dans l'écritoire. Le sublimé-corrosif (deuto-chlorure de mercure) ou l'acétate de mercure détruisent aussitôt la moisissure; mais la propriété vénéneuse de ces substances rend leur usage dangereux. L'acétate de nickel empêche aussi la moisissure, l'eau-de-vie produit aussi quelque effet; mais elle affaiblit un peu l'encre, parce qu'elle précipite des matières colorantes; le camphre a été employé avec succès par Bancroff; mais il se volatilise bientôt. Le pyrolignite de fer, employé à la place du sulfate de fer, est très bon. La soude, le salpêtre, le sel marin, le sel ammoniac, agissent un peu, mais faiblement; le premier nuit à la couleur, les autres à la durée de l'encre. L'alun n'empêche pas la moisissure, il la provoque plutôt.

Nous avons emprunté à l'ouvrage de Leuchs sur les matières tinctoriales (1) une grande partie de ce qui précède sur la préparation et les propriétés des encres; et c'est un devoir pour nous de citer ici le nom de ce technologiste distingué dont les travaux sont fort estimés dans toute l'Allemagne.

Nous mentionnerons aussi, à titre de renseignement, les fluides pour remplacer les encres à écrire, inventés par M. Stephens, chimiste de Londres, dont la pré-

(1) Cet ouvrage a été traduit en 1829, par M. Péclet.

paration ne nous est pas bien connue. Nous savons seulement que le principe colorant est le bleu de Prusse (prussiate de potasse) combiné avec l'acide gallique.

Au nombre de ces fluides, nous citerons en première ligne, comme servant aux usages les plus généraux, l'encre bleu-noir, ainsi appelée parce que sa couleur d'abord d'un beau bleu, devient ensuite du noir le plus foncé. Ce fluide coule de la plume avec facilité et permet de faire les déliés les plus délicats ; il se distingue par la permanence de sa limpidité, l'absence de toute moisissure et de rouille sur les plumes métalliques. Tant d'avantages réunis nous portent à dire que cette encre égale au moins les meilleures encres connues, si elle ne les surpasse pas.

A défaut de la préparation et de la composition de l'encre de Stephens, nous donnons celle de Perry, qui est aussi fort en réputation en Angleterre.

Les ingrédients employés dans la composition de cette encre sont, dans les proportions suivantes, pour une quantité de 325 litres.

Noix de galle concassées. . . .	9 kilogr.
Sulfate de fer	4
Bois d'Inde.	4

que l'on fait bouillir dans une quantité suffisante d'eau. Quand la teinture est bien faite, on retire les noix de galle et le bois d'Inde qui sont épuisés et on ajoute :

Sucre blanc.	4 kilogr.
Gomme arabique.	4

On fait évaporer jusqu'à la consistance d'un extrait liquide, puis on y ajoute :

Indigo en poudre.	250 gram.
Hydro-chlorate d'ammoniaque. .	375
Essence de citron	32
Essence de lavande	96
Acide acétique	250
Cyanure de potassium	125

On incorpore bien le tout ensemble, et l'encre est faite. Cette encre est très convenable pour être employée avec des plumes métalliques ou des plumes d'oie ; elle offre la facilité de pouvoir obtenir des teintes différentes, soit claires, soit foncées, en y ajoutant la quantité d'eau nécessaire.

Formule de l'encre liquide de M. Tarry.

On prend : noix de galle en poudre. .	125 gram.
Gomme en poudre. . . .	48 —
Sulfate de fer calciné. . .	36 —
Eau de pluie.	1750 —

On fait infuser la noix de galle dans l'eau pendant l'espace de 24 heures, en remuant de temps en temps ; on filtre l'infusion à travers un filtre de papier non collé ; on fait dissoudre la gomme dans une partie de l'infusion en la broyant dans un mortier ; lorsque la dissolution est opérée, on ajoute le sulfate de fer, on agite et on laisse reposer.

Depuis peu de temps, on vend dans le commerce, comme une invention, des encres liquides dites indélébiles, qui consistent en un charbon très divisé et tenu en suspension dans l'eau alcaline au moyen de la gélatine rendue liquide par une ébullition prolongée. Ces encres ne sont, à proprement parler, que des encres de Chine liquides, plus durables sans doute que l'encre noire formée d'acide gallique, de tannin et d'oxyde de fer ; mais qui ne sont pas réellement indélébiles, comme nous le prouverons plus tard.

Du reste, l'Anglais Bosvel avait obtenu, dès l'année 1817, une encre semblable par un procédé qui a été décrit dans les journaux et publications de l'époque (1) ; et le savant D'Arcet écrivait à cette occasion qu'on avait déjà indiqué plusieurs fois les alcalis caustiques comme un excellent moyen de diviser le charbon à l'infini, et de le rendre par là très propre à la fabrication de l'encre de la Chine, ou en général à celles des encres indélébiles (voir le *Bulletin de la Société d'encouragement*, tom. XIII, pag. 92). On peut donc préparer une encre basée sur les mêmes principes, sans crainte d'aucune poursuite en contrefaçon.

Encre à écrire solide. Tout le monde sait que l'encre liquide expose ceux qui en font usage, à des accidents parce que la bouteille qui la contient est sujette à se casser, et que par suite, les meubles, les habillements et les mains sont salis et tachés.

C'est pour prévenir les accidents et faciliter en même temps les relations de ce genre de commerce, que plusieurs chimistes ont indiqué l'emploi et la préparation des encres solides en tablettes (voir le *Bulletin de la Société d'encouragement*, tom. 22, pag. 78. *Manuel du papetier, par Julia de Fontenelle*, 1828, pag. 278.) ; mais les marchands et les consommateurs ne les ont pas généralement adoptées.

Du reste, comme la composition des meilleures encres à écrire solides est encore celle des encres de la Chine, nous nous bornerons à indiquer la préparation de ces dernières.

II. ENCRES DE LA CHINE.

Cette encre est connue depuis un temps immémorial, puisque l'on possède des dessins et des gravures grossières des Chinois et des Japonais, qui datent de plus de 300 ans avant J.-C.

Pendant longtemps on a émis des opinions différentes sur la préparation de cette substance ; cependant on savait dès l'origine qu'elle se fabriquait avec du charbon ou du noir de fumée, et une dissolution de gélatine de corne de cerf mêlée d'un peu de musc et de camphre.

Suivant Hermann (1) et Fourcroy (2), les Chinois la préparent avec de la sépia, liquide noir que donne un poisson nommé sèche.

Dans son Système de chimie (*édition de 1807, traduction de Riffaut*), Thompson dit que la préparation de l'encre de la Chine consiste dans un mélange de noir de fumée avec une solution de gomme-laque par le borax.

D'après la recette publiée par le P. Duhalde, comme extraite d'un livre chinois, on fait bouillir dans de l'eau du suc de gingembre et diverses plantes désignées par les noms du pays et inconnus de nos botanistes ; on clarifie et l'on fait évaporer jusqu'à la consistance d'extrait.

On ajoute sur 330 gram. de cet extrait, 125 gram. de colle de peau, puis on incorpore dans ce mélange 320 gram. environ de noir de fumée ; on en fait une pâte homogène qui prend différentes formes et des dessins, lettres, etc., en relief, dans des moules où on la comprime. Au sortir de ces moules, on tient pendant quelque temps les bâtons d'encre plongés dans de la cendre (3).

Suivant le jésuite Nicol-Trigault, on prend en Chine le noir de fumée des lampes à l'huile, que l'on recueille sur des assiettes qui sont suspendues au-dessus des lampes.

John pensait que l'encre de Chine était composée de sépia et de noir de fumée résineux (4) ; mais plus

(1) *Annales des arts et manufactures*, tome XXIII, page 55.

(1) Pauli Harmani, *Cynosuræ*, tome I, page 11.
(2) Fourcroy, *Système des connaissances chimiques*.
(3) Cette préparation qui, au premier abord, paraît incomplète, puisque nous ne connaissons pas, disent les auteurs, la nature des plantes indiquées, est très facile à faire, à notre avis, si on emploie une décoction de racine de saponaire, ou de toute autre plante détersive.
(4) L'histoire nous apprend que dans l'empire romain on donnait à l'encre le nom de la sèche, *sépia* (Pers, 1b). On

tard il se convainquit qu'elle se composait d'un charbon fin, d'un peu de musc, de camphre et de colle animale. Il composa une très bonne encre de Chine avec du noir de fumée de lampe et une décoction de colle de poisson.

Kasleteyn (1) assure avoir composé une très bonne encre de la Chine de la manière suivante : il incorporait à chaud du noir de fumée, préalablement calciné avec une solution de colle de poisson; il évaporait à consistance convenable, puis il coulait la matière dans des moules.

Proust dit que le noir de fumée traité par la potasse et broyé avec la colle, lui a donné une encre que les gens de l'art ont trouvée supérieure à la véritable encre de la Chine.

Ainsi de tous les travaux et essais des chimistes modernes, il résulte donc que les matières premières de l'encre de Chine sont :

1° *Le charbon*. C'est la base principale; on peut l'obtenir de différentes manières ; pour l'encre la plus fine, il faut prendre du noir de lampe ou du noir de fumée provenant de la combustion de bois résineux, etc. (voyez NOIRS). On peut tout simplement le purifier par la calcination, ou bien on le traite par une lessive alcaline ou par l'alcool à 28 degrés, pour le dépouiller entièrement des matières huileuses ou résineuses qu'il contient toujours. On le lave d'abord dans l'acide sulfurique étendu d'eau pour en enlever les sels solubles.

Nous savons qu'un fabricant d'encres de Chine, en Allemagne, emploie mystérieusement le noir provenant de la combustion du camphre, et son encre est justement renommée.

En 1823, Franz Steiner obtint en Autriche un brevet pour la fabrication d'encre de la Chine, avec du charbon de papier et de linge, que l'auteur prétendait être équivalente à celle de la Chine.

Pour les encres inférieures on emploie des noirs plus grossiers, celui de liége, de coton, de marc de raisin, de noyaux de pêche, etc. ;

2° *Une dissolution de gélatine ou colle animale* qui a subi un commencement d'altération; on l'obtient soit par une ébullition prolongée, soit en l'extrayant des os dans une machine à forte pression, comme la marmite de Papin, soit en versant dans cette gélatine fondue un peu d'infusion de noix de galle, et en redissolvant le précipité par l'ammoniaque.

Plusieurs auteurs ont préconisé la dissolution de colle de poisson comme bien préférable, parce qu'elle se putréfie moins facilement que la colle ordinaire; mais on peut toujours, pour empêcher la fermentation, ajouter un peu d'alun et de colle de parchemin, etc.

L'eau de gomme, avec un peu de sucre, peut être également employée. La gomme adragante employée seule rend l'encre de Chine trop rude;

3° *Corps odorants*. On emploie du musc, du camphre, etc.

La préparation de l'encre de Chine à l'aide des mélanges que nous venons d'indiquer ne présente aucune difficulté; on broie parfaitement les matières charbonneuses avec les dissolutions gélatineuses; on presse la pâte dans des formes huilées, en fer, en tôle, en étain, en zinc ou en bois, qui doivent être environ un tiers plus grandes que les morceaux d'encre secs; et on les laisse sécher. Les marques sont placées en relief dans les formes, ou bien on les fait avec des cachets en cuivre jaune, quand la matière est à moitié sèche. La dorure et l'argenture se font par les procédés connus, c'est-à-dire avec un mordant ou vernis gras au copal, sur lequel on applique la feuille, d'or ou d'argent, lorsqu'il est à moitié sec.

Nous ne donnerons pas ici les diverses recettes des encres de Chine qui ont été publiées jusqu'à ce jour, et dont nous n'avons pas été en position d'éprouver la qualité. Nous nous bornerons à indiquer celle de Mérimée dont nous avons reconnu tous les avantages.

« La colle la meilleure est celle qui, trempée dans l'eau, ne fait que se gonfler sans rien laisser dissoudre. On en trouve rarement de pareille dans le commerce, mais à son défaut, on peut se servir avec succès de la colle de Flandre.

« Après l'avoir fait tremper pendant quelques heures dans environ 3 fois son poids d'eau acidulée par 1/10e d'acide sulfurique, on jette l'eau qui contient la portion trop soluble de la colle, et on la remplace par de l'eau légèrement acidulée. On fait bouillir cette colle pendant une heure ou deux, et l'ébullition la modifie au point qu'elle ne se prend plus en gelée en refroidissant.

« On sature ensuite l'acide avec la craie que l'on projette peu à peu, jusqu'à ce que le papier réactif indique que la saturation est complète. On filtre à travers du papier, et la dissolution qui passe est parfaitement transparente.

« On prend environ le quart de cette colle, sur laquelle on verse une dissolution concentrée de noix de galle. La gélatine est aussitôt précipitée et produit une matière élastique résiniforme.

« On lave cette matière avec de l'eau chaude et on la dissout à chaud dans la colle clarifiée ; on filtre encore cette colle et on la fait rapprocher au point convenable, afin qu'en l'incorporant avec le noir de fumée, on ne soit pas obligé d'attendre longtemps que la pâte ait acquis la consistance nécessaire pour être moulée.

« Le principe astringent contenu dans les sucs végétaux ne précipite plus la gélatine lorsqu'on a saturé l'acide qu'il contient. On peut donc faire bouillir avec de la magnésie ou de la chaux la noix de galle ou tout autre végétal abondant en principe astringent (1), et mêler ensuite à la colle la décoction filtrée; il n'y aura pas de précipité et la colle ainsi préparée sera d'autant moins soluble, après sa dessiccation, qu'elle contiendra plus d'astringent.

« Ce n'est que par tâtonnement qu'on arrivera à connaître la proportion la plus convenable de matière astringente qu'il faut combiner avec la colle.

« De quelque manière qu'on prépare l'excipient qui doit être mêlé avec le noir, il faut qu'il soit tellement clarifié qu'en le délayant dans beaucoup d'eau il ne laisse rien précipiter. Il n'y aura plus qu'à le concentrer par l'évaporation au point convenable.

« C'est aussi par tâtonnements qu'on pourra déterminer les proportions relatives de noir (2) et de colle, puisque cette colle peut être plus ou moins concentrée; mais on parviendra sans peine à trouver la meilleure proportion en faisant les deux essais suivants :

« On appliquera, au pinceau, une légère couche d'encre sur de la porcelaine, et avec une plume on écrira sur le papier. Si l'encre est luisante sur la porcelaine, c'est une preuve qu'elle est suffisamment collée ; si, après sa dessiccation sur le papier, on ne la détrempe pas avec un pinceau imprégné d'eau, c'est une preuve qu'il n'y a pas trop de colle.

« En Chine, les moules sont en bois : on pourrait les avoir en argile cuite; cette terre se moule parfaitement, et lorsqu'elle n'a pas été demi-vitrifiée par le feu, elle happe fortement à la langue. Elle boirait donc en

---

employait quelquefois cette matière pour de l'encre (Cicéron, *de Nat.*, DDII, page 401 ; Pline, livre XVI, ch. LXIV, 86).

(1) Journal de physique de Hollande, 1791.

(1) Cette encre serait très bonne ; mais elle n'aurait pas comme celle de Chine la propriété de se délayer dans le vinaigre.

(2) Le noir de fumée léger, provenant de la combustion de l'huile ou de la graisse.

peu de temps une partie de l'humidité de la pâte; ce qui faciliterait sa sortie des moules peu après qu'elle y aurait été comprimée. On entrerait ensuite les bâtons d'encre dans la cendre, afin qu'en séchant, ils ne puissent se fendre, et l'on ferait sécher les moules au soleil ou dans une étuve. Si après un long sursis leurs pores se trouvaient bouchés au point de ne plus absorber l'humidité, on les ferait bouillir dans une lessive caustique et sécher ensuite, ou bien on les ferait rougir au feu (1). »

Moyen de reconnaître la bonne encre de Chine. L'encre de Chine est moulée en pains ou bâtons de différentes formes ou grandeurs, ornés le plus ordinairement sur leurs surfaces de caractères chinois et de figures bizarres, recouvertes souvent d'une feuille d'or. On en trouve de deux espèces, l'une d'un beau noir très foncé et tirant légèrement sur le bleu, l'autre d'un noir roussâtre. La cassure de bonne encre de Chine est d'un noir luisant. La pâte en est fine et parfaitement homogène.

Pour la reconnaître, il faut frotter le bout du bâton dans un godet avec un peu d'eau, et laisser ensuite sécher rapidement le morceau d'encre et l'encre du godet. Si l'encre faite et la partie du pain qui a été frottée sont troubles, graveleuses et ternes, c'est une marque infaillible que cette encre ne vaut rien. Si, au contraire, elles sont claires, unies et brillantes, l'encre doit être bonne, surtout si en séchant sa surface se couvre d'une pellicule d'aspect métallique. Après cette première épreuve, on peut faire, dans un godet, de l'encre assez épaisse pour tracer un trait bien pur et bien noir; lorsqu'il est sec, on passera dessus avec le pinceau une couche d'eau pure; si l'encre qui a servi se délaie, si le trait s'élargit et devient inégal, c'est un signe de la mauvaise qualité de cette encre; car elle doit supporter le lavis sans aucune altération.

L'encre de Chine étant considérée comme indélébile par les réactifs, la commission nommée par l'Académie des sciences pour examiner les moyens de prévenir la falsification des actes en billets de commerce, a proposé les encres suivantes :

N° 1. *Encre indélébile ou ineffaçable* (2), *avec des plumes d'oie.* Encre de Chine délayée dans l'eau acidulée par l'acide hydro-chlorique du commerce, et marquant 1 degré et demi à l'aréomètre de Baumé.

N° 2. *Pour écrire avec des plumes métalliques.* Encre de Chine délayée dans l'eau rendue alcaline par la soude caustique et marquant 1 degré à l'aréomètre de Baumé.

M. Dumas a donné dans son rapport les explications scientifiques que nous transcrivons ici.

Les personnes qui ont fait quelques études chimiques, et qui savent que l'encre de Chine est formée de charbon excessivement divisé, comprendront sans explication particulière les motifs qui ont déterminé l'ancienne commission dans le choix de cette encre. Elles se rappelleront en effet que le charbon est insoluble et inattaquable par tous les agents connus à de basses températures, et que le papier serait toujours détruit avant que le charbon fût atteint lui-même.

Mais si l'encre de Chine est toujours indélébile en ce qui concerne les agents chimiques; il serait possible, à la rigueur, qu'elle fût effacée par des moyens mécaniques; c'est ce qui aurait lieu si elle ne pénétrait pas dans la pâte même du papier.

Il y a donc une certaine relation à établir entre l'acide ou l'alcali qui, ajoutés à l'encre de Chine, ont pour objet de la faire pénétrer dans le papier et le collage du papier lui-même.

Plus le papier serait collé, plus il faudrait d'acide hydro-chlorique et de soude pour déterminer cette pénétration qui constitue toute la garantie contre les falsifications. Les doses indiquées par la commission se rapportent aux papiers ordinaires du commerce. Pour des papiers extraordinaires, des papiers surcollés, il faudrait les augmenter.

Si le papier sur lequel on écrit est légèrement humide, l'encre pénètre mieux, et la garantie qu'elle présente en est augmentée. Aussi serait-il bon dans un cas important, d'humecter très légèrement le papier, d'attendre une ou deux minutes pour laisser à l'humidité le temps de pénétrer dans toute l'épaisseur de la feuille, puis enfin d'écrire avec l'encre de Chine récemment délayée dans la liqueur acide.

Mais des essais récents ont constaté que l'encre de Chine acidulée pouvait être détruite même sans le secours d'agents chimiques très puissants.

III. ENCRE A MARQUER LE LINGE ET LES ÉTOFFES.

En 1805, Haussmann proposa l'emploi du sulfate et de l'acétate de manganèse pour la fabrication d'une encre indélébile propre à marquer le linge; plus tard il indiqua la composition suivante :

Faites dissoudre de l'asphalte dans une quantité suffisante d'essence de térébenthine; broyez avec cette dissolution du noir de fumée ou de la plombagine en poudre fine, et appliquez-la avec des caractères à jour ou en relief (1).

On peut employer aussi l'encre de Chine délayée avec de l'acide hydro-chlorique, faible (2), composition que le savant chimiste Berzélius, et après lui l'Académie des sciences, avait recommandé comme le meilleur préservatif contre toutes les falsifications d'écriture (voir le rapport de M. D'Arcet, du 6 juin 1831, et celui de M. Dumas, du 13 février 1837).

M. Pajot-Laforêt a indiqué plusieurs procédés pour composer une encre à marquer le linge (3). Nous donnons la recette de celle qui nous paraît la plus simple. Elle consiste à prendre 64 gram. de nitrate de manganèse pur et concentré, qu'on mêle à une égale quantité d'une forte décoction de noix de galle d'Alep; on ajoute ensuite à ce mélange 32 gram. de bonne encre ordinaire à écrire, ce qui forme une encre à marquer le linge d'une grande solidité.

Pour se servir de cette liqueur, il faut préalablement que l'endroit du linge que l'on veut marquer soit imbibé d'un mordant composé de prussiate de potasse dissous dans l'eau distillée, qu'on gomme suffisamment pour empêcher l'encre à marquer de se répandre au-delà des chiffres ou lettres que l'on emploie pour marquer le linge.

Recette de l'encre dite anglaise.

Liqueur n° 1.

On prend : sous-carbonate de soude.	16	grammes;
Eau de rivière.	128	—
Gomme arabique. . . .	12	—

On fait dissoudre la gomme dans l'eau, puis on ajoute le sous-carbonate de soude qui s'y dissout avec facilité.

---

(1) M. Mérimée mêlait un peu de camphre dans l'encre préparée, et il attribuait à cette matière la facilité avec laquelle l'encre se moulait.

(2) Voir le rapport de M. Dumas, en date du 15 février 1837.

(1) On peut remplacer avec avantage le noir de fumée par du crayon noir à dessiner, réduit en poudre très fine. Le vernis des imprimeurs, mêlé avec de l'oxyde de fer et de la sanguine, produit une encre assez résistante; on se sert aussi du crayon noir ou de la sanguine seulement.

(2) 100 p. de cet acide doivent pouvoir dissoudre 5 p. de marbre blanc.

(3) Voir le Journal des Connaissances usuelles, tomes XVI et XVII.

Liqueur n° 2.

On prend, d'autre part :

Nitrate d'argent.	10	grammes;
Gomme arabique.	12	—
Eau distillée.	24	—

On fait dissoudre la gomme dans l'eau, puis on ajoute le nitrate d'argent qui s'y dissout très facilement.

Les liqueurs préparées doivent être conservées à part.

Lorsqu'on veut s'en servir on agit de la manière suivante :

On prend la liqueur n° 1 avec une petite éponge, et on mouille la place sur laquelle on veut écrire, on sèche ensuite, en se servant d'un fer à repasser qui unit la place qui a été mouillée.

Lorsque la place est ainsi séchée et polie, on écrit avec une plume qui a été plongée dans la liqueur n° 2. Cette plume imprégnée du liquide fournit des traits colorés, figurant le nom ou tout autre dessin, selon la volonté de la personne qui écrit.

On peut, si l'on ne veut pas écrire, faire préparer par un graveur ses initiales, son chiffre, à jour, sur une petite plaque d'argent. On mouille la place avec la liqueur n° 1 ; on sèche au fer à repasser, puis on applique la plaque d'argent, et à l'aide d'une brosse trempée dans la liqueur n° 2, on passe de la liqueur sur les parties de la plaque découpée à jour; on a soin de bien presser la plaque pour que la liqueur n° 2 ne dépasse pas la lettre, ce qui causerait du *barochage*, c'est-à-dire que les lettres ne seraient pas bien nettes.

Avant que le linge ne soit lavé, on l'expose aux rayons du soleil ou à la lumière d'un beau jour, afin de faire noircir le nitrate d'argent. Cette encre s'enlève, au besoin, par l'action du chlore ou de la vapeur d'ammoniaque.

Autre composition. Noix de galle, 32 grammes ; campêche, 16 gram., bouillis dans un demi-litre d'eau, passez et ajoutez 4 gram. de nitrate d'argent et 8 gram. de gomme arabique ; on marque, au moyen d'une plume à bec court et peu fendue, le linge mouillé avec une solution de 32 gram. de potasse et de 64 gram. d'eau. A l'aide de cette méthode économique, généralement employée en Angleterre, l'inscription ne peut disparaître qu'en enlevant le morceau ; elle permet en outre d'écrire les noms en entier, ce qui évite une foule d'erreurs et de portes. Les lettres sont d'abord peu apparentes, mais le contact de l'air et l'influence de la lumière et du soleil leur donnent bientôt une couleur noire foncée.

Autre composition qui n'a besoin d'aucun autre apprêt pour être employée ; il suffit d'avoir un petit tampon sur lequel on étend un peu de liquide, et avec un cachet en bois fixe ou mobile, on imprime sur le linge et on laisse sécher.

Composition de la liqueur :

Nitrate d'argent. . . .	30	grammes ;
Gomme arabique. . . .	30	—
Eau distillée.	125	—
Noir de fumée.	8	—

Mêlez intimement ces substances, en remplaçant la gomme par la même quantité d'encre de Chine, on a une couleur encore plus foncée.

IV. ENCRES COLORÉES.

Presque toutes les encres rouges et jaunes peuvent être considérées comme des LAQUES (voyez ce mot), dont on retarde la précipitation en augmentant la densité de la liqueur au moyen de la gomme.

Encre rouge faite avec le carmin. On fait dissoudre du carmin en poudre dans l'ammoniaque liquide, et on laisse évaporer l'excès d'alcali ; on cet état on y ajoute un peu de mucilage de gomme arabique, et on conserve le liquide dans de petites bouteilles ; cette encre est très belle, mais elle est un peu chère.

Encre faite avec le bois de Brésil ou de Fernambouc. 16 parties de bois de Fernambouc râpé ou moulu, et bouilli dans une quantité d'eau suffisante avec une partie d'alun dissous dans du vinaigre rectifié ; on laisse reposer la solution pendant trois semaines et on filtre. Quand il ne se forme plus de dépôt, on peut ajouter un peu de gomme et de sucre.

Cette encre est belle et s'améliore avec le temps. Si on prend 1/3 d'alun de moins, la couleur est plus vive, et par le temps elle devient moins brunâtre, parce que cette nuance provient d'un excès d'alun. On peut aussi faire bouillir un peu de cochenille avec le Fernambouc. On dit qu'en employant de l'eau-de-vie, on obtient de plus belles couleurs du Fernambouc qu'avec l'eau pure ou le vinaigre.

Encre faite avec le vermillon. On bat le blanc de quatre œufs avec une cuillerée à café, d'alcool et de sucre candi ; on mélange le vermillon réduit en poudre très fine.

Il faut que cette matière soit agitée pour s'en servir.

Encre jaune. — Avec la gomme-gutte : 1 partie de gomme-gutte, 1 p. de gomme arabique dissoute par l'ébullition dans 12 parties d'eau : on peut aussi ajouter un peu de safran.

Encre faite avec le safran. Les décoctions de safran et de carthame mélangées avec de la gomme arabique donnent une encre jaune, mais chère.

— *avec le bois jaune.* On le fait bouillir dans l'eau avec un peu d'alun, et on ajoute un peu de gomme ; on avive la couleur en ajoutant un peu de gélatine liquide, avant la filtration, pour précipiter le tannin.

— *avec la graine d'Avignon.* 8 parties de graines bouillies avec 32 p. d'eau et 1 p. d'alun, pendant une heure environ ; filtrer et ajouter un peu de gomme, et de l'eau, si la liqueur est trop épaisse.

Encre bleue faite avec l'indigo. On arrose une partie du meilleur indigo, pulvérisé, avec 6 parties d'acide sulfurique concentré, en remuant avec une tige de verre. On abandonne la liqueur pendant quelques heures, et on la verse goutte à goutte en remuant fortement dans 3 à 5 litres d'eau froide. Ensuite on jette dans la liqueur de la craie tant qu'il se forme une effervescence ; on laisse reposer quelques jours et on filtre.

L'acide doit être saturé par la craie, autrement il altérerait le papier. On peut aussi ajouter de la gomme.

Encre faite avec le bleu de Prusse soluble. On le réduit en poudre très fine, on le broie avec un mucilage épais de gomme arabique, et on le délaie ensuite avec de l'eau gommée jusqu'à ce que la consistance soit telle que l'encre coule facilement dans la plume. Si l'on veut, on ajoute à l'encre un peu de sucre en poudre ou de fiel de bœuf. (Voyez à l'article BLEU DE PRUSSE procédé *Stéphens et Nax*, le moyen de rendre le bleu de Prusse soluble : nous ferons remarquer cependant que ce moyen ne réussit qu'avec le bleu de Prusse anglais).

Encre verte. On mélange une des encres bleues avec une des encres jaunes.

Encre violette. Mélange de l'encre rouge avec l'encre bleue.

Encre orange. Mélange de l'encre rouge avec l'encre jaune.

Encres métalliques. On prend des poudres métalliques très fines, bronze, argent, or, etc. ; et on les broie séparément avec de la gomme, un peu de sucre ou de miel et de fiel de bœuf purifié. Quand l'encre est sèche on peut la lisser avec un BRUNISSOIR.

Encres sympathiques. On appelle ainsi toutes les li-

queurs avec lesquelles on trace des caractères invisibles sur le papier, et qui apparaissent ensuite sous différentes couleurs par l'action des agents chimiques. On les divise en trois classes :

La première classe comprend les encres invisibles qui apparaissent par l'emploi d'un autre réactif;

La deuxième classe comprend celle dont l'écriture invisible devient colorée en l'exposant à la chaleur;

La troisième classe est celle des encres invisibles dont l'écriture tracée avec un corps collant, gras et incolore, apparaît en la couvrant avec quelque poudre colorée.

On peut lire les recettes de ces encres qui sont détaillées et expliquées dans la physique amusante de M. Julia de Fontenelle, et le *Manuel de chimie amusante de M. Riffaut*. Elles sont de trop minime importance pour nous y arrêter.

V. ENCRES AUTOGRAPHIQUES ET LITHOGRAPHIQUES.

Recette de M. Crusel, écrivain autographe du ministère de la guerre, auquel la Société d'encouragement a décerné, en 1830, le prix de 200 francs, proposé par elle pour la meilleure encre autographique.

Composition. 8 grammes de cire vierge, 2 gram. de savon blanc, 2 gram. de gomme laque, et 3 cuillerées à bouche de noir de fumée.

Préparation. On fait fondre ensemble la cire et le savon, et avant que ce mélange s'enflamme, on y joint le noir de fumée, que l'on remue avec une spatule; on laisse brûler le tout pendant trente secondes, on éteint la flamme, puis on ajoute peu à peu la laque, en remuant toujours; on remet le vase sur le feu pour faire l'amalgame, jusqu'à ce qu'il s'enflamme ou soit prêt à s'enflammer; on éteint la flamme et l'on ne verse dans le moule que lorsque l'encre est un peu refroidie.

Propriétés. On peut, avec cette encre, faire des traits aussi fins qu'avec le burin, et des pleins aussi forts que l'on veut, sans craindre qu'elle s'étende au transport; sa composition indique qu'elle peut se conserver en bâton sans se détériorer, et que les traces sur le papier lithographique peuvent se conserver aussi des années avant d'en faire le transport; elle est donc à la fois bonne et inaltérable.

Observations. On pourrait faire une encre qui serait plus lente à se coaguler, en ne mettant que 1 gram. 1/2 ou même 1 gramme de savon; mais, si elle est un peu trop brûlée, elle ne se transporte pas bien, parce qu'elle est trop sèche; celle dont la composition est donnée ci-dessus n'a pas cet inconvénient. Si elle se congule trop vite, donnez-lui une flamme; si elle est un peu trop brûlée, elle est encore bonne. On ne risque donc jamais de perdre son temps et ses matières.

On sera peut-être surpris de ne pas trouver de suif dans cette composition; nous avons observé que l'encre qui en contient une petite quantité est bonne quand on l'emploie de suite, et que le transport se fait aussi de suite; mais que le suif séchant promptement, son effet devient nul, et souvent des ouvrages transportés 4 à 5 jours après qu'ils sont écrits paraissent défectueux, bien que faits par une main très exercée. Si le suif est employé en plus grande quantité, les traits s'étendent au transport, et si le transport se fait longtemps après le tracé, la défectuosité est encore plus sensible (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, tome XXX, page 265.)

Emploi. Il est nécessaire de dissoudre cette encre à chaud, on peut ensuite y ajouter de l'eau froide. Pour cela, on fait chauffer fortement une soucoupe devant le feu ou à la flamme d'une bougie, en même temps on promène un bâton d'encre jusqu'à ce qu'il y en ait assez de fondu. On ajoute de l'eau qu'on laisse bouillir dans la soucoupe. On retire la soucoupe, et on délaie l'encre avec un bouchon; s'il y a trop d'eau, on fait évaporer; s'il n'y en a pas assez, on en ajoute de la froide.

Encre lithographique de M. Lemercier.

Proportions.	Cire jaune	4 parties;
	Suif de mouton épuré . . .	3
	Savon blanc de Marseille .	3
	Gomme laque en feuille. .	6
	Noir léger	3

On peut changer les proportions qui précèdent, si on veut rendre cette encre applicable à un usage particulier; ainsi, supposant qu'on veuille aciduler fortement pour mettre le travail à l'encre en relief; on augmentera la proportion du suif, observant d'ajouter, dans le même rapport, à la proportion du savon. L'encre où on aurait mis plus de suif que précédemment, nécessiterait aussi un peu plus de noir.

Fabrication. Il faut avoir une casserole de cuivre ayant un long manche, munie de son couvercle, et une cuillère en fer. On commence par faire fondre les ingrédients pour l'encre dans le même ordre que pour la fabrication des crayons; le savon étant fondu, on ajoute la gomme laque par petites pincées, agitant continuellement, et ayant attention de n'en remettre qu'après que celle précédemment ajoutée est fondue. Lorsque l'on a fait l'addition de toute la gomme laque, on augmente le degré de chaleur, jusqu'au moment où la vapeur blanche qui se dégage commence à s'épaissir. Alors on retire la casserole du feu, et on enflamme la matière; supposant qu'on ait pris par 31 grammes chacune des proportions précédentes, on laissera brûler pendant une minute au plus; ensuite on éteint la flamme, on laisse la fumée se dégager et la masse refroidir pendant une demi-minute; puis on fait l'amalgame du noir, en le délayant pendant plusieurs minutes, après lesquelles on remet la casserole sur le feu, en continuant toujours de remuer la masse. On laisse cuire un quart d'heure environ. La cuisson étant terminée, on laisse l'encre refroidir un peu, et on la verse sur un marbre que l'on a frotté d'avance avec du savon, ce qui facilite l'enlèvement de la matière refroidie; arrivé à ce point, on la fait refondre, pour mieux mélanger et raffiner sa pâte; ce moyen est bien préférable à celui du broyage, qui est très difficile, attendu qu'il ne peut être fait qu'à chaud. En faisant refondre la pâte, il est essentiel de la remuer sans cesse et de la maintenir à une chaleur tempérée. Cette seconde opération étant terminée, on coule l'encre dans un cadre en bois posé sur le marbre qui a déjà servi, et avant que l'encre soit tout à fait refroidie, on la divise par morceaux, en la coupant avec une lame de couteau; il faut ensuite la laisser sécher parfaitement avant de l'employer.

Nous pourrions multiplier les recettes d'encres autographiques et lithographiques, qui varient seulement dans la proportion de certaines matières, et qui sont du reste à peu près semblables, quant à la nature et à la composition des substances réunies.

Ainsi, on retrouve dans toutes les encres du savon ou un alcali fixe (soude ou sous-carbonate de soude), du suif ou de la graisse, de la cire, de la gomme laque et du noir de fumée. Dans quelques-unes, cependant, on trouve de la térébenthine de Venise et du mastic en larmes; mais on a reconnu par l'expérience et par la pratique que les encres qui renferment ces ingrédients sont d'une qualité inférieure, c'est-à-dire peu faciles à employer et peu résistantes à l'acidulation.

Il résulte même de l'examen que nous avons fait des recettes des meilleures encres lithographiques, que leurs ingrédients sont répartis dans les proportions suivantes : savon ou alcali, 1 partie; corps gras (suif, cire, résine ou gomme-résine), 5 parties; noir de fumée, quantité suffisante pour colorer. Mais le talent du fa-

briquant d'encre consiste à choisir les corps gras dans un état de pureté suffisant, et à les mélanger avec soin, et dans des proportions convenables.

Voici les données de M. Joumar, écrivain-lithographe fort habile, sur l'encre lithographique.

« Outre la facilité avec laquelle on doit l'employer, deux qualités sont indispensables à l'encre : la résistance et la solidité.

« Elle est résistante lorsqu'elle préserve absolument la pierre de l'action des acides dans tous les points du trait.

« Elle est solide quand, après un long tirage, le trait n'est nullement altéré.

« Ces qualités bien distinctes sont souvent confondues par les lithographes ; elles sont cependant en quelque sorte exclusives l'une de l'autre, car les résines augmentent la résistance de l'encre en diminuant sa solidité, tandis que les corps gras (1) au contraire la rendent plus solide et moins résistante.

« Diminuer le plus possible la proportion des résines, en augmentant d'autant celle des corps gras, serait le moyen d'obtenir l'encre la meilleure pour la durée de la planche, si, par la diminution de la dose des résines, on n'altérait la résistance qui seule permet une acidulation un peu énergique, autre condition d'un tirage facile et long, et si la question de sa fluidité ne venait d'un autre côté compliquer le problème. »

Senefelder avait déjà dit dans son Traité de la lithographie :

« Si l'on emploie la gomme laque, l'encre conserve un peu plus longtemps sa fluidité. »

De cette remarque de Senefelder et du rapprochement que nous venons de faire, nous serons donc fondés à conclure que les résines augmentent et prolongent la fluidité de l'encre, et c'est un motif pour les y maintenir dans une proportion plus grande que ne l'exigerait le fait seul de l'impression.

D'après sa propre expérience, M. Joumar pense que cire, 1 partie ; corps gras, 1 partie ; corps résineux, 1 partie, sont des proportions générales desquelles il ne faut pas beaucoup s'écarter (2).

Puis il indique les effets auxquels donne lieu l'introduction en excès d'une de ces substances composantes, et le caractère particulier qu'elle communique à l'encre.

« *Avec excès de résine.* L'encre avec excès de résine est sèche, à cassure luisante, insoluble à froid ; elle coule sur la pierre avec une facilité trop grande pour permettre aisément des travaux finis. La résistance à l'acidulation est très grande ; on ne peut l'enlever avec l'essence avant le tirage d'un certain nombre d'épreuves, sans courir le danger de ne plus voir reparaître les parties les plus délicates de la planche ; elle dure peu d'ailleurs au tirage ; c'est la plus mauvaise des encres.

« *Avec excès de cire.* Encre ferme, assez cassante lorsqu'elle est bien calcinée ; elle a une odeur de cire prononcée, une pâte fine, surtout lorsqu'il y a dans l'encre une certaine quantité de mastic ; elle conserve très peu de temps sa fluidité et devient épaisse et terreuse, d'un emploi facile pendant qu'elle est fluide ; le trait graisseux qu'elle dépose sur la pierre est terne et terreux. Cette encre est bien résistante et assez solide. A part l'inconvénient d'être obligé d'y ajouter à chaque instant de l'eau, ce n'est pas une mauvaise encre.

« *Avec excès de corps gras, suif et savon.* Encre molle adhérant aux doigts ; elle se délaie avec facilité, devient en peu de temps épaisse et visqueuse ; d'un emploi facile pour certains travaux, sa résistance n'est pas très grande ; en revanche, beaucoup de solidité.

« *Avec excès de suif.* Même caractère que la précédente ; elle devient épaisse sans viscosité, d'un emploi plus difficile, peu résistante, mais solide.

« *Avec excès de savon.* A peu près les mêmes caractères ; elle devient très gluante en s'épaississant ; sa résistance est grande, beaucoup de solidité. »

Ces données suffiront, sans doute, pour éclairer les praticiens dans le choix et la proportion des substances ; quant au moyen de donner à une encre mal fabriquée les qualités requises, nous allons l'indiquer aussi.

1° Si l'encre est insoluble, on doit ajouter à la composition du savon sec, en la faisant refondre sans l'enflammer.

2° Si elle est molle et gluante, on doit la brûler davantage, pour enlever l'excès de corps gras.

3° Si elle est très peu soluble et pas assez noire, l'on ajoute un peu de noir, en remuant toujours et doucement pour bien opérer le mélange.

4° Si après sa dissolution dans l'eau, et après un certain temps de repos, elle devient visqueuse, on doit la faire cuire un peu plus, afin de mélanger plus intimement le savon ou l'alcali avec les corps gras et résineux.

5° Les bâtons de cette encre doivent être homogènes et exempts de bulles d'air ; on obtient ces effets, en agitant continuellement et doucement les matières, et en les fondant une deuxième fois.

VI. ENCRES D'IMPRIMERIE.

Plusieurs auteurs modernes ont écrit qu'on n'avait pas de justes notions sur la nature et la préparation de ces encres. Les uns disent qu'on ne les a pas décrites d'une manière précise jusqu'à ce jour ; les autres pensent que les fabricants font un grand mystère de leurs modes de composition et de préparation ; et cependant on sait, depuis l'origine de l'imprimerie, c'est-à-dire depuis plus de quatre siècles, que l'encre est un mélange d'huile et de noir de fumée ; l'huile se convertit en vernis par la cuisson ; le noir de fumée provient de la combustion de la poix-résine ou de la graisse.

Disons donc en passant que les encres d'imprimerie généralement en usage en France sont encore telles qu'elles ont été inventées dès l'origine, c'est-à-dire composée d'huile cuite et de noir de fumée, etc. Au résumé, la préparation de ces encres est décrite et parfaitement décrite dans les auteurs spéciaux qui ont écrit sur l'imprimerie.

Nous ne saurions nier toutefois les défauts capitaux de la plupart des encres typographiques françaises, faites avec de l'huile cuite ou mal cuite et mal dégraissée (voyez VERNIS), qui jaunissent par le temps, comme on peut s'en convaincre en examinant certains ouvrages imprimés, et qui s'oxydent surtout trop facilement au contact de l'air et de la lumière.

Nous citerons aussi avec éloge les améliorations notables apportées depuis quelques années en Angleterre, dans la composition de ces encres. Ces perfectionnements, qu'on a essayé un temps de nier, sont si réels, qu'un fabricant anglais a trouvé bénéfice à transporter en France son usine, et que plusieurs importantes fabriques françaises font depuis quelques années de

---

(1) M. Joumar entend par *corps gras* le suif et le savon.

(2) C'est identiquement les mêmes proportions que nous avons indiquées plus haut, sauf le savon que nous désignons par *alcali* ou base, et sans lequel d'ailleurs *l'encre lithographique n'est pas possible* (voyez IMPRIMERIE LITHOGRAPHIQUE).

Ainsi, en décomposant les nombres donnés par M. Joumar, nous trouvons :

Savon. . . .	1/2 partie.	En doublant.	1	
Cire.	1 partie.	—	2	8
Suif.	1/2 partie.	—	1	
Corps résineux.	1 partie.	—	2	

grands efforts pour améliorer leur mode de fabrication.

En effet, bien des imprimeurs français étaient forcés, pour les tirages de grand luxe, de faire venir d'Angleterre, au prix de 16 à 20 francs le kilogramme, des encres qui possédaient des propriétés, un brillant qu'ils ne rencontraient pas dans les encres françaises.

Il y avait là l'indice d'un progrès autre que celui d'un simple tour de main; aussi a-t-il été constaté que les fabricants anglais faisaient entrer dans la composition de leurs encres (typographiques (1) seulement), des substances qu'on n'avait pas songé à employer en France, des baumes que leur fournissait leur commerce si étendu, et surtout le baume de copahu. Nous dirons plus loin combien ces substances donnent de brillant à l'encre, mais d'abord indiquons les conditions générales de cette fabrication.

Encres typographiques. Trois opérations sont nécessaires pour former cette encre :

1° Faire le noir convenable pour colorer suffisamment;

2° Faire l'huile cuite ou vernis ou mieux *faire le meilleur choix et le meilleur dosage d'autres ingrédients*, et les mélanger assez intimement pour obtenir constamment un excipient homogène et *sirupeux;*

3° Mélanger ou broyer le vernis ou l'excipient *sirupeux* avec le noir d'impression, de manière à former une encre d'un beau noir, compacte, assez résistante au toucher, uniforme dans sa composition, ayant la propriété d'adhérer facilement et uniformément aux rouleaux, aux caractères en relief, au papier légèrement humide, et de sécher très promptement.

Propriétés de l'encre. L'encre typographique doit adhérer fortement au papier, sans le pénétrer et sans former *de cercle*, ou *cerne jaune ou blanc*, autour des lettres et des traits; elle doit être insoluble et indestructible par les lavages à l'eau, par l'humidité, par la chaleur et par le plus grand nombre des agents chimiques dont nous nous servons dans l'économie domestique. Ces propriétés nous conduisent naturellement à étudier quelques-unes des substances qui peuvent produire les effets désirables.

1° *Huile cuite ou vernis.* Les vernis à l'huile de lin ou de noix non épurée à l'acide sulfurique (2) sont très siccatifs et les seuls propres à faire les encres d'imprimerie; celle de noix mériterait la préférence, car elle s'épaissit beaucoup moins par la cuisson; mais elle est trop chère. Quant aux autres huiles, elles ne valent rien, parce qu'on ne peut les dégraisser parfaitement; qu'elles sèchent difficilement et qu'elles pénètrent le papier et le jaunissent à mesure qu'elles vieillissent.

Cependant, dans quelques cas, c'est-à-dire pour faire certaines encres de couleur (avec le bleu de Prusse, le chromate de plomb, le blanc de plomb et autres couleurs qui sont très siccatives) on peut user d'une petite quantité d'huile d'œillette et de chènevis; mais c'est seulement pour humecter les couleurs (3).

2° *Les résines* (colophane, brai sec ou arcanson) entrent comme siccatifs dans la composition des encres typographiques. La térébenthine de bonne qualité est préférable pour l'encre supérieure, elle la rend plus forte, plus siccative et plus mordante; le fait est vrai, mais il entraîne un grand nombre d'inconvénients et de difficultés d'exécution que nous allons énumérer.

La première, est de mélanger à froid la térébenthine avec l'encre d'imprimerie, de manière à former une composition homogène; on peut bien la mélanger à chaud, mais alors la difficulté est d'opérer la cuisson au degré de chaleur convenable et pendant le temps nécessaire.

Si l'on fait trop cuire, ce qu'il est difficile d'éviter, alors le vernis est trop épais; si l'on fait cuire au point convenable, il arrive souvent, pour ne pas dire presque toujours, que l'encre est remplie de petits grains durs provenant du mélange du noir de fumée et de la térébenthine, qui se broient difficilement.

La térébenthine, ainsi que la litharge, dont quelques fabricants d'encres usent mystérieusement et maladroitement, ont encore le défaut de s'attacher tellement aux caractères, qu'il est presque impossible de bien laver les formes, soit à la lessive de potasse, soit à l'essence de térébenthine. D'ailleurs ces substances sèchent et durcissent si promptement les encres, qu'elles les rendent généralement difficiles à la distribution égale et uniforme sur le rouleau et sur les lettres.

3° *Les baumes du Pérou* ou *du Canada*, traités par l'alcool et la distillation pour enlever l'huile volatile, sont excellents dans la composition de l'encre, pour lui donner du luisant et du mordant. Mais *le baume de copahu* dont on a enlevé l'huile volatile par la distillation, traité à la température ordinaire par l'huile de pétrole rectifiée, et solidifiée au besoin par le lait de chaux, est encore meilleur. On le broie sur un marbre à l'aide d'une molette, avec une proportion convenable de savon jaune, de résine ou de savon gras, de térébenthine de Venise et de copal en poudre, si l'on veut avoir une encre très brillante.

4° Le savon de résine est aussi une matière utile, nous dirons même indispensable, pour la préparation d'une bonne encre, car elle lui donne du liant et de la facilité à se déposer sur les lettres et sur le papier. On a remarqué que l'encre qui ne contient pas de savon empâte l'œil des caractères après le tirage de quelques épreuves (1).

Le savon de résine jaune est le meilleur pour les encres noires; mais pour les encres de couleurs brillantes et délicates, le savon blanc en poudre et sec est préférable. Il faut bien faire attention de ne pas mettre trop de savon, car l'impression serait irrégulière et l'encre ne sécherait pas complétement. La proportion doit être telle que l'encre se distribue facilement et uniformément, sans empâter l'œil des caractères.

5° Le noir de fumée végétal est, dit-on, employé en Angleterre préférablement à tous les autres noirs dans la composition des encres de première qualité. En France on emploie le noir de résine purifié.

La plus belle qualité de noir (après le noir de bougie, qui serait d'un prix énorme) est celui qu'on obtient de la combustion étouffée des hydro-carbures. Ce progrès est d'autant plus heureux qu'il fournira un débouché à nos fabricants d'hydro-carbures d'huile de schistes, pour leurs huiles lourdes impropres à l'éclairage.

L'indigo seul ou mélangé avec un poids égal de bleu de Prusse, employé en petite quantité, donne à l'encre un noir très intense.

Manière de fabriquer l'encre ordinaire avec le vernis,

---

(1) Les encres pour la taille-douce et la lithographie sont toujours faites avec de l'huile plus ou moins cuite et du noir choisi.

(2) L'huile de noix épurée contient toujours une certaine quantité d'acide sulfurique qui altère le brillant du noir et le papier lui-même, sur lequel il opère une véritable combustion, et cette combustion se dénote par une couleur jaune que l'on voit à l'envers du papier.

(3) L'on doit employer deux sortes de vernis, l'un faible et l'autre fort. Le faible est destiné pour le temps froid et la presse mécanique; le fort est pour le temps chaud et l'impression des vignettes soignées, à l'aide de la presse à bras. Cette précaution est d'autant plus indispensable que souvent l'on est obligé de modifier ou d'accroître la qualité d'une encre par une addition de l'un ou l'autre vernis.

(1) Les caractères *encrés* avec une encre qui contient du savon peuvent être lavés et décrassés facilement et promptement avec une lessive légèrement alcaline.

etc., d'après M. Savage (1). Mettez dans un poêlon de terre, assez grand pour contenir toute l'encre, de l'indigo et du bleu de Prusse bien broyés :

75 grammes de chacun, avec 2 kilogr. du plus beau noir de résine et 1 kilogr. 750 grammes de noir végétal, versez ensuite sur cette composition le vernis chaud, en ayant soin de verser lentement, par degrés, et de remuer constamment pour incorporer convenablement toutes les matières.

Cela fait, vous soumettrez le mélange à un broyage à la molette, ou mieux à une machine ou moulin opérant par un frottement circulaire et alternatif (voyez BROYAGE pour les machines), jusqu'à ce qu'il forme une pâte granu ée, luisante et parfaitement homogène.

Il ne faudrait pas croire, du reste, que ce résultat soit obtenu facilement à l'aide des machines cylindriques qui, comme nous l'avons dit, sont impropres à la fabrication des encres d'imprimerie. (Voy. BROYAGE).

On peut fabriquer l'encre pour l'impression des vignettes de la manière suivante :

Baume de copahu.	36 parties.
Noir de fumée.	12
Indigo et bleu de Prusse par parties égales.	5
Ocre rouge.	3
Savon de résine.	12

On broie ce mélange sur une table de marbre, avec une molette circulaire (2).

Les encres de couleur se fabriquent de même; mais les matières colorantes convenables (voy. COULEURS) sont broyées d'abord à l'eau, puis elles sont séchées sur des tablettes en plâtre pour absorber rapidement l'eau qu'elles renferment. Il ne faut pas oublier que la parfaite trituration augmente la transparence et l'éclat des couleurs. Il faut donc broyer longtemps et lentement.

Composition de l'encre pour l'imprimerie en taille-douce. Cette encre diffère de l'encre typographique, par l'état de l'huile cuite qui ne doit pas être soumise à une ébullition prolongée capable de lui faire acquérir la propriété d'adhérer. Cette qualité la rendrait ainsi moins disposée à entrer dans le creux de la gravure et plus difficile à étendre ou à enlever. Le noir est également d'une espèce différente, et composé de noir d'os et de noir de lie de vin brûlée (3).

On fait l'encre de diverses manières, en raison du genre de gravure à imprimer. Par exemple, pour le pointillé, il faut une encre qui ne soit pas excessivement garnie et qui soit un peu pâteuse; si on veut lui donner du brillant on y ajoute un peu de noir léger.

Pour l'aqua-tinta, il faut aussi un noir qui ne soit pas très garni, mais ferme. On y met un peu de noir léger pour donner du brillant et de la vigueur.

Pour le burin, il la faut très garnie et très ferme.

Pour la manière noire, il la faut la plus ferme possible; on y met un quart d'huile claire, un quart à peu près d'huile grasse et un quart et demi d'huile forte.

Lorsque les planches sont usées ou que la gravure en est faible, il faut moins d'huile forte; un peu d'usage et d'expérience doivent diriger pour la quantité.

(1) Voir son ouvrage sur la préparation de l'encre d'imprimerie. Londres, 1832.

(2) On nous a communiqué une recette d'encre typographique employée en Angleterre et ainsi composée :

150 grammes de savon vert,
250 — de térébenthine de Venise,
50 — de noir léger,

mais nous n'en garantissons pas les avantages, que nous n'avons pas été à même de vérifier. C'est aux praticiens à faire des essais pour se convaincre.

(3) On emploie plus généralement du noir de Francfort, qui est un résidu ou charbon plus dense, qu'on dit être fait avec de jeunes branches de vigne.

Composition et préparation de l'encre d'impression lithographique. (Extrait du *Manuel de la lithographie*, par MM. Chevalier et Langlumé). « De la préparation de l'encre d'impression et de la quantité et de la qualité du noir employé (1), résultent la couleur plus ou moins noire, plus ou moins brillante des épreuves, ainsi que la conservation du dessin sur la pierre pour obtenir un long tirage. Les lithographes emploient deux espèces d'encre. L'encre faite avec *le vernis léger* (2) est l'encre qui sert pour l'impression des dessins faits au trait, des écritures et des autographies; cette encre peut s'appeller *encre n° 1*. L'autre, faite avec le vernis n° 2, est employée pour l'impression des dessins au crayon : cette dernière encre demande plus de soins dans l'addition du noir. On pourrait faire des encres intermédiaires dans le but d'adoucir la teinte ou de la rendre plus forte : l'encre plus douce servirait à imprimer les dessins légers, qui ont de la peine à prendre de la couleur; l'encre plus forte serait appliquée aux dessins vigoureux qui auraient une tendance à noircir ou à s'empâter. »

En général, on ne saurait trop recommander une attention toute particulière dans la préparation des unes et des autres, puisqu'on voit tous les avantages qui doivent résulter de cette préparation. Plusieurs personnes ont eu l'idée de se servir, pour la préparation de l'encre, de bleu d'indigo, de cire, de suif, de résine, de laque noire, etc.; mais les mélanges que nous avons faits de ces diverses substances avec le vernis et le noir de fumée ne nous ont pas fourni des encres meilleures ni plus belles que celles que l'on prépare avec le beau noir de fumée et le vernis. Cette préparation étant plus simple, nous avons cru devoir lui donner, quant à présent, une préférence que nous croyons fondée sur le mode actuel d'encre à la main; mais nous donnerons à l'article LITHOGRAPHIE la composition d'une encre différente propre à l'impression lithographique à la mécanique.

Manière de mélanger le noir avec le vernis d'impression. A défaut d'une machine à broyer convenablement disposée, comme nous l'avons dit plus haut, on peut broyer l'encre sur une pierre lithographique très dure et parfaitement plane. On place la pierre lithographique sur un matelas de flanelle recouverte d'une toile cirée.

On se sert ordinairement d'une molette de porcelaine, de grès, de zinc ou de toute autre matière plus dure que la table à broyer, et taillée en forme de cône. La surface frottante de cette molette est circulaire parfaitement plane, mate et dépolie. Les arêtes inférieures en sont arrondies en biseau ou chanfrein, afin de donner entrée ou prise à l'encre et d'empêcher ainsi la molette de *brouter*. Mais, d'après des expériences qui nous sont particulières, la forme de cette molette nous paraît vicieuse, et de nature à fatiguer beaucoup le broyeur; en effet celui-ci doit agir avec la main sur la molette tout à la fois pour comprimer la matière, et pour donner le mouvement rectiligne ou curviligne à volonté. On peut broyer avec moins de fatigue, et avec plus de célérité en employant tout simplement *la machine à lisser*; les modifications et additions à apporter au mode de broyage consisteraient alors à se servir d'abord d'un cylindre de chocolatier pour mélanger grossièrement les matières; on achèverait le broyage avec la molette montée sur la *machine à lisser*.

Manière de broyer le noir d'impression et de le mélanger avec le vernis. On chauffe légèrement le noir calciné sur un feu de cendre chaud, et on l'écrase doucement avec une molette; puis on le broie avec une lessive légère de potasse ou de soude caustique pour le réduire en

(1) Noir de fumée calciné.
(2) Huile cuite (voyez VERNIS.)

poudre impalpable. On le lave et filtre à plusieurs eaux à travers une chausse en laine ou en papier pour en extraire la potasse caustique, et on le fait sécher au contact du feu. Au moment de s'en servir on l'humecte de quelques gouttes d'alcool rectifié qui a pour but de faciliter son incorporation avec le vernis.

Cela fait, on étale le noir sur la table, en forme de cercle, à la façon des maçons qui font le mortier, et on l'humecte avec le vernis que l'on projette peu à peu. On retourne souvent le noir dans le vernis avec la spatule, jusqu'à ce que celui-ci forme une masse pâteuse très dure et très épaisse, que l'emploi de quelques coups du *cylindre-broyeur* amollit bientôt. On continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait incorporé environ 300 grammes de noir par 250 gram. de vernis.

Lorsque le mélange est bien opéré, on ramasse le noir avec la spatule et on en forme une *boule* ou *pâté*, que l'on place à l'abri du contact de l'air et de la poussière, dans une boîte de fer-blanc ou de tôle exposée à l'action d'une faible chaleur.

Comme la masse d'encre ne peut être broyée convenablement d'un seul coup, on en prend une portion de la grosseur d'une noix ou d'une noisette, suivant la grandeur de la table à broyer, et on l'étend avec la molette que l'on promène en ligne droite, de bas et haut et de haut en bas de la table, en appuyant préférablement sur l'arête de devant, de manière à former une couche légère et d'une faible épaisseur. Lorsqu'on a fait ainsi vingt-cinq à trente allées et venues, on décrit des ronds ou petits cercles concentriques, afin de ramener l'encre au centre de la table, et on la ramasse aussi de temps en temps avec la spatule sur les bords de la pierre et de la molette.

On s'aperçoit que l'encre est bien broyée, lorsque la masse réunie et partagée avec un couteau, présente une coupure qui, d'abord d'un beau noir mat, devient d'un beau noir brillant dans toutes ses parties. Si l'encre ne présentait pas ce caractère, il faudrait continuer de broyer.

VII. ENCRE COMMUNICATIVE POUR COPIER LES LETTRES.

Eau 200 parties, noix de galle 15 p., sulfate de fer 15 p., sucre commun 10 p., et gomme arabique 12 p. A 18 p. de cette encre ordinaire, ajoutez 6 1/4 de sucre candi, 2 1/2 p. de sel déliquescent (du sel marin, ou mieux du chlorure de calcium).

Autre encre communicative de Bovy de Prégny (*Description des brevets expirés*, tom. 54.)

Noix de galle. . . .	0,500	gram.	dans 3 litr.	d'eau ;
Bois de Campêche. .	0,125	—	1	—
Racine de guimauve.	0,075	—	1	—
Sulfate de fer calciné.	0,500	—	1	—
Sulfate de cuivre. .	0,225	—		
Gomme arabique. .	0,250	—	1	—
Sucre brut.	0,250	—		
		total	7 litres.	

Faire infuser à chaud, pendant une heure, la noix de galle, le bois de Campêche, la racine de guimauve, les sulfates de fer et de cuivre, la gomme arabique et le sucre, dans la quantité d'eau désignée, sans laisser bouillir ; mélanger le tout, à l'exception de la gomme et du sucre que l'on ne met que six heures après, et laisser reposer pendant douze heures, après avoir remué le mélange.

Alors on décante le liquide et on le met dans des flacons.

Recette d'une encre en poudre impalpable, propre à obtenir *des copies d'écritures*, d'après le *procédé du prompt copiste de M. Lanet* (voyez *copie des* ÉCRITURES.)

Noir de fumée 1 partie, sulfate de fer 27 p., noix de galle en poudre fine et tamisée 13 p., sucre candi en poudre 60 p. On broie le tout avec une molette sur un marbre.

Cette poudre est jetée sur une feuille de papier, au-dessus des caractères écrits avec une encre communicative, et transportée sur un plateau vernis ou poli, sur une toile cirée, sur une peau, ou sur toute autre surface appliquée sur le plateau d'une presse, comme il est dit plus haut. Cette poudre adhère sur l'écriture ; ensuite, au moyen d'une brosse de martre, à longs poils et très douce, on enlève le surplus. Puis on humecte la surface des caractères au moyen de l'haleine, jusqu'à ce qu'ils paraissent noirs et mouillés ; le même effet peut être obtenu avec plus de régularité, au moyen d'une mousseline claire, tendue sur un châssis en fil de fer, et légèrement humectée d'eau. Après cela on imprime par les procédés connus.

Moyen de revivifier les écritures anciennes et presque altérées (*Dictionnaire Encyclopédique*). Prenez 1/6 de litre d'esprit-de-vin, cinq petites noix de galle ; plus ces noix seront petites, meilleures elles seront ; concassez-les et réduisez-les en poudre très menue ; mettez cette poudre dans l'esprit-de-vin ; prenez votre parchemin ou papier, exposez-le deux minutes à la vapeur de l'esprit-de-vin chauffé ; ayez un petit pinceau ou du coton, trempez-le dans le mélange de noix de galle et d'esprit-de-vin, et passez-le sur l'écriture, qui reparaîtra, lorsque cela est possible.

Quelquefois une écriture passée peut être rendue lisible en l'humectant tout simplement avec une infusion de noix de galle ou de fer. Le prussiate de potasse rend aussi l'écriture *noir-bleu*. Ce moyen pourrait même être utilisée pour augmenter la durée de l'encre à écrire ; il suffirait alors de tremper préalablement le papier sur lequel on veut écrire dans une faible décoction de noix de galle.

VIII. MOYEN D'ÉCRIRE SUR LE VERRE, LE ZINC, ETC.

Méthode de faire des écritures sur le verre au moyen des rayons du soleil. Cette méthode, décrite dans le *Dictionnaire de l'Industrie*, publié par Duchesne, en 1799 et 1800, peut servir de base à l'histoire de la photographie ; c'est pour cela que nous la donnons ici.

Dissolvez de la craie dans l'eau forte jusqu'à la consistance de lait ; versez-y une dissolution d'argent, gardez le tout dans une bouteille de verre blanc qui soit bien bouchée ; lorsque vous voudrez vous en servir découpez des lettres à jour sur un morceau de papier, et collez-le sur un des côtés de la bouteille ; exposez-la au soleil, de manière à ce que ses rayons puissent passer au travers de l'ouverture des lettres sur la surface de cette liqueur ; alors l'endroit éclairé où se trouvera la liqueur noircira, et le reste demeurera blanc ; observez de ne point remuer la bouteille pendant le temps que dure l'opération.

Moyen d'écrire sur le zinc pour étiqueter les plantes, par M. Braconnot. Ce moyen fut trouvé accidentellement par M. Symon, amateur de botanique et de culture à Bruxelles. Il consiste à écrire le nom des plantes avec un crayon noir à dessiner sur des lames de zinc ; en peu de jours l'écriture devient ineffaçable.

Cependant, ces caractères n'ont pas beaucoup d'intensité, surtout si la surface du zinc n'a pas été préalablement dépolie et rayée, soit par du grès, soit avec une lime ; encore dans ce cas, on conçoit que les contours des lettres ne peuvent avoir aucune netteté.

Dans l'espoir d'en trouver un meilleur, dit M. Braconnot, nous nous sommes livré à quelques recherches ; nous désirions surtout obtenir un liquide ou une espèce d'encre avec laquelle on pût facilement tracer sur le zinc des lettres ineffaçables par les intempéries de l'atmosphère et par le frottement. Comme nous avons atteint le but que nous nous étions proposé, nous pensons faire

plaisir au botaniste-cultivateur, en lui indiquant la préparation suivante :

Prenez : vert de gris en poudre, 1 partie ;
Sel ammoniac en poudre, 1
Noir de fumée, 1/2
Eau, 10

Mêlez ces poudres, dans un mortier de verre ou de porcelaine, en y ajoutant d'abord 1 partie de l'eau pour obtenir un tout bien homogène, après quoi versez-y le reste de l'eau. Quand on se sert de cette encre, il faut avoir soin de l'agiter de temps en temps. Les caractères qu'elle laisse sur le zinc ne tardent pas à prendre beaucoup de solidité, surtout après quelques jours.

Elle pourra être employée non seulement dans les jardins botaniques, mais aussi pour désigner des objets que l'on conserve dans les lieux bas et humides ; nous nous en sommes servi pour étiqueter des clefs. Nous avons trouvé d'autres compositions avec lesquelles on pourrait écrire assez solidement sur le zinc ; mais elles ne valent pas celle que nous venons d'indiquer ; nous ne citerons que la suivante : Eau, noir de fumée et alun. Comme ce sel existe souvent dans le crayon noir à dessiner, on peut supposer qu'il a quelque part dans la fixation du noir, ou qu'il agit comme mordant Ce qu'il y a de *certain*, c'est que les crayons à dessiner de la fabrique de Conté, dans lesquels nous avons trouvé du sulfate d'alumine et du noir, laissent pareillement, en les frottant sur le zinc, des caractères qui deviennent ineffaçables. Au reste, dans ces sortes d'encres, on peut, jusqu'à un certain point remplacer le noir de fumée par des matières colorantes minérales.

Encre pour écrire sur les rognures de fer-blanc :

Eau forte (acide nitrique), 10 parties ;
Eau, 10
Cuivre, 1

On fait dissoudre le cuivre dans l'eau forte ; lorsqu'il est dissous, on ajoute l'eau.

On peut écrire sur les rognures de fer-blanc avec ce liquide, en se servant d'une plume ordinaire un peu ferme, pour que l'écriture ne *bavoche* pas ; mais les morceaux de fer-blanc pouvant être enduits d'une matière grasse, qui refuserait le liquide, on les dégraisse d'abord, en frottant avec un linge enduit de blanc d'Espagne sec, qui enlève la matière grasse.

A. ROUGET DE LISLE.

ENCRIER. Parmi les divers encriers actuellement usités, nous citerons les deux plus ingénieux et les plus répandus : l'encrier syphoïde et l'encrier à pompe, qui ont tous deux pour but de soustraire l'encre à l'action de l'air qui la décompose lentement, et en même temps de ne jamais permettre à la plume de prendre une quantité d'encre trop considérable.

L'encrier syphoïde se compose d'un réservoir fermé, communiquant par le bas avec un tube latéral dans lequel on prend l'encre. Supposons le réservoir entièrement plein d'encre et inclinons-le légèrement : une ou plusieurs bulles d'air, s'introduisant par le tube latéral, viendront se loger à la partie supérieure du réservoir, et déplaceront une quantité d'encre correspondante qui refluera dans le tube latéral, où on la fera ainsi monter à la hauteur convenable. Lorsque le réservoir étant vide, on voudra le remplir, on versera l'encre par le tube latéral, en inclinant l'encrier en sens contraire, de manière à ce que l'air contenu dans le réservoir puisse s'échapper par le tube latéral, au fur et à mesure que l'encre s'y introduit.

Encrier pompe. Cet encrier, pour lequel M. Boquet a pris un brevet d'invention, actuellement déchu, se compose d'un réservoir, ordinairement en porcelaine, dans lequel on met l'encre et qui est percé latéralement, au-dessus du niveau habituel de l'encre, d'un petit trou qui vient aboutir au fond du godet où l'on plonge la plume. Le couvercle du réservoir est traversé par une vis qui supporte un cylindre plein en verre ou en porcelaine. En tournant le bouton qui forme la tête de la vis, le cylindre plein s'enfonce dans l'encre qu'il déplace et force à remonter dans l'intervalle annulaire, compris entre le contour du cylindre et les parois du réservoir ; dans ce mouvement ascensionnel, le niveau de l'encre atteint le trou latéral qui communique avec le godet, où elle s'élève plus ou moins, selon le degré d'immersion du cylindre. En faisant tourner le bouton en sens inverse, on fait remonter le cylindre, et l'encre du godet rentre dans le réservoir par le trou, dont nous avons parlé, qui est légèrement incliné du dehors au dedans.

L'encrier-pompe, qu'il serait plus rationnel d'appeler encrier à plongeur, a l'avantage de conserver l'encre à l'abri de l'air et de la poussière, d'empêcher qu'elle ne se perde par une évaporation surabondante, de lui imprimer une légère agitation qui en recombine tous les principes, et lui donne une teinte égale et prononcée au moment où l'on veut en faire usage, et de la présenter à la plume en plus ou moins grande abondance, selon le besoin que l'on en a. Enfin le réservoir n'étant point hermétiquement clos, l'air qui s'y trouve renfermé peut s'échapper facilement, et l'on n'a pas à craindre que l'action de la chaleur ou celle des rayons solaires, en dilatant l'air contenu dans le réservoir, fasse extravaser l'encre et la répande au dehors, comme cela peut quelquefois arriver avec l'encrier syphoïde, si l'on n'a pas soin de le tenir presque entièrement plein d'encre, et de ne jamais en faire passer dans le tube une quantité suffisante pour le remplir en grande partie.

ENDUITS HYDROFUGES. Les murs des habitations, particulièrement les parties basses, sont exposés à se pénétrer d'une humidité plus ou moins considérable, suivant différentes circonstances particulièrement dépendantes de la situation des bâtiments et des usages auxquels ils sont employés, de la nature des matériaux de construction et de diverses conditions locales, des infiltrations par exemple.

Dans une localité semblable, l'air constamment humide présente de graves inconvénients pour la santé de ceux qui y habitent ; les objets qui s'y trouvent placés, et plus particulièrement les tentures, y éprouvent une détérioration plus ou moins rapide, qu'il est de la plus haute importance de prévenir. On y parvient complétement au moyen du procédé suivant, résultat des recherches de MM. Thénard et D'Arcet : on sèche d'abord le mur, à l'aide d'un réchaud de doreur, après l'avoir gratté à vif pour mettre le plâtre ou la pierre à nu, s'il est vieux ; puis on en chauffe de nouveau successivement les diverses parties, sur lesquelles on applique à mesure à la surface un mastic gras à l'aide d'un large pinceau. Si celui-ci ne pénètre pas complétement, on présente le réchaud devant, de manière à chauffer aussi fortement que possible sans altérer cependant l'huile qui entre dans la composition du mastic gras. On donne ainsi successivement plusieurs couches, jusqu'à ce que le plâtre ou la pierre refuse d'absorber le mastic. La dernière couche forme alors, à la surface du mur, un léger glacis qui prend beaucoup de solidité, et sur lequel on peut ensuite peindre ou coller du papier de tenture ou autre.

Le mastic gras communément employé se prépare en faisant cuire une partie d'huile de lin avec 1/10 de litharge, puis y faisant fondre deux parties de résine.

Lorsque les murs sont légèrement humides, et que l'on veut éviter l'altération du papier qui les recouvre, on applique sur la surface des feuilles de plomb. Dans ce cas, ce qu'il y a de mieux à faire est de donner

au mur un enduit de bitume très-chaud, qui pénètre le mur, et forme à la surface une couche solide et imperméable sur laquelle on étend, pendant qu'elle est encore molle, la feuille de plomb. Le papier collé sur un mur préparé de cette manière se conserve très-bien.

Plusieurs ciments, notamment des compositions dont l'oxychlorure de zinc est la base, ont été proposés et réussissent dans divers cas à remédier à un inconvénient qu'il vaut bien mieux prévenir par les soins apportés à la construction que corriger plus ou moins imparfaitement.

Le principal et le plus sûr moyen adopté dans la pratique consiste à couvrir de planches le mur habituellement humide, planches placées à quelque distance du mur, assemblées sur des tasseaux, et sur lesquelles on tend la toile qui reçoit le papier de tenture. L'air interposé entre celui-ci et le mur empêche toute communication d'humidité à la pièce habitée, dans le cas où l'eau provient de celui-ci, ce qui est bien rare, mais surtout empêche la précipitation de l'humidité sur la muraille, dans le cas, bien plus fréquent, où la maçonnerie, se refroidissant par sa communication avec le sol, devient humide par la précipitation de la rosée qui se forme sur sa surface.

ENGRAIS (*angl.* manure, *all.* dünger): On donne le nom d'*engrais* à toute substance animale, minérale ou végétale qui peut conserver, augmenter ou rétablir la fécondité du sol.

Autrefois ce nom n'était accordé qu'aux matières d'origine organique; le nom de *stimulants* était réservé aux substances minérales salines ou alcalines qu'on supposait aptes seulement à faciliter l'assimilation des principes qui entrent dans la composition des fumiers.

Les travaux remarquables de MM. Boussingault, Payen, de Gasparin, en France; de M. Liebig, en Allemagne; de MM. Law et Gilbert, en Angleterre, etc., sont venus effacer cette distinction, en prouvant par de nombreuses analyses, et par des expériences exécutées avec soin, que les sels terreux et alcalins ne sont pas moins nécessaires pour l'alimentation des végétaux que l'azote lui-même.

La théorie des engrais comprend en réalité les mêmes questions que celles que se proposent la physiologie végétale et la chimie organique. Comment s'opère la nutrition des plantes, dans quelles conditions peuvent-elles s'assimiler les premiers éléments des corps organisés mis en liberté par des actions de fermentation, de décomposition; comment s'établit le *circulus* qui paraît une grande loi naturelle et qui fait que la mort fournit des matériaux pour la vie? ce sont là autant de problèmes difficiles, dont on peut trouver des solutions d'autant moins imparfaites que les connaissances acquises sur les végétaux sont plus grandes, et la théorie des engrais doit s'améliorer avec les progrès de la physiologie végétale. Les progrès accomplis par des travaux d'ordre scientifique peuvent se traduire en méthodes d'une grande importance pratique, fournir de puissants moyens d'accroître les richesses que produit la plus grande et la plus indispensable des industries, l'agriculture, en causant la salubrité qui s'altère par la putréfaction non utilisée des matières végétales et animales.

Comme la plante ne saurait créer de matière, qu'elle ne peut que transformer les éléments qui sont placés dans les conditions où elle peut se les assimiler, le meilleur engrais est donc celui qui, avec le concours des éléments contenus dans l'atmosphère, peut offrir à la plante cultivée, et sous une forme assimilable, *l'azote et les principes qui entrent dans la composition de cette plante et peuvent contribuer à son développement.*

On voit tout de suite de quel immense avantage il serait pour l'agriculteur de connaître exactement la composition des végétaux, celle des terrains qui les produisent, et celle des engrais qui sont destinés à leur alimentation.

Déjà la chimie répond à une partie de ces questions; quelques exemples feront sentir l'utilité de ces connaissances. Le vin renferme toujours une assez forte proportion de tartrate de potasse; or, il est évident que, si ni le terrain ni l'engrais ne pouvaient fournir la potasse en proportion suffisante, la vigne en souffrirait et ne donnerait qu'une faible récolte : c'est ce qui arrive probablement dans beaucoup de circonstances.

Le blé contient des phosphates en quantité telle que ses cendres fournissent souvent près de la moitié de leur poids d'acide phosphorique. Or, la plupart des terrains ne contenant que des traces de phosphates, il est de toute nécessité que l'engrais destiné à l'alimentation du blé en contienne une proportion convenable.

La paille, les tiges d'un grand nombre de plantes renferment une forte proportion de silice; le foin, le trèfle exigent de la chaux en abondance; d'autres végétaux ne prospèrent que lorsqu'ils peuvent s'assimiler de la soude. Toutes ces plantes doivent donc trouver dans la terre, ou à défaut dans l'engrais, les matières qu'elles préfèrent.

A l'aide de la chimie, l'agriculteur peut se rendre un compte exact des substances enlevées au sol par les récoltes, et calculer la nature et la quantité exacte des principes qu'il doit porter sur chacune de ses terres pour en maintenir la fertilité.

Les matériaux qui doivent concourir à la croissance des plantes sont de deux sortes; les uns appartiennent au règne organique, ce sont : l'azote, l'oxygène, l'hydrogène et le carbone; les autres constituent les cendres des récoltes, et sont formées de sels terreux et alcalins. Ce qui établit une distinction bien tranchée entre ces corps, c'est que les premiers sont en partie empruntés à l'atmosphère, et que les seconds, au contraire, ne peuvent être fournis à la plante que par la terre ou les engrais.

Voici, d'après M. Boussingault, la moyenne des résultats déduits des analyses faites sur les produits de six *assolements* différents, comprenant un grand nombre de plantes :

Récolte sèche: 1000 parties. *Engrais employé*: 442 parties.

Composition des récoltes.		Composition des engrais.		Différence.
Carbone. . . .	464	159	en plus	305
Hydrogène . .	54,6	18,7	id.	35,9
Oxygène . . .	446,0	144,0	id.	302,6
Azote.	12,4	8,8	id.	3.6
Sels	53,0	144,7	en moins	88,7

On remarque surtout que l'oxygène, l'hydrogène et le carbone contenus dans la récolte, forment un total bien supérieur à celui des mêmes corps contenus dans les engrais; on serait même porté à croire, en voyant ces résultats, que les engrais n'ont qu'une importance très-secondaire lorsqu'on les considère comme devant fournir ces trois corps, si des expériences directes n'avaient prouvé leur efficacité sous ce rapport. Heureusement que les substances qui peuvent fournir ces principes aux plantes se trouvent en abondance dans la nature; les feuilles des arbres et celles d'un grand nombre de végétaux, les racines des récoltes précédentes, la paille des graminées, et en général toutes les matières végétales et animales renferment en abondance ces corps.

En résumé, l'air, par son oxygène et son acide carbonique; l'eau, par ses éléments et les gaz qu'elle tient

toujours en dissolution, et une foule de substances que l'agriculture peut se procurer à bas prix, concourent à fournir aux plantes l'oxygène, l'hydrogène et le carbone qui sont nécessaires à leur existence.

De l'azote. Le précédent tableau montre que l'azote se trouve aussi dans les récoltes en plus forte proportion que dans les fumiers; mais la différence est moins considérable. Le rôle que ce principe joue dans l'agriculture est des plus importants; tout ce qui se rattache à sa manière d'agir est du plus haut intérêt; nous nous empressons donc de transcrire ici la manière de voir d'un de nos plus habiles observateurs, de M. Boussingault :

« Je crois avoir constaté par de nombreuses analyses que, dans la grande culture, l'azote contenu dans une succession de récoltes excède toujours, et souvent dans une très-forte proportion, l'azote qui se trouvait primitivement dans les engrais consommés pour les produire. Cet excès provient évidemment de l'air, et il est plus que probable que, dans cette circonstance, une partie de l'azote excédant entre dans les plantes à la faveur du nitrate d'ammoniaque, nitrate qui, d'après les analyses de M. Liebig, se rencontre fréquemment dans l'eau des pluies d'orage. Dans cette occurrence, ce serait donc un phénomène électrique qui disposerait l'azote de l'atmosphère à s'unir aux végétaux. Mais avant de se prononcer définitivement sur cette explication, il faut savoir si le nitrate d'ammoniaque peut réellement concourir à la production des principes azotés qu'on rencontre dans toutes les plantes. »

Les matières azotées sont plus rares et d'un prix plus élevé que les autres substances organiques; ce sont celles dont on doit tout d'abord se préoccuper en agriculture. L'azote est donc l'aliment qu'il importe le plus d'augmenter et de conserver dans les engrais, ou, en d'autres termes, les matières organiques les plus avantageuses à la production des engrais sont précisément celles qui donnent naissance, par leur *décomposition*, à la plus forte proportion de corps azotés, solubles ou volatils : nous disons par leur décomposition, car la présence de l'azote dans une matière d'origine organique ne suffit pas pour la caractériser comme engrais. La houille, pour citer un exemple, renferme de l'azote en quantité très-appréciable, et cependant son action améliorante sur le sol est entièrement nulle; c'est que la houille résiste à l'action des agents qui déterminent la production des combinaisons azotées favorables au développement des plantes.

Par les mêmes raisons, les engrais agissent avec d'autant plus de rapidité que leur décomposition elle-même est plus rapide : tel engrais n'agit que pendant une année, tel autre prolonge ses effets pendant cinq ou six années et même plus.

Cette durée d'action doit être prise en sérieuse considération; elle dépend souvent de la cohésion des substances, de leur insolubilité; le climat, la nature du terrain, exercent aussi une grande influence sur les progrès de leur décomposition.

Convaincus de l'importance de l'azote dans les engrais, MM. Payen et Boussingault ont entrepris une longue série d'analyses, dans le but de déterminer les proportions de ce principe dans les nombreuses matières employées à l'amélioration du sol. Ce travail leur a fourni les moyens d'établir les *titres* et les équivalents des engrais examinés comparativement, en les rapportant au fumier de ferme, que ces messieurs considèrent comme l'*engrais normal*. Nous donnerons plus loin ce travail remarquable.

Des engrais minéraux. Les végétaux renferment constamment des matières terreuses et alcalines, qui sont indispensables à la croissance des plantes, à leur vie complète, et même à leur destination. Un seul exemple suffira pour démontrer la nécessité de la présence de certains sels dans les plantes : la charpente osseuse des animaux doit sa rigidité à du phosphate et à du carbonate de chaux, les aliments doivent donc leur procurer ces sels calcaires; or, tous les aliments dérivent en définitive du règne végétal.

Une autre preuve de l'utilité des sels, c'est que les végétaux n'admettent pas indifféremment ceux qui sont à leur portée. Ils possèdent une véritable propriété d'élection pour admettre, ou au moins pour retenir certaines substances de préférence à d'autres. Il n'est plus possible de nier cette propriété et l'utilité des substances minérales choisies, en présence des faits nombreux indiqués par l'expérience agricole, et des analyses si précieuses et si concluantes de M. Boussingault.

Ainsi, parmi les plantes, les unes se chargent de sel marin sur le même sol où d'autres n'en prennent qu'une petite quantité. Le froment prend sur le même terrain huit fois plus d'acide phosphorique que les betteraves ou les navets; la paille d'avoine et celle de froment renferment cinquante à soixante fois plus de silice que le froment et l'avoine eux mêmes. Nous pourrions citer une foule d'autres exemples aussi concluants.

D'un autre côté, tout le monde sait que le plâtre est favorable aux légumineuses, et M. Boussingault a prouvé qu'il ne produit aucun effet sur le froment. On sait aussi que certains végétaux affectionnent certaines natures de sol, en raison des principes qu'ils contiennent; ainsi la fougère, le châtaignier, la vigne, demandent des sols riches en potasse.

Ces faits multipliés prouvent, comme le dit fort bien M. de Gasparin, que ce n'est pas une certaine quantité d'un principe nutritif uniforme, mais le choix de principes nutritifs différents, qui est nécessaire aux plantes.

Cela ne veut pas dire que dans certaines circonstances les plantes ne prennent des sels en plus ou moins grande quantité, que certains sols ne se substituent à d'autres, qu'ils soient aussi indispensables à l'existence de la plante que l'oxygène et le carbone, l'azote et l'eau, que la soude, par exemple, ne remplace la potasse, etc., non; mais ce qu'il y a de certain, c'est que lorsque la plante rencontre dans le terrain les substances qui lui sont le plus favorables, celles que ses cendres contiennent en plus grande quantité, elle prospère beaucoup mieux et donne des récoltes bien plus abondantes. C'est un fait bien certain que la différence de composition chimique des sols y fait reproduire des plantes d'espèces différentes.

Pour connaître les engrais minéraux qui sont utiles aux plantes, il était nécessaire d'avoir des analyses exactes de leurs cendres. Plusieurs chimistes se sont occupés avec soin de ces analyses; nous croyons devoir donner plus bas le résumé de quelques-uns de leurs travaux.

Lorsqu'on examine ces tableaux, une chose qui frappe tout d'abord, c'est la ressemblance que présentent les principaux résultats, quoique les plantes analysées proviennent de terrains de compositions différentes. Ainsi on remarque que les cendres de trèfle renferment toujours une proportion considérable de carbonate de chaux. Cela explique l'efficacité du plâtrage ou du chaulage, employés pour la culture de ces plantes. Les cendres de pommes de terre, de topinambours, de haricots et de fèves, contiennent jusqu'à 50 p. 100 et plus de potasse; les cendres du froment en donnent proportionnellement beaucoup moins, et renferment toujours des proportions énormes de phosphates.

Ces résultats, si remarquables et si constants, n'indiquent-ils pas de suite quelles sont les substances minérales qui doivent être associées à l'engrais azoté pour les différentes cultures, dans le but d'obtenir les récoltes les plus productives?

EXPÉRIENCES DE M. HERTWIG.

Analyses de quelques cendres végétales.

100 PARTIES renferment	Bois de hêtre.	Écorce de hêtre	Bois de sapin.	Écorce de sapin.	Feuilles de sapin.	Feuilles de pin.	Tabac de la Havane	Tabac de Hanovre.	Fanes de fèves de marais.	Paille de pois I.	Paille de pois II.	Fanes de pommes de terre.	Trèfle, luzerne
Carbonate de potasse.	11,72		11,30		»	»	6,18	»	13,32	4,16			23,47
Carbonate de soude.	12,37	3,02	7,42	2,95	»	10,72	19,40	1,61	16,06	8,27	4,34	4,69	8,16
Sulfate de potasse.	3,49		»		»	1,95	»	11,11	32,40	10,75	11,99		2,23
Sel marin.	»	»	»	»	»	»	8,64	9,24	0,28	4,63	3,72	2,28	2,27
Sulfate de soude	»	»	»	»	»	»	7,39	1,09	»	»	»	»	»
Silicate de potasse.	»	»	»	»	»	3,90	»	»	»	»	»	»	»
Carbonate de chaux.	49,54	64,76	50,94	64,98	»	63,32	51,38	40,00	39,50	47,81	49,73	43,68	41,61
Magnésie.	7,74	16,90	5,60	0,93	»	18,60	7,09	4,27	1,92	4,05	1,38	3,76	6,41
Phosphate de chaux.	3,32	2,74	3,43	5,03	»	6,35	9,04	17,95	6,43	5,15	1,15	5,73	11,80
Phosphate de magnésie.	2,92	0,66	2,90	4,18	»		»	»	6,66	4,37	7,82		0,91
Phosphate de fer.	0,76	0,46	1,04	1,04	»	0,88				0,90		1,30	0,81
Phosphate d'alumine	1,51	0,81	1,75	2,42	»	0,71	»	»	3,49	1,20	3,64	2,75	»
Phosphate de manganèse.	1,59	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Silice.	2,46	9,04	13,37	17,28	»	10,31	8,26	15,25	7,97	7,84	15,54	29,81	2,26

EXPERIENCES DE M. THOU.

Analyses de quelques cendres végétales, provenant des environs de Soim, dans la Hesse électorale; récolte de 1842.

	Pois sauvages.	Pois jaunes.	Petites fèves de marais.	Froment.
Charbon.	»	»	»	0,522
Silice.	0,56	0,29	1,48	1,914
Phosphate de fer.	0,68	1,94	0,34	0,525
Chaux.	2,96	2,70	5,38	3,014
Magnésie.	7,75	6,91	7,35	13,575
Acide phosphorique.	38,34	34,01	35,33	45,531
Acide sulfurique.	2,63	4,28	2,28	»
Potasse.	27,12	35,20	21,71	24,170
Soude.	17,43	10,32	21,07	10,340
Chlorure de sodium.	1,88	2,56	3,32	»

Analyses de quelques cendres végétales par M. de Saussure.

100 PARTIES DE CENDRES contiennent.	Fruits mûrs du marronnier d'Inde	Graines de vesces.	Paille de froment.	Graines de froment.	Son de froment.	Tiges de maïs.	Graines de maïs.	Paille d'orge.	Graines d'orge.	Vesces en fleurs.	Paille de vesces sans graines.
Potasse.	51,0	22,45	12,5	15,0	14,0	59,0	14,0	16,0	18,0	57,25	31,0
Phosphate de potasse.	28,0	13,93	5,0	32,0	30,0	9,7	17,5	»	9,2	carbonate	»
Chlorure de potassium.	3,0	0,90	3,0	0,16	0,16	2,5	0,25	0,5	0,25	»	14,0
Sulfate de potasse.		2,00	2,0	»	»	1,25	0,25	3,5	1,5	12,0	2,0
Phosphates terreux.	12,0	27,92	6,2	14,5	15,5	5,0	36,0	7,75	32,5	18,0	6,0
Carbonates terreux.	»	»	1,0	»	»	1,0	»	12,50	»	5,0	37,5
Silice.	0,5	»	61,5	0,5	0,5	18,0	1,0	57,0	35,5	2,0	2,75
Oxydes métalliques.	0,25	0,50	1,0	0,25	0,25	0,5	0,12	0,5	0,25	0,5	0,57
Perte.	5,25	2,30	7,8	8,59	8,59	3,05	0,88	2,25	2,8	8,25	6,0

EXPÉRIENCES DE M. BOUSSINGAULT.

Composition des cendres provenant des plantes récoltées à Bechelbronn (Bas-Rhin).

SUBSTANCES qui ont donné des cendres.	ACIDES carbonique.	ACIDES sulfurique.	ACIDES phosphoriq.	Chlore.	Chaux.	Magnésie	Potasse.	Soude	Silice.	Oxyde de fer, alumine, etc.	Charbon, humidité, perte
Pommes de terre. . .	13,4	7,1	11,3	2,7	1,8	5,4	51,5	traces	5,6	0,5	0,7
Betteraves champêtres.	16,1	1,6	6,0	5,2	7,0	4,4	39,0	6,0	8,0	2,5	4,2
Navets.	14,0	10,9	6,1	2,9	10,9	4,3	33,7	4,1	6,4	1,2	5,5
Topinambours.	11,0	2,2	10,8	1,6	2,3	1,8	44,5	traces	13,0	5,2	7,6
Froment	0,0	1,0	47,0	traces	2,9	15,9	29,5	traces	1,3	0,0	2,4
Paille de froment. . .	0,0	1,0	3,1	0,6	8,5	5,0	9,2	0,3	67,6	1,0	3,7
Avoine.	1,7	1,0	14,9	0,5	3,7	7,7	12,9	0,0	53,3	1,3	3,0
Paille d'avoine.	3,2	1,1	3,0	1,7	8,3	2,8	24,5	1,4	40,0	2,1	2,9
Trèfle.	25,0	2,5	6,3	2,6	24,6	6,3	26,6	0,5	5,3	0,3	0,0
Pois.	0,5	1,7	30,1	1,1	10,1	11,9	35,3	2,5	1,5	traces	2,3
Haricots.	3,3	1,3	26,8	0,1	5,8	11,5	49,1	0,0	1,0	id.	1,1
Fèves.	1,0	1,6	34,2	0,7	5,1	8,6	45,2	0,0	0,5	id.	3,1

Substances minérales enlevées au sol par les diverses cultures faites à Bechelbronn sur un hectare.

NATURE de la récolte.	Récolte sèche	Cendres dans 100 parties de la récolte	Quantité des cendres par hectare.	ACIDES phosphoriq.	ACIDES sulfurique.	Chlore.	Chaux	Magnésie	Potasse et soude.	Silice.	Oxyde de fer, alumine, etc.
	kil.	kil	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Pommes de terre. .	3085	4,0	123,4	13,9	8,8	3,3	2,2	6,7	63,5	6,9	18,6
Betteraves	3172	6,3	199,8	12,0	3,2	10,4	14,0	8,8	89,9	16,0	5,0
Navets dérobés, demi-récolte.	716	7,6	54,4	3,3	5,9	1,6	5,9	2,3	20,6	3,5	0,7
Topinambours. . . .	5500	6,0	330,0	35,6	7,3	5,3	7,6	5,9	146,8	42,9	17,2
Froment.	1148	2,4	27,5	12,9	0,3	0,0	0,8	4,4	8,1	0,4	»
Paille de froment. .	2790	7,0	195,3	6,0	2,0	1,2	16,6	9,8	18,6	132,0	2,0
Avoine.	1064	4,0	42,6	6,4	0,4	0,2	1,6	3,3	5,5	22,7	0,6
Paille d'avoine. . .	1283	5,1	65,4	1,9	2,7	3,1	5,4	1,8	18,9	26,2	1,4
Trèfle.	4029	7,7	310,2	19,5	7,7	8,1	76,3	19,5	84,1	16,4	0,9
Pois fumés.	998	3,1	30,9	9,3	1,5	0,3	3,1	3,7	11,7	0,5	traces
Haricots à l'état normal.	1580	3,5	55,3	14,8	0,7	0,1	3,2	6,4	27,1	0,6	id.
Fèves à l'état normal.	2121	3,0	63,6	21,8	1,0	0,5	3,2	5,5	28,7	0,3	id.

Les tableaux ci-dessus prouvent bien que si l'azote est un des éléments les plus précieux à considérer dans les engrais, il ne suffit pas, et une terre qui ne recevrait qu'un aliment purement azoté, serait excitée, il est vrai, à la végétation, mais, bientôt épuisée de ses principes minéraux, elle ne tarderait pas à devenir stérile.

L'expérience de chaque jour vient à l'appui de cette manière de voir. N'est-on pas obligé de cultiver tour à tour des plantes différentes sur le même terrain, afin de ne pas l'épuiser des mêmes substances minérales? Dans certaines localités, ne laisse-t-on pas encore reposer la terre de temps en temps, sans lui rien enlever, afin de donner au sol le temps de reproduire, par de lentes décompositions, des sels assimilables et favorables à la végétation?

Il est facile de comprendre que si l'on rendait chaque année à la terre les substances qui lui sont enlevées par les récoltes, elle pourrait produire indéfiniment les mêmes récoltes, toutes choses égales d'ailleurs.

Tout en adoptant la manière de calculer la valeur des engrais azotés, d'après la quantité d'azote qu'ils renferment, l'agriculteur devra toujours prendre en sérieuse considération les sels qu'ils pourraient contenir, quoiqu'ils aient une moins grande valeur que l'azote. C'est ainsi que le guano et les os, qui contiennent une proportion considérable de phosphates, devront être préférés, à proportion égale d'azote, à d'autres engrais, qui ne contiendraient outre l'azote que des substances inertes.

Dans le cas où on emploierait des engrais ne contenant que très-peu de substances minérales, comme les sels ammoniacaux, le sang, la laine, etc., l'agriculteur intelligent devra toujours y suppléer par l'addition des principes qui leur manquent. Après les résultats décisifs que l'on a obtenus de l'emploi du sulfate de chaux et de la chaux dans la culture de plantes qui absorbent une proportion très-forte de cet alcali, on ne comprend pas comment on n'a pas encore étendu ces expériences à tous les sels utiles à la végétation. Il paraît évident que si la chaux et le sulfate de chaux, répandus en excès sur les terres qui en renferment toujours, produisent de bons effets dans la culture du trèfle, répandus également en excès ils

favoriseraient encore plus les récoltes de cette plante, dans des terrains qui ne contiennent souvent que des traces de ce sel.

D'après tout ce qui vient d'être dit, on peut donc conclure que le meilleur engrais serait celui qui rendrait à la terre *toutes les substances que les récoltes lui enlèvent*. Il n'en est aucun jusqu'à présent qui remplisse à lui seul cette condition; le fumier de ferme lui-même, qui renferme à peu près toutes les matières nécessaires à la végétation, ne suffit pas toujours. Les phosphates s'y trouvent en faible proportion, et d'ailleurs tous les agriculteurs n'ont pas à leur disposition la quantité de fumier qui leur est nécessaire.

A diverses époques, on a préparé avec plus ou moins de succès des engrais composés. Les esprits tournés vers les améliorations agricoles les ont accueillis avec ardeur, mais malheureusement ces préparations, décorées de noms divers, ont rarement une valeur intrinsèque égale à leur prix. D'ailleurs, soit par ignorance, soit par vice de manipulation, ces engrais présentent toujours des dosages différents.

De tous ces engrais ou mélanges propres à l'amélioration du sol, celui dont on a le plus parlé est l'engrais Jauffret. Cet engrais se composait de végétaux, d'arbustes, de roseaux, etc., arrosés avec une lessive composée de fumiers animaux délayés et de substances salines, destinées à ajouter à l'engrais les éléments manquant aux végétaux employés.

La recette de Jauffret n'est qu'un tâtonnement, où l'on ne saurait blâmer que l'exiguïté des proportions de matières employées; d'ailleurs, il manquait à l'auteur la connaissance de la composition des plantes.

Malgré son imperfection, la méthode de Jauffret a rendu de véritables services à la Provence, pays pauvre et manquant de fourrages, mais possédant auprès de ses terres épuisées de vastes espaces couverts de végétaux sauvages.

Après ces considérations théoriques, nous allons examiner les principales matières employées comme engrais, en disant quelques mots sur leur composition, leur valeur et leur préparation. Nous parlerons d'abord des engrais azotés, puis enfin des engrais minéraux, et nous terminerons par les sels ammoniacaux.

ENGRAIS AZOTÉS.

Fumier de ferme. Comme c'est surtout sur le fumier de ferme que l'agriculteur doit compter pour maintenir la terre en produit, nous allons en parler d'abord. Le fumier est composé généralement d'un excipient qui prend le nom de *litière*, parce qu'il sert à former le lit des animaux. Cette litière est formée de végétaux, le plus souvent de paille, de roseaux, de feuilles d'arbre, etc. Ces matières, qui ont le double avantage d'être en même temps absorbantes et azotées, s'emparent des déjections des animaux et constituent alors un des meilleurs engrais. Il est évident que le rapport entre la quantité de litière et celle des déjections animales constitue la plus ou moins grande valeur des fumiers également humectés, puisque les excrétions sont plus azotées que la litière; le meilleur fumier s'obtiendrait en employant le minimum de litière. Cependant il faudrait s'arrêter au point où les litières ne suffiraient pas pour absorber complétement les urines.

Le fumier de ferme peut être considéré comme un engrais complet et universel, c'est-à dire qu'employé en quantité suffisante, il pourrait entretenir indéfiniment la fertilité du sol. En effet, il renferme tous les principes nécessaires au développement des plantes: on y trouve toutes les substances minérales contenues dans les cendres des végétaux; en outre, les substances organiques qu'il renferme peuvent être divisées en

deux classes: les unes, très-solubles dans l'eau, sont d'une grande richesse en azote facilement assimilable; les autres, insolubles dans l'eau, sont très-peu azotées et donnent naissance à des acides végétaux et autres produits constituant la masse brunâtre, connue sous le nom d'*humus*.

Outre son action chimique, le fumier de ferme a, par l'effet des pailles, une action mécanique sur le sol propre à diviser les terres fortes.

Le fumier est porté à l'aide d'une brouette dans un lieu proche des écuries et étables, où on l'amoncelle au fur et à mesure de sa production. Les eaux du fumier et celles qui s'écoulent des étables sont recueillies dans un puisard, situé au-dessous ou à côté du tas de fumier; un grillage en bois empêche la paille d'y pénétrer; une pompe plongeant dans le puisard permet d'arroser à volonté le fumier quand sa surface se dessèche trop. Les litières imprégnées d'excréments et imbibées d'urine doivent être arrangées et tassées avec soin pour qu'une fermentation trop active ne puisse avoir lieu dans la masse et occasionner des pertes.

On met quelquefois le fumier à l'abri du soleil; il serait bon, si on le pouvait économiquement, de l'abriter aussi de la pluie; dans tous les cas, il faut le garantir du contact des eaux courantes. Quand la paille a un prix élevé, on lave les litières et l'eau de lavage est recueillie avec les urines dans un même réservoir; l'engrais liquide ainsi obtenu s'emploie seul et on le conduit aux champs dans des cuves disposées sur des chariots.

Tous les fumiers de ferme n'ont pas les mêmes qualités ni la même valeur. Les différences dépendent d'abord de la variété des animaux qui les produisent, et ensuite de la nourriture de ces animaux et des soins qu'on donne à l'arrangement du tas de fumier.

L'engrais que MM. Payen et Boussingault ont appelé engrais normal est celui de la ferme de Bechelbronn, appartenant à M. Boussingault.

Ce fumier, fourni par 30 chevaux, 30 bêtes à cornes et 12 à 20 porcs, desséché à 110°, avait la composition suivante:

Carbone	35,8
Hydrogène	4,2
Oxygène	25,8
Azote	2,0
Sels et terres	32,2
	100,0

A l'état normal, c'est-à-dire tel qu'il sortait de l'étable, sa composition était celle-ci:

Carbone	7,41
Hydrogène	0,87
Oxygène	5,34
Azote	0,44
Sels et terres	6,67
Eau	79,30
	100,00

M. Boussingault a analysé les cendres de ce fumier, et il a trouvé pour leur composition moyenne:

Acides	carbonique	2,0
	phosphorique	3,0
	sulfurique	1,9
Chlore		0,6
Silice, sable, argile		66,4
Chaux		8,6
Magnésie		3,6
Oxyde de fer et alumine		6,1
Potasse et soude		7,8
		100,0

Nous allons maintenant examiner les matières excrétées par différents animaux, et nous passerons en revue

ENGRAIS.

séparément les fumiers de cheval, de bêtes à cornes et de porcs, qui entrent dans la composition du fumier de ferme, dont nous venons de parler sommairement.

MATIÈRES EXCRÉTÉES.

Fumier de cheval. Quoique les déjections du cheval soient plus riches en azote que celles de la vache, ces dernières sont préférées par les cultivateurs, qui les trouvent plus utiles; cela tient à ce que le fumier du cheval étant peu humide fermente et se dessèche rapidement. Pendant cette fermentation, une portion considérable des principes azotés se trouve perdue, ce qui diminue d'autant la valeur de cet engrais. Effectivement, le fumier frais de cheval contient 2,7 pour 100 d'azote, tandis qu'après une décomposition complète, il n'en renferme plus, au même état de siccité, que 1 pour 100.

On peut s'opposer à cette décomposition du fumier de cheval, soit en le maintenant constamment humide, soit en le tassant fortement de manière à le préserver du contact de l'air; on prévient ainsi la production des moisissures qui s'y développent avec une grande rapidité.

Le fumier de cheval préparé sans les soins que nous venons d'indiquer ne convient qu'aux terres argileuses; bien préparé, il peut convenir à tous les sols. Plus riche en phosphate que le fumier de ferme, il est préférable pour la culture des céréales.

D'après M. Boussingault, un cheval qui consomme par jour :

7k,500 de foin,
2k,270 d'avoine,
16k,000 d'eau,

produit dans le même temps :

14k,200 de crottin,
1k,330 d'urine.

Fumier des bêtes à cornes. Le fumier des bêtes à cornes est beaucoup plus aqueux que le précédent, surtout quand le bétail est mis au vert; aussi la confection de ce fumier est-elle très-facile.

Les déjections de la vache, à l'état sec, renferment 2,6 d'azote, à l'état humide 0,36.

Dans les pays d'herbages, les excréments des vaches ne sont pas répartis d'une manière régulière; ils restent en effet à la place où les ont déposés les animaux. Il serait préférable de les enlever et de les délayer dans l'eau pour les répandre ensuite également sur les prairies. Cette manière d'opérer produit en Flandre de très-bons résultats.

D'après M. Boussingault, une vache qui consomme par jour

45k,000 de pommes de terre,
7k,500 de regain de foin,
60k,000 d'eau,

donne dans le même temps :

28k,443 d'excréments,
et 8k,200 d'urine.

Fumier de porc. Les porcs nourris à l'engraissement donnent des déjections très-azotées, qui, par conséquent, agissent plus énergiquement que les précédentes.

A l'état sec, les déjections renferment 3,4 pour 100 d'azote; à l'état humide 0,61 seulement.

D'après M. Boussingault, un porc de huit mois et demi, du poids de 60 kil., qui consomme dans la journée 7 kil. de pommes de terre cuites délayées dans de l'eau assaisonnée de 25 grammes de sel, produit :

1k,300 d'excréments,
et 3k,050 d'urine.

Fumier de mouton. Le fumier de mouton est très-énergique et peu aqueux; on l'emploie souvent sans préparation aucune. Après avoir balayé chaque matin le sol de la bergerie, on met les crottins en tas pour les vendre à la mesure. Le prix de l'hectolitre varie de 1 à 2 francs.

Les excréments des bêtes à laine s'appliquent le plus souvent au moyen du parcage. D'après M. Boussingault, un mouton, pendant la nuit, peut fumer une surface de 1m,3 de terrain.

A l'état sec, le fumier de brebis contient 2,99 pour 100 d'azote, et à l'état normal 1,1.

Le parcage convient plutôt aux terres légères qu'aux terres argileuses; il peut même être très-nuisible à ces dernières par suite du tassement que fait éprouver au sol le piétinement des animaux.

Excréments de chauves-souris. — Le sol de certaines grottes fréquentées par les chauves-souris est entièrement recouvert par les excréments de ces animaux. Ce produit se décompose lentement : il est formé en partie de débris d'insectes.

Une analyse faite au laboratoire de l'École des ponts et chaussées (1) a donné pour la composition de ce produit les chiffres suivants :

1° Produits volatils ou combustibles		
Eau perdue à 105°.	49,50	
Matières organiques non compris l'azote	62,65	
Azote.	8,48	90,33
2° Cendres :		
Phosphate de soude et alcalis. .	2,42	
Silice et sable siliceux très-fin. .	2,13	
Chaux.	2,37	
Magnésie.	0,02	
Acide phosphorique.	2,58	
Acide sulfurique	0,09	
Matières non dosées et pertes. .	0,06	9,67
	100,00	100,00

Les expériences faites pour utiliser les déjections de chauves-souris ont donné de bons résultats.

Colombine. Les excréments de pigeons sont connus sous le nom de colombine; ce fumier est tellement actif qu'il faut en user prudemment; il convient à toutes les cultures. Dans le département du Pas-de-Calais, où il existe de nombreux pigeonniers, on paye 100 fr. chaque année les déjections de 6 à 700 pigeons; c'est la charge d'une forte voiture. Cette quantité suffit pour fumer 1 hectare de terrain. Les excréments de poules, nommés poulaille, sont aussi très-actifs; mais ils ont moins de valeur que la colombine; ils sont très-recherchés dans le Midi.

Voici d'après M. Girardin les résultats d'analyses comparatives faites sur des excréments de pigeons et de poules :

	Fiente récente	
	de pigeon.	de poule.
Eau.	79,00	72,90
Matières organiques (débris de ligneux, plumes, acide urique, urate d'ammoniaque).	18,14	16,20
Matières salines (phosphate et carbonate de chaux, sels alcalins, etc.).	2,28	5,24
Graviers et sable siliceux . .	0,61	5,66
	100,00	100,00

MM. Boussingault et Payen ont trouvé que la colombine renferme 8,30 p. 100 d'azote.

(1) Les matières intéressant l'agriculture et l'art des constructions sont analysées gratuitement au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, 28, rue des Saints-Pères, sur la demande des Ingénieurs ou des particuliers.

Guano. Le guano est le résultat de l'accumulation séculaire des excréments d'une multitude d'oiseaux se nourrissant de poissons, qui se réunissent, depuis nombre de siècles, dans un grand nombre de petits îlots de la mer du Sud, sur les côtes du Pérou et du Chili où la pluie est extrêmement rare. On trouve dans ces îles des dépôts de cette matière qui atteignent jusqu'à 30 mètres d'épaisseur.

Certains guanos contiennent jusqu'à 17 pour 100 d'azote, mais il est de plus en plus rare de trouver des échantillons aussi riches.

Nous donnons ci-dessous les résultats de l'analyse de deux essais de guanos de qualité ordinaire faits au laboratoire de l'École des ponts et chaussées :

1° *Produits volatils ou combustibles :*				
Eau hygrométrique perdue à 104°. . .	14,40	.	15,35	
Matières organiques non compris l'azote	39,09		37,09	
Azote.	14,35	64,84	14,86	67,30
2° *Cendres.*				
Résidu insoluble dans les acides. . .	2,79		2,45	
Alumine, peroxyde de fer et chaux précipitée avec l'acide phosphorique.	16,00		18,93	
Chaux non combinée à l'acide phosphorique.	0,25		00,00	
Acide phosphorique	7,28		4,68	
Acide carbonique, sels solubles et matières non dosées. . .	9,34	35,16	6,64	32,70
	100,00	100,00	100,00	100,00

Le guano du Pérou se vend actuellement dans les ports français 32 fr. 50 les 100 kil.

Le guano s'emploie à la dose de 250 à 500 kil. par hectare. Il convient de l'associer comme supplément aux fumiers de ferme.

Au milieu du guano du Pérou, on rencontre des concrétions blanchâtres demi-dures formées d'urate d'ammoniaque qui, exposées à l'air, se délitent et donnent une poussière très-riche en carbonate d'ammoniaque.

Les guanos peuvent être partagés en deux classes : les guanos ammoniacaux, tels que ceux du Pérou, très-riches en matières organiques azotées, et les guanos terreux plus pauvres en matières azotées, mais beaucoup plus riches en phosphates.

D'après tout ce que nous venons de dire, on voit que le guano est un engrais des plus précieux ; malheureusement les variations de sa qualité, et surtout, il faut le dire, les sophistications sans nombre que certains détaillants lui font subir, l'ont déprécié aux yeux de quelques agriculteurs.

Il convient donc de ne jamais faire d'achats importants de guano sans les faire essayer chimiquement.

Excréments de poissons. Le dépôt qui se forme au fond des étangs bien peuplés de poissons est un excellent engrais ; M. de Gasparin en a obtenu des résultats remarquables.

Déjections de l'homme. Les excréments humains sont un des engrais les plus actifs qu'on puisse employer. En effet, d'après Hermstaed et Schuller, un sol fumé avec des engrais végétaux donne 5 fois la semence.

Du fumier d'étable	7 —
De la colombine.	9 —
Du fumier de cheval	10 —
De l'urine humaine.	12 —
Des excréments humains solides.	14 —

MM. Boussingault et Liebig ont constaté qu'en moyenne un individu produit en 24 heures 750 gr. d'excréments composés de 625 gr. d'urine et 125 de matière solide dosant ensemble 3 p. 100 d'azote.

On peut utiliser les déjections humaines soit humides, on les nomme alors engrais flamand, soit desséchées, dans ce cas elles prennent le nom de poudrette.

Aux environs de Grenoble, près de Lyon et en Toscane, on les délaye dans l'eau pour les distribuer plus uniformément sur les terrains qu'on en recouvre. En Chine, les matières fécales sont recueillies soigneusement dans des vases disposés le long des grandes routes, pour les délayer dans l'eau et les déposer près des plantes ; quelquefois aussi les Chinois les pétrissent avec de l'argile pour en former des briques qui, séchées et pulvérisées, se répandent en couverture. A Paris, les matières fécales sont converties en poudrette.

Poudrette. Les vidanges de la ville de Paris, transportées à Bondy, sont versées dans de vastes bassins étagés et peu profonds destinés à les recevoir. C'est dans deux bassins, plus élevés que les autres, qu'on décharge alternativement les matières extraites des fosses pendant la nuit.

Lorsque l'un de ces bassins est rempli, on fait couler la partie la plus liquide dans un troisième bassin placé au-dessous : ce troisième réservoir rempli, il s'y dépose, comme dans l'un des deux premiers, une partie de la matière solide contenue dans le liquide. Les parties les plus fluides du troisième bassin passent dans un quatrième, et ainsi de suite ; les dernières eaux, conduites dans un égout, se rendent à la *Seine*. Par ce procédé, on finit par n'avoir plus, dans chaque bassin, que des matières pâteuses qu'on enlève avec des dragues ou à la pelle pour les placer sur un terrain en dos d'âne, où on les retourne à mesure que leur dessiccation s'opère. Au bout d'un temps plus ou moins long, on obtient une matière pulvérulente qui constitue la poudrette ; on la dispose en tas, dont les faces sont battues, afin d'éviter l'infiltration des eaux pluviales dans la masse.

Cet engrais à l'état normal renferme 41,4 d'eau et 1,56 d'azote pour 100 ; à l'état sec, la quantité d'azote est de 2,67 ; la poudrette pèse 70 kil. l'hectolitre, et se vend 7 fr. 45 c. les 100 kil. ; on la répand sur le sol à l'époque des labours ; on en emploie 20 à 30 hectolitres par hectare.

M. Chodzko a imaginé un autre système pour préparer la poudrette ; il emploie pour séparer les matières fixes contenues dans les eaux-vannes des bâtiments de graduation dans le genre de ceux employés pour l'évaporation des eaux salines. On bat ensuite les fagots sur lesquels se sont déposées les matières solides ; on obtient ainsi une poudrette brune ayant encore un peu l'odeur de la matière fécale.

Les effets de la poudrette sont malheureusement très-vite épuisés ; quelquefois ils ne se prolongent pas jusqu'à la fructification des céréales ; cet engrais donne aux herbages une grande vigueur, mais on assure qu'il leur communique un goût qui répugne aux animaux. M. Boussingault, dans ses observations, n'a pas vérifié ce fait.

M. Salmon est parvenu à désinfecter complétement les matières fécales, en les mêlant avec une matière charbonneuse obtenue par la calcination en vase clos d'une terre calcaire contenant des matières organiques dont l'azote s'ajoute à celui de l'engrais ; c'est le *noir animalisé*.

Engrais flamand. La méthode usitée en Flandre pour utiliser les vidanges est beaucoup plus rationnelle et surtout plus hygiénique que la confection de la poudrette. On donne le nom d'*engrais flamand ou gadoue*

aux excréments humains retirés des fosses d'aisances, et conservés dans des citernes voûtées placées au-dessous du sol, sur le bord d'une route, et à proximité des champs cultivés. Ces citernes, dont le fond est en grès et les murs en briques, sont remplies quand les travaux agricoles le permettent au cultivateur : on laisse fermenter cet engrais quelques mois avant de s'en servir, et on a soin d'ajouter de la matière à mesure qu'on en retire.

Les fermiers qui emploient cet engrais y ajoutent souvent des tourteaux de graines oléagineuses réduits en poudre; ces résidus, renfermant des substances végétales azotées, constituent eux-mêmes un très-bon engrais.

Les caves où on recueille l'engrais flamand contiennent ordinairement 32 mètres cubes de matière, ou 320 hectolitres, chacun du poids de 125 kil., et coûtant 25 cent. D'après MM. Payen et Boussingault, l'engrais flamand contient à l'état normal 0,19 à 0,22 pour 100 d'azote.

L'emploi direct des vidanges étant un des éléments principaux de la solution du grave problème de l'assainissement des grandes villes par l'agriculture, en tirant parti des valeurs que l'on est trop disposé à laisser perdre, il y a grand intérêt à insister sur cette question et à signaler la pratique du département du Nord.

On voit souvent aux environs de Lille, dans la petite culture, utiliser l'engrais flamand avec profusion et presque d'une manière exclusive; mais dans une exploitation un peu importante, on a tenté rarement de fertiliser le sol avec cet engrais seulement.

Il n'y a pas d'agriculture progressive sans bétail, partant sans fumier pailleux. Si donc le cultivateur dispose d'une proportion considérable de fumier d'étable, il en fera usage d'une manière rationnelle, simultanément avec l'engrais flamand, plutôt que d'affecter celui-ci à une partie de ses terres, et séparément celui-là à une autre partie. Le fumier d'étable revient dans le Nord sur un même sol, tous les trois ou quatre ans; toutes les terres de la ferme en reçoivent successivement leur part à l'époque de certaines cultures, et l'engrais humain est versé postérieurement sur le sol, soit à la même époque de rotation, soit l'année suivante, suivant les circonstances.

Dans les terres fortes, il serait surtout déraisonnable de vouloir fonder un système de fertilisation sur l'usage exclusif de l'engrais flamand. Le fumier d'étable n'agit pas seulement par ses matières azotées et salines, il agit encore dans les sols argileux comme un excellent amendement. La paille contribue à donner à la terre cette porosité sans laquelle la culture serait une chimère; bien plus, il n'est pas douteux que la silice qu'elle contient est dans des conditions plus favorables d'assimilation pour les céréales que la silice que les silicates naturels peuvent renfermer.

L'engrais flamand, employé seul, tend à donner au sol une compacité que l'on combattrait vainement par des labours multipliés.

Dans une exploitation des environs de Lille, on avait cru pouvoir fertiliser les cultures exclusivement avec l'engrais humain; on ne nourrissait que deux vaches pour une ferme de 40 hectares.

Pendant quelques années, les choses allèrent passablement; mais on s'aperçut bientôt que les blés poussaient en feuilles; les tiges n'acquéraient pas le développement nécessaire, et la pénurie du grain était extrême. On changea de système; on introduisit du bétail dans l'exploitation : dès lors les terres reçurent du fumier d'étable, et bientôt les blés devinrent ce qu'ils sont dans l'arrondissement de Lille entre les mains de nos cultivateurs.

On va à la ville chercher la matière quand les chevaux sont inoccupés, par les temps pluvieux surtout qui ne permettent pas de voiturer sur les champs; on emmagasine l'engrais, et, lorsque les circonstances sont favorables et les terres sèches ou durcies par la gelée, on la distribue sur les sols qu'on veut fertiliser. On peut se servir pour le transport du tonneau

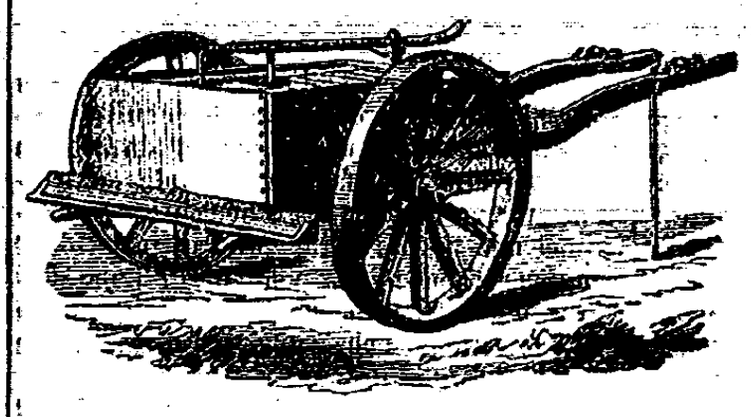


Fig. 764.

(*fig.* 764) ou de la caisse en tôle (*fig.* 765). En mélangeant ainsi les produits recueillis en différents endroits, on obtient un liquide uniforme, d'une

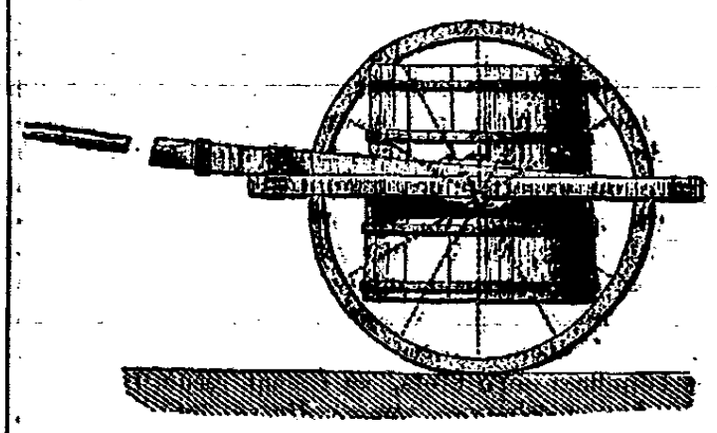


Fig. 765.

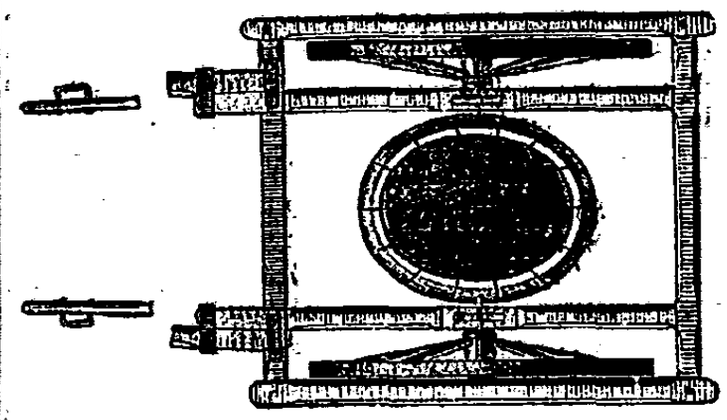


Fig. 765 *bis*.

densité moyenne, dont l'effet est plus facile à préjuger.

La pesanteur spécifique de l'engrais flamand, tel qu'on l'emploie aux environs de Lille, varie de 2 à 3 degrés de l'aréomètre Baumé.

DÉBRIS D'ANIMAUX.

Les débris d'animaux morts, les matières animales provenant des abattoirs sont des engrais puissants. Aussi, partout où l'on peut se les procurer facilement, il est extrêmement avantageux de les employer pour l'agriculture. Tout peut être utilisé : la chair musculaire, les débris de peaux, de crins, de tendons, de corne, les os, les plumes, etc.

Chair musculaire. La chair musculaire des animaux abattus dans les chantiers d'équarrissage est cuite, desséchée, puis réduite en poudre; en cet état, elle

constitue un excellent engrais. Elle contient habituellement plus de la moitié de son poids d'eau et 3,25 pour 100 d'azote; séchée à l'air, elle renferme encore 8 à 9 centièmes d'eau. Parfaitement sèche, elle contient 14,25 pour 100 d'azote. On la vend dans le commerce 20 francs les 100 kil.; elle contient alors 13,04 pour 100 d'azote et 0,24 d'acide phosphorique.

Le sang des animaux abattus s'emploie comme engrais de diverses manières. Ordinairement on le fait coaguler par l'ébullition et on le dessèche ensuite à l'étuve, quelquefois on se borne à le délayer dans l'eau d'irrigation. Enfin on peut faire absorber le sang liquide par de la terre végétale desséchée au four et répandre ce mélange sur les terres. M. Payen a trouvé que le sang parfaitement sec contient 17 pour 100 d'azote; le sang desséché qu'on prépare en grand en contient 14,87; comme la chair musculaire, il se paye 20 fr. les 100 kil.

Os et autres engrais phosphatés. Les récoltes enlèvent au sol une forte proportion d'acide phosphorique nécessaire à leur constitution et à leur complet développement. La plus grande partie de cet acide ne se retrouve pas dans les fumiers de l'exploitation, puisque les phosphates se concentrent principalement dans les produits exportés, c'est-à-dire dans les grains, le laitage et les animaux. Il est donc indispensable de restituer ou de fournir à la terre les phosphates essentiels à sa fertilité. La valeur des os, comme engrais et comme amendement, n'est pas assez connue dans la plus grande partie de la France; tandis que nous laissons perdre ou exporter des quantités énormes d'os, nos voisins, comprenant mieux leurs intérêts, les recueillent avec soin, les font venir à grands frais, et enrichissent leurs terres arables de tous les phosphates dont les nôtres s'appauvrissent. Les agriculteurs pourraient facilement réaliser, dans beaucoup de localités, des bénéfices importants, en faisant recueillir les os dans leur voisinage, comme divers autres résidus dont nous parlons ci-après, et en les employant à fumer leurs terres.

Pour donner une idée de l'importance du commerce des os en Angleterre, nous nous bornerons à citer les chiffres officiels de l'importation, pendant une période de cinq années :

	Poids importés.
1843.	42,036 tonneaux.
1844.	33,958 —
1845.	37,411 —
1846.	34,050 —
1847.	29,646 —

Les os entiers ou en gros fragments ne se décomposent qu'avec une extrême lenteur. Il convient donc de les réduire en poudre avant de les employer. Quand on n'opère que sur de petites quantités, on peut les pulvériser sur une pierre, ou un bloc de bois garni de clous à têtes pointues, avec un fort maillet de bois dur cerclé en fer et garni de clous, ou d'une plaque de fonte dure taillée en pointes de diamant. Mais si on opère un peu en grand, ce procédé serait trop dispendieux, et il devient nécessaire de recourir aux machines. Il a été proposé un assez grand nombre d'appareils pour écraser les os. Le plus simple consiste en une paire de meules verticales, en fonte ou en pierre dure, disposées comme celles des huileries. En Auvergne, où l'engrais d'os est assez employé, on se sert, pour les écraser, d'un appareil fort simple, composé d'une espèce de râpe circulaire, mise en mouvement par une roue hydraulique, et sur laquelle on appuie fortement les os placés dans une trémie, au moyen d'un levier en bois. En Angleterre, et dans une ou deux fabriques françaises, le moulin à broyer les os se compose de trois ou quatre paires de cylindres cannelés en fonte, de plus en plus rapprochés, et entre lesquels les os sont obligés de passer. On broie, par heure, et par force de cheval, de 100 à 150 kil. d'os; dans une grande ferme ou dans une petite usine on peut employer avec grand avantage le concasseur à cylindre (*fig.* 766).

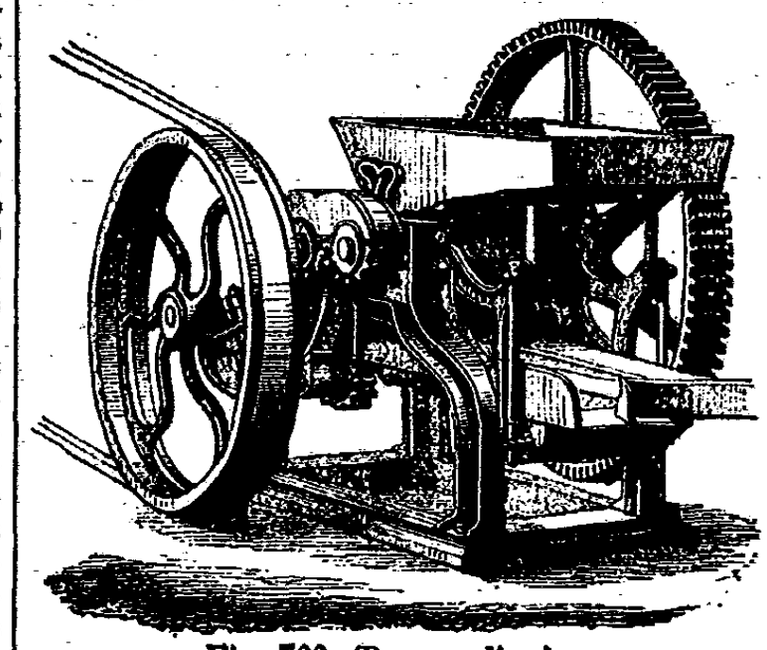


Fig. 766. (Broyeur d'os.)

Si l'on n'avait pas soin d'enlever la graisse des os par l'eau bouillante, cette graisse réagissant sur le carbonate calcaire du réseau osseux formerait un savon de chaux résistant à toutes les influences atmosphériques; on comprend donc que les os, dans ce cas, n'exerceraient sur le sol qu'une action à peu près nulle, à moins d'être réduits en poudre fine. M. Payen a constaté que des os entiers et anciens n'avaient perdu, après un séjour de quatre ans dans la terre, que 0,08 de leur poids, tandis que quand ils sont traités par l'eau bouillante, ils en perdent, dans les mêmes circonstances, 0,25 à 0,30.

La poudre des os non épuisés contient, à l'état sec, 7,58 pour 100 d'azote; dans l'état où on la livre au commerce, elle renferme 0,30 d'eau et se vend 12 fr. les 100 kil.; elle contient alors 5,30 d'azote.

Les os conviennent à toutes les terres et produisent une fumure persistante pendant quatre ou cinq années.

Les déchets d'os de tabletier sont employés, pour la plus grande partie, par les fabricants de charbon animal; les râpures seules, employées en agriculture, servent à fumer les riches vignobles et les oliviers : cet excellent engrais, analogue au précédent, ne persiste que pendant deux années, vu son extrême division.

Les os qui, après avoir été coupés en fragments et débouillis pour en extraire le suif, ont encore servi à préparer la gélatine, peuvent donner un engrais qui se fait sentir une année; mais ces résidus de fabrique de gélatine fermentent rapidement quand on les met en tas, ce qui leur fait perdre une grande partie de leur matière animale. Pour les conserver sans danger, M. Payen conseille de les dessécher avant de les réduire en poudre.

Depuis quelques années on emploie avec succès, sous le nom de *superphosphate de chaux*, un mélange de coprolithes et de quelques os en poudre, avec le tiers ou la moitié de leur poids d'acide sulfurique ordinaire. Pour préparer ce mélange, on humecte légèrement les phosphates en poudre, et on les met dans des cuviers, puis on ajoute peu à peu, et en remuant sans cesse, la quantité voulue d'acide sulfurique. Le superphosphate

de chaux des fabriques anglaises, quand il n'est pas sophistiqué, contient, en moyenne :

Phosphate de chaux.	35 à 40
Sulfate de chaux.	20 25
Eau.	20
Matière animale.	20

On a proposé de remplacer l'acide sulfurique par les acides chlorhydrique ou acétique impurs; mais il est évident que l'acide sulfurique est, en général, de beaucoup préférable.

Les os ne sont pas la seule source de phosphates dont puisse disposer l'agriculture. On a trouvé une certaine proportion de ces sels dans plusieurs sables de mer employés par les cultivateurs du littoral de la Manche. Les excellents effets bien constatés de cette espèce d'amendement sont probablement dus, en partie, à la présence de ce composé. On a découvert, en Angleterre, des marnes phosphatées; elles paraissent produire d'excellents résultats. Tout porte à croire qu'il existe en France beaucoup de marnes analogues; leur recherche serait assurément une des études les plus utiles à entreprendre. Enfin, il existe, dans certaines contrées, et notamment en Espagne, des dépôts considérables de phosphate de chaux, que les minéralogistes désignent sous le nom d'*apatite*. Il serait à désirer que l'on connût beaucoup de gisements de cette roche. Il suffirait de la réduire en poudre, et au besoin de la traiter par l'acide sulfurique, pour obtenir un excellent amendement qui pourrait rendre la fertilité à bien des terres dépourvues d'acide phosphorique.

La quantité de phosphates employée par hectare varie de 10 à 40 hectolitres. En général, il suffit d'une fumure tous les trois ou quatre ans.

Depuis quelques années la question des phosphates naturels a pris au point de vue agricole une importance extraordinaire; nous devons y insister et nous emprunterons de curieux détails sur cette importante question à l'excellent *Guide des Engrais* de M. Rohart.

Les phosphates de chaux naturels sont connus depuis longtemps des minéralogistes sous les noms d'*apatite*, de *phosphorite* et de *coprolithes*.

L'apatite existe en gisement considérable en Espagne, à Logrozan et à Tuxillo, province de l'Estramadure.

Un échantillon dit de phosphate d'Estramadure, analysé au laboratoire de l'Ecole impériale des ponts et chaussées, a donné les chiffres suivants :

Matières insolubles dans les acides . . .	14,0
Chaux, alumine et peroxyde de fer précipités avec l'acide phosphorique.	50,5
Acide phosphorique.	33,1
Perte par calcination et matières non dosées	2,4
	100,0

La quantité d'acide phosphorique trouvée répondrait à 72,16 de phosphate de chaux des os.

Un autre échantillon de phosphate naturel, remis par M. de Molon, a donné à l'analyse :

Résidu terreux cuit dans les acides . . .	0,9
Phosphate de chaux.	94,7
Alumine	3,1
Eau perdue par grillage	1,3
	100,0

Ce phosphate de chaux naturel était en poudre blanche très-fine, fortement phosphorescent par la chaleur.

L'Angleterre possède également, dans les comtés de Suffolk, de Norfolk, du Hertfordshire et du Lincolnshire, des dépôts de coquilles fossiles mélangées de sable vert, également riches en phosphate de chaux, et qui sont devenus l'objet d'un commerce considérable.

Coprolithes. Voici un passage d'un rapport de M. Élie de Beaumont qui fit connaître la découverte d'une abondante source d'acide phosphorique.

« Au commencement de l'année 1848, M. Wiggins annonça à la Société géologique de Londres que près Ramsholt-Creek, Sutton et en quelques autres points du Suffolk, on avait trouvé de grandes quantités de dents, d'ossements et de substances coprolithiques ou excrémentitielles. En Angleterre, un pareil fait ne pouvait passer inaperçu. Ces débris, riches en phosphate de chaux, sont maintenant recueillis, dit-il (22 mars 1848), pour être employés dans l'agriculture. Mais on ne s'est pas borné à les employer en nature, et on les mêle avec l'acide sulfurique. Ce compost est devenu, dit-on, un article régulier de commerce. Il est coté dans les annonces agricoles et offert à raison de 6 à 7 livres sterling (150 à 175 fr.) la tonne, prix qui, pour le dire en passant, ne s'écarterait que faiblement de celui auquel les résidus de noir animal sont vendus à Nantes pour le même usage, et qui, comme ce dernier, fait probablement ressortir le prix de l'acide phosphorique supposé pur à environ 50 centimes le kil. La valeur vénale de la substance étant, d'après ce qu'on vient de rapporter, beaucoup plus grande que celle de la houille, c'est là un gîte minéral d'une grande richesse et dont l'exploitation est susceptible de donner des bénéfices considérables. »

Les prix indiqués par M. de Beaumont établissent la valeur agricole du phosphate de chaux en Angleterre à raison de 23 centimes le kilog., puisqu'un kilogramme d'acide phosphorique est contenu dans 2k,67 de phosphate de chaux des os.

Le sol français n'a rien à envier à ses voisins sous le rapport de ces précieuses richesses agricoles; car, dès l'an III, le *Journal des Mines* signalait à l'attention publique un gisement de pyrites situé sur la rive méridionale du Pas-de-Calais entre Saint-Pol et Wissant, dans lequel M. Berthier, alors professeur de chimie à l'École des mines, trouvait des quantités assez considérables de phosphate de chaux. Cette richesse en phosphate obligea même M. Flachat, propriétaire de l'établissement dans lequel les pyrites étaient converties en sulfate de fer commercial, à renoncer à cette fabrication, dont la marche était entravée par la présence du sulfate de chaux.

Je ne serais pas étonné, a dit plus tard l'éminent professeur de l'École des mines, de voir un jour l'usine établie par M. Flachat sur la côte de Wissant, dans le but de traiter les pyrites en rejetant le phosphate de chaux, relevée pour utiliser le phosphate de chaux avec le concours des pyrites.

On voit également dans les *Annales des Mines* (année 1820, 1re série, t. V, page 197) que M. Berthier a trouvé jusqu'à 57,3 p. 100 de phosphate de chaux dans des nodules de chaux phosphatée que contient la chaux chloritée du cap la Hève, près le Havre.

Le plus important gisement est celui qui a été signalé par M. de Lanoue, chimiste-géologue à Raismes (Nord). Il résulte, en effet, de la communication de M. de Lanoue que le calcaire ou la craie des environs de Lille contient une substance appelée *tun*, dans laquelle l'analyse a révélé des richesses de 19 à 32,50 de phosphate de chaux. A l'appui de ses intéressantes communications, M. de Lanoue a produit des échantillons d'une roche de cette nature, prise à une profondeur de 15 à 30 mètres, formant une couche moyenne de 0,90 d'épaisseur et s'étendant à plusieurs lieues aux environs de Lille. « C'est, ajoute M. de Lanoue, la plus considérable accumulation d'acide phosphorique qui, jusqu'à ce jour, ait été signalée sur le

globe. » Les analyses de M. de Lanoue ont été répétées à l'Ecole des mines par M. Rivot, et elles ont donné les résultats suivants :

Phosphate de chaux . . .	38,70
Carbonate de chaux (craie).	52,30
Argile	1,50
Eau et perte.	7,50
Oxyde de fer	traces.
	100,00

C'est d'après ces indications de la science que des hommes d'action se mirent à l'œuvre, et que M. Nesbitt, chimiste agricole à Londres, et M. de Molon de Paris, explorèrent le sol français. Un peu plus tard, M. de Molon annonça à l'Académie des sciences la découverte de nouveaux gisements d'une puissance, d'une étendue et d'une richesse bien supérieures à tous ceux indiqués jusqu'ici, et présentant, en effet, un système régulier d'observations indiquant des recherches nombreuses, dont le résultat est l'existence de gîtes immenses de phosphate de chaux dans toute l'étendue du bassin dit anglo-parisien, dont Paris est le centre, et qui embrasse trente-neuf départements dans la circonférence que forment autour de Paris les villes et bourgs suivants : Honfleur, Argentan, Alençon, le Mans, La Flèche, Angers, Loudun, Châtellerault, Mehun, Sancerre, Auxerre, Bar-sur-Seine, Saint-Dizier, Clermont-en-Argonne, Vouziers, Rethel, Rozoy et Aubenton.

En France, c'est principalement dans les différentes espèces de craie (blanche-marneuse chloritée) et dans une variété particulière de sable vert et d'argile que l'on trouve des rognons ou nodules, dits coprolithes, souvent empâtés dans la masse terreuse qui les enveloppe, et dont le volume, aussi bien que le poids, la richesse et la couleur, paraissent dépendre de la nature des terrains qui les contiennent.

Du rôle du phosphate dans les engrais. — Dans tous les essais comparatifs que l'on peut tenter, il faut se souvenir que si l'engrais entre dans la comparaison comme élément du problème, la nature du sol y participe également par sa plus ou moins grande fécondité, c'est-à-dire que chacun des éléments que la terre contient déjà contribue puissamment à faciliter ou à entraver l'action des engrais mis en comparaison. Dans tous les cas, le phosphate de chaux sera toujours un auxiliaire puissant, précieux, mais rien de plus. Hormis les cas de défrichements, le phosphate de chaux ne constituera jamais un engrais proprement dit, pas plus que l'humus, ni les sels ammoniacaux, ni la potasse, ni la soude, ni la chaux, ni la magnésie, ni l'alumine, ni la silice, ni l'oxyde de fer; c'est le concours de *tous* qui est indispensable, comme dans le fumier de ferme, et dans un état analogue à celui où chacun de ces corps existe dans ce dernier.

Ici, le fait capital, c'est la solubilité des phosphates de chaux naturels dans l'eau chargée d'acide carbonique et leur assimilation certaine, incontestable, par les plantes cultivées; c'est un fait important à consigner. C'est pour satisfaire à cette condition de solubilité que les Anglais fabriquent le superphosphate, par un mode de traitement qui ne paraît pas indispensable dans tous les cas, d'après les expériences ci-après.

La fabrication des engrais est l'art de grouper économiquement les éléments nécessaires à la végétation en général, mais particulièrement aux récoltes, et, en prenant pour point de départ la composition du fumier de ferme, se résumant elle-même en matières végétales pouvant fournir de l'humus et de l'acide carbonique, en matières animales pouvant donner de l'ammoniaque, et par conséquent de l'azote, et enfin en matières minérales diverses, comprenant principalement les phosphates, la potasse, la magnésie, la chaux, et accessoirement la silice, la soude, l'alumine, l'oxyde de fer, le soufre et le chlore.

Les végétaux étant dépourvus d'organes digestifs, les matières solides que nous leur présentons ne peuvent être absorbées par eux, et passer ensuite dans leur organisme qu'à la condition *expresse* d'être solubles dans l'eau.

C'est dans les conditions normales qui viennent d'être indiquées que le phosphate de chaux, devenu soluble, vient fournir aux plantes et surtout au blé un sel nécessaire pour le développement du grain.

C'est ainsi que, par l'effet de la pourriture ou combustion lente, les matières végétales naturellement insolubles acquièrent la faculté de pouvoir se dissoudre, puisque l'humus n'est pas autre chose que du bois rendu soluble dans l'eau, avec lequel les végétaux reconstituent de nouveau bois, ou de nouvelle paille, ou de nouvelles feuilles; de même que, dans la combustion lente de ces mêmes matières végétales, toujours accompagnée d'un dégagement d'acide carbonique, les plantes retiennent le carbone qu'elles font servir à leur charpente, à leur constitution, tandis qu'elles rejettent l'oxygène surabondant.

C'est également en vertu des mêmes lois que les végétaux ne peuvent prendre à certaines matières animales impustrescibles, comme les cuirs tannés et la houille, l'azote qu'elles contiennent, tandis que, par l'effet de la décomposition de ces matières, l'ammoniaque qui en résulte devient soluble dans l'eau, et la végétation peut alors y puiser l'azote qui lui est absolument indispensable, sauf à laisser de côté l'hydrogène, si elle peut s'en passer.

Utilité du phosphate de chaux. — M. Boussingault a formé un sol artificiel en prenant de l'argile cuite concassée et du sable, qu'il a fait calciner à une température élevée, afin de détruire toute trace de matières organiques; la même précaution a été prise pour le pot à fleur contenant ce mélange, dans lequel on a semé des graines d'hélianthus. L'arrosage a été pratiqué avec de l'eau pure, c'est-à-dire distillée avec le plus grand soin, mais à laquelle cependant on avait fait absorber le quart de son volume d'acide carbonique gazeux.

Dans ces conditions, on n'a obtenu qu'une plante faible, délicate, ne pesant pas beaucoup plus à l'état sec que la graine de laquelle elle était sortie, mais pourvue cependant d'organes complets. Le bouton s'est épanoui en une petite fleur jaune, dont la corolle n'avait pas plus de 3 millimètres de diamètre. Cette fleur en miniature était environnée de plusieurs feuilles naissantes. (A).

Dans une seconde expérience faite avec les mêmes précautions, et les mêmes matières employées dans les mêmes rapports, on a ajouté au sol 10 grammes de phosphate de chaux des os, 0,50 de cendre provenant du foin de prairie, et 1,25 de carbonate de potasse, puis on y a également semé deux graines d'hélianthus, qui ont été arrosées avec la même eau que celle employée dans l'expérience A. Chacun des plants a fourni un bouton, et tous deux ont donné une fleur jaune extrêmement petite, mais bien conformée.

Comme dans l'expérience A, les plants sont restés assez vigoureux jusqu'à l'âge de deux mois; puis, les feuilles se sont flétries, vers le bas de la tige, et la force de la végétation a décru rapidement.

Dans ces deux expériences comme dans celle qui va suivre, les plantes ont été exposées en plein air, mais tenues à l'abri de la pluie et de la rosée, à un mètre au-dessus du gazon, près d'une vigne plantée sur la limite d'une grande forêt.

Enfin, dans une troisième expérience, le sol était exactement constitué, en poids et en nature, comme dans la première expérience que nous venons de dé-

crire, mais on a fait entrer dans la composition du sol : 10 grammes de phosphate de chaux, 1g,50 de cendre, et 1g,40 d'azotate de potasse, et les deux graines d'hélianthus qui ont été semées ont été arrosées avec la même eau pure que celle employée précédemment. Ici, la seule présence d'un peu d'azote (0g,1969), contenu dans l'azotate de potasse employé, a suffi pour produire des résultats bien différents des premiers. L'hélianthus le plus grand portait une belle fleur jaune dont la corolle avait 9 centimètres de diamètre. Les feuilles présentaient une surface égale à celle d'un hélianthus venu en terre de jardin.

Voilà les faits.

Laissons parler le savant illustre dont les travaux ont si puissamment contribué à éclairer la pratique agricole, et nous conclurons après : « Les hélianthus venus dans ces conditions ont offert à peu près le même aspect, la même vigueur, que ceux que l'on avait cultivés en pleine terre. De l'association du salpêtre avec les phosphates et les cendres, il est donc résulté un engrais *complet*, dans lequel les plantes ont trouvé tout ce dont elles avaient besoin. »

Nous avons reproduit en italique le mot complet, sur lequel nous croyons devoir présenter quelques réflexions, dit M. Rohart.

On pourrait se prévaloir des idées d'un grand maître pour tenter de nous fabriquer des engrais *complets* au moyen du salpêtre, des phosphates et des cendres; sans s'apercevoir qu'un pareil engrais serait absolument *incomplet* dans les conditions culturales ordinaires, c'est-à-dire à défaut de pouvoir employer, comme M. Boussingault, l'eau saturée d'acide carbonique gazeux, à laquelle l'éminent agronome a dû nécessairement recourir pour dissoudre le phosphate de chaux, *et afin que la plante puisse s'assimiler* le carbone dont elle a toujours besoin, qu'il soit fourni directement à la végétation, ou qu'il provienne de la décomposition des matières végétales.

Râpures de corne. Les râpures de corne agissent énergiquement et conviennent à tous les sols; en Angleterre, on en donne 36 hectolitres par hectare.

Tendons, rognures de peaux, crins, plumes, résidus de colle d'os. Toutes ces matières peuvent s'employer de la même manière et dans les mêmes circonstances que les râpures de corne. La dose que doit en recevoir un terrain se calcule facilement par leur équivalent en azote.

Poissons. Les poissons qui commencent à se putréfier sont employés comme engrais dans les pays de pêche; on peut, avant de s'en servir, les dessécher et les réduire en poudre. Le hareng contient à l'état sec 10,54 p. 100 d'azote; humide il en renferme 0,9 seulement. La morue complétement desséchée en possède 10,86. Les débris de poissons desséchés deviennent l'objet d'une utile industrie.

Marc de colle. Le résidu des fabrications de colle-forte renferme des substances tendineuses et cutanées, des poils, des débris d'os, de corne, des muscles, un savon calcaire et des matières terreuses; ce mélange une *fois desséché peut se conserver longtemps*, il renferme alors 4 p. 100 d'azote et constitue par conséquent un assez bon engrais.

Pain de creton. Le marc des graisses de bœufs, de *moutons*, de veaux, *traitées* par les fondeurs, est appelé pain de creton : il est formé en grande partie des membranes du tissu adipeux encore imprégnées d'un peu de graisse, de sang, de muscles et d'os. Jusqu'à présent il a servi à la nourriture des chiens; on a essayé de l'utiliser comme engrais, on en a obtenu de bons résultats; il contient 11 à 12 p. 100 d'azote. Avant de se servir du pain de creton, qui est très-dur, on le concasse et au besoin on le trempe dans l'eau.

Suint. Le suint provenant du lavage des laines s'emploie aussi comme engrais; pour le recueillir et pouvoir l'employer, on fait arriver les eaux de lavage dans des fossés pleins de paille qui s'en imbibe.

Chiffons de laine. Les chiffons de laine offrent un des plus riches engrais qui soient employés; la décomposition lente de la laine la fait agir pendant six à huit ans; et comme la quantité d'azote qu'elle renferme est assez considérable, il s'ensuit qu'elle présente un engrais coûtant peu de frais de transport. 3,000 kil. de chiffons de laine suffisent pour fumer un hectare; malheureusement cette richesse agricole ne peut se recueillir en quantité un peu considérable que dans les grandes villes, ce qui en restreint l'emploi.

L'Angleterre en importe de Sicile pour la culture du houblon; en Provence on en fait usage pour toutes les cultures; les chiffons doivent être divisés le plus possible pour être répandus facilement sur la terre.

D'après MM. *Boussingault* et Payen, les chiffons de laine renferment 12,28 p. 100 d'eau, et la matière sèche donne 20,26 d'azote : à Paris ces chiffons coûtent 6 fr. les 100 kil. et en Angleterre 17 fr. 65 c. (1).

Noir animal des raffineries. Dans le raffinage du sucre on mêle cette matière fondue avec du charbon animal, et on clarifie avec du sang battu. Le mélange filtré laisse sur les filtres un dépôt qui, lavé, contient tout le charbon employé, le sang coagulé, un peu de sucre et quelques substances végétales contenues dans le sucre brut; desséché, ce produit contient à peu près 24 centièmes de sang auquel il doit son action fertilisante. En 1824, M. Payen fit connaître le parti que *l'on pouvait tirer de cette matière employée comme* engrais, et depuis lors plus de 10 millions de kil. de noir animal des raffineries sont utilisés annuellement à l'amélioration du sol. Le noir des raffineries étrangères est même venu concourir à ce nouveau débouché, surtout dans les départements de l'ouest de la France. Le sucre contenu dans ce résidu produit, par la fermentation, de l'alcool et ensuite des acides acétique et lactique défavorables au développement des plantes; c'est ce qui explique les résultats désavantageux donnés par ce résidu employé peu de temps après sa sortie des fabriques : si, au contraire, on le laisse en tas un mois ou deux avant de s'en servir, l'action prolongée de l'air cause l'altération de la matière animale, et l'ammoniaque qui se produit, non-seulement sature les acides provenant de la fermentation du sucre, mais encore donne une réaction alcaline au produit, réaction toujours favorable à la végétation.

M. Payen a trouvé dans une quantité de noir représentant 12 kil. de sang, 2,04 p. 100 d'azote, mais les résultats donnés par cet engrais sont de beaucoup supérieurs à ceux qu'on devrait en attendre d'après ce dosage. Le noir animal se paye à Paris de 7 à 7 fr. 50 c. les 100 kil.

SUBSTANCES MINÉRALES AZOTÉES.

Quelques substances minérales mélangées de matières azotées sont employées comme engrais, telles sont : les coquilles, les vases de mer ou de rivière, et les terres salpêtrées de toutes provenances.

Les sables de mer employés en Bretagne sont appelés *merl* et *trèz*.

Le *merl*, qu'on désigne aussi sous le nom de sable de mer, fond de corail, etc., est un sablon calcaire formé de débris de coquilles et de madrépores. On le

(1) La laine bleue n'est point employée comme engrais, on en retire l'indigo; elle coûte 1 fr. le kilogr.

trouve abondamment à l'embouchure de la rivière de Morlaix, où il s'exploite à la drague. La rade de Brest et la rivière de Quimper en produisent aussi des quantités considérables. L'extraction du merl se fait du 15 mai au 15 octobre; une gabare peut en contenir 7,000 kilogrammes, qui se vendent 8 à 10 fr. Cet engrais doit s'employer peu de temps après sa sortie de l'eau, car il se désagrége rapidement à l'air et perd une partie de ses qualités. Le merl agit particulièrement sur les sols argileux par sa matière calcaire. D'après MM. Payen et Boussingault, le merl de Morlaix renferme, à l'état sec, 0,12 p. 100 d'azote. En sortant de la mer il renferme la moitié de son poids d'eau, et s'emploie à la dose de 1,400 à 2,800 kil. par hectare.

Le *trèz* est un sable de mer constituant le sol des plages marines dans plusieurs localités des environs de Morlaix; cette matière doit être lavée afin de la dépouiller de la plus grande partie du sel qu'elle contient.

Le peu de substance animale qu'il renferme se détruit par la putréfaction, s'il reste exposé trop longtemps à l'air; de là la distinction établie entre le trèz vif et le trèz mort, la seconde matière étant évidemment moins azotée que la première.

Le trèz de Roscoff, desséché, renferme 0,14 p. 100 d'azote, et on en emploie 4,000 kil. par hectare de terrain.

On désigne sous le nom de *tangue*, sur les côtes de la Manche et du Calvados, un sable calcaire mou, très-fin, différent des précédents, mais également recherché des cultivateurs du littoral.

Les vases de rivières et de cours d'eaux sont presque aussi riches en matières fertilisantes que le fumier, elles renferment peu de phosphates; mais, desséchées à l'air, elles renferment à peu près la même quantité d'azote que le fumier frais, soit 0,4 à 0,5 p. 100.

D'après M. Hervé-Mangon, il existe en France environ 200,000 kilomètres de cours d'eau dont le quart au moins pourrait être curé tous les ans et pourrait donner 2,500,000^{mc} de vase séchée à l'air. Ce volume de vase contiendrait une quantité de matières fertilisantes au moins égale à 2 millions de tonnes de fumier ordinaire.

Les vases des égouts des villes constituent aussi un engrais précieux. Johnson évalue à 230,000 litres la quantité d'engrais liquide que, chaque jour, les égouts de Londres rejettent en pure perte dans la Tamise; d'après M. Hervé-Mangon, les égouts de Paris perdent par an une quantité de matières fertilisantes renfermant 1,204,500 kil. d'azote. (Voyez l'article ÉGOUTS.)

On peut très-facilement clarifier les eaux d'égout en y ajoutant un peu de lait de chaux : on obtient ainsi un précipité qui se rassemble facilement. Il suffit de 0^k,4 à 0^k,5 de chaux pure par litre d'eau pour opérer la précipitation presque instantanée de toutes les matières en suspension et de près du 1/4 des matières dissoutes. Le précipité ainsi obtenu et desséché renferme environ 1,20 pour 100 d'azote.

PRODUITS DE LA COMBUSTION DES VÉGÉTAUX.

Suies. La suie est employée en quantités considérables par les agriculteurs; elle constitue un bon engrais. D'après M. Braconnot, la suie d'une cheminée dans laquelle on avait brûlé du bois renfermait :

Acide ulmique.	30,0
Matière azotée soluble dans l'eau. .	20,0
Matière carbonatée insoluble . .	3,9
Silice.	1,0
Carbonate de chaux	14,7
Carbonate de magnésie	trace.
Sulfate de chaux	5,0
Phosphate de chaux ferrugineux .	1,5
Chlorure de potassium	0,4
Acétate de chaux.	5,7
Acétate de potasse	4,1
Acétate de magnésie.	0,5
Acétate de fer.	trace.
Acétate d'ammoniaque	0,2
Principe âcre et amer	0,5
Eau	42,5
	100,0

MM. Payen et Boussingault ont trouvé que la suie de houille contient plus de matière azotée que celle de bois. La suie se répand en couverture sur les trèfles et les jeunes froments; on en emploie 18 hectolitres par hectare. Elle doit s'appliquer seule, par un temps calme et pluvieux, comme l'a recommandé Mathieu de Dombasle.

La suie s'emploie en Flandre pour les semis de colza destinés au repiquage. On croit qu'elle préserve les jeunes plantes des attaques des insectes; on en donne alors 50 hectolitres par hectare. Son prix varie de 1 fr. 50 c. à 1 fr. 70 c. les 100 kil., suivant les localités.

Cendres de Picardie. Les cendres de Picardie proviennent de la combustion lente et imparfaite des tourbes pyriteuses, exploitées dans le département de l'Aisne pour la fabrication de l'alun et du sulfate de fer.

Quand la tourbe est entassée, elle est humide. En présence de l'eau, le sulfure qu'elle renferme se transforme en sulfate. La chaleur développée par l'oxydation du fer et du soufre gagne de proche en proche, active la réaction, et bientôt est assez élevée pour enflammer la tourbe et la faire brûler lentement; on obtient par cette combustion spontanée une cendre grise qui sert à amender les prairies. Ce n'est pas seulement au sulfate de chaux qu'elle renferme qu'est due son action sur la végétation, la plus grande partie de son activité provient des matières azotées qu'elle possède. L'analyse y a indiqué 1/2 p. 100 d'azote. M. Boussingault pense que pendant l'incinération des tourbes pyriteuses, il se produit du sulfate d'ammoniaque. Les cendres de Picardie se vendent sur les lieux 50 cent. l'hectolitre; on en donne aux prairies de quatre à six hectolitre par hectare.

Cendres vitrioliques. Les résidus de la fabrication de la couperose, appelés cendres vitrioliques, sont analogues aux précédentes; à Forges-les-Eaux, les terres pyriteuses lessivées sont mêlées avec le quart de leur poids de cendres de tourbe; l'engrais qui en résulte convient aux prairies et aux herbages humides. Ces cendres sont plus azotées que celles de Picardie, elles contiennent 2,72 p. 100 d'azote. Voici, du reste, leur composition donnée par MM. Girardin et Bidard :

Matière organique soluble.	2,7
Humus insoluble	49,8
Sulfates de protoxyde et de peroxyde de fer	1,8
Sable fin.	39,0
Sulfure et peroxyde de fer	6,7
	100,0

Écobuage. L'écobuage consiste à brûler sur place les matières organiques d'un terrain, surtout quand elles sont pauvres en principes azotés. Cette opération transforme la superficie du sol en une terre poreuse et charbonneuse qui retient, en les condensant, les vapeurs ammoniacales dégagées pendant la combustion; il se produit, en outre, des sels alcalins et terreux dont l'action est indispensable à la végétation. Une combustion trop complète amènerait, comme dans la préparation des cendres pyriteuses, la disparition des principes organiques, et on n'aurait plus un engrais azoté.

ENGRAIS.

En Amérique, pour pratiquer l'écobuage, on se contente de mettre le feu aux pâturages quand l'état de dessiccation de l'herbe est suffisant; quelques jours après le passage du feu, on voit poindre sur le sol une végétation nouvelle et vigoureuse.

On procède aussi à l'écobuage d'une autre manière; on enlève la couche superficielle du terrain qui renferme les matières organiques à brûler; on forme ensuite avec ce mélange de terre, de racines et de tiges, des espèces de fourneaux auxquels on met le feu; à mesure que la flamme se fait jour à travers la masse, on ajoute du gazon afin de fermer les issues qui se sont formées. On obtient ainsi une combustion lente, et tous les gaz dégagés pendant cette opération sont absorbés par l'enveloppe de terre charbonneuse.

Comme on le voit, le but de l'écobuage est de mettre en liberté, par une combustion lente, les principes contenus dans les matières végétales pour les rendre au sol et les tenir de cette manière à la disposition d'une nouvelle récolte; on a l'avantage de hâter ainsi la circulation des éléments contenus dans les plantes, d'en jouir sur-le-champ; tandis que ces mêmes végétaux abandonnés aux effets lents de la putréfaction ne se fussent décomposés que peu à peu, et les résultats qu'ils auraient produits comme engrais, dispersés sur plusieurs récoltes, eussent été inappréciables. L'écobuage exerce aussi sur le sol une action mécanique; il en diminue la consistance et en augmente la porosité; il produira donc plutôt de bons effets sur les terres fortes que dans les sols sablonneux.

La bonne préparation de la plupart des engrais composés artificiels exige la pulvérisation et le mélange des matières diverses qui entrent dans leur composition. Cette double opération peut s'exécuter avec avantage, dans beaucoup de circonstances, à l'aide de l'appareil représenté par la figure 767, et formé de cages cylindriques à barreaux de fer tournant rapidement en sens contraire, les unes dans les autres. Les matières jetées en fragments par l'ouverture centrale que l'on voit à droite ressortent mélangées et en poussière à la circonférence.

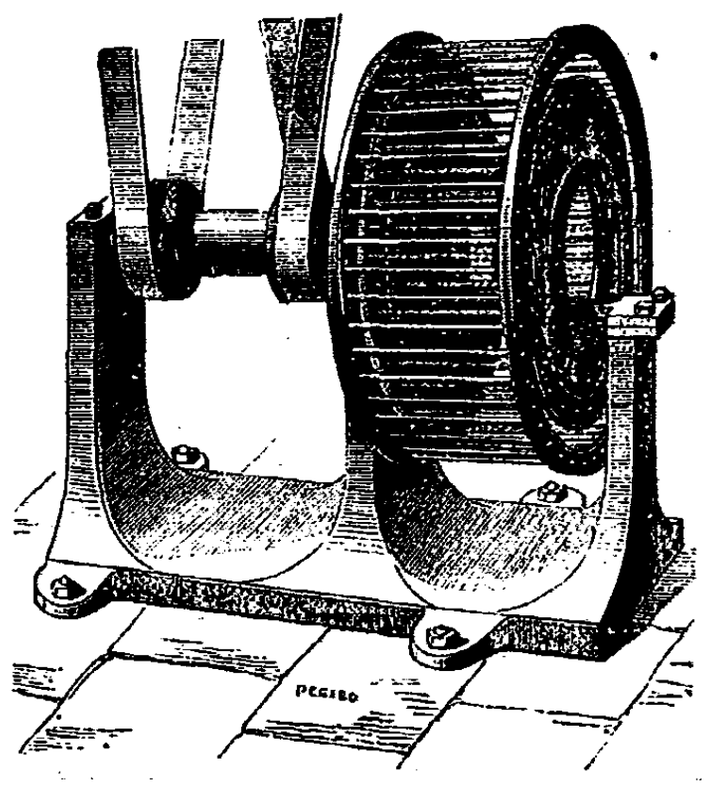


Fig. 767.

SUBSTANCES VÉGÉTALES.

Engrais verts. Sous le nom d'engrais verts, on comprend les parties vertes des plantes qui entrent dans les récoltes des racines ou des tubercules, telles sont les *fanes* de carottes et des pommes de terre, les feuilles de betteraves et de navets; comme ces matières peuvent servir à la fois d'engrais et de fourrage, c'est au cultivateur à voir lequel de ces deux emplois peut lui être le plus avantageux.

D'après M. Boussingault, les matières dont nous venons de parler sont des aliments médiocres et des engrais excellents; il a trouvé que les fanes des pommes de terre provenant de la culture d'un hectare, représentaient 800 kil. de fumier de ferme supposé sec, et que les feuilles des betteraves fournies par une même surface valaient plus de 2600 kil. du même engrais au même état de siccité.

Parmi les engrais verts, se trouvent les plantes marines, qui servent à l'amélioration du sol près des côtes de la mer; ces plantes, fortement azotées, peuvent s'employer, soit immédiatement après leur sortie de la mer, soit à demi-desséchées, macérées ou même incinérées en partie. Elles agissent aussi bien par leurs substances salines et leurs propriétés hygroscopiques que par l'azote qu'elles renferment.

Séchées au soleil et réduites en poudre, elles ont été utilisées par M. Salmon pour la désinfection des matières fécales; elles constituent alors un excellent engrais qui, desséché, renferme 2, 4 p. 100 d'azote.

Goëmon. La Bretagne, l'Écosse et l'Irlande, emploient sous le nom de *goëmons* les différentes plantes de la famille des algues. La récolte du goëmon se fait en labourant la surface des roches et le fond de la mer au moyen de grands rateaux; des règlements fixent ordinairement, pour chaque localité, l'époque et le mode de la récolte.

Cet engrais, riche en sels de soude et de potasse, a le grand avantage d'être entièrement exempt de graines nuisibles; les différents fucus sortant de l'eau et égouttés retiennent 0,75 d'eau; desséchés à l'air ils en renferment encore 0,40; à cet état le *fucus saccharinus* possède 1,38 p. 100 d'azote, et le *fucus digitatus* 0,86 seulement; complétement sec, le premier en renferme 2,29, et le second 1,41. Le goëmon brûlé contient 0,40 p. 100 d'azote.

Les plantes aquatiques qui croissent dans les eaux douces peuvent aussi offrir des ressources comme engrais.

Roseau. Le roseau est la plante d'eau douce la plus employée; fauché au vert il se décompose facilement; coupé au moment de sa floraison, et séché sur place, tel qu'on le livre au commerce, le roseau contient encore 0,20 d'eau et 0,75 d'azote; desséché complétement, il donne 1,10 de son poids de cendres et 1,0678 p. 100 d'azote. Réduit par la macération au même degré d'humidité que le fumier, sans y rien ajouter, il contient 0,267 d'azote. On fume souvent les oliviers, en Provence, en plaçant à leurs pieds des gerbes de roseaux dont l'effet se sent pendant deux années entières.

Fougères. Parmi les autres végétaux transportés pour servir à engraisser les terres, se trouvent les fougères dont l'azote n'a pas été dosé, mais qui renferment de la potasse en notable quantité, et qui, sous ce rapport, sont avantageuses pour les terrains manquant de cet alcali.

Bruyères. Comme les précédents, les bruyères peuvent aussi être d'une grande utilité; les feuilles renferment 1,74 d'azote, mais les tiges sont beaucoup plus pauvres, et on aurait plus d'avantage à les brûler qu'à les employer comme engrais.

Buis. Le buis est un engrais d'une grande ressource dans les pays environnés de montagnes calcaires, qui en sont quelquefois couvertes; les rameaux feuillés de buis, après avoir été foulés et écrasés sous les pieds des chevaux et les roues des voitures, peuvent fermenter facilement. A l'état vert ils renferment 1,17 p. 100 d'a-

ENGRAIS.

zote, et 1,60 d'eau; à l'état sec ils offrent 2,89 p. 100 d'azote.

Dans quelques pays de montagnes, on emploie aussi au même usage les tiges-feuillées des pins.

Sarments. On n'a pas d'analyse des sarments, seulement on sait qu'on peut les employer avec avantage dans l'agriculture, si toutefois leur emploi, comme combustible, n'est pas d'un plus grand rapport.

Les récoltes enfouies en vert, pour améliorer le sol, rentrent également dans les engrais qui nous occupent. Cette méthode, qui date d'une haute antiquité, est encore suivie de nos jours, surtout en Italie; on cultive dans ce but les plantes qui prélèvent le plus de principes sur l'atmosphère; c'est aux légumineuses qu'on donne généralement la préférence.

Prairies. Les prairies demandent à être défrichées de temps en temps, car la nature du sol empêche quelquefois de les conserver indéfiniment en bon état.

Dans les prés qui rapportent 15000^k de foin par hectare, le gazon fournit un engrais qui équivaut à 668^k d'azote pour une même surface, et donne trois récoltes de froment, produisant ensemble 72 hectolitres.

Lupin. Le lupin employé comme engrais vert ne se sème en France qu'au mois de mars, et s'enterre aussitôt qu'il est en fleurs. Si l'on en juge par ses effets énergiques, cette plante, dont on n'a pas l'analyse, doit être très riche en azote.

La semence du lupin, analysée par M. Payen, renferme 3,49 d'azote à l'état normal, et 4,35 à l'état sec; ce serait donc un engrais fort riche.

Fèves. L'herbe de la fève en fleur compte comme une demi-fumure; elle s'emploie surtout pour engraisser les terrains qui doivent porter le chanvre.

Vesces. Les vesces sont un engrais vert très coûteux.

Seigle Le seigle enterré en vert augmente un peu la richesse des récoltes; mais cette augmentation est si faible qu'elle ne compense pas les frais.

Spergule. La spergule que M. de Woght a beaucoup employée paraît donner d'assez bons résultats; d'après cet agronome, si l'on sème consécutivement un champ de spergule, pour être enterré en vert en mars, juin et août, l'effet de ces trois herbages équivaudra à 2,900^k de fumier par hectare. Cette plante ne réussit bien que dans les terrains sablonneux et les climats humides.

Sarrasin. D'après Schwerz, le sarrasin cultivé en Allemagne n'est enterré que quand la récolte de la graine ne laisse plus d'espoir. La paille de sarrasin renferme 0,54 p. 100 d'azote à l'état sec, et 0,48 après sa dessiccation à l'air.

Madia sativa. Le madia sativa a été employé comme engrais vert par plusieurs agriculteurs; en raison des exsudations résineuses qui couvrent cette plante, MM. Boussingault et Payen pensent qu'il faudrait lui faire subir une macération avant de l'enterrer. Les fanes de madia sativa renferment 0,66 p. 100 d'azote à l'état sec, et 0,53 après dessiccation à l'air.

Navette. De toutes ces plantes, la navette est depuis plus longtemps et beaucoup plus souvent employée au même usage, sa graine a le grand avantage de coûter peu; et 10 à 12^k de cette graine suffisent pour ensemencer un hectare.

On considère encore comme engrais verts les débris de plantes, les chaumes des différentes céréales et les feuilles des arbres des forêts; quant à ces dernières, il est bon de les laisser fermenter avant de s'en servir.

De tous les engrais verts, ceux fournis par les prairies sont les moins coûteux et les plus abondants, l'emploi des autres plantes est subordonné à leur réussite sur les terrains qu'on leur destine, et surtout à leur équivalent en azote. Dans le plus grand nombre de cas il est préférable de cultiver des plantes pouvant servir à la nourriture des animaux, ceux-ci restituant à la terre une grande partie des éléments qu'ils en reçoivent, l'autre partie donnant naissance à un produit animal d'une valeur plus considérable.

Débris végétaux.

Terreau. Le terreau qui se trouve en amas dans le fond des étangs et des marais situés dans un terrain calcaire est usité comme engrais; cette matière pauvre en azote et riche en carbone est utile aux terrains qui manquent de ce dernier corps. Les terreaux les plus riches sont ceux qui n'ont pas été formés sous l'eau, aussi ce sont les plus avantageusement employés dans l'agriculture.

Tourbe. La tourbe a une grande analogie avec le terreau; elle en diffère cependant par l'absence des matières solubles dans l'eau, ce qui se conçoit en effet d'après son origine aqueuse; cependant exposée à l'air et à l'humidité elle donne naissance à une certaine quantité de principes solubles dont les alcalis hâtent le développement; c'est ce qui explique son emploi comme engrais dans certaines localités. La tourbe chargée de tannin, d'acides végétaux et minéraux, de matières hydrogénées, demande quelques préparations avant son emploi. A l'état sec, employée pour litière, elle remplace économiquement la paille, et les matières qu'elle est destinée à absorber neutralisent sans manipulations les acides qu'elle renferme, et augmentent sa valeur comme engrais. La tourbe a aussi été employée mélangée avec du fumier; dans tous les cas elle ne s'emploie pour améliorer le sol que lorsqu'elle ne peut être utilisée plus avantageusement comme combustible.

Nous parlerons maintenant des résidus des différents végétaux dont les fruits, les racines ou les tiges ont subi un traitement destiné à en extraire les sucs.

Orge germée. L'orge germée qui a servi à la production de la bière est utilisée avec succès pour fumer les terres, desséchée sur les tourailles elle équivaut à deux fois et demie son poids de fumier; on la connaît sous le nom de *touraillons.* En Angleterre on en emploie de 35 à 52 hectolitres par hectare, pour la culture de l'orge et celle du froment.

Marc de raisin. Le marc de raisin contient une assez forte proportion d'azote, et comme la décomposition des pepins est lente c'est un engrais de longue durée qui convient à la fumure des vignes. Séché à l'air il contient 1,71 à 1,83 d'azote, et desséché complétement 3,31 à 3,56.

Marc des pommes à cidre. Le résidu de la fabrication du cidre étant acide doit être neutralisé par la chaux avant son emploi comme engrais, si le terrain qui doit le recevoir n'est pas lui-même calcaire. Mêlé avec du fumier il se neutraliserait sans manipulation.

Pulpes, résidus des féculeries. Les pulpes provenant de la fabrication de la fécule diffèrent peu en valeur de celle de la pomme de terre; elles pourraient donc servir avantageusement pour la nourriture des bestiaux; mais quand leur production dépasse les besoins de cette consommation, elles peuvent servir et servent effectivement d'engrais, car leur conservation ne peut s'opérer facilement. La pulpe des féculeries renferme les 7/10 de son poids d'eau et 0,526 pour 100 d'azote; complétement sèche, elle en contient 1,95.

Les écumes et dépôts des défécations qui proviennent de la même fabrication renferment 0,005 d'azote; c'est à peu près ce qu'on trouve dans le fumier de ferme humide. M. Dailly, propriétaire d'une féculerie située à Trapes, près de Versailles, emploie très avantageusement les eaux de cet établissement. Après les avoir fait déposer il les dirige dans de vastes champs qui sont autour de la féculerie; quant aux dépôts qu'elles ont formés, on les laisse se dessécher à l'air, et ils donnent une poudrette qui a la moitié de la valeur de la poudrette ordinaire.

Pulpe de betteraves. Le résidu de la fabrication du sucre de betterave sert généralement pour la nourriture

des bestiaux; il contient en sortant des presses 0,378 pour 100 d'azote, séché à l'air 1,14, et desséché dans le vide 1,26.

Tranches de betteraves. Les tranches de betteraves qu'on obtenait par le procédé de macération dû à Mathieu de Dombasle pour l'extraction du sucre, ne renfermaient que 0,0004 d'azote; un pareil engrais ne peut évidemment pas payer les frais de transport.

Tan. Le tan épuisé qui a servi à la préparation des cuirs peut être employé comme engrais après une dessiccation préalable; on devra aussi avant de l'employer neutraliser par la chaux le tannin qu'il renferme encore.

Tourteaux. Les graines oléagineuses, après l'extraction de l'huile, laissent un résidu connu sous le nom de tourteau; ces résidus renferment à peu près toute la matière azotée qui était contenue dans la plante, aussi fournissent-ils d'excellents engrais, d'autant plus propres à être transportés qu'ils renferment peu d'humidité.

Les plus employés sont : le marc d'olive, les tourteaux de colza, de lin, de madia, d'arachide, tous très riches en azote. On emploie aussi les tourteaux de graines de coton, de chénevis, de cameline, de faines, de pavots, etc. Quant aux tourteaux de noix ils sont réservés exclusivement pour la nourriture des animaux.

Pour employer ces résidus comme engrais, on les pulvérise et on les répand ensuite sur les plantes déjà sorties de terre, ou sur les champs, en ayant soin de les enterrer par un labour. Comme l'humidité est indispensable à la poudre des tourteaux, pour que la réussite soit complète, on doit les humecter avant de s'en servir. En Angleterre on donne 1000 kilogr. de tourteau par hectare, du reste les doses varient avec les cultures; c'est surtout pour les terrains légers et sablonneux qu'on doit en faire usage.

Nous terminons ce que nous avions à dire sur les engrais azotés par le tableau de leur valeur comparative; ce tableau est dû, comme nous l'avons déjà dit, aux travaux de deux savants distingués, MM. Payen et Boussingault. Dans ce tableau la 5e colonne est la plus utile, elle donne la quantité d'azote contenue dans l'engrais à l'état sec, et c'est seulement dans cet état, comme il est facile de le comprendre, que les engrais peuvent être comparés entre eux.

TABLEAU DE LA VALEUR COMPARATIVE DES ENGRAIS,

déduite des analyses faites par MM. Boussingault et Payen.

DÉSIGNATION.	EAU normale.	AZOTE dans 100 de matière		TITRE à l'état		ÉQUIVALENT à l'état	
		sèche.	humide	sec.	humide.	sec.	humide.
Fumier de ferme, moyenne de Bechelbronn.	79,3	1,95	0,41	100	100	100	100
Fumier d'aubergiste du midi de la France.	60,6	2,08	0,79	107	197	94	51
Eau de fumier.	99,6	1,54	0,06	78	2	127	68
Paille fraîche de froment d'Alsace, 1838.	19,3	0,30	0,24	15	60	650	167
Paille de froment ancienne des environs de Paris.	5,3	0,53	0,49	27	122,5	367	82
— — partie supérieure.	5,3	0,43	0,41	22	102,5	453	98
— — parties voisines de l'épi, l'épi compris.	9,4	1,42	1,33	73	332,5	137	30
Paille de seigle d'Alsace.	12,2	0,20	0,17	10	42,5	975	235
— — des environs de Paris, 1841	12,6	0,50	0,42	26	105	390	95
Paille d'avoine d'Alsace.	21,0	0,36	0,28	18	70	542	143
— d'orge —	11,0	0,26	0,23	13	57,5	750	174
Balles de froment —	7,6	0,94	0,85	48	212,5	207	47
Paille de pois —	8,5	1,95	1,79	100	447,5	100	22
— de millet —	19,0	0,96	0,78	49	195	203	51
— de sarrasin.	11,6	0,51	0,48	27	120	361	83
— de lentilles	9,2	1,12	1,01	57	250	174	40
Tiges de topinambours.	12,9	0,43	0,37	22	92,5	453	108
Fanes de madia ayant donné graines.	14,3	0,66	0,57	33	142,5	295	70
Fanes, engrais vert avant la graine.	70,6	1,53	0,45	79	113	126	89
Genêt sec, tige et feuilles.	10,4	1,37	1,22	70	305	142	33
Fanes de betteraves champêtres.	88,9	1,50	0,50	230	125	43	80
— de pommes de terre.	76,0	2,30	0,55	117	137,5	85	73
— de carottes.	70,9	2,94	0,85	150	212,5	66	47
Feuilles de bruyère séchées à l'air.	7,0	1,90	1,74	97	435	103	23
— de poirier tombées en automne.	14,5	1,59	1,36	81,5	340	127	29
— de chêne —	25,0	1,57	1,18	80	293	125	34
— de peuplier —	51,1	1,17	0,54	66	134	167	74
— de hêtre —	39,3	1,91	1,18	78	294	102	34
— d'acacia —	53,6	1,56	0,72	80	180	125	56
Buis, rameaux et feuilles.	59,3	2,89	1,17	147	293	68	34
Racines de trèfle enfouies, desséchées à l'air.	9,7	1,77	1,61	90	402,5	110	25
Fucus digitatus, séché à l'air.	39,2	1,41	0,86	72	215	139	46
— —	40,0	1,58	0,95	81	237,5	123	42
Fucus saccharinus, —	40,0	2,29	1,38	117	345	85	29
—, sortant de la mer.	75,5	»	0,54	»	135	»	74
Goëmon, dit brûlé.	3,8	0,40	0,38	20	95	488	105
Coquilles d'huîtres.	17,9	0,40	0,32	20	80	488	125
Coquillages de mer desséchés, de Dunkerque.	»	0,05	0,05	3	13	3750	769
Vase de la rivière de Morlaix.	3,7	0,42	0,40	21	100	464	100

DÉSIGNATION.	EAU normale.	AZOTE dans 100 de matière		TITRE à l'état		ÉQUIVALENT à l'état	
		sèche	humide	sec.	humide.	sec.	humide
Trèz de la rade de Roscoff.	0,5	0,14	0,13	7	32,5	1393	308
Merl, sable de mer.	4,0	0,52	0,51	26,5	128	377	78
Morue salée.	38,0	10,86	6,70	557	1675	18	6
— lavée, pressée et séchée à l'air.	10,0	18,74	16,86	961	4215	10	2,5
Sciure de bois de sapin, —	24,0	0,22	0,16	11	40	886	250
— —	24,0	0,31	0,23	15	57,5	629	174
Sciure de bois de chêne, —	26,0	0,72	0,54	36	135	256	74
Graines de lupin blanc de Toscane, bouillies et séchées.	10,5	4,35	3,49	223	872,5	45	11,5
Touraillons d'orge.	6,0	4,90	4,51	251	1127,5	40	9
Marc de raisin.	48,2	3,31	1,71	169	427,5	57	23
Tourteau de lin.	13,4	6,00	5,20	307	300	33	8
— de colza.	10,5	5,50	4,92	282	1230	35	8
— d'arachis.	6,6	8,39	8,33	455	2082,5	21	4,5
— de madia.	11,2	5,70	5,06	292	1265	34	8
— de cameline.	6,5	5,93	5,52	304	1378	33	7,25
— de chénevis.	5,0	4,78	4,21	245	1052	41	9,5
— de pavot.	6,0	5,70	5,36	292	1340	34	7,5
— de faines.	6,2	3,53	3,31	181	828	55	12
— de noix.	6,0	5,59	5,24	287	1310	35	7,5
— de graines de coton.	11,0	4,52	4,02	232	1000	32	10
— d'épuration des graines vertes par la sciure de peuplier.	10,0	3,92	3,51	201	885	50	11,25
— d'épuration de l'huile de poisson par la sciure de peuplier.	7,7	0,58	0,54	30	135	332	75
Marc de pommes à cidre, séché à l'air.	6,4	0,63	0,59	32	147	309	68
— de houblon.	73,0	2,23	0,56	114	140	88	67
Pulpe de betteraves, séchée à l'air.	9,3	1,26	1,14	64	285	155	35
— sortant de la presse.	70,0	»	0,58	64	85	»	106
Tranches de betteraves épuisées, procédé de Dombasle.	94,5	1,76	0,01	90	2	111	1137
Pulpe de pommes de terre.	73,0	1,95	0,53	100	131,5	100	76
Suc de pommes de terre reposé et décanté.	95,4	8,28	0,38	425	94	23	106
Eaux de lavage des féculeries, à 4 volumes d'eau.	99,2	8,28	0,07	425	17,5	»	571
Dépôts des eaux des féculeries, égouttés en tas.	80,0	1,81	0,36	92	90	108	111
— — séchés à l'air.	15,0	1,81	1,54	92	384,5	»	24
Excréments solides de vaches.	85,9	2,30	0,32	117	80	84	125
Urine de vache.	88,3	3,80	0,44	194	110	51	91
Excréments mixtes de vaches.	84,3	2,59	0,41	132	102,5	75	98
— solides de cheval.	75,3	2,21	0,55	113	137,5	88	73
Urine de cheval (le cheval buvait peu).	79,1	12,50	2,61	641	652,5	15,5	15,33
Excréments mixtes de cheval.	75,4	3,02	0,71	154	185	64	54
— de porcs.	81,4	3,37	0,63	172	157,5	58	63
— de moutons.	63,0	2,99	1,11	153	277,5	65	36
— de chèvres.	46,0	3,93	2,16	201	540	50	18,5
Engrais flamand liquide à l'état normal.	»	»	0,19	»	47,5	»	210
— —	»	»	0,22	»	55	»	182
Poudrette de Belloni, séchée à l'air.	12,5	4,40	3,85	225	962	44	10,33
— de Montfaucon.	41,4	2,67	1,56	137	390	73	25,5
Urine, séchée à l'étuve.	9,6	17,56	16,85	900	4213	11	2,3
— liquide, ammoniacale.	96,9	23,11	0,72	1133	179	8,5	56
Noir animalisé, préparé depuis 11 mois.	44,6	1,96	1,09	100,5	272	98	37
— récent, des camps près Paris.	42,0	2,96	1,24	151,6	310,5	66	32
— engrais dit hollandais, fabriqué à Lyon.	11,1	2,18	1,36	127	310	79	29,5
Herbes marines animalisées de Marseille, séchées à l'étuve.	12,1	2,73	2,10	110	600	7	16,5
Colombine de Bechelbronn.	9,6	9,02	8,30	462	2075	21,5	5
Guano importé en Angleterre à l'état ordinaire.	19,6	6,20	5,00	323	1217	31,5	80
— passé au tamis.	23,1	7,05	5,10	361	1319	28	71
— importé en France.	11,3	15,73	13,95	807	3187	12,5	28,5
Litière de vers à soie, 5e âge.	11,3	3,18	3,29	178,7	827	56	12
— 6e âge.	11,1	3,71	3,29	190	822	53	12
Chrysalide de vers à soie.	78,5	8,99	1,91	161	185	21,5	20,5
Hannetons.	77,0	13,93	3,20	711	801	11	13
Chair musculaire séchée à l'air.	8,5	11,25	13,01	730	3260	13,5	3
Sang sec (soluble), tel qu'on l'expédie.	21,1	15,50	12,18	795	3015	12,5	3,25

DÉSIGNATION.	EAU normale	AZOTE dans 100 de matière		TITRE à l'état		ÉQUIVALENT à l'état	
		sèche.	humide	sec.	humide.	sec.	humide.
Sang liquide des abattoirs.	81,0	»	7,95	795	736	»	13,33
— des chevaux épuisés.	82,5	»	2,71	795	580	»	15
Sang congulé sortant de la presse.	73,5	17,00	4,54	871	1128	11,5	9
— séché en fabrique (insoluble).	12,5	17,00	14,88	871	3719	11,5	2,75
Résidu de bleu de Prusse animalisé de sang.	53,4	2,80	1,31	144	326	7	30,5
Os fondus séchés à l'air.	7,5	7,58	7,02	388	1754	26	6
— — humides livrés par les fondeurs.	30,0	»	5,31	»	1326	»	7,5
— non fondus, renfermant 0,10 de graisse.	8,0	»	6,22	»	1554	»	6,5
Résidus de colle d'os.	42,0	0,91	0,53	47	133	214	76
Marcs de colle livrés par les fabricants.	33,6	5,63	3,73	288,4	933,5	35	11
Pain de créton.	8,2	12,93	11,88	663	2969	15	3,33
Noir animal des raffineries, tel qu'on l'expédie.	47,7	2,04	1,06	104	265	96	38
— des raffineries, expédié de Paris.	27,7	19,01	13,75	974	3437	103	28
Écume de défécations de la sucrerie de Vigueux.	67,0	1,58	0,54	81	134	127	75
Noir anglais, sang, chaux et suie.	13,5	8,02	6,95	411,4	1738	24	6
Plumes.	12,9	17,61	15,34	903	3835	11	2,5
Bourres de poils de bœufs.	8,9	15,12	13,78	775	3445	13	3
Chiffons de laine.	11,3	20,26	17,98	1039	4495	9,5	2,25
Râpures de cornes.	9,0	15,78	14,36	809	3590	12,83	3
Suie de houille.	15,6	1,59	1,35	81	337,5	121	30
— de bois.	5,6	1,31	1,15	67	287,5	149	35
Cendres de Picardie.	9,2	0,71	0,65	36	162,5	275	62
Terreau de crottin, desséché à l'étuve.	»	1,03	»	53	»	189	33

L'usage de ce tableau sera suffisamment expliqué par un exemple pratique que nous empruntons à M. Boussingault (1).

« Les tourteaux d'huile sont à bon marché cette année (1842) ; il s'agit de savoir s'il y aurait avantage à les répandre sur le sol pour augmenter la production du blé. La supposition que l'on doit faire, et c'est d'ailleurs la moins favorable, est que le froment puise la totalité de son azote dans le sol, qu'il n'en prélève pas sur l'atmosphère ; en second lieu, nous admettrons que tout l'azote du tourteau sera utilisé pendant la culture. Dans des conditions convenables de chaleur et d'humidité, cette supposition pourrait se réaliser. Dans tous les cas, la matière active qui resterait dans le sol réagirait les années suivantes.

« Voici maintenant quels sont les éléments de la question :

« 1° En moyenne, il y a 0,025 d'azote dans le froment cultivé à Bechelbronn ;

« 2° Dans la paille de 1841, il y a 0,003 d'azote ;

« 3° Le tourteau de caméline qu'on se propose d'employer en contient 0,055. Son prix actuel, mouture comprise, est de 8 fr. les 100 kil. ;

« 4° Le rapport du poids du grain à celui de la paille est :: 47 : 100.

« L'hectolitre de grain pèse 77 kil. Son prix moyen est de 18 fr.

« Les 100 kil. de paille valent 3 fr.

« Une gerbe de 100 kil. est composée :

Grain, 32k, contenant en azote	0k,800,	valent	5f,76
Paille, 68k, —	0k,189,	—	2f,04
Total de l'azote.	0k,989,	—	7f,80
0k,989 d'azote se trouvent dans 18k de tourteau de caméline, valant.			1f,44
Différence.			6f,36

« Ainsi 18 kil. de tourteau, devenant une gerbe de froment, augmenteraient leur valeur propre de 6 fr. 36 c. En supposant encore qu'on ne réalise que la moitié, que le tiers de ce qui est indiqué par la théorie, on voit que l'addition du tourteau doit être tentée, et qu'on ne doit rien négliger pour faire réussir son application comme engrais. »

ENGRAIS MINÉRAUX OU AMENDEMENTS.

La pratique a devancé la science dans l'application des engrais ou amendements minéraux ; comme on ne comprend pas encore bien nettement leur manière d'agir, c'est une raison de plus pour les étudier avec soin.

Chaux. La chaux s'emploie comme engrais, soit à l'état de chaux carbonatée, soit à l'état de chaux caustique ; la chaux magnésienne est nuisible à la végétation, on doit en éviter l'emploi ; la chaux caustique ou chaux calcinée employée dans l'agriculture, produit au contraire de grandes améliorations, surtout dans la culture des céréales. Le chaulage, comme on le comprend facilement, est inutile dans les terrains suffisamment calcaires. La chaux vive paraît agir, d'après Liebig, en rendant les substances terreuses assimilables aux plantes.

Dans les environs de Dunkerque, on emploie 40 hectolitres de chaux par hectare de terrain, l'effet de cette dose s'y fait sentir de 10 à 12 ans. D'après M. Puvis, le sol doit recevoir annuellement 3 hectolitres de chaux par hectare, quantité plus que suffisante.

Quoique la chaux donnée au sol à l'état caustique se carbonate assez rapidement sous l'influence de l'acide carbonique contenu dans l'air et l'eau du sol, il est bon pour activer cette saturation et par conséquent préserver les plantes de l'action de la chaux caustique, de la distribuer sur les terres aussi également que possible.

En Angleterre, pays où l'on chaule le plus abondamment, on emploie de 215 à 270 hectolitres de chaux par hectare ; dans les terrains tourbeux bien égouttés, on dépasse quelquefois 400 hectolitres.

(1) Boussingault, *Économie rurale, etc.*, tome II, p. 449.

La chaux est utile dans la culture de différentes manières ; elle entre dans la constitution des plantes ; elle neutralise les acides qui se forment dans certains sols et nuisent aux racines, elle favorise la décomposition des substances argileuses et les rend ainsi assimilables. Elle agit aussi sur les matières minérales en favorisant la désagrégation des roches, elle opère des doubles décompositions, s'empare de la silice des silicates, met en liberté les alcalis. Le silicate de chaux formé se transforme en carbonate par l'action de l'acide carbonique et livre aux plantes la silice à l'état de liberté. Sous l'influence de l'acide carbonique la chaux se transforme en carbonate de chaux très-divisé et très-apte à pénétrer dans l'organisme et à transformer en carbonates volatils les sels fixes d'ammoniaque.

La chaux a encore pour effet de décomposer les sulfates de fer, d'alumine, de magnésie que renferment les argiles pyriteuses en formant du sulfate de chaux.

Il résulte d'expériences faites par M. Boussingault que la chaux vive provoque dans le sol la formation d'ammoniaque, mais au lieu de favoriser la nitrification elle semble plutôt détruire l'acide nitrique préexistant dans le sol.

Le développement d'ammoniaque est fort loin d'être en rapport avec la quantité de chaux fournie au sol. L'ammoniaque tout formé ne dépasse pas habituellement 0^{g},02 pour 1 kil. de terre végétale. Or, d'après les expériences de M. Boussingault, l'ammoniaque trouvé dans le sol après le chaulage aurait été en moyenne de 0^{g},033. La chaux n'introduit pas l'ammoniaque dans le sol, mais elle l'y développe ; elle transforme un engrais latent en engrais actif.

Dans les terrains pauvres en humus, le chaulage ne devra donc pas dispenser de l'emploi du fumier, sous peine d'épuiser complétement le sol.

Marne. Employée comme engrais, la marne agit par son principe calcaire ; le marnage, sous ce rapport, revient donc à l'application de la chaux. La marne argileuse agit et par son calcaire et par son argile, elle doit s'employer dans les terrains sablonneux où l'argile qu'elle contient agit mécaniquement, tandis que son calcaire, par son action chimique, remplace un chaulage.

La marne est un mélange de carbonate de chaux, d'argile plus ou moins sablonneuse, d'oxyde de fer et de quelques autres substances en proportions relativement assez faibles. La marne de bonne qualité se délite entièrement par l'action de l'air et de l'humidité, et se réduit en poudre impalpable. Les marnes de qualités inférieures contiennent du sable ou des noyaux calcaires sans action *chimique* immédiate sur le sol ; elles sont, comme amendement chimique, d'autant plus précieuses, toutes choses égales d'ailleurs, que la quantité de ces matières inertes est moins considérable, et que le carbonate de chaux contenu dans la partie *susceptible de se déliter* est au contraire plus abondant. En d'autres termes, on peut dire, d'une manière générale, à moins que des circonstances spéciales ne modifient cette règle, que la valeur d'une marne est en raison inverse de la quantité de matières inertes qu'elle renferme, et en raison directe du carbonate de chaux de ses parties susceptibles de se déliter à l'air.

Il est probable que la marne agit aussi comme engrais azoté, MM. Payen et Boussingault ayant trouvé dans plusieurs substances marneuses des matières organiques.

Comme les plantes enlèvent de la chaux au sol, il est évident que l'action d'un marnage n'est pas illimitée ; on emploie ordinairement 20 à 30 mètres cubes de marne par hectare. On admet, en général, qu'il convient d'ajouter au sol une dose de marne telle que la proportion de calcaire, dans la couche arable, soit de 3 p. 100 environ. Cette règle, toutefois, n'a rien d'absolu, et on s'en écarte souvent beaucoup dans la pratique. En Sologne, on peut admettre, comme résultat moyen, que le produit *net* de l'hectare s'élève, par le marnage, de 6 fr. à 32 fr. 90 c. On emploie dans ce pays de 25 à 33 mètres cubes de marne par hectare. Cette opération doit être renouvelée tous les vingt ou vingt-cinq ans environ. La pratique du marnage s'est trouvée fournir la solution du difficile problème de donner de la fertilité à un pays où la couche arable est presqu'exclusivement formée de sable siliceux.

Cendres de bois. Malgré les améliorations que les cendres introduisent dans l'agriculture, elles sont peu employées comme engrais, leur prix de revient est généralement trop élevé : on préfère en extraire le carbonate de potasse. En Angleterre, les cendres de bois sont employées de préférence pour les sols graveleux, et chaque printemps on en donne 35 hectolitres par hectare.

Cendres lessivées. Les cendres de bois provenant des savonneries contiennent encore, outre les sels solubles échappés à la lexiviation, du carbonate de chaux provenant de la caustification du carbonate de potasse qu'elles renfermaient, et les sels insolubles tels que des phosphates, sulfates et carbonates avec un peu de silice. Les cendres lessivées, employées à la dose de 40 à 60 hectolitres par hectare, agissent pendant une dixaine d'années.

Cendres de tourbe Elles sont d'un emploi avantageux et très-recherchées des agriculteurs ; elles renferment de la chaux, du sulfate de chaux, des carbonates, chlorures et sulfates alcalins, de la silice gélatineuse et de l'argile calcinée. Toutefois, la composition de ces cendres varie suivant la provenance des tourbes, et par conséquent leur effet n'est pas toujours le même.

Généralement les cendres de tourbe suppléent avantageusement au plâtrage ; celles qui proviennent de tourbes pyriteuses renferment du sulfure de fer qui, par l'action de l'air, donne des efflorescences de sulfate qui sont nuisibles aux développements de la végétation : une bonne cendre doit être blanche et légère, son poids à l'état sec est de 50 kil. l'hectolitre. On donne par hectare de terrain de 50 à 100 hectolitres de cendres de tourbe.

Cendres de houille. Les cendres de houille renferment à peu de chose près les mêmes matières minérales que celles de tourbe, seulement les sels alcalins y sont en beaucoup moindre quantité ; ces cendres agissent sur le sol en en diminuant la ténacité, par cela même elles conviennent aux terres argileuses.

Les sels alcalins sont favorables à la végétation comme tout tend à le prouver ; certaines cultures exigent même pour prospérer l'emploi de ces amendements.

Nitrate de potasse. Le nitrate de potasse employé à petite dose agit très-énergiquement sur la végétation, et favorise surtout celle des céréales, des légumineuses et du sarrasin ; la cherté de ce sel en limite l'emploi. On le remplace en Angleterre par le nitrate de soud venant du Pérou.

Nitrate de soude. Le nitrate de soude, dont le prix est beaucoup moins élevé que celui du nitrate de potasse, a donné de bons résultats employé à la dose de 125 kil. par hectare ; cependant il faut que le sol soit en même temps pourvu d'engrais organiques pour que la réussite soit complète.

Sel marin. Le sel marin favorise la culture de l'orge, du froment, de la luzerne et du lin, on doit en employer 150 à 300 kil. par hectare. Le *chlorure de calcium* et le *sulfate de soude* agissent de même, employés en petite quantité.

Plâtre. Le sulfate de chaux est un des engrais miné-

raux les plus utilisés dans l'agriculture; il convient surtout aux prairies artificielles formées par le trèlle, la luzerne et le sainfoin : son action est nulle sur les céréales, peu sensible sur les récoltes sarclées et les prairies naturelles.

Le plâtre doit se répandre en poudre au printemps et lorsque les plantes qui le reçoivent ont acquis un certain développement; on l'applique le matin pour qu'il puisse adhérer aux feuilles encore mouillées par la rosée.

Le plâtre cru est aussi bon que celui qui a subi la cuisson; ce dernier cependant a l'avantage de se réduire plus facilement en poudre. On donne par hectare depuis 200 jusqu'à 2000 kil. de cette matière.

Le plâtre est absorbé par les plantes, surtout par celles dont la croissance est rapide; il est à présumer que le plâtre agit utilement sur les prairies artificielles en fournissant au sol la chaux qui lui est nécessaire.

TRANSPORT DES ENGRAIS.

Dans la pratique agricole, les engrais se transportent à l'aide des charrettes ordinaires de la ferme; lorsqu'il s'agit d'opérations agricoles ayant pour but de fertiliser une étendue un peu considérable de terrain et pour le transport des amendements volu-

Fig. 768.

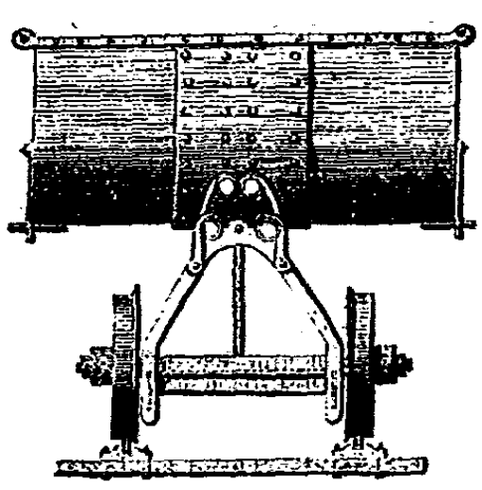


Fig. 768 *bis*.

mineux, comme la marne, les vases de rivières, etc., il est économique d'employer de petits wagons roulants sur des rails légers (fig. 768 et 768 *bis*).

DES SELS AMMONIACAUX.

Les sels à base d'ammoniaque ont été essayés comme engrais. M. Schattenmann a trouvé que des dissolutions de ces sels à 1 degré de force et à la quantité de 2 litres par mètre carré de surface donnaient les résultats les plus satisfaisants, répandues sur les prés, les champs de froment, d'orge et d'avoine; ces dissolutions n'ont produit aucun effet sur la luzerne et sur le trèfle, mais elles ont donné des résultats avantageux sur les prés naturels, quand elles ont été répandues dès que la végétation devenait active. Ainsi, par exemple, M. Schattenmann a récolté, sur la partie d'une prairie haute et sèche, arrosée avec 2 litres de sulfate d'ammoniaque de 1 degré (à l'aréomètre de Baumé) par mètre carré, 89 kil. de foin par are, tandis qu'à côté l'are n'a donné que 51 kil.

M. Ed. Solly a reconnu que l'hydro-sulfate d'ammoniaque étendu d'eau agissait très-favorablement sur la végétation des plantes potagères.

Malgré les expériences si positives de ces savants, M. Bouchardat prétend que les sels ammoniacaux, même a des doses très-faibles, sont contraires à la végétation.

Des expériences de M. Boussingault il paraît résulter que les sels ammoniacaux portent de l'azote dans les plantes, mais qu'ils n'y pénètrent qu'à l'état de carbonate, le sulfate, l'hydro-chlorate et les autres sels à base d'ammoniaque étant décomposés par le carbonate de chaux qui se trouve dans le sol. On sait que toutes les fois qu'on met en présence deux sels à l'état pulvérulent, avec la quantité d'eau strictement nécessaire à la réaction sans en dissoudre les produits, s'il peut se former un composé volatil, ce composé se forme et se dégage; c'est ce qui arrive dans la terre. La réaction contraire aurait lieu si l'on mettait en présence deux dissolutions, l'une de sulfate de chaux et l'autre de carbonate d'ammoniaque : le carbonate de chaux insoluble se formerait et se précipiterait.

DE L'EAU.

L'eau doit être considérée comme jouant un certain rôle dans l'agriculture, comme véhicule de substances salines dont la quantité, dans quelques cas, n'est pas négligeable.

L'eau de rivière et celle de source, qui toutes deux sont employées dans l'agriculture, renferment une bien plus grande quantité de matières salines que l'eau de pluie; ces sels proviennent des terrains que ces eaux ont traversés, aussi leur composition est-elle très-variable.

Quand un agriculteur aura le choix entre plusieurs eaux, pour abreuver ses animaux ou pour drainer ses terres, il devra donner la préférence à la plus riche en sels alcalins, sans cesser d'être potable.

M. Boussingault a trouvé qu'à Bechelbronn les eaux qui servent à abreuver le bétail introduisent annuellement dans le fumier plus de 100 kilog. de sels alcalins.

ENGRENAGE. Voy. MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE, et *Complément* ENGRENAGE.

ENRAYURE. Pour diminuer la rapidité de la course d'une voiture, lorsquelle descend une pente, on place un sabot en fer sous une ou plusieurs des roues; ce sabot retenu aux brancards ou à l'essieu par une chaîne, empêche la roue de tourner et augmente la résistance, en convertissant le frottement de roulement de la roue en frottement de glissement. On produit un effet analogue dans les diligences, au moyen d'une espèce de frein en bois, qui vient presser plus ou moins les jantes des roues de derrière et que le conducteur serre ou desserre à volonté de sa place, à l'aide d'un système de leviers coudés, dont le dernier est lié à une tige verticale terminée par une vis qui mord dans un écrou fixé au haut de la caisse, et que le conducteur fait monter ou descendre en tournant, dans un sens ou dans l'autre, une manivelle placée à la tête de la vis.

C'est ce système, dû à M. Molard, directeur du Conservatoire de 1810 à 1815, qui a fourni le point de

départ des nombreux systèmes de freins qu'a fait combiner l'exploitation des CHEMINS DE FER. Dans ce cas plus nettement encore que dans les voitures traînées par des moteurs animés, on voit clairement le phénomène mécanique qui les fait employer, à savoir la consommation de la force vive emmagasinée dans le système en mouvement pour produire le travail résistant du frottement engendré par le serrage du frein contre la jante de la roue.

ENVELOPPES DE LETTRES. L'exécution par machines, et par suite à très-bas prix, des enveloppes a fait de ce petit objet un article dont la production a acquis une certaine importance.

La première condition de couper les enveloppes dans une pile de feuilles de papier, à l'aide d'emporte-pièces, de couteaux convenables pour couper le papier, est facilement remplie; nous ne nous y arrêterons pas.

Les machines à enveloppes ont à plier, coller et timbrer les enveloppes; parmi plusieurs fort curieuses, nous donnerons celle de M. Rémond, de Birmingham (fig. 1 et 2), et en emprunterons la description à un rapport fait par M. Dumery à la Société d'encouragement.

Pour confectionner une enveloppe de lettre, il faut avant tout prendre une feuille de papier ayant la forme voulue, et la transporter sous la machine qui doit la plier. Or, on sait combien il est difficile de saisir, de transporter et de déposer une feuille de papier dans un temps très-court et avec certitude de ne pas la froisser.

Cette première opération du soulèvement, du transport et de la pose de la feuille, est opérée d'une manière toute nouvelle dans cette machine.

Un tuyau méplat, en forme de fourche à deux branches et percée d'une multitude de trous à sa partie inférieure, vient se poser sur la pile du papier découpé. Le manche de la fourche est un tuyau en communication avec un soufflet qui fait le vide, et force ainsi la première feuille à adhérer à ce tuyau qui la soulève, la transporte presque tendue à la place qu'elle doit occuper, avec la célérité et la rectitude de mouvement que possèdent les pièces métalliques de la machine.

Dès que la feuille est ainsi placée, supposez qu'on la fasse descendre dans une boîte rectangulaire à l'aide d'un bouchon de même forme que la boîte, et que le milieu de l'enveloppe restant horizontal, force les quatre lèvres de l'enveloppe à se redresser à angle droit; puis que l'on sorte le bouchon de ce moule carré en y laissant l'enveloppe, que l'on incline légèrement les quatre lèvres en forme de pyramide, et que l'on descende le bouchon pour aplatir et comprimer l'enveloppe contre le fond de la boîte, enfin que l'on fasse basculer le fond de cette boîte pour que l'enveloppe pliée tombe à la partie inférieure, et vous avez, en somme, la série des opérations à accomplir et une idée sommaire des principales fonctions de la machine.

C'est encore l'air atmosphérique, qui déjà d'une part, par la dépression du soufflet, a permis d'enlever et de transporter la feuille, et d'autre part l'a fait abandonner par une insufflation, alors qu'elle était à destination, qui joue dans les opérations que nous venons de décrire un rôle actif d'une toute autre nature.

Comme nous l'avons dit, le bouchon ou moule intérieur, après avoir descendu la feuille dans une boîte de même forme, et après avoir forcé les quatre lèvres à se plier à angle droit, remonte, laissant l'enveloppe tapisser le fond et les quatre côtés de cette espèce de caisse, mais avant que le bouchon n'y replonge de nouveau, il faut incliner les lèvres de l'enveloppe vers le centre, afin qu'en descendant une dernière fois sur la même enveloppe, le bouchon en trouve les quatre côtés inclinés et n'ait plus qu'à les aplatir en les comprimant sur le fond de la caisse. Cette inclinaison à donner aux quatre côtés de l'enveloppe, c'est encore l'air qui le produit, par suite d'une insufflation

faite, dans le moment opportun, à travers des fentes placées sur chacun des quatre côtés de la caisse, à une faible distance au-dessus du pli ou cassure.

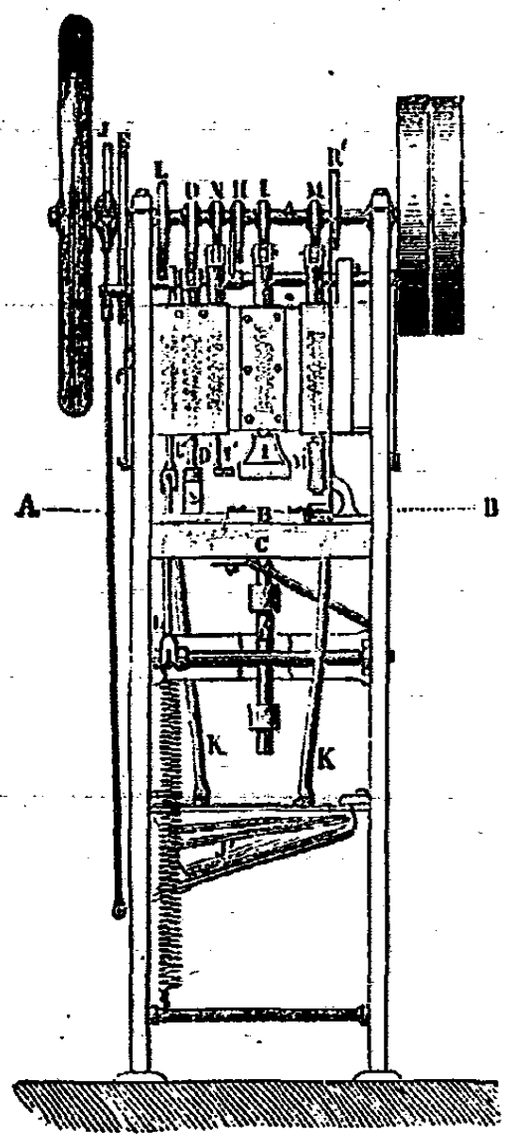
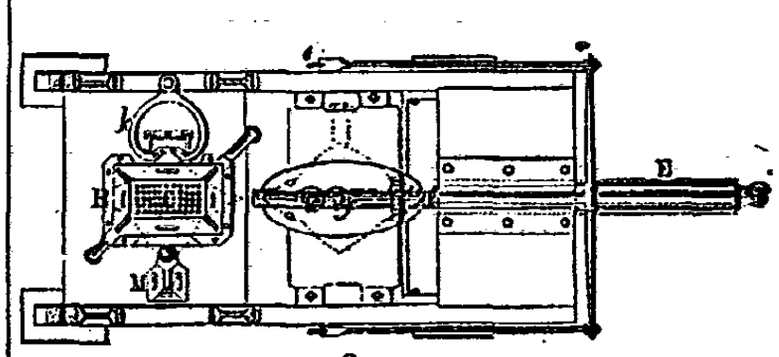


Fig. 1, vue de la machine; fig. 2, coupe par AB. B boîte en bronze rectangulaire dans laquelle se fait le pliage. C fond de la boîte percé de trous pour l'échappement de l'air. Il est maintenu en place par un ressort qui agit sur le levier D' et écarté quand l'excentrique D agit sur celui-ci. E excentrique qui agit sur l'axe coudé e' et par des tringles le chariot K (fig. 2) qui font corps avec l'alimenteur f, percé de trous à la partie inférieure et communiquant avec le soufflet par un tube en caoutchouc. La pile des feuilles monte par l'effet d'un long ressort à boudin agissant sur des axes coudés, et s'abaisse par l'action de l'excentrique L. Elle est toujours en contact avec l'alimenteur. I Excentrique qui fait descendre deux fois la boîte. N' tige mue par N, pressant sur une éponge imbibée d'eau gommée. M' timbre mû par M; s'il est humide un rouleau encreur est mû par l'excentrique R'.



2.

Nous devons ajouter que, au moment où l'appareil pneumatique présente la feuille au-dessus du moule, et pendant que celle-ci est encore plane, les extrémités des deux grands côtés de l'enveloppe sont simultanément touchées en dessous, l'une par une petite éponge constamment imbibée de gomme, et l'autre par un timbre sec ou humide qui dépose la marque que doit porter l'enveloppe, en sorte que, après l'opération du pliage, l'enveloppe sort complétement terminée.

Cette machine produit environ 20,000 enveloppes, pliées, collées et timbrées dans un jour.

Cette machine est loin d'être la seule; il en existe de plusieurs genres, mais l'introduction dans celle de M. Rémond de l'insufflation de l'air nous a semblé la rendre particulièrement remarquable, car c'est là un nouveau moyen de prendre et de conduire une feuille

de papier, qui a pu trouver de nouvelles applications, comme nous le verrons à l'article RELIURE, pour une machine à plier. L'ouvrière place simplement la feuille de papier dans les autres machines, et il n'est pas difficile de pousser les bords de l'enveloppe dans la boîte, par des pièces mues mécaniquement. Nous donnons à l'article SAC du *Complément* la description d'une curieuse fabrication mécanique de ce genre, fort analogue à celle des enveloppes.

ENVELOPPE DE MACHINE A VAPEUR. — L'enveloppe du cylindre remplie de vapeur constitue le moyen de réchauffer la vapeur qui se détend en poussant le piston; et comme c'est en réalité la chaleur qui se convertit en travail mécanique, celle qui est ainsi transmise l'est dans des conditions excellentes d'utilisation. Nous donnons à l'article MACHINE A VAPEUR les expériences qui montrent les bons résultats que procure l'emploi des enveloppes.

ÉPICYCLOÏDE. — Courbe tracée par un point d'un cercle roulant sur la circonférence d'un autre cercle, ou ce qui revient au même, dont l'axe est monté en un point de la surface du premier, de manière à posséder un double mouvement de rotation. Le rapport de ces deux rotations fait varier le nombre d'arcs semblables qui existent entre le point initial de l'axe et son retour à la même position. De là ce curieux résultat que l'on peut tracer des courbes épicycloïdales de complication très-grande et très-propres au guillochage, à la décoration de surfaces circulaires par des procédés mécaniques.

ÉPINGLE (*ang.* pin, *all.* stecknadel). La fabrication des épingles a toujours été considérée comme extrêmement curieuse à cause de la multiplicité des opérations nécessaires pour fabriquer cet objet à si bon marché. Depuis Adam Smith, elle a toujours été citée comme l'exemple le plus saisissant des effets de la division du travail.

Avant de la décrire, je dirai toutefois que le progrès de la mécanique fera bientôt disparaître les anciens procédés de fabrication. Des machines évidemment inspirées par les machines à pointes, permettent de fabriquer aisément des épingles d'acier, bien plus résistantes que celles en laiton. Les têtes obtenues par refoulement du fil qui se déroule d'une bobine, sont préférables à celles des épingles anciennes où elles peuvent souvent se séparer de la tige.

La confection des épingles comprend quatorze opérations distinctes.

1° *Dressement du fil.* L'ouvrier prend l'écheveau de fil de laiton venant de la filière, et pour lui faire perdre sa courbure, il le place sur un dévidoir, et en faisant passer le bout, après l'avoir saisi avec des tenailles, entre les clous d'un instrument qu'on nomme *engin*, il le tire en courant sur une longueur d'environ 10 mètres; quittant ce bout, il revient à l'engin, où il coupe le fil; après quoi il recommence la même opération, et cela jusqu'à la fin de la botte de fil. Lorsque l'ouvrier en a dressé une botte de 10 à 15 kilog., ce qui s'appelle une *dressée*, il en prend le bout du côté de l'engin, sur lequel il frappe de petits coups avec une spatule, pour les mettre tous dans le même plan vertical; il lie ensuite la botte avec du fil de laiton, et la découpe par longueurs de 3 ou 4 en *tronçons*, avec une cisaille.

2° *Empointage.* Cette opération s'exécute sur des meules de fer ou d'acier, taillées en lime et trempées en paquet à toute leur force. Les épingliers en ont de deux tailles différentes, l'une pour dégrossir, dont la taille est forte, et une d'un diamètre moins grand, dont la taille est plus fine, et qui sert à terminer la pointe.

3° *Découpage des tronçons par longueur d'épingle.* Tant que les tronçons conservent assez de longueur pour être saisis à la main, le coupeur en prend une poignée qu'il présente à une cisaille disposée à cet effet. Avant de la faire agir, il a soin que toutes les pointes se trouvent dans un même plan vertical parallèle au tranchant de la branche fixe; ce qui s'obtient au moyen d'une feuille de tôle placée à la distance convenable, qui détermine la longueur des épingles. Il rend à l'empointeur les tronçons qui n'ont plus de pointes, et lorsqu'enfin ces tronçons ne contiennent plus que deux épingles, et qu'il faut les couper par le milieu, il les assujettit avec un coin dans une espèce de boîte en fer, ce qui permet de les présenter à la cisaille. Les tronçons ainsi empointés s'appellent *hanses*; ils portent une petite rebarbe occasionnée par la cisaille, qui sert à arrêter et à fixer les têtes.

4° *Tortillement du fil pour faire les têtes.* Le fil de laiton qu'on destine à faire les têtes est plus mince que celui des épingles. On le tortille en hélice sur une broche, comme les élastiques de bretelles, sur une longueur de 1 mètre et 1/2 à 2 mètres, à l'aide d'un petit touret.

5° *Couper les têtes.* Un ouvrier assis par terre prend dans une de ses mains une douzaine de ces petits torons, qu'il présente par un de leurs bouts bien égalisés, à une cisaille dont il fait agir la branche supérieure, l'inférieure étant fixée avec l'autre main, observant de ne jamais couper ni plus ni moins de deux révolutions de fil.

6° *Recuire les têtes.* On prend une grande cuillère en fer, qu'on remplit de têtes, on la fait rougir sur un brasier, et on la trempe immédiatement dans l'eau froide; la trempe produisant sur le cuivre un effet inverse de celui qu'elle produit sur l'acier, on ramollit ainsi les têtes, et on en rend le *frappage* plus facile.

7° *Frapper* ou *façonner les têtes.* Cette opération, qui n'a rien de pénible, s'exécute par des femmes ou des enfants, au moyen de petits montants fixés sur les côtés d'une table. Chaque ouvrière ou *têtière*, assise sur un banc en face de son mouton, les deux avant-bras placés sur des appuis fixés au niveau de la table, fait jouer le mouton avec un de ses pieds, à l'aide d'une pédale et d'un levier correspondant placé dans le haut, sur les traverses supérieures. La masse du mouton, qui ne pèse que 1 kilogr. à 1 kilogr. et 1/2, porte de chaque côté deux petites oreilles percées de trous verticaux, dans lesquels passent deux petites tringles en fer solidement fixées en haut et en bas, qui servent de guide au mouton, conjointement avec une tige qui, partant du milieu de ce mouton, va passer dans un trou correspondant, percé dans la traverse supérieure qui assemble les poteaux verticaux qui s'élèvent à chaque angle de la table. Sur le haut de cette tige est une masse de plomb de forme sphérique ou cylindrique, pesant environ 5 kilogr. La tête du mouton se termine par une pièce en fer dans laquelle est enchâssée une petite matrice en acier percée d'une *anche* ou *têtoir*, cavité hémisphérique destinée à former la moitié de la tête de l'épingle; au-dessous est une petite enclume portant également une matrice percée d'une anche toute semblable qui communique avec une petite rigole creusée dans l'outil et servant à recevoir le corps de l'épingle, qui serait aplatie sans cette précaution. Chaque ouvrière est munie de trois écuelles en bois, dont l'une est pleine de hanses empointées, une autre de têtes, et la dernière sert à mettre les épingles terminées. D'une main, elle enfile, sans y regarder, les épingles dans les têtes, ce qui s'appelle *brocher*, de l'autre elle les place dans les anches, et elle fait jouer le mouton avec le pied, en ayant soin de faire tourner en même temps l'épingle pour bien frapper la tête de tous les côtés. Il faut 5 ou 6 coups de mouton pour chaque tête.

8° *Jaunir* ou *décaper les épingles.* Les épingles sortant des mains des *têtières* sont noires, surtout la tête; on les décape en les faisant bouillir pendant 1/2 heure

dans de la lie de vin ou une dissolution de crème de tartre; on les lave ensuite à l'eau avec soin.

9° *Blanchir* ou *étamer les épingles*. Cette opération, dont nous avons déjà donné la théorie aux articles ALLIAGES et DORURE, s'exécute ainsi qu'il suit : on a des bassins d'étain de 0m,45 de diamètre, à rebords très peu élevés; on en couvre le fond d'une couche très mince d'épingles de la même espèce; puis, posant ces bassins l'un sur l'autre, en forme de pile, au nombre de 18 ou 20, et cette pile sur une grille de fer où sont attachées 4 cordes, deux ouvriers les portent dans une chaudière de cuivre, ayant 0m,50 de diamètre et de 0m, 75 à 0m,80 de profondeur, établie sur un fourneau; ils continuent à y ajouter autant de piles semblables que la chaudière peut en contenir, en ayant soin de faire sortir en dehors le bout des cordes attachées aux grilles. On remplit ensuite cette chaudière d'eau bien limpide, dans laquelle on jette 2 kilogr. de crème de tartre; on laisse bouillir le tout ensemble pendant 4 heures; après quoi on retire séparément chaque pile, qu'on plonge dans de l'eau fraîche et claire.

10° *Éteindre les épingles*. On donne ce nom au lavage à l'eau froide qu'on fait subir aux épingles.

11° *Séchage et polissage*. On sèche les épingles et on les polit en les mettant avec du son, dans un tonneau que l'on fait tourner sur son axe.

12° *Vannage*. On sépare les épingles du son, au sortir du tonneau, au moyen d'un van à blé ordinaire ou ventilateur.

13° *Piquer les papiers*. Les épingles se vendent ordinairement *boutées* dans du papier, par rangées de 25, 50 ou 100. Ce papier est disposé de manière à présenter autant de fois deux plis qu'on veut mettre de rangées d'épingles; et puis, au moyen d'un peigne à manche, dont les dents, au nombre de vingt-cinq, sont très effilées, on perce à l'endroit du pli, en frappant avec un marteau sur le manche du peigne.

14° *Boutage*. Opération qui consiste à placer les épingles dans les trous du papier.

ÉPISSURE. Épisser, c'est réunir deux cordes bout à bout en un seul brin, sans les nouer. Le procédé le plus usité est l'*épissure longue*, qui conserve à la corde son diamètre. Pour le faire, on commence par détordre 15 à 20 centim. d'un toron de chacun des bouts des cordages qu'on veut joindre. Rapprochant les deux bouts l'un de l'autre, on fait entrer le toron détordu de l'un d'eux dans le vide qu'a laissé le toron détordu de l'autre, et on les enlace ensemble, de manière à les bien arrêter. Cela fait, on procède à l'entortillement des deux autres torons de la même manière, en remplaçant le toron qu'on défait, au fur et à mesure, d'un des bouts du cordage, par le toron correspondant de l'autre, et les arrêtant tous trois à de certaines distances les uns des autres. Pour éviter qu'une épissure se défasse, on passe avec un pinceau une légère couche de colle-forte sur chaque nœud des torons, après en avoir coupé les bouts excédants, et quelquefois même après avoir entouré d'une ficelle serrée l'épissure sur toute son étendue.

ÉPONGE (*angl.* sponge, *all.* schwamm). L'éponge est un tissu fibreux plus ou moins dense, plus ou moins flexible, qui est produit par de petits animaux presque imperceptibles, appartenant au genre *polypes*, et qui vivent dans la mer. Ce tissu est enduit, dans son état naturel, d'une sorte de gelée animale, à demi-fluide et très mince, susceptible, dit-on, d'éprouver une légère contraction ou frémissement lorsqu'on la touche, et c'est le seul signe de vie qu'on y ait remarqué. Après la mort, cette gelée disparaît, et il ne reste que le tissu ou éponge qui lui sert de base; elle est formée de la réunion d'une multitude de petits tubes capillaires, susceptibles de recevoir l'eau dans leurs interstices et de se distendre considérablement. Les éponges se trouvent au fond de la mer, attachées à des pierres; c'est particulièrement dans les parages des îles de l'archipel qu'on les rencontre en plus grande abondance.

L'éponge, quoique d'une origine analogue à celle du corail, est cependant d'une nature tout à fait différente. Le corail est presque entièrement composé de carbonate de chaux, tandis que l'éponge est formée des mêmes éléments que les matières animales, et elle fournit à la distillation une assez grande quantité d'ammoniaque.

Les usages des éponges sont assez nombreux : les plus fines sont employées pour la toilette ou pour le pansement de certaines plaies; celles qui sont grossières servent pour nettoyer les chevaux, les harnais, les voitures et pour laver les parquets.

Les éponges renferment beaucoup de matières étrangères, telles que des fragments de rocailles, des cailloux, du sable, des débris de madrépores et des têts de mollusques. Leurs fibres sont souvent recouvertes d'un enduit variable par sa consistance, sa couleur et sa nature; et ce n'est qu'après les avoir débarrassées de toutes ces substances qu'elles deviennent propres au service.

Pour les débarrasser du sable, de l'argile desséchée, et de la matière qui enduit leurs fibres, on les bat et on les lave à grande eau sans trop les froisser; mais pour enlever les autres parties, on est obligé de les faire sortir *à la main*, ce qui exige une assez grande dépense, et détruit quelquefois le tissu des éponges, à cause des déchirements que l'on est obligé de leur faire subir pour en retirer ces corps étrangers. Les cailloux siliceux ne peuvent être extraits que de cette manière; mais on parvient très bien et à peu de frais à enlever les parties calcaires, en traitant les éponges par de l'acide hydro-chlorique très affaibli, marquant 8 à 10° au plus, puis les lavant à grande eau.

Dans ces derniers temps, on a employé l'acide sulfureux et surtout le chlore, pour blanchir les éponges, et ce dernier moyen surtout a parfaitement réussi. Il n'est en usage que pour les éponges très fines destinées à la toilette; il en affaiblit peu le tissu, et leur donne plus de valeur.

Les chirurgiens font quelquefois usage de l'éponge pour empêcher des plaies de se cicatriser en les tenant constamment ouvertes, ou pour les dilater. Pour cela, les éponges sont préparées de deux manières : 1° à la cire; 2° ficelées. Pour préparer les éponges à la cire on les coupe par tranches, on les plonge dans de la cire fondue, puis on les comprime assez fortement jusqu'à ce que la cire soit solidifiée. Pour avoir des éponges ficelées, on les mouille et on enroule autour, en la serrant fortement, une ficelle que l'on a fixée par une de ses extrémités, puis on les conserve en cet état. Préparées par l'un ou l'autre moyen, les éponges occupent un très petit volume. Si l'on en coupe un fragment, et si on l'introduit dans une plaie, il s'y gonfle et en dilate l'ouverture. Les éponges ficelées sont préférées aux éponges préparées à la cire, parce qu'elles agissent plus efficacement.

Enfin, on emploie aussi l'éponge pour le traitement des goîtres; mais dans ce cas, ce n'est qu'après lui avoir fait subir une calcination en vase clos. On met le résidu charbonneux, réduit en poudre, dans une espèce de sachet qu'on applique sur la tumeur. C'est sans doute à la présence d'une petite quantité d'iode que l'on doit rapporter l'efficacité des éponges dans le traitement des maladies scrofuleuses.

EPSOM (*sel d'*). Voyez SULFATE *de magnésie*.

ÉPUISEMENT DES EAUX. Voyez HYDRAULIQUE, MINES, POMPES, etc.

ESCARBILLES. On nomme, en fabrique, escarbilles, les parties de houille, incomplétement brûlées, qui tombent sous la grille. C'est une espèce de coke d'une densité variable, mélangé avec les cendres. La production des escarbilles est une perte pour le fabricant, elle est

considérable, avec un chauffeur négligent, avec un foyer d'une construction vicieuse. Elle sera moindre tant que toutes les proportions du foyer seront bien calculées, que la température en quelque endroit n'y sera pas abaissée brusquement, que le chauffeur chargera sa grille régulièrement, en rejetant la houille d'avant en arrière, pour la brûler complétement, et qu'il aura soin de ramasser à la pelle les parties de houille qui tomberont du foyer, quand il est forcé d'extraire le mâchefer, pour les recharger avec de la houille neuve. On a cru qu'un appareil distributeur de charbon assurerait un chargement uniforme, une combustion complète.

Différents systèmes ont été essayés; ils paraissent abandonnés; on compte fort peu d'établissements qui aient adopté un moyen mécanique d'alimentation pour les foyers.

Laisser les escarbilles avec les cendres serait une perte pour le manufacturier : ces escarbilles pouvant servir dans des foyers où la température n'est pas très haute, dans les appareils de chauffage, par exemple, pour les ateliers, bureaux, etc. Les escarbilles sont séparées des cendres par le tamisage au moyen d'un crible, ou en jetant le mélange contre une claie. Les plus gros morceaux de coke sont triés à la main par des enfants, des femmes, etc., qui en rejettent le mâchefer.

Sur les chemins de fer, les cantonniers ramassent sur la voie les escarbilles qui tombent des locomotives, pour le chauffage des stations. Comme le crible laisse toujours passer les fragments les plus petits, toutes les escarbilles ne sont pas recueillies par ce moyen. Nous en indiquerons un autre qui donne de bons résultats dans les fabriques où il est employé. Les cendres provenant du crible sont agitées à la pelle dans un baquet à moitié rempli d'eau. Les escarbilles viennent nager à la surface, le coke en petits fragments étant spongieux et rendu plus léger d'ailleurs par l'air contenu dans ses interstices. On enlève successivement les couches qui se forment à la surface de l'eau. Quand elle devient trop bourbeuse, on la change, et l'opération recommence. Nous appellerons aussi escarbilles les résidus de la combustion du bois, bien que ce nom soit réservé particulièrement aux résidus de la combustion de la houille.

Dans les fabriques où l'on brûle du bois il tombe des grilles une assez grande quantité de braise. Ce charbon léger brûlant très facilement se consume en pure perte dans les cendriers. Il faut toujours laisser 5 à 6 centimètres d'eau dans le fond des cendriers. On y trouve le double avantage de ménager la grille et de ne pas perdre les escarbilles. En outre, la braise mal éteinte, mise en tas, se rallume facilement, peut brûler à l'extérieur fort longtemps sans qu'on s'en aperçoive, et finir par causer de graves accidents. Nous en avons eu malheureusement un exemple récent dans une fabrique de sucre chauffée au bois. Suivant nous, il vaut mieux jamais ne laisser les escarbilles en grands tas et autant que possible les utiliser au fur et à mesure de leur production; que les escarbilles proviennent de la houille, du bois ou de la tourbe, on peut en faire des BRIQUETTES en les agglomérant à l'aide d'argile délayée en bouillie. On utilise ainsi divers combustibles de peu de valeur qui, sans cette préparation, seraient d'une combustion difficile et passeraient entre les barreaux des grilles.

ESSAIS (*angl.* assays, *all.* probiren). Nous ne parlerons dans cet article que des essais des matières d'or et d'argent, en renvoyant pour les autres métaux à l'article de chacun d'eux en particulier.

ESSAI DES MATIÈRES ARGENTIFÈRES. Les matières argentifères sont de deux sortes : 1° celles qui peuvent être immédiatement soumises à la coupellation : ce sont les alliages avec le plomb et le cuivre, les sulfures de plomb et de cuivre et le chlorure d'argent; 2° celles qui doivent d'abord subir un traitement préalable. Nous parlerons d'abord de ce traitement, qui consiste à faire passer l'argent dans un alliage plombifère susceptible d'être coupellé, et qui s'exécute, soit par fusion avec un flux réductif, soit par fusion avec un flux oxydant, soit par scorification.

Fusion avec un flux réductif. On fond immédiatement avec un flux réductif, du flux noir par exemple, toutes les matières plombeuses en agissant comme s'il s'agissait de faire un essai pour PLOMB, et on coupelle ensuite le culot de plomb obtenu. On essaie comme pour CUIVRE, tous les minerais de cuivre argentifères, parce que le cuivre allié d'argent que l'on obtient peut passer immédiatement à la coupellation, si l'on a soin d'y ajouter 16 à 17 parties de plomb. On fond encore avec un flux réductif toutes les matières argentifères non plombeuses, en y ajoutant une certaine quantité de litharge qui puisse produire le plomb métallique avec lequel l'argent doit se trouver allié; lorsque ces matières renferment de l'arsenic ou de l'antimoine, il faut d'abord les griller aussi complétement que possible.

Fusion avec des réactifs oxydants. Les réactifs oxydants dont on fait usage dans l'essai des minerais d'argent, sont la litharge et le nitre. On sait que la litharge attaque tous les sulfures, arsénio-sulfures, etc., et qu'elle en oxyde à peu près tous les éléments, excepté l'argent, lorsqu'elle est employée en quantité suffisante. Il se réduit une quantité de plomb proportionnelle à la quantité des matières oxydables; en sorte qu'il résulte de l'essai une scorie dans laquelle l'oxyde de plomb domine, et un alliage de plomb et d'argent qui ne contient ordinairement que très peu de métaux étrangers, si ce n'est du cuivre, et qui peut être soumis immédiatement à la coupellation. Ce mode d'essai est très commode et très expéditif. On mêle exactement le minerai, pulvérisé et laminé, on place le mélange dans un creuset, on met par dessus une couche mince de litharge pure, on chauffe rapidement, et l'on retire le creuset du fourneau aussitôt que la matière est devenue parfaitement liquide. Il est nécessaire d'employer une grande quantité de litharge, parce qu'on a reconnu que, pour que les scories ne retiennent pas d'argent, il est indispensable qu'il n'y reste pas la moindre trace de matières sulfurées. Les pyrites en exigent jusqu'à 50 parties; le mispickel, la blende, le sulfure d'antimoine, le cuivre pyriteux, et les cuivres gris en exigent vingt-cinq à trente fois leur poids; on n'en emploie que 4 à 5 parties pour la galène et le sulfure d'argent. Cette proportion diminue lorsque le minerai est mélangé de gangues pierreuses, et l'expérience a appris qu'il suffit généralement de 10 à 20 p. de litharge pour les minerais tels qu'ils sont livrés aux usines de fonte ou d'amalgamation. Ce mode d'essai a l'inconvénient de produire une quantité de plomb trop considérable. On évite cet inconvénient en effectuant en partie cette oxydation par le nitre. A cet effet, on fond 1 p. du minerai avec 30 p. de litharge au moins, et l'on pèse le culot de plomb; ayant apprécié approximativement le poids minimum que doit avoir ce culot pour que d'un côté le *plomb d'œuvre* obtenu ne soit pas trop riche et que de l'autre la coupellation ne soit pas trop longue, on a, par différence, la quantité de plomb qu'il faudrait laisser dans les scories à l'état d'oxyde; l'expérience ayant montré que l'oxydation de 1 p. de plomb exige 0,25 à 0,30 p. de nitre, il est facile de déterminer la quantité qu'il faut employer pour atteindre le but qu'on se propose.

Scorification. La scorification produit, de même que la fusion avec la litharge, un alliage d'argent et de plomb susceptible d'être coupellé, et une scorie très fusible qui se compose d'oxyde de plomb et de toutes les substances étrangères à l'argent, ramenées à l'état d'oxyde; mais, dans la fusion, l'oxydation de ces ma-

ESSAIS.

tières a lieu par l'action de la litharge qui fournit en même temps, en se réduisant, le plomb qui doit entrer dans l'alliage; tandis que dans la scorification, toutes ces matières sont oxydées par voie de grillage, au moyen de l'oxygène de l'air, et que la litharge elle-même est produite par l'oxydation d'une partie du plomb métallique qu'on mélange avec la matière à essayer. Le plomb que l'on ajoute est du plomb granulé, qui se prépare en versant du plomb fondu dans une botte en bois, l'agitant vivement jusqu'à solidification complète, puis le passant à travers un tamis de crin assez gros. Il faut tenir compte de la quantité d'argent que renferme le plomb que l'on ajoute; il convient donc d'employer du plomb extrêmement pauvre. Le meilleur que l'on puisse se procurer s'obtient en réduisant par un peu de charbon, le carbonate de plomb de Clichy, préparé au moyen de l'acétate. Lorsqu'on opère par fusion avec la litharge, il faut également tenir compte de sa teneur en argent, et il faut la prendre aussi pauvre que possible. Le minium fabriqué avec le carbonate de plomb de Clichy est très convenable, seulement il faut faire attention que le minium renferme plus d'oxygène que la litharge, et agit par conséquent comme un mélange de litharge et de nitre.

La scorification se fait dans des vases ronds et peu profonds, en terre réfractaire, auxquels on donne le nom de *scorificatoires*, et que l'on frotte préalablement à l'intérieur avec de la sanguine (oxyde rouge de fer), afin de diminuer l'action corrosive de la litharge; on les chauffe sous la moufle d'un fourneau de coupelle. Avant d'introduire les scorificatoires dans la moufle, on met dans chacun d'eux un poids déterminé de minerai réduit en poudre, qu'on mélange intimement avec une quantité convenable de plomb granulé et un peu de borax. On ferme la porte de la moufle et on donne un coup de feu pour faire fondre le plomb; on diminue alors le feu et l'on donne accès à l'air en ouvrant la porte. Le courant d'air qui s'établit dans la moufle commence aussitôt le grillage, qui continue de lui-même sans qu'il soit nécessaire d'agiter. Par l'effet de l'oxydation, il se forme sur le bain métallique des scories qui sont rejetées sur les bords, et qui, augmentant successivement, finissent par le recouvrir complétement. Quand la scorification a été poussée assez loin, on donne un fort coup de feu pour liquéfier les scories aussi complétement que possible. Celles-ci sont suffisamment fluides, lorsqu'en y plongeant un crochet de fer rougi au feu, ce crochet ne se recouvre que d'un léger enduit qui en s'écoulant ne forme pas une goutte solide à l'extrémité. Cette condition de liquidité est indispensable pour que les globules métalliques puissent se réunir tous en un seul culot. Lorsqu'on ne parvient pas à l'atteindre, c'est un signe qu'on n'a pas poussé assez loin la scorification, et il faut alors la continuer, ou qu'on n'a pas employé une assez forte proportion de plomb, et dans cas il faut en ajouter une nouvelle dose. Quand l'opération est terminée et les scories bien fluides, on retire le scorificatoire avec une pince à croissant, et l'on coule immédiatement les matières qu'il contient dans une lingotière hémisphérique en fer: les parties métalliques gagnent le fond, et comme le refroidissement est subit elles n'adhèrent pas à la lingotière et forment un culot que recouvrent les scories. Celles-ci s'en détachent aisément au marteau; elles doivent être vitreuses et bien homogènes, d'une couleur variant du brun au jaune verdâtre. Le culot métallique doit être aussi ductile que du plomb pur, sans quoi il ne pourrait passer à la coupellation et il faudrait le scorifier de nouveau. En général, il est avantageux de pousser la scorification très loin, parce que l'expérience a prouvé qu'il se perd moins d'argent dans cette opération, qu'il ne s'en perd dans la coupellation qui la suit, si le culot est considérable. Cependant il y a une limite à cet égard, car, d'une part, il ne faut pas que le culot soit trop riche, auquel cas les moindres pertes en grenailles en causeraient une notable sur l'argent, et de l'autre, la litharge pourrait corroder le scorificatoire au point de le percer, et l'on manquerait l'essai. La durée d'une scorification varie de 1/2 à 1 heure au plus.

La scorification s'applique à toutes les matières argentifères sans exception, et c'est en même temps le moyen le plus commode et le plus exact. Quand la gangue du minerai est terreuse, l'oxyde de plomb, qui se forme par le grillage, se combine avec elle et en détermine la fusion; quand elle est métallique, les métaux oxydables absorbent l'oxygène de l'air, et leurs oxydes forment, avec la litharge qui se produit en même temps, une combinaison qui devient bien fusible quand la proportion de la litharge s'est accrue jusqu'à un certain point; et si la scorification a été poussée assez loin, le culot de plomb ne peut contenir, outre l'argent, qu'une certaine quantité de cuivre, qui ne l'empêche pas de passer à la coupellation.

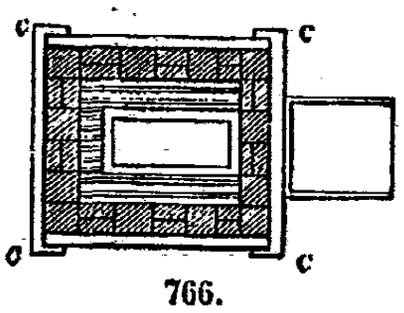
Nous avons vu que, dans la fusion, il faut employer une grande quantité de litharge, pour qu'il ne se forme pas des oxy-sulfures qui retiendraient dans les scories une quantité notable d'argent. Dans la scorification, au contraire, les scories ne contiennent jamais d'oxy-sulfures, quelque petite que soit la proportion de plomb que l'on emploie; car, quand même il s'en produirait dans le courant de l'opération, ils seraient complétement détruits par le grillage. Ces scories ne renferment donc jamais une quantité notable d'argent en combinaison, et il suffit d'ajouter assez de plomb pour qu'elles deviennent bien liquides, et que l'on ait un culot convenable.

On ajoute ordinairement 2 à 8 parties de plomb à la galène et au sulfate de cuivre, selon qu'il y a moins ou plus de gangue, et 12 à 16 p. de plomb pour les autres minerais d'argent. On met habituellement 1/2 à 1 p. de borax; on en augmente la proportion pour les matières qui contiennent beaucoup de chaux, d'oxyde de zinc ou d'oxyde d'étain. L'addition du borax a pour but de rendre les scories très fluides dès le commencement de la scorification, et en diminue de beaucoup la durée; on l'emploie récemment fondu, et on le pulvérise au moment de s'en servir.

Coupellation. La coupellation est une opération extrêmement ingénieuse, qui a beaucoup de rapports avec la scorification, et qui s'effectue à peu près de la même manière. Comme celle-ci, elle a pour but de séparer l'argent et l'or de diverses matières étrangères par le moyen du plomb; mais elle en diffère en ce que les scories sont absorbées par la matière de la *coupelle*, dans laquelle on opère, au lieu de rester à la surface du bain; de sorte que celui-ci étant toujours à découvert et exposé au contact de l'air, on parvient à oxyder non seulement les métaux étrangers, mais encore tout le plomb, et qu'il ne reste à la fin que de l'argent ou de l'or, purs ou alliés entre eux. La condition indispensable de toute coupellation étant que les scories puissent s'imbiber dans la coupelle, on conçoit pourquoi elle ne peut s'appliquer qu'à un certain nombre de substances, et non pas à toutes, comme la scorification. Le plomb et le bismuth sont les seuls métaux dont les oxydes aient la faculté de s'imbiber dans les coupelles, mais à la faveur de l'un ou de l'autre, divers oxydes, qui isolément formeraient sur la coupelle des scories infusibles, acquièrent la propriété de la traverser. Lors donc qu'on a une coupellation à faire, il faut commencer par combiner la substance avec une proportion de plomb ou de bismuth suffisante, pour que les oxydes de ces métaux puissent entraîner dans la coupelle toutes les substances étrangères oxydées elles-mêmes pendant l'opération. On n'emploie jamais le

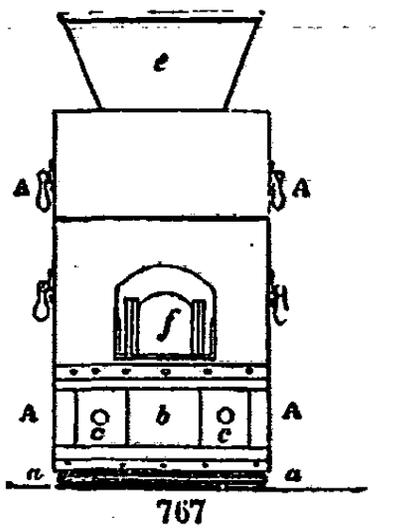
bismuth à cause de son prix élevé, et parce qu'il donne lieu à une perte notable sur l'argent.

Les coupelles, ou vases poreux dans lesquels s'exécute la coupellation, doivent présenter une texture assez lâche pour que les oxydes y pénètrent facilement, et en même temps une solidité suffisante pour qu'on puisse les manier sans les briser; de plus elles doivent être d'une nature telle qu'elles ne puissent pas être fondues par l'oxyde de plomb. Il y aurait un grand nombre de substances qui pourraient servir pour faire des coupelles, et qui rempliraient toutes ces conditions; mais on ne fait usage que des trois suivantes, parce qu'elles sont très communes, savoir : la poudre d'os calcinés, les cendres de bois et les marnes très calcaires. Ces deux dernières n'étant employées que pour les coupellations en grand, dans les traitements métallurgiques, nous ne nous occuperons que des coupelles d'os qui sont exclusivement employées dans les essais.

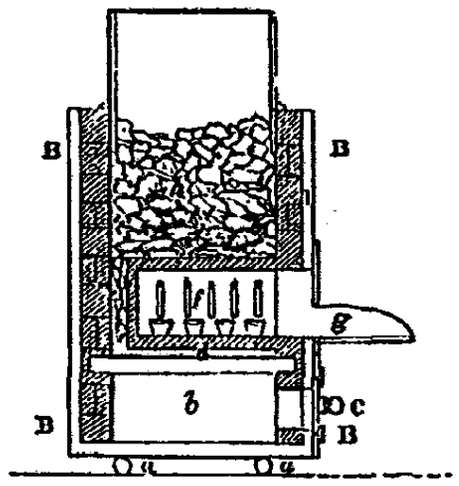


766.

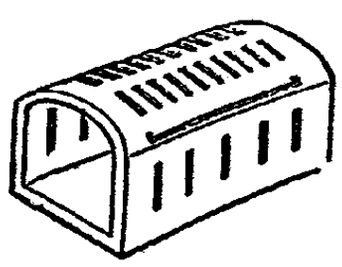
Pour les préparer, on calcine des os de bœuf ou de mouton, jusqu'à ce que toute la matière animale soit brûlée, et qu'ils soient devenus parfaitement blancs; on les pile, on les tamise et on les lave à grande eau, afin d'enlever toutes les substances solubles. La poudre lavée est du phosphate de chaux mélangé d'un peu de carbonate de chaux en partie réduit. On en fait une pâte avec de l'eau; puis on façonne cette pâte en coupelles, en la comprimant dans un moule en bronze analogue à celui dont on se sert pour faire les creusets à fondre l'ACIER. Elles sont d'autant moins sujettes à se fendiller qu'elles sont plus petites, et que leur dessiccation à l'air sec a été plus prolongée.



767



768.

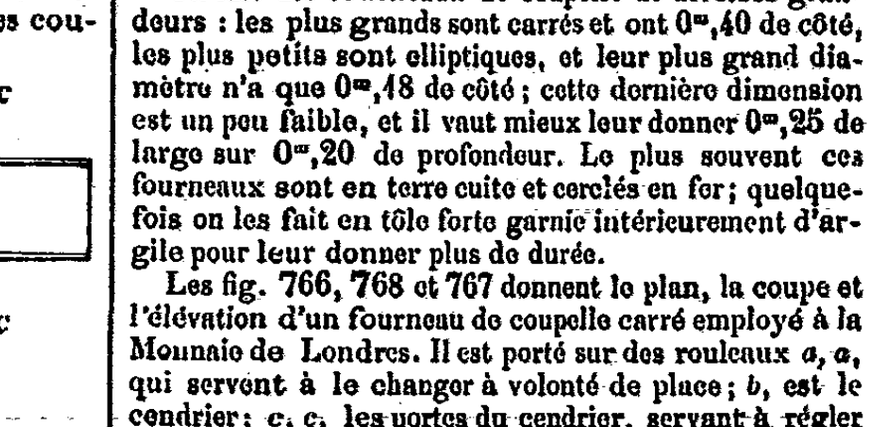

769.

On sait par expérience qu'une coupelle peut absorber un poids de litharge égal au sien. C'est de ce fait qu'on part pour choisir une coupelle d'une grandeur convenable, lorsqu'on sait d'avance quelle quantité de plomb on emploiera dans un essai. On peut néanmoins faire passer dans une coupelle beaucoup plus que son poids de litharge, en la plaçant sur un petit tas de cendres d'os; mais on doit rarement avoir recours à ce moyen, parce qu'il expose à faire *noyer* l'essai, lors même qu'on a l'attention de chauffer plus fort qu'à l'ordinaire et de donner moins d'air.

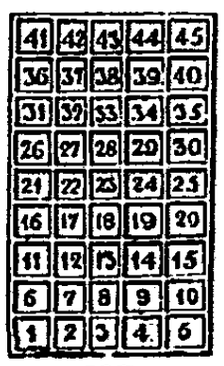
On fait les coupellations dans des fourneaux à mouffles dits *fourneaux de coupelle;* ce sont des espèces de fourneaux à réverbère portatifs, au milieu desquels on place un petit four demi-cylindrique dit *mouffle*, percé de fentes pour y déterminer un courant d'air. Cette mouffle se trouvant entourée de toutes parts de combustible embrasé, s'échauffe très fortement, et l'on peut alors y exécuter des grillages, des scorifications et des coupellations.

On fait les fourneaux de coupelle de diverses grandeurs : les plus grands sont carrés et ont $0^m,40$ de côté, les plus petits sont elliptiques, et leur plus grand diamètre n'a que $0^m,48$ de côté; cette dernière dimension est un peu faible, et il vaut mieux leur donner $0^m,25$ de large sur $0^m,20$ de profondeur. Le plus souvent ces fourneaux sont en terre cuite et cerclés en fer; quelquefois on les fait en tôle forte garnie intérieurement d'argile pour leur donner plus de durée.

Les fig. 766, 768 et 767 donnent le plan, la coupe et l'élévation d'un fourneau de coupelle carré employé à la Monnaie de Londres. Il est porté sur des rouleaux *a*, *a*, qui servent à le changer à volonté de place; *b*, est le cendrier; *c*, *c*, les portes du cendrier, servant à régler le tirage; *d*, la grille; *f*, la mouffle en avant de laquelle est la plaque de travail *g*; *e*, une trémie en tôle qui sert à charger le combustible. La fig. 769 est une vue perspective de la mouffle; elle repose sur une plaque d'argile ou de tôle, fig. 770, qui lui sert de support, et peut être fermée plus ou moins au moyen d'une porte fig. 771, mobile dans le châssis, fig. 772. On la ferme souvent seulement avec des charbons superposés, comme l'indique la fig. 773. Les fig. 774 et 775 représentent deux tisonniers; la fig. 776, les pinces qui servent à introduire et retirer les coupelles; et la fig. 777, un tableau qui sert à inscrire le rang des essais dans la mouffle et prévenir toute confusion.



Le fourneau le plus employé est celui d'*Anfrye* et *D'Arcet*, représenté en coupe et en élévation fig. 778 et



777.

779. Ce fourneau, en terre réfractaire et relié par des armatures en fer *b*, *b*, se compose de trois parties : le *cendrier* C, le *laboratoire* B, et le *dôme* A. Ce dernier est surmonté d'une cheminée en tôle, *a*, destinée à déterminer dans le fourneau un tirage actif que l'on règle au moyen de la valve ou registre *g*. On peut également le faire varier en fermant plus ou moins la porte *y* du cendrier, au moyen du tasseau en terre cuite *r*; *v*, est la grille; *u*, la mouffle, dont on peut fermer l'ouverture *i*, au moyen du tasseau *m*; *p*, est une ouverture pratiquée sur le derrière du laboratoire et qui sert à introduire

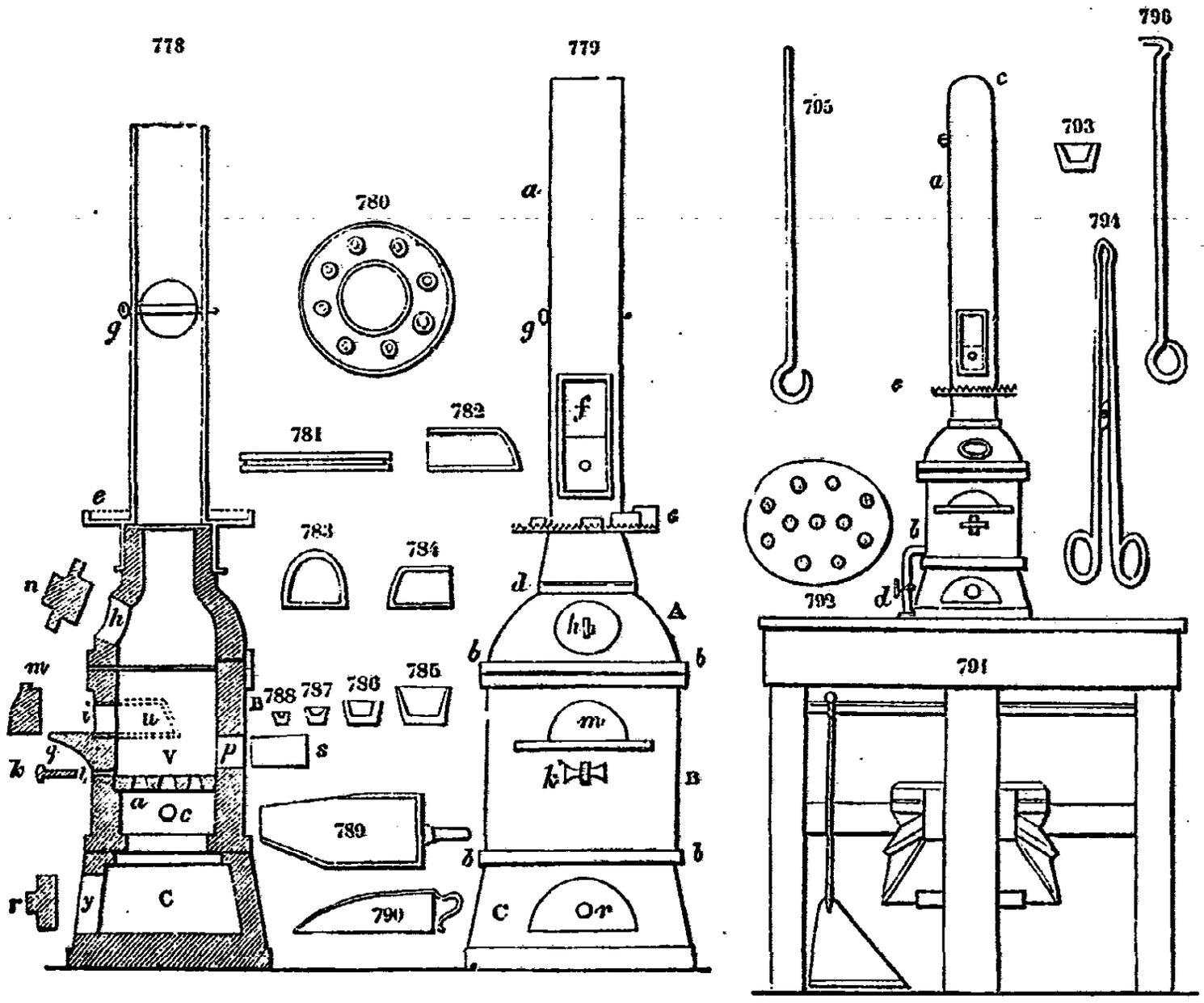
ESSAIS.

une brique réfractaire *s*, destinée à soutenir l'extrémité postérieure de la moufle; *q*, saillie servant à faciliter la manœuvre des coupelles; *l*, ouverture que l'on ferme à volonté au moyen du tasseau *k*, et qui sert à introduire un tisonnier pour dégager la grille; *h*, ouverture pratiquée dans le dôme et habituellement fermée par le tasseau *n*, servant à charger le combustible dans le fourneau; on peut aussi se servir à cet effet de la porte à coulisse *f*, pratiquée à la base de la cheminée en tôle *a*; le dôme se termine par une plate-forme annulaire en tôle à rebords *e*, qui sert à dessécher complétement les coupelles avant de les introduire sous la moufle, et qui est figurée en plan fig. 780; la fig. 781 est une coupe de la grille, formée d'une plaque de terre cuite percée de trous coniques et cerclée en fer; les fig. 782, 783 et 784 sont trois coupes de la moufle; la fig. 784 est une petite moufle pour recuire les essais d'or; les fig. 785, 786, 787 et 788, des coupelles de grandeurs différentes; et enfin, les fig. 789 et 790, sont des pelles à charger le charbon.

est portée au rouge, on continue d'alimenter les grands fourneaux avec du coke pur, et les fourneaux moyens avec un mélange de coke et de charbon de bois; pour les plus petits fourneaux, il ne faut employer que du charbon de bois pendant tout le travail.

Passons maintenant à la pratique de la coupellation : le fourneau étant chauffé, on place les coupelles près de la porte de la moufle et on les y fait avancer graduellement, en ayant soin de mettre les plus grandes au fond. S'il arrive qu'en s'échauffant elles se fendillent, ce qui a lieu quelquefois pour des coupelles de dimensions considérables, et qui n'ont pas été convenablement desséchées par une exposition de quelques semaines dans un lieu bien sec, on les retire et on les remplace par de nouvelles coupelles. Dès qu'elles sont chaudes, et que l'intérieur de la moufle paraît d'un rouge légèrement blanc, on y introduit la matière à coupeller, avec ou sans addition de plomb, en l'enveloppant, si elle est en très petits morceaux, en grenailles ou en poudre, dans une feuille très mince de plomb laminé. Quand les

796



Lorsque l'on n'a que peu d'essais à faire, on peut employer un fourneau de même forme et de plus petites dimensions, fig. 791, placé sur une table et alimenté par un soufflet dont le vent arrive, par le tuyau *d*, sous la grille en *b*. La fig. 792 est la grille en terre cuite vue en plan; la fig. 794, les pinces qui servent à introduire et retirer la coupelle, fig. 793; et enfin, les fig. 795 et 796, sont deux tisonniers de forme un peu différente.

On augmente la durée des moufles en y étendant une couche mince d'os calcinés en poudre, qui sert à absorber la litharge fondue qui s'y répand en cas d'accident.

On emploie toujours du charbon de bois pour allumer les fourneaux de coupelle; mais une fois que la chaleur coupelles ont été remplies, on ferme les fourneaux pendant quelques instants, soit avec la porte, soit avec quelques gros charbons allumés, pour que les métaux fondus prennent la température de la moufle, puis on la débouche pour donner accès à l'air; le bain métallique est alors *découvert*, c'est-à-dire qu'il présente une surface convexe bien lisse et sans scories. Lorsque le bain a de la peine à se découvrir, on met dessus un morceau de papier Joseph, qui en brûlant réduit la surface du bain et le découvre. Dès que le bain reçoit le contact de l'air il devient très éclatant, et on le voit se recouvrir de taches lumineuses et irisées qui se promènent à la surface et se précipitent vers les bords; ces taches sont produites par l'oxyde de plomb fondu qui se forme sans cesse, et qui, recouvrant le bain en forme

de pellicule très mince, mais d'épaisseur variable, offre le phénomène des anneaux colorés. La litharge fondue est rapidement absorbée par la coupelle, de sorte que l'alliage métallique se découvre à chaque instant pour s'oxyder aussitôt, et qu'il s'établit à sa surface un mouvement continuel du centre à la circonférence. Il s'élève en même temps des coupelles une fumée visible, qui se répand dans la moufle, et est due à des vapeurs de plomb qui brûlent au milieu de l'air. A mesure que l'opération avance, le bain métallique diminue et s'arrondit de plus en plus, les points brillants dont il est couvert deviennent plus grands et se meuvent plus vivement ; enfin, lorsque les dernières portions du plomb se séparent, le bouton semble agité d'un mouvement rapide qui le fait tourner sur lui-même ; il jette un grand éclat, et il présente sur toute sa surface des rubans colorés de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel ; puis, tout à coup, l'agitation cesse, toutes les couleurs disparaissent, et le bouton, devenu mat et immobile, s'aperçoit à peine ; après quelques instants il reparaît avec l'aspect de l'argent pur. On dit alors que l'*éclair* a eu lieu.

Si l'on retirait le bouton de retour de la moufle aussitôt après l'éclair, il serait sujet à *rocher* (voyez ARGENT), et, d'autant plus, qu'il serait plus gros, ce qui pourrait amener des pertes. On prévient cet accident en laissant quelques instants les coupelles dans le feu et les approchant peu à peu de la porte avant de les retirer, afin d'obtenir un refroidissement lent et d'autant plus gradué que les boutons sont plus gros

La chaleur est trop forte, lorsque les coupelles sont d'un rouge-blanc presque aussi intense que celui du bain dont il ne s'élève qu'une fumée peu visible ; elle est trop faible, lorsque la litharge trop peu liquide pour être absorbée forme des bourrelets, et que la fumée est très épaisse et lourde. Il faut que la coupelle soit rouge et que le bain soit beaucoup plus lumineux et très net.

Un courant d'air trop fort oxyde trop rapidement le plomb, et dans ce cas comme dans celui d'une chaleur trop basse, la litharge peut finir par recouvrir complétement l'essai : on dit alors qu'il est *noyé*. On peut ordinairement prévenir cet accident, lorsqu'il tend à se produire, en bouchant en partie l'ouverture de la moufle par des charbons allumés, ce qui élève la température dans son intérieur et diminue l'affluence de l'air.

En général, il convient de *donner chaud* dans le commencement pour *découvrir*, puis de refroidir, et de donner encore à la fin un coup de feu pendant quelques instants pour séparer les dernières traces de plomb et faire passer l'éclair ; il vaut mieux que la température soit un peu trop élevée que trop basse, surtout dans les essais de matières argentifères très pauvres, comme la plupart des minerais d'argent.

On reconnaît qu'un essai a bien *passé*, à l'aspect du bouton : celui-ci doit être bien arrondi, blanc et clair, cristallin en dessous, et il doit se détacher aisément de la coupelle ; quand il retient du plomb, le bouton est brillant en dessous, livide à sa partie supérieure, et il n'adhère pas du tout à la coupelle.

On saisit le bouton avec une brucelle, on le brosse par dessous et on le pèse à l'aide d'une balance sensible à 1/2 milligramme. Il va sans dire qu'on doit retrancher du poids obtenu le poids du grain d'argent que le plomb et la litharge ajoutés dans la coupellation et les opérations préliminaires auraient produits seuls : il faut donc connaître d'avance la richesse de ces matières. Quelquefois, surtout lorsqu'il s'agit d'alliages argentifères, on passe dans une coupelle, placée à côté de celle dans laquelle on fait l'essai, une quantité de plomb précisément égale à celle qu'on a ajoutée à l'alliage, et l'on met, dans le plateau de la balance avec les poids, le petit grain d'argent que l'on obtient : on appelle ce petit grain le *témoin*.

La quantité de matière qu'on allie avec le plomb pour le coupeller se nomme *prise d'essai*, et le bouton d'argent qu'on obtient, *bouton de retour*. La prise d'essai est ordinairement de 1/2 gramme pour les matières qui contiennent plus de 0,8 d'argent, et de 1 gramme pour celles qui, quoique riches, en contiennent moins de 0,8 ; elle doit être de 5 à 10 grammes pour les matières pauvres, telles que les minerais, etc.

Ayant considéré la coupellation sous le point de vue général, nous passerons à quelques détails relatifs aux cas principaux qui se présentent habituellement.

Argent et plomb. Ces alliages passent avec la plus grande facilité à la coupellation.

Argent et cuivre. La coupellation n'offre aucune difficulté, pourvu qu'on ajoute une quantité de plomb suffisante pour entraîner tout le cuivre. Cette quantité a été déterminée par des expériences précises de M. D'Arcet, qui se résument dans les nombres suivants :

TITRE DE L'ARGENT en millièmes.	PLOMB A AJOUTER pour 1 partie d'alliage.
1000.	3/10
950.	3
900.	7
800.	10
700.	12
600.	14
500.	16 à 17.
400.	Id.
300.	Id.
200.	Id.
100.	Id.
Cuivre pur.	Id.

Il est remarquable qu'au-dessous du titre de 500 il faille toujours la même proportion de plomb, quelle que soit celle du cuivre.

Dans l'essai des alliages de cuivre et d'argent il y a toujours une perte en argent, variable avec le titre de l'alliage et la température à laquelle on opère. A la Monnaie de Paris on tient compte de cette perte, au moyen de la table de correction qui suit, résultat d'expériences très soignées :

TITRES réels.	TITRES donnés par la coupellation.	TITRES réels.	TITRES donnés par la coupellation.
1000	998,97	500	495,32
975	973,24	475	470,50
950	947,50	450	445,69
925	921,75	425	420,87
900	896,00	400	396,05
875	870,93	375	371,39
850	845,85	350	346,73
825	820,78	325	322,06
800	795,70	300	297,40
775	770,59	275	272,42
750	745,48	250	247,44
725	720,36	225	222,45
700	695,25	200	197,47
675	670,27	175	173,88
650	645,29	150	148,30
625	620,30	125	123,71
600	595,32	100	99,12
575	570,32	75	74,34
550	545,32	50	49,56
525	520,32	25	24,78

Ces nombres au reste ne sont pas constants, comme l'indique le tableau suivant contenant les résultats des

essais simultanés faits, sur 3 alliages déterminés, par les principaux essayeurs de l'Europe, sur la demande de M. D'Arcet.

ESSAYEURS.		TITRES trouvés par l'expérience.		
Nom.	Résidence.	950 millièmes.	900 millièmes.	800 millièmes.
F. de Castenhole, essayeur de la monnaie. . .	Vienne.	946,20	898,40	795,10
Vervaëz, dito. .	Madrid.	944,40	893,70	789,20
Cabrera, dito. .	dito.	944,40	893,70	788,60
Essayeur. . . .	Amsterdam.	947,00	895,00	795,00
Bingley, maître essayeur. . .	Londres.	946,25	896,25	794,25
Johnson, essayeur. . . .	dito.	933,33	883,50	783,33
Inspecteur de la monnaie. . .	Utrecht.	945,00	896,50	799,00
Essayeur de la monnaie. . .	Naples.	945,00	894,00	787,00
Essayeur du commerce. . .	dito.	945,00	894,00	787,00
Essayeur de la monnaie. . .	Hambourg.	946,20	897,55	798,60
dito dito. .	Altona.	942,25	894,00	790,00

Sulfure d'argent. — *Sulfure de plomb* (galène) et *sulfure de cuivre argentifères.* — *Chlorure d'argent.* Ces divers minerais, lorsqu'ils sont presque purs, sont coupellés directement avec addition de 2 à 5 parties de plomb pauvre granulé.

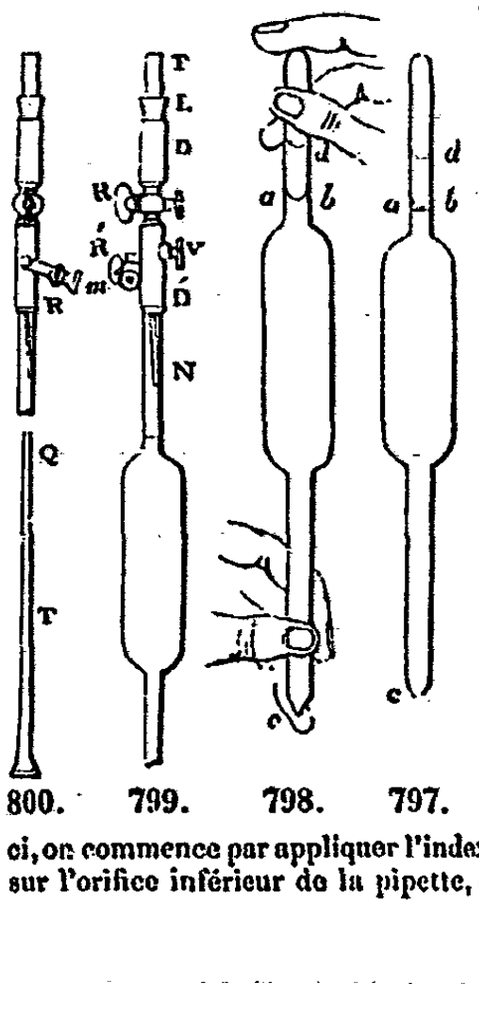
Essai des alliages de cuivre et d'argent par la voie humide. Les imperfections du mode d'essai des alliages d'argent par la coupellation, que nous avons signalées, déterminèrent, en 1829, le gouvernement français, à nommer une commission chargée d'examiner le procédé en usage au laboratoire des monnaies, pour l'essai des espèces d'or et d'argent, et d'indiquer les changements dont ce procédé était susceptible. M. Gay-Lussac, qui faisait partie de cette commission, proposa une méthode qu'il employait déjà depuis plusieurs années, et que ses nouvelles recherches l'ont mis à même d'approprier aux besoins du commerce. Cette méthode a été immédiatement adoptée dans les laboratoires du bureau de garantie et de la Monnaie de Paris; elle a l'avantage de donner une exactitude presque mathématique et elle est en même temps presque aussi rapide que la coupellation. M. Gay-Lussac l'a fait connaître avec détail, dans une instruction qu'il a publiée au nom de la commission des monnaies. C'est de cet écrit que nous avons extrait ce qui suit :

Le nouveau procédé consiste à déterminer le titre des matières d'argent par la quantité d'une dissolution de sel marin titrée, nécessaire pour précipiter exactement l'argent contenu dans un poids donné d'alliage. Ce procédé est basé sur les principes suivants : L'alliage, préalablement dissous dans l'acide nitrique, est mélangé avec une dissolution titrée de sel marin, qui précipite l'argent à l'état de chlorure, composé tout à fait insoluble dans l'eau et même dans les acides. La quantité du chlorure d'argent précipité est déterminée non par son poids, ce qui serait peu sûr et beaucoup trop long, mais par le poids ou le volume de la dissolution titrée de sel marin nécessaire pour précipiter exactement l'argent dissous dans l'acide nitrique. On reconnaît facilement le terme de la précipitation complète de l'argent, à la cessation de toute nébulosité, lorsqu'on verse graduellement la dissolution titrée de sel marin dans la dissolution nitrique d'argent. 1 milligr. d'argent est rendu très sensible dans 100 gram. de liquide, et on en distingue même encore très bien 1/2 et même 1/4 de milligramme, pourvu qu'avant l'addition du sel marin la liqueur soit parfaitement limpide. En agitant vivement pendant 1 ou 2 minutes au plus le liquide rendu laiteux, on le clarifie suffisamment, pour qu'on puisse facilement apprécier, après quelques instants de repos, le trouble que pourrait y produire l'addition de 1 milligr. d'argent. La filtration est beaucoup plus efficace que l'agitation, mais celle-ci est beaucoup plus prompte, et suffit généralement.

En supposant qu'on opère sur 1 gramme d'argent pur, la dissolution de sel marin doit être telle, qu'il en faille 100 grammes si l'on mesure en poids, et 100 centilitres cubes si l'on mesure au volume, pour précipiter exactement tout l'argent. Cette quantité de dissolution est divisée en 1000 parties appelées *millièmes*; il s'en suit que le titre d'un alliage est donné par le nombre de millièmes de la dissolution titrée de sel marin qu'il faut employer pour précipiter l'argent contenu dans 1 gramme de cet alliage.

On désigne la dissolution titrée de sel marin sous le nom de *dissolution normale*. On peut la mesurer au poids ou au volume. La mesure au poids offre peut-être un peu plus de précision; elle a l'avantage d'être indépendante de la température; mais elle demande trop de temps pour des essais nombreux, et comme la mesure au volume donne une exactitude suffisante et exige beaucoup moins de temps, elle est exclusivement employée. Elle est, à la vérité, soumise à l'influence de la température, mais il est facile d'éviter cette cause d'erreur. Ce sera la seule que nous décrirons ici.

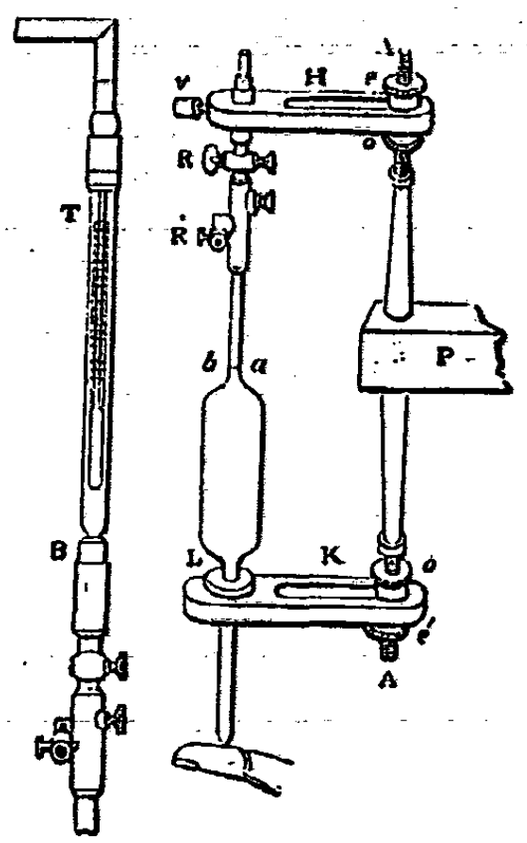
La dissolution normale de sel marin, mesurée au volume, est préparée de telle manière, qu'il en faut 100 centilitres à 15 degrés pour précipiter exactement 1 gramme d'argent. A cette température, elle contient 569^{gr},83 de sel marin pur pour 105 litres d'eau pure. On obtient facilement ce volume de dissolution, au moyen d'une pipette de verre fig. 797 et 798, jaugée de manière à ce que, remplie d'eau jusqu'au trait *ab*, elle laisse écouler d'un jet continu 100 grammes d'eau à 15 degrés. Quelques instants après la cessation du jet, la pipette fournit encore 2 ou 3 gouttes de liquide, qui ne doivent pas être comptées et qui sont tout à fait négligeables, parce qu'elles équivalent au plus à 1/4 de millième d'argent. La manière la plus commode de disposer cette pipette est représentée dans les fig 799, 800, 801 et 802; T, est le tuyau de communication avec le réservoir de la dissolution titrée de sel marin, et K A H, le châssis, monté sur le support P, qui soutient la pipette. Pour remplir celle-ci, on commence par appliquer l'index de la main gauche sur l'orifice inférieur de la pipette, comme l'indique la



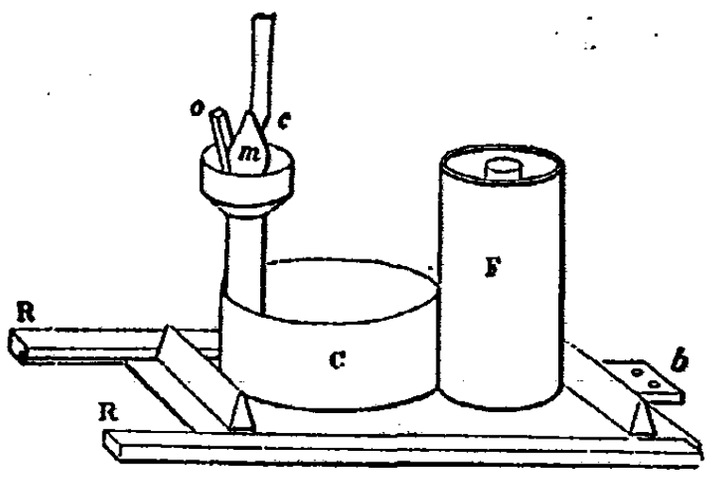
800. 799. 798. 797.

ESSAIS.

fig. 801, puis on ouvre les deux robinets R et R'. Lorsque le liquide arrive près du col de la pipette, on en modère l'accès, et aussitôt qu'il s'est élevé en *d* à quelques millimètres au-dessus du trait *a b*, on ferme les deux robinets R et R', et l'on ôte l'index. Il ne s'agit plus



802. 801.

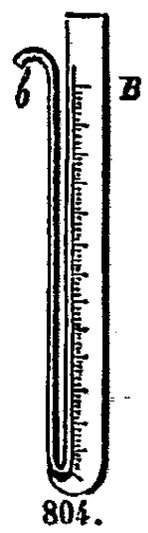


803.

maintenant que de régler la pipette. Pour y parvenir, il faut que le liquide touche le trait *ab*, et qu'il n'en reste pas d'adhérent extérieurement au bec. Cette dernière condition est facile à remplir. Après avoir ôté le doigt qui fermait l'orifice inférieur c (fig. 803) de la pipette, on applique contre cet orifice une éponge humide *m*, appelée *mouchoir*, enveloppée d'un linge qui absorbe, à mesure qu'il s'écoule, le liquide excédant. Pour la commodité de l'opération, le mouchoir est placé à frottement dans un tube de fer-blanc terminé par un godet, et ouvert par le bas pour laisser écouler, dans la cuvette C, sur laquelle le tube est soudé, le liquide que le mouchoir ne peut conserver. Il ne reste plus, pour achever de régler la pipette, qu'à faire descendre le liquide jusqu'au niveau *ab* (fig. 801). Pour cela, et pendant que le mouchoir est appliqué contre le bec de la pipette, on y laisse entrer l'air très lentement en desserrant la vis V, et, à l'instant de la tangence, on enlève le mouchoir et l'on place sous l'orifice de la pipette le flacon destiné à recevoir la dissolution. Le mouvement devant être fait rapidement et sans hésitation, le flacon est logé dans un cylindre en fer-blanc F (fig. 803) d'un diamètre tant soit peu plus grand et faisant corps avec la cuvette et le mouchoir. Tout cet appareil a pour base une plaque en fer-blanc, mobile entre deux règles en bois R, R, dont l'une porte une rainure sous laquelle s'engage le bord de la plaque. Les excursions sont fixées par deux buttoirs *b*, *b*, dont un seul est visible sur la figure, placés de telle sorte que lorsque l'appareil est arrêté par l'un d'eux, le bec de la pipette correspond au centre du col du flacon, ou bien est tangent au mouchoir. On comprendra sans peine qu'il est avantageux, une fois qu'on aura réglé la rentrée de l'air dans la pipette par la vis V, de la laisser constamment libre, parce que le mouvement du mouchoir au flacon s'exécute assez rapidement, pour qu'une goutte de dissolution n'ait pas le temps de se former et de se détacher.

Le volume de la dissolution normale, mesuré à l'aide de cet appareil, ne variant pas, il faut faire varier le poids de la prise d'essai des alliages, et le prendre tel qu'il contienne approximativement 1 gramme d'argent fin. Le titre des monnaies étant en France de 900 avec une tolérance en plus ou en moins de 3 millièmes, on doit en prendre 1gr,111 pour l'essai. Quant aux objets d'orfévrerie, il y en a en France à 2 titres, savoir à 950 et à 800, avec 5 millièmes de tolérance : les prises d'essai pour chacun de ces titres sont de 1gr,0582 et 1gr,2578.

Pour exécuter l'essai, on commence par mettre l'alliage dans un des flacons de la fig. 806, d'une capacité de 2 décilitres, puis on verse dessus 10 grammes environ d'acide nitrique pur à 32 degrés, ou ayant une densité de 1,29. On chauffe au bain-marie pour favoriser la dissolution qui se fait très rapidement, et lorsque tout est dissous, on expulse la vapeur nitreuse qui reste dans le flacon, au moyen d'un soufflet à douille courbe. On y introduit alors une mesure de la dissolution normale de sel marin, on agite pour éclaircir; puis on ajoute avec la burette graduée B (fig. 804), 1 centilitre d'une *dissolution décime* de sel marin, contenant dix fois moins de sel que la *dissolution normale*; on agite, on ajoute de nouveau 1 centilitre de dissolution décime, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité. Pour avoir le titre, on ajoute au gramme d'argent fin autant de milligrammes qu'on a employé de centilitres de dissolution décime, moins 1/2; ce qui donne le nombre de milligrammes d'argent contenus dans la quantité d'alliage soumis à l'essai, et d'après cela on calcule le titre par une proportion. On peut éviter ce calcul, en se servant des tables qui se trouvent dans l'instruction publiée par la commission.



804.

Si la prise d'essai se trouvait contenir un peu moins de 1 gramme d'argent fin, la liqueur, après l'addition de la mesure normale de sel marin, ne se troublerait plus par la dissolution décime de ce sel. Alors on ajouterait un centilitre d'une *dissolution décime* de sel marin, et l'on achèverait l'essai au moyen de la dissolution décime d'argent. Dans ce cas, on retranche de 1 gramme d'argent fin, autant de milligrammes moins 1 1/2, qu'on a employé de centilitres de dissolution décime; ce qui donne le nombre de milligrammes d'argent contenus dans la quantité d'alliage soumise à l'essai; et d'après cela, on calcule le titre par une simple proportion.

Pour faire l'essai de l'argent à peu près fin, on en prend un gramme que l'on dissout dans l'acide nitrique, on ajoute une mesure de dissolution normale de sel marin, et l'on procède ensuite immédiatement, au moyen de la dissolution décime d'argent, comme il est dit ci-dessus.

Nous avons admis jusqu'ici que pour tous les essais

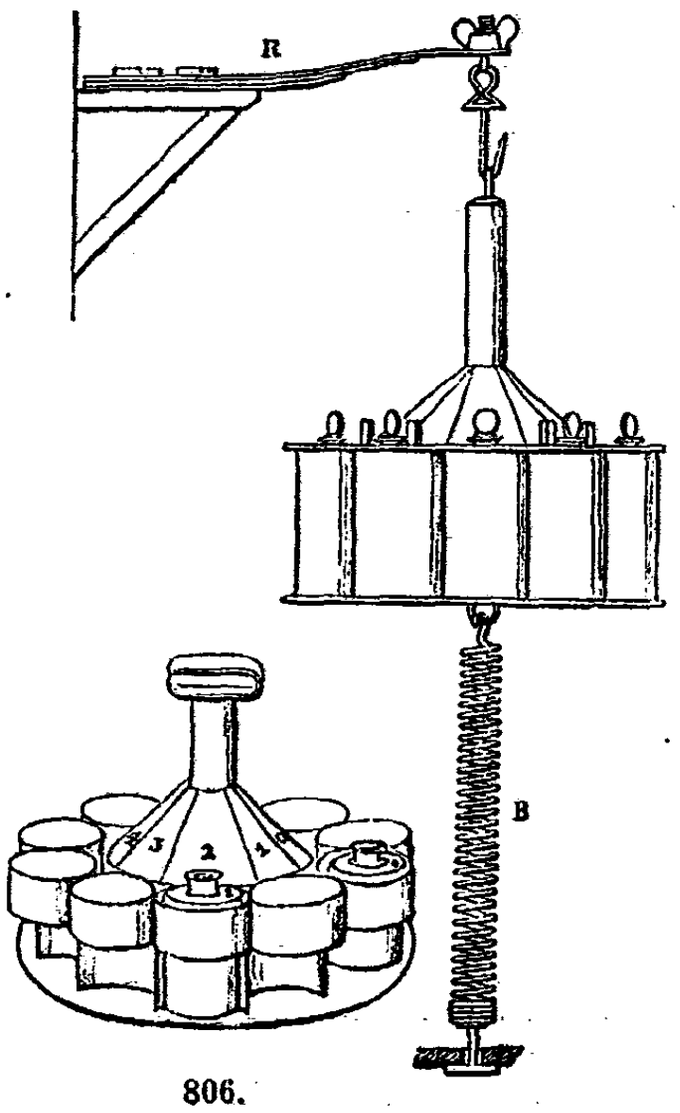
ESSAIS.

la température restait constante; mais comme elle change continuellement, la même mesure de dissolution ne contient jamais la même quantité de sel marin, et il y a par conséquent une correction à faire à cet égard. M. Gay-Lussac a déterminé par expérience les variations de poids de la mesure, et il a, d'après cela, dressé une table qui donne, de degré en degré, les corrections à faire au titre obtenu. On ne se sert cependant pas de cette table dans le laboratoire de la Monnaie, ce qui nous dispense de la rapporter ici, parce qu'on a reconnu que la salure de la dissolution normale, renfermée dans un vase de cuivre, varie journellement, non seulement en raison des changements de température, mais encore par d'autres causes qui n'ont pas été étudiées, probablement par l'action du cuivre sur le sel marin, etc., et l'on préfère faire un essai préalable chaque jour, en commençant toutes les opérations par l'épreuve sur 1 gramme d'argent fin, au moyen des dissolutions décimes soit de sel marin, soit d'argent. On sait par là combien de milligrammes d'argent la dissolution normale précipite, soit en plus, soit en moins du gramme, et l'on corrige tous les résultats subséquents en conséquence.

Pour opérer promptement et facilement la dissolution des prises d'essai, on a un bain-marie en fer-blanc, qui peut recevoir à la fois 10 flacons.

L'agitateur (fig. 805), destiné à éclaircir les liqueurs,

805.



806.

porte aussi 10 compartiments numérotés dans lesquels on loge autant de flacons. On ferme ceux-ci avec leurs bouchons de verre préalablement plongés dans l'eau pure, et on les assujettit avec des coins en bois. L'agitateur est alors suspendu à un ressort R, et on lui imprime, en le prenant avec les deux mains, un mouvement alternatif rapide qui agite la dissolution et la rend, en moins d'une minute, aussi limpide que de l'eau. Ce mouvement est favorisé par un ressort à boudin B, fixé d'une part à l'agitateur et de l'autre au sol. L'agitation terminée, on ôte les coins et on les loge dans l'espace vide que laissent entre eux les compartiments. On enlève l'agitateur, et on place les flacons sur une console à cases numérotées (fig. 806), destinées à les recevoir.

On remarque que lorsqu'on précipite les dissolutions d'argent par le sel marin, elles se clarifient par l'agitation beaucoup plus vite et beaucoup plus complétement, que lorsqu'on précipite du sel marin par une dissolution d'argent, ce qui tient à ce que le chlorure d'argent est légèrement soluble dans le sel marin.

On a constaté par expérience que la présence d'une faible quantité de métaux quelconques, dans les alliages de cuivre et d'argent, n'influe pas sur la proportion de sel marin nécessaire pour précipiter l'argent. Mais il paraît que ce procédé ne pourrait pas être appliqué aux alliages d'argent qui contiendraient une proportion considérable d'autres métaux que le cuivre. M. D'Arcet a reconnu, par exemple, qu'il ne donnerait pas de résultats exacts avec les alliages de plomb et d'argent; ce qui tient à ce que les chlorures solubles exercent, en général, une action dissolvante notable sur le chlorure d'argent.

Lorsque l'argent contient une certaine proportion de mercure, 4 à 5 millièmes seulement, le mercure se précipite à l'état de protochlorure avec le chlorure d'argent, et se reconnaît en ce qu'il empêche ce dernier de prendre une couleur bleu-violacée par l'action des rayons solaires. Lorsque la quantité de mercure est plus faible, on ne précipite, par exemple, à l'aide du sel marin, qu'un cinquième de l'argent en dissolution; le protochlorure de mercure étant encore plus insoluble que le chlorure d'argent, le mercure se trouvera concentré dans ce précipité et l'empêchera de bleuir à la lumière solaire.

Le mercure étant précipité avec l'argent, l'essai par voie humide ne peut être employé que pour reconnaître la présence du mercure, comme nous venons de le faire remarquer, et on doit employer la coupellation.

Quand les essais sont terminés, on verse le contenu de chaque flacon dans une grande cuvette, renfermant un peu de sel marin; on laisse déposer, on lave le chlorure d'argent par décantation et on le réduit au creuset brasqué ou au creuset nu, en le mélangeant avec de la craie et du charbon, dans les proportions de 70,5 de craie et 4,5 de charbon p. 100 de chlorure.

Essai des matières d'or. L'essai des matières d'or se fait par voie sèche, absolument de la même manière que l'essai des matières d'argent, en leur faisant subir d'abord, s'il est nécessaire, une fusion ou une scorification, pour obtenir un alliage d'or et de plomb qui puisse passer à la coupellation. Celle-ci présente moins de difficulté que pour l'argent, et exige moins de précautions, parce que l'or n'est point volatil et qu'il a beaucoup moins de tendance que l'argent à pénétrer dans les coupelles. D'ailleurs, les boutons de retour ne sont jamais sujets à *rocher*. Ces coupellations se font, en général, à une température plus élevée que celle de l'argent, et l'on donne un coup de feu un peu fort au moment de l'*éclair*.

Lorsqu'il s'agit d'un alliage de cuivre et d'or, ou de cuivre, d'or et de platine, on ne peut séparer les dernières traces de cuivre, à moins d'introduire dans l'alliage une quantité d'argent telle, qu'il y en ait à peu près 3 parties pour 1 partie d'or ou d'or et de platine. On détermine approximativement à cet effet le titre des alliages d'or et de cuivre par l'épreuve à la *pierre de touche*. Voici comment on opère : on fait sur une pierre de touche (quarz lydien, variété de quarz jaspe noir et compacte) une trace de 4 millimètres de long et de 3 millimètres de large avec l'alliage; puis on mouille cette trace avec une barbe de plume trempée dans une liqueur acide composée comme il est dit plus loin. Cet

ESSAIS.

acide dissout le cuivre ; on en examine l'effet ; puis on essuie légèrement pour enlever la liqueur, et l'on examine de nouveau ce qui reste de la trace métallique. Quand on a de l'habitude, on aperçoit très approximativement le titre de l'alliage, d'après la teinte verte plus ou moins foncée que prend la liqueur acide, et d'après l'épaisseur de la trace d'or pur qui reste sur la pierre. Quand on n'a pas acquis l'habitude suffisante, on fait des épreuves comparatives avec différents alliages connus, moulés en forme de fortes aiguilles et qu'on nomme *toucheaux*, et l'on voit avec lequel de ces toucheaux l'alliage est identique.

La liqueur acide dont on fait usage pour attaquer la trace métallique se compose de 98 parties d'acide nitrique pur d'une densité de 1,340, de 2 p. d'acide hydro-chlorique pur d'une densité de 1,173, et de 25 p. d'eau distillée. La composition de cette liqueur a été déterminée par tâtonnement, de telle sorte qu'à la température de 10 à 12 degrés, à laquelle on devrait rigoureusement opérer, elle soit sans action sur les alliages au titre de 750 millièmes et au-dessus, parce que ce titre est le plus bas des alliages qu'il est permis légalement d'employer dans la bijouterie. Les alliages à un titre inférieur sont attaqués par la liqueur acide ; ils brunissent, et la liqueur devient verte ; et quand on a enlevé cette liqueur, il reste sur la pierre une trace d'autant moins apparente que l'alliage contenait plus de cuivre. Si l'on opérait à une température inférieure à 10 degrés, l'acide n'attaquerait pas tous les alliages à un titre plus bas que 750, tandis qu'au-delà de 12 à 15 degrés, il attaquerait l'alliage à 750 et même un peu au-dessus ; aussi est-il convenable avant de commencer une série d'épreuves de s'assurer de l'effet de l'acide sur les traces de toucheaux connus.

La séparation de l'or et de l'argent porte le nom de *départ*. Le départ se fait par *voie humide*. Ce départ se fait ordinairement dans les essais, au moyen de l'acide nitrique. Il faut alors ajouter assez d'argent pour qu'il y en ait à peu près 3 parties pour 1 p. d'or ; s'il y en avait moins, le départ ne serait pas complet, tandis que s'il y en avait davantage on obtiendrait l'or en poudre, ce qui serait très incommode et exposerait à des pertes. L'opération par laquelle on amène l'alliage à ce titre s'appelle *inquartation*. Elle consiste à fondre cet alliage, dans une coupelle, avec 2 p. de plomb et la quantité d'argent fin ou d'or fin nécessaire. On évalue cette quantité d'après une détermination approximative du titre de l'alliage, au moyen de la pierre de touche. A cet effet on a des *toucheaux* à différents titres bien déterminés, et, lorsqu'on a un alliage à essayer, on le frotte sur la pierre de touche, et l'on cherche quel est le toucheau qui laisse une trace de la même couleur.

On aplatit sur l'enclume le bouton inquarté et coupellé ; on le fait recuire au rouge pour l'adoucir, on le lamine de manière à lui donner une certaine épaisseur, on le recuit de nouveau, et on le roule en cornet ou en spirale autour d'un tuyau de plume. Il est nécessaire que l'alliage soit amené à une épaisseur convenable, d'une part, pour que l'argent puisse complétement se dissoudre, et de l'autre, pour que le cornet d'or fin conserve une certaine cohérence après l'action de l'acide. La prise d'essai est de 1/2 gramme, et l'on donne à la feuille inquartée 8 centimètres de long : ces feuilles ne doivent pas avoir plus de 1/3 de millimètre d'épaisseur.

On met le cornet d'essai dans un matras en verre de 1/10e de litre environ, on verse dessus de l'acide nitrique pur à diverses reprises, on fait chauffer, et, lorsque tout l'argent est dissous, on lave par décantation, puis on renverse le matras dans un petit creuset, pour y faire tomber le cornet, et l'on en fait sortir l'eau. Dans cet état, le cornet est très fragile et d'un rouge de protoxyde de cuivre mat ; on le fait recuire sous la moufle d'un fourneau de coupelle en le chauffant graduellement sans le fondre : il prend par là beaucoup de retrait, un éclat jaune d'or métallique, et assez de solidité pour qu'on puisse le peser sans craindre de le briser.

Il y a plusieurs manières d'employer l'acide nitrique. Vauquelin prescrit dans son *Manuel de l'essayeur* (et c'est la méthode légale), de verser sur le cornet inquarté (la prise d'essai étant de 1/2 gram.) 36 à 50 gram. d'acide nitrique à 22°, ce qui doit remplir le matras à la moitié ou aux 2/3), de faire bouillir doucement pendant 20 à 22 minutes au plus, de décanter, de remplacer la liqueur par une quantité égale d'acide nitrique à 32°, et de faire bouillir pendant 8 à 10 minutes. On remarque qu'en suivant cette méthode le *cornet de retour* contient toujours une petite quantité d'argent, ce qui donne lieu à une surcharge de 1 à 2 millièmes. M. Chaudet, essayeur de la Monnaie, a trouvé moyen de l'éviter. Pour cela, il verse sur le cornet inquarté de l'acide nitrique à 22°, qu'il fait chauffer pendant 3 à 4 minutes seulement ; il remplace cet acide par de l'acide à 32° qu'il fait bouillir pendant 10 minutes ; il décante, et il fait une seconde *reprise* avec de l'acide à 32°, qu'il tient en ébullition pendant 8 à 10 minutes.

Dans les essais de minerais aurifères, le bouton qui provient de la coupellation contient ordinairement de l'argent. Lorsque la proportion de ce dernier métal dépasse celle de l'inquartation, ce qui a le plus souvent lieu, on aplatit le bouton entre deux feuilles de papier, et on le traite par l'acide nitrique pur. L'or reste sous la forme d'une poudre d'un jaune-brun que l'on pèse immédiatement, ou que l'on fait fondre à la coupelle en l'enveloppant d'une feuille de plomb. Quand la quantité en est extrêmement faible et impondérable, on s'assure du moins de sa présence en traitant, par l'eau régale, le résidu que laisse l'acide nitrique ; s'il y a de l'or il se dissout et donne une liqueur jaune dans laquelle une goutte de dissolution de chlorure d'étain suffit pour former un dépôt de pourpre de Cassius de couleur violacée ; ce caractère fait reconnaître la présence des moindres traces d'or. Quand l'or domine dans le bouton, il faut d'abord soumettre ce dernier à l'inquartation.

On peut, selon M. Gay-Lussac, faire l'essai des alliages d'or, d'argent et de cuivre, avec une grande exactitude, au moyen de la dissolution titrée de sel marin indiquée. Si l'alliage ne renferme pas au moins cinq à six fois plus d'argent et de cuivre que d'or, il faut d'abord le ramener à cette proportion en y ajoutant une quantité connue d'argent fin qu'on retranche rait après l'essai. On prend alors un poids connu d'alliage contenant approximativement 1 gram. d'argent, on le fait bouillir pendant huit à dix minutes avec 30 gram. d'acide nitrique à 32°, qui dissout l'argent et le cuivre et laisse l'or à l'état de poudre, puis on termine l'essai comme à l'ordinaire ; mais pour avoir l'or et le séparer du chlorure d'argent, on sursature la dissolution d'ammoniaque qui dissout le chlorure d'argent, on lave le résidu deux fois de suite avec de l'eau ammoniacale, puis on le fait passer dans un creuset pour le recuire.

Lorsque l'or domine dans un alliage, et qu'on a des raisons pour ne pas y ajouter de l'argent, on peut faire le départ par l'eau régale ; dans ce cas l'or se dissout et l'argent est transformé en chlorure ; on lave ce chlorure, on le dessèche fortement et on le pèse. Quant à l'or, on le précipite par le sulfate de protoxyde de fer, on le lave avec de l'acide hydro-chlorique pur et on le recuit fortement avant de le peser. Si l'on traitait par ce procédé un alliage qui contînt beaucoup d'argent, il pourrait arriver que l'abondance du chlorure d'argent empêchât la dissolution complète de l'or ; dans ce cas

il faudrait avoir l'attention de réduire l'alliage en lame excessivement mince, dissoudre le chlorure d'argent dans l'ammoniaque, et traiter de nouveau le résidu, s'il y en avait un, par l'eau régale.

Le départ par l'acide sulfurique concentré a l'avantage de donner de l'or pur sans surcharge; mais il est difficile à exécuter, et il exige de grandes précautions, à cause de la haute température à laquelle bout l'acide sulfurique concentré et des soubresauts qui en résultent. Il est d'ailleurs nécessaire d'employer un assez grand excès d'acide pour tenir en dissolution le sulfate d'argent qui se forme, et qui est très peu soluble dans l'eau. L'alliage doit être inquarté, s'il est trop riche en or, comme pour le traitement par l'acide nitrique. On se sert rarement de ce procédé comme moyen d'essai; mais il est presque exclusivement employé en grand pour extraire de l'argent l'or qui y est renfermé, surtout en France, où l'acide sulfurique est à bas prix, tandis que l'acide nitrique est fort cher. (Voir l'article AFFINAGE DES MATIÈRES D'OR ET D'ARGENT.)

Nous terminerons cet article en disant quelques mots sur les alliages d'or et d'argent qui renferment du platine ou des métaux analogues.

Or, argent, platine et cuivre. S'il n'y avait pas d'argent, il faudrait en ajouter une quantité double environ de celle de l'or et du platine réunis; puis on coupelle à la plus forte chaleur possible dans une bonne moufle. Les alliages d'or et d'argent qui contiennent du platine présentent à la coupellation et au départ des caractères particuliers qui décèlent la présence de ce métal. Si l'on ne chauffe pas très fortement, l'essai ne passe pas, et le bouton de retour s'aplatit; cet effet est déjà sensible, quand le platine est à l'or ou à l'argent dans le rapport de 2 à 100. Dans le même cas, la dissolution nitrique provenant du départ est colorée en jaune paille, parce qu'elle contient du platine. Au moment où l'essai d'un alliage contenant du platine se termine, le mouvement est plus lent, les bandes colorées sont moins nombreuses, plus obscures, et subsistent moins longtemps que lorsqu'il n'y a pas de platine; le bouton ne se découvre pas, et sa surface reste matte et terne. Quand l'essai a bien passé, l'on remarque que les bords du bouton sont plus épais et moins arrondis que ceux des essais ordinaires, et que la surface est en totalité ou en partie cristalline.

Pour faire l'essai des alliages d'argent et de platine, on les ramène à renfermer au moins 2 parties d'argent pour 1 partie de platine, et on fait le départ par l'acide sulfurique concentré, qui ne dissout que l'argent. On ne peut pas faire le départ des alliages d'argent et de platine, comme celui des alliages d'argent et d'or, par l'acide nitrique, puisque la présence de l'argent rend le platine soluble dans cet acide. On pourrait encore traiter par l'eau régale, qui amènerait l'argent à l'état de chlorure insoluble, puis on précipiterait le platine de la dissolution, en y ajoutant de l'alcool et du sel ammoniac, et lavant à l'alcool faible; le platine resterait à l'état de chlorure ammoniacal qui, calciné, donne pour résidu du platine métallique en éponge.

Pour analyser les alliages d'or et de platine, on dissout dans l'eau régale; on sépare d'abord, comme il vient d'être dit, le platine à l'état de chlorure ammoniacal; puis on précipite l'or par le sulfate de protoxyde de fer.

Pour les alliages de platine, d'or et d'argent, on traite par l'eau régale qui sépare l'argent à l'état de chlorure; puis on sépare, dans la dissolution, l'or et le platine comme il vient d'être dit. Si l'alliage contient en outre du cuivre, on le précipite en dernier lieu de la dissolution, à l'état métallique, par une lame de fer, après avoir évaporé à sec avec de l'acide hydrochlorique ou sulfurique, pour chasser l'acide nitrique, et repris par l'eau, ou bien, à l'état de deutoxyde, par la potasse caustique; enfin, on peut d'abord le séparer par coupellation, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Or et palladium. On purifie l'alliage en le coupellant avec 4 à 5 parties d'argent fin et 8 à 10 parties de plomb; puis on fait le départ par l'acide nitrique; l'argent et le palladium se dissolvent: on peut les séparer en précipitant d'abord l'argent par l'acide hydro-chlorique, puis le palladium par le cyanure de mercure.

Or et rhodium. Ces alliages sont complétement solubles dans l'eau régale, lorsque l'or y domine. On précipite l'or de la dissolution par le sulfate de protoxyde de fer, puis le rhodium, à l'état métallique, par une lame de fer. P. DEBETTE.

ESSENCE D'ORIENT (*fr.* et *angl.*, *all.* perlenessenz). Cette matière, qui sert à la fabrication des perles artificielles, se prépare en malaxant avec les mains une grande quantité d'écailles d'ablettes, dans un baquet rempli d'eau, laissant déposer, décantant, ajoutant de l'eau fraîche et malaxant de nouveau les écailles, laissant déposer, décantant une seconde fois et passant ce qui reste dans le baquet au travers d'un tamis de crin très serré qui retient les écailles. Enfin, on mélange avec un peu d'ammoniaque la matière pâteuse, brillante, et d'un blanc-bleuâtre nacré qui a passé à travers le tamis. L'addition de l'ammoniaque, suivant plusieurs fabricants, n'est pas absolument nécessaire, et a principalement pour objet de prévenir la décomposition de l'essence.

ESSENCES. Voyez HUILES VOLATILES.

ESSIEUX. Voyez LOCOMOTIVE, VOITURE

ESSORER. On expose généralement les étoffes mouillées à l'air pour les faire égoutter et sécher; mais il est utile, auparavant, d'en extraire le plus d'eau possible, afin de hâter le séchage.

Les moyens dont on se sert aujourd'hui pour retirer l'eau des tissus sont: l'*égouttage* proprement dit; le *tordage* à force de bras; la *compression* entre deux cylindres; l'*hydro-extracteur* de Penzoldt, et le *ventilateur* de Laubereau, etc.

L'égouttage est le moyen le plus simple, mais aussi le plus long; il exige un grand emplacement et ne peut s'appliquer qu'aux matières qui ne risquent point de s'altérer en restant humides.

Le tordage à force de bras est encore le plus généralement employé. Dans les grands établissements on emploie pour cette opération un baquet sur lequel on place, à l'extrémité d'un même diamètre, deux montants en bois qui dépassent les bords supérieurs de 25 à 30 centim. L'un de ces montants porte un crochet fixe, l'autre un crochet attaché à l'extrémité de l'axe d'une manivelle. La pièce que l'on veut tordre est pliée entre les deux crochets de manière que les deux extrémités rentrent dans le milieu, alors on tourne la manivelle jusqu'à ce que la pression soit assez forte. On se sert aussi d'un filet en corde dans lequel on place les étoffes, et on le tord de la même manière.

Mais le tordage tend évidemment à déplacer, à allonger par places et à rompre même les filaments d'un tissu ou les fils d'un écheveau; l'eau n'est jamais régulièrement extraite et il reste toujours des parties qui contiennent plus d'eau les unes que les autres; d'ailleurs l'opération exige beaucoup de temps et devient, par conséquent, très coûteuse.

L'extraction de l'eau par la compression entre deux cylindres est encore prônée aujourd'hui comme le moyen par excellence; mais ce moyen présente divers inconvénients: il écrase le tissu et fait décharger les couleurs sur les étoffes; il extrait l'eau irrégulièrement, et le teinturier de fils en écheveaux n'a jamais pu s'en servir avec avantage.

La presse à compression se compose de deux cylindres dont les axes sont parallèles et dont les surfaces cour

bes sont plus ou moins rapprochées l'une de l'autre. On imprime à ces cylindres, au moyen d'un engrenage, des mouvements de rotation en sens contraires, et l'on présente à leur surface le corps à comprimer. Le frottement fait adhérer la substance aux surfaces des cylindres, qui, en tournant, obligent les toiles à passer d'un côté à l'autre de l'espace qui les sépare. Il faut que cet intervalle puisse varier à volonté pour graduer la pression ; en conséquence, les tourillons qui portent les axes doivent être mobiles, sans que le parallélisme de ceux-ci soit altéré. Cette partie de l'appareil exige beaucoup de précision ; il faut d'ailleurs, que les axes soient solidement retenus, parce que tout l'effort de la presse se porte sur les tourillons. Les rouleaux sont faits le plus souvent en bois d'orme, posés horizontalement l'un sur l'autre ; lorequ'on veut que l'appareil soit doué d'une grande résistance, on fait l'un des cylindres ou tous les deux en cuivre, et l'axe en fer forgé. Cet axe tourne sur des coussinets de cuivre fixés au bâti de la machine. On recouvre ordinairement les deux cylindres de métal d'une étoffe de linon de coton, roulée en plusieurs doubles, afin d'éviter les taches d'oxydation.

La machine inventée par Pentzoldt, et nommée *hydro-extracteur*, ne présente point les inconvéuients que nous venons de signaler. A l'aide de cette machine on peut enlever, en quelques minutes, à toutes les étoffes, l'eau qu'elles retiennent sans les soumettre à la pression ; on peut ensuite les faire sécher très promptement à l'air sans les exposer au feu, qui altère souvent les couleurs. Cette machine, dite essoreuse, est fondée sur le principe de la force centrifuge, qu'on n'avait pas appliqué avant cette heureuse invention.

L'appareil consistait primitivement dans un double tambour en cuivre, tournant rapidement sur un axe vertical (voir la description des brevets expirés), au moyen d'une manivelle et d'une corde enroulée autour d'une poulie. Depuis, M. Caron, mécanicien, l'un des cessionnaires du brevet de Pentzoldt, a imprimé un mouvement progressif à l'aide d'une manivelle et d'engrenages, moyen qui est bien préférable. L'inventeur lui-même a apporté aussi à son appareil plusieurs modifications importantes.

Ainsi, le double tambour entre lequel on introduit les étoffes à sécher, est monté sur un axe reposant par sa partie inférieure sur une crapaudine, et maintenu vers le haut par une enveloppe élastique ou un ressort annulaire, lequel lui permet de dévier suivant l'impulsion donnée par la charge inégale des tissus contenus dans le tambour ; celui-ci est en cuivre, fermé à sa partie supérieure par un couvercle, et réuni par son fond à un cylindre inférieur ouvert à son sommet et percé d'un grand trou sur tout son pourtour. Le tambour est entièrement renfermé dans une enveloppe fixe, en cuivre, qui reçoit toute l'eau dégagée des tissus pendant l'opération.

La vitesse imprimée au tambour est de 1500 à 1800 révolutions par minute ; mais on conçoit qu'on ne pourrait, sans danger de rupture, passer de l'état de repos à une vitesse aussi considérable ; on commence donc par une rotation faible de 3 à 400 tours par minute, puis on augmente successivement, au moyen de la combinaison de mouvements due à M. Caron.

Dans les machines à essorer les étoffes de laine, on donne au tambour une vitesse de 1500 tours par minute, et on obtient, en sept ou huit minutes au plus, un séchage suffisamment complet, c'est-à-dire que les étoffes se trouvent dans un état de moiteur convenable pour opérer promptement le séchage à l'air.

La machine doit être assez solidement construite pour résister à la pression énorme du dedans au dehors que le tambour mobile éprouve après quelques instants de rotation ; en effet les tissus tendent à s'appliquer avec force contre la paroi intérieure, et, lorsque ce sont des pièces de coton, elles laissent peu de liberté à l'air pour sortir ; celui-ci pénétrant toujours par l'ouverture centrale, s'y accumule de plus en plus, et sa pression s'ajoute continuellement à celle des tissus.

Cette machine est non seulement applicable dans les teintures pour laines, cotons, soies et autres matières filamenteuses, mais encore dans les blanchisseries, dans les fabriques d'indiennes, de soieries, etc.

On a remarqué que les laines séchées par ce moyen sont plus douces que celles qui sont exposées dans les séchoirs ordinaires ; elles ne sont pas écrasées comme cela a lieu en les soumettant à l'action des cylindres, ni fatiguées, comme quand on est obligé de les tordre fortement pour les égoutter avant de les essorer (*Pub. ind. de M. Armengaud*, 3me vol. 1re liv.).

Au résumé, pour mieux faire comprendre l'importance des machines, soit pour extraire l'eau que retiennent les étoffes, soit pour les faire sécher plus promptement et plus économiquement, il suffit de rappeler ici les expériences faites par M. Payen sur le mode de séchage mécanique, c'est-à-dire par la compression entre deux cylindres (voir le *Manuel de blanchiment*, par Julia de Fontenelle).

Une pièce de calicot simplement égouttée retient 7 kilog. 1/2 d'eau ; tordue, elle en contient 5 kil. ; soumise à la presse-cylindre, cette eau se réduit à 2 kil. 1/2. et peut même descendre à 1 1/2 kil. en l'y passant avec toutes les précautions convenables. Ces presses-cylindres sont donc de véritables séchoirs très économiques, qui abrégent bien plus le séchage que les autres et économisent beaucoup le combustible. Voici le tableau comparatif des frais, établi par M. Payen :

Prix de la presse à cylindre, 4,000 fr., intérêt par jour.	2 fr.
Puissance mécanique d'un cheval de vapeur à 50 centimes par heure, pendant 10 heures.	5 fr.
Eau enlevée, 5 kil. par pièce, soit 3,000 kil. par jour, au prix de.	7 fr.
Séchage à l'air chaud, 3,000 kil. d'eau, à raison de 2 fr. par 100 kil., ci.	60 fr.
Économie par le séchage mécanique. . . .	53 fr.

La machine de Penzoldt opère l'extraction de l'eau encore plus promptement et mieux que la machine à essorer avec cylindre, sans exiger plus de force motrice et avec une bien plus grande économie de combustible dans les séchoirs (voir le Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, 1843, n° 65). Nous devons dire cependant qu'elle a occasionné plusieurs accidents graves, dus principalement à la négligence des ouvriers qui n'avaient pas distribué également les étoffes dans le tambour extérieur, ou qui n'avaient pas bien fermé les cercles d'arrêt, ou qui avaient imprimé en commençant un mouvement trop rapide et trop précipité.

M. Laubereau, ingénieur civil, a pris aussi un brevet d'invention pour une machine propre à ventiler et sécher les étoffes. Cet appareil repose également sur le principe de l'extraction de l'eau que retiennent les étoffes, par l'effet de la force centrifuge. On introduit les étoffes dans des espèces de coffres ou paniers à claires-voies en fer, disposés à chaque extrémité d'un levier qui traverse l'axe de rotation. Ce dernier est horizontal et mis en mouvement par un pignon qui engrène avec une roue d'un plus grand diamètre, laquelle est mue à l'aide d'une manivelle ou d'un moteur quelconque. Tout l'appareil est enveloppé dans un coffre en bois de 3 à 4 centimètres d'épaisseur.

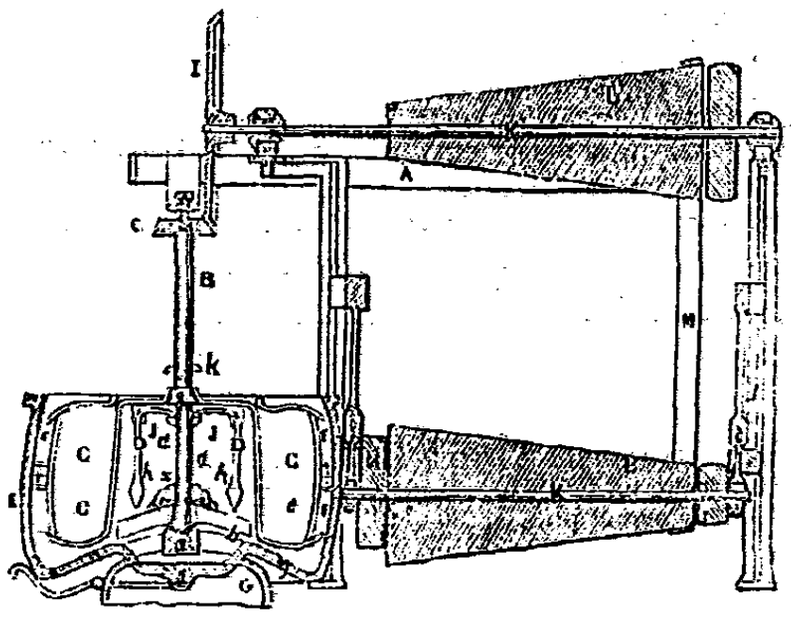
Cette machine offre sans doute moins de danger que l'*hydro-extracteur de Penzoldt*, mais elle opère peut-être plus lentement.

En Angleterre, MM. Keely, teinturier, et Alliott, blanchisseur, ont pris une patente d'importation pour

ESSORER.

la machine de Pentzoldt, qu'ils ont perfectionnée avec succès.

La fig. 807 représente la coupe partielle de la machine ; A, A, est le bâti ; B, l'arbre vertical tournant sur une crapaudine *a* fixée sur le pont *b*. Cet arbre porte à sa partie supérieure un cône de friction *c* dont il reçoit son mouvement de rotation, comme on le dira plus loin. C est un tambour contenant deux compartiments concentriques, *d*, *e*, de la forme représentée par le dessin : ce tambour est placé librement sur l'arbre B, et repose, quand il n'est pas en mouvement, sur deux saillies coniques, *f*, *g*, qui font partie de l'arbre. Ces deux compartiments ont un même fond en métal, et leurs côtés se composent de fils de fer étamé, roulés circulairement, placés à de très petites distances, et liés transversalement par de petites bandes en métal qui y sont soudées. Le plateau qui recouvre le compartiment intérieur *d*, est assujetti par des boulons et des écrous à un cercle de fer qui retient les côtés en fil de même métal, mais celui qui sert de couvercle au compartiment *e*, dans lequel seul on place les marchandises, est disposé de manière à pouvoir être soulevé lorsque l'on veut les y introduire ou les en retirer, et porte deux rebords, l'un extérieur et l'autre intérieur. Ces rebords sont disposés de telle sorte que, quand le plateau est placé, l'intérieur presse la circonférence convexe du compartiment central, et l'extérieur tombe en dehors des côtés de l'autre compartiment. Pendant que la machine fonctionne, ce second plateau est maintenu à sa place par des goupilles ou des boulons, qui ne sont pas représentés dans le dessin.



807.

Les côtés du compartiment extérieur *d*, sont assemblés avec le fond, au moyen d'un prolongement des bandes transversales de métal qui relient les fils, et qui sont rivées et soudées sur les deux plateaux extrêmes. Les fils du compartiment intérieur sont attachés à la partie supérieure par un cercle de fer, sur lequel ils sont rivés et soudés, et sont assemblés avec le plateau du fond par le moyen d'un rebord que porte ce plateau, rebord un peu rabattu sur ces côtés qui sont rivés et soudés.

D, est un régulateur suspendu dans le compartiment intérieur *d*, et dont les deux branches *h*, *h*, sont chargées. Ces deux branches ayant du jeu autour des goupilles qui leur servent de points d'attache, et qui sont fixées au plateau supérieur, se terminent par des branches coudées dont les extrémités s'appuient sur un cordon J qui fait saillie sur l'arbre. E, est une enveloppe extérieure qui est assujettie sur le bâti A, A ; elle renferme tout le tambour, excepté par dessus, et sert à retenir l'eau chassée des étoffes. En *y*, se trouve un robinet pour l'écoulement de cette eau, et le fond contient en outre l'extrémité d'un tuyau par lequel arrive de l'air chaud.

L'arbre vertical B reçoit un mouvement de rotation ; il emporte avec lui le tambour ; et plus ce mouvement est rapide, plus la force centrifuge tend à expulser l'eau contenue dans les étoffes ou dans les fils à dessécher ; mais comme cette force pourrait aussi déplacer l'arbre central, si le poids n'était pas exactement réparti dans le tambour, et causer la dislocation de la machine, lorsque l'on imprime la grande vitesse nécessaire pour la dessiccation prompte, le régulateur D a été destiné à prévenir cet inconvénient. Les branches de ce régulateur s'écartent d'autant plus que la vitesse augmente davantage, et soulèvent par conséquent le tambour C de dessus les renflements coniques *f*, *g* ; ce qui permet au tambour de se déplacer un peu, et de rectifier sa position conformément aux inégalités de son chargement, en sorte que son centre de gravité puisse toujours coïncider avec son centre de rotation. Le tambour est assemblé avec l'arbre de la manière que l'on voit en *s* ; ce qui le laisse libre de prendre le mouvement nécessaire. Pour l'empêcher de se soulever trop subitement, on fixe un ressort spiral *k* sur l'arbre immédiatement au-dessus du renflement conique *g*. Afin de le maintenir plus sûrement en équilibre, on l'entoure aussi d'une couronne creuse F à moitié remplie d'eau ou de tout autre fluide ; si, pendant la révolution de la machine, le poids des étoffes est prédominant de quelque côté, celui de l'eau qui s'accumule sur le côté opposé sert plus ou moins à le contre-balancer. On peut augmenter l'effet de cette couronne en la partageant en deux compartiments et plus. G, est un large tuyau par lequel on introduit la vapeur ou de l'air chaud au centre du tambour, qui est percé en cet endroit d'un grand nombre de petits trous pour le recevoir.

Le mouvement de rotation est transmis au tambour de la manière suivante :

I est un disque conique monté sur l'extrémité d'un arbre qui commande à frottement le cône c et l'arbre B. L' est un cône fixé sur l'extrémité de l'arbre K', et L'' un autre cône de même dimension, mais dont la base fait face au sommet de l'autre, et qui est établi sur l'arbre K'' commandé par le moteur. M est la courroie qui embrasse les deux cônes, et dont le déplacement latéral, opéré par le moyen d'une fourchette, permet de régler à volonté la vitesse de la machine. N est la poulie qui reçoit directement le mouvement. Au lieu d'un seul disque I à frottement, on peut aussi en employer un de plus, si on le juge nécessaire, et placer entre eux deux un cône additionnel de friction, afin de mieux égaliser le frottement ; mais alors le disque et le cône additionnel doivent tourner librement sur leurs propres arbres. On peut aussi adopter une autre disposition pour le bas de l'arbre vertical. L'arbre immédiatement au-dessus de la crapaudine est entouré d'un anneau lâche autour duquel une certaine quantité de petit plomb ou de quelque autre matière grenue qui se trouve contenue avec l'anneau dans la boîte, dont le fond sert de crapaudine. Le dessus de cette boîte est percé d'une ouverture dans laquelle descend, lorsque la machine est au repos, un cordon ménagé sur l'arbre ; et lorsque le tambour C est soulevé par l'action du régulateur D, ce cordon quitte également sa place ; ce qui permet à l'arbre de déplacer un peu le plomb, et de prendre la position que réclame le point où se trouve amené le centre de gravité. (*Journal des Usines*, février 1845.)

M. Violet, rédacteur en chef de cette publication, fait remarquer que ces moyens ne doivent pas em-

pêcher l'inégalité de la tension produite par la force centrifuge ; pour atteindre ce but, on doit distribuer le poids le plus uniformément possible.

ESTAMPAGE. L'estampage est un procédé général qui trouve dans les arts une foule infinie d'applications. C'est, en général, par l'action de moutons ou de balanciers agissant sur des coins et matrices d'acier qu'on parvient à donner à des métaux malléables des formes voulues. L'estampage ne s'applique qu'aux pièces de petite dimension qui doivent avoir une grande netteté, lorsque ces pièces ont une épaisseur notable. Pour les pièces de dimensions un peu grandes, l'estampage exige que le métal ait une épaisseur assez faible, soit réduit en feuilles. Nous ne traiterons ici ni de la fabrication des MONNAIES, à laquelle nous consacrerons un article spécial, ni de celle des couverts et fourchettes par estampage que nous décrirons à l'article ORFÉVRERIE. Nous allons donner ici seulement la description d'une application curieuse et importante des procédés de l'estampage.

CUIVRES ESTAMPÉS. Une nouvelle industrie qui a pris un grand développement dans ces dernières années est celle des cuivres estampés, au moyen desquels on a pu obtenir à des prix extrêmement minimes des ornements d'un grand éclat et d'un prix très peu élevé.

Nous empruntons ce qui suit, pour la majeure partie, à un intéressant rapport fait à la Société d'Encouragement sur cette industrie, par M. Amédée Durand.

« Tout le monde sait que, pour transformer en un objet donné de sculpture une feuille plane de cuivre, on profite de sa malléabilité pour obtenir ce résultat. La malléabilité est la propriété que possède le métal de se tendre et de se raccourcir ; mais ces deux effets, même avec l'auxiliaire des recuits, ne peuvent s'obtenir que dans des conditions de progression dont on ne peut franchir les limites sans s'exposer à voir le métal se déchirer dans quelques parties, et dans d'autres se plisser, comme le fait un papier à filtre placé dans un entonnoir. Pour maîtriser ces deux effets, la pensée concevrait l'idée d'un moule dont les formes se prononceraient progressivement et proportionnellement, et arriveraient ainsi à ces beaux reliefs de sculpture à fortes saillies que nous avons sous les yeux ; mais un tel moule ne saurait être réalisé dans l'état actuel de notre industrie, et c'est à des équivalents que l'estampage a été obligé d'avoir recours. Voici en quoi consistent ceux-ci.

« Un moule de fer est placé sur le tas du mouton ; on sait que le poinçon qui entre dans ce moule est un morceau de plomb qu'on y a coulé ; rien n'est plus simple que d'atténuer avec un outil les saillies de ce poinçon, qui sont trop fortes pour qu'elles ne déchirent pas la feuille de cuivre ; mais, d'un autre côté, les creux du moule correspondant à ces saillies n'offrant plus au glissement sur elles-mêmes des molécules du plomb qui forme le poinçon une résistance suffisante, la feuille de cuivre se trouverait sollicitée à prendre de l'extension dans des proportions qui dépasseraient ses limites de malléabilité. Pour obvier à cet inconvénient, on a encore recours au plomb, et on en verse en fusion dans les creux du moule dont on redoute la trop grande profondeur pour le commencement de l'opération. On voit dès lors que progressivement les creux du moule arriveront à présenter à la feuille en estampage toute la profondeur par la substitution de nouveaux morceaux de plomb graduellement moins épais, et finalement par leur suppression.

« Les moyens qui viennent d'être indiqués, et qui sont fondamentaux dans cette industrie, ne sont pas les seuls employés, et sans parler encore de celui de tous qui mérite au plus haut degré d'être signalé, en raison de son importance et de sa nouveauté, nous dirons qu'un auxiliaire est fourni au plomb par le cuivre lui-même qu'il est destiné à façonner.

« Ces combinaisons de plomb coulé atténué dans sa forme et frappé au mouton ne satisferaient pas à la condition essentielle d'une fabrication industrielle, la célérité. Il a fallu recourir à un moyen plus économique de rendre la résistance du cuivre décroissante, à mesure que deviennent plus petits les détails des surfaces non encore façonnées. Pour cela, on commence par placer sous le mouton plusieurs pièces superposées, puis on en diminue le nombre ; puis encore on a recours à un autre moyen pour augmenter partiellement la résistance du métal dans les places où les ruptures sont le plus à craindre ; il réside dans la superposition momentanée de quelques morceaux de feuilles de cuivre. Ces doublures, qui n'ont quelquefois que des dimensions très restreintes, ont reçu le nom de chemises ; elles ont, en effet, pour effet d'opposer une résistance efficace aux déchirures, et de former une transition indispensable pour obtenir certains détails de relief auxquels le métal se refuserait de prime-abord.

« Ce que nous avons dit des effets obtenus dans l'industrie de l'estampage, de la plasticité du plomb, serait incomplet, si nous ne parlions pas de l'application fort remarquable qu'on en a faite pour assembler le poinçon de plomb avec le mouton qui est en fonte de fer, et l'y fixer de la manière la plus solide. Ici point de vis de pression, ni de clef, ni aucun de ces moyens qu'on emploie avec les matières résistantes ; le plomb s'y refuse, et ce n'est pas trop de le saisir par toute l'étendue de surface que les besoins du travail laissent disponible. Voici ce qui a lieu : le mouton qui, comme nous venons de le dire, est en fonte de fer, a sa partie inférieure terminée par une surface plane ; cette surface reçoit, au moyen du tour, des rainures circulaires concentriques plus larges au fond qu'à l'entrée, et présentant ainsi la partie creuse de l'assemblage dit en queue-d'aronde. Pour compléter cet assemblage, il suffit de laisser tomber le mouton sur le plomb coulé dans le moule et refroidi, pour que, par la plasticité de ce métal, la seconde moitié de l'assemblage soit produite, et que les languettes circulaires en queue-d'aronde viennent se mouler dans les rainures indiquées précédemment. Si un seul coup de mouton suffit à produire cet assemblage, on conçoit que tous ceux qui lui succèdent ne font que le consolider. »

Tout ce que nous venons de dire se rapporte aux principes fondamentaux de l'industrie de l'estampage, et ne dépasse pas ce que peut produire une seule matrice, si étendue qu'elle soit ; cependant, on obtient aujourd'hui des bandes d'ornements d'une longueur indéfinie et de formes variées dans leur étendue. Il s'agissait de résoudre ce problème, savoir que lorsqu'une partie du cuivre s'estampait, celle qui devait à son tour venir recevoir sa forme dans la même matrice, ou une tout autre différente, reçût en même temps une ébauche qui lui ménageât un rapport, un lien avec celle qui s'incrustait. C'est par un système d'enchevêtrures assez délicates à régler entre les ornements et les matrices, qu'on parvient à obtenir ces bas-reliefs, ces longues frises qui ne présentent de solution de continuité, ni dans le métal, ni dans sa forme. Ces enchevêtrures n'ont pas lieu seulement sur la longueur de la pièce estampée, elles sont quelquefois nécessaires dans sa largeur, et c'est pour les obtenir que M. Fugère a imaginé de dévier les barres de ses moutons en les soudant à leurs bases, afin de donner à la matière la latitude nécessaire pour se déplacer, suivant le travers des pièces qu'il exécute.

Cet aperçu peut donner une idée du système que suit l'estampage, mais ne peut nullement mettre sur la voie du moyen éminemment remarquable, de l'expédient tout à fait imprévu, qui est employé dans cette industrie pour donner à ses produits une netteté qui peut ar-

ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES.

river jusqu'à présenter l'aspect que donne aux médailles l'action du balancier. L'expérience avait prouvé que, quel que fût le poids des moutons, quelque répétés que fussent leurs coups, la feuille de cuivre, poussée dans les détails de la matrice par le poinçon en plomb, ne pouvait en reproduire toute la finesse et la fermeté. Il s'agissait donc de découvrir une matière propre à fabriquer un poinçon qu'on retrouvât toujours le même, à tel nombre que pussent s'élever les coups de mouton, et quelque variées que fussent les formes qu'il aurait à produire. C'est ici le lieu de signaler particulièrement cette puissance infinie que révèlent si fréquemment les explorations industrielles, et qui réside dans l'observation des phénomènes de la nature, que certains hommes savent faire avec une sagacité si profonde, et qui non seulement leur tient lieu de science, mais souvent précède les découvertes de celle-ci. Nous regrettons vivement que nos recherches n'aient pu nous permettre de connaître celui qui le premier, voyant le poinçon de plomb en quelque sorte las et manquant du dernier degré de ductilité nécessaire pour imprimer la feuille de cuivre dans les détails les plus délicats de la matrice, eut l'idée de construire une espèce de poinçon d'eau dont la fluidité complétât ce qu'il demandait vainement à la plasticité du plomb. En effet, et cela est devenu un procédé usuel, de verser un peu d'eau sur la feuille de cuivre à bout d'estampage par le plomb, pour qu'aussitôt cette eau, comprimée par le poinçon qui la frappe, pousse le cuivre dans les détails les plus délicats de la matrice, et lui donne presque entièrement l'aspect qu'on ne croyait pouvoir attendre que du balancier.

L'application de moyens aussi efficaces a eu les résultats les plus frappants. On est parvenu à obtenir par ces procédés les ornements de ronde-bosse de l'architecture monumentale; c'est ainsi que le théâtre italien offre dans la construction de sa première galerie une rampe composée de consoles que, malgré leur grande dimension et le relief de leurs formes, l'estampage a pu produire. L'emploi de ces produits pour la décoration des appartements est aujourd'hui extrêmement considérable en France.

Quand les pièces séparées ont été estampées, on les soude à l'étain, et on les fait décaper par les passeurs à l'eau forte qui emploient les procédés de décapage à acides combinés que nous avons indiqués à l'article DORURE. Enfin les pièces sont passées, afin qu'elles conservent l'éclat produit par le décapage, à un vernis particulier qui leur donne l'aspect d'une véritable dorure. (Voir VERNIS.)

ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES. Les établissements dangereux ou insalubres sont régis par le décret du 15 octobre 1810 et l'ordonnance du 14 janvier 1815; de même que les CHAUDIÈRES A VAPEUR, qui en font partie, et dont nous avons parlé dans un article à part, les établissements insalubres sont divisés en trois catégories :

La *première* comprend ceux qui doivent être éloignés des habitations particulières;

La *seconde*, les manufactures et ateliers dont l'éloignement des habitations n'est pas rigoureusement nécessaire, mais dont il importe néanmoins de ne permettre la formation, qu'après avoir acquis la certitude que les opérations qu'on y pratique sont exécutées de manière à ne pas incommoder les propriétaires du voisinage, ni leur causer de dommage;

Enfin, la *troisième* catégorie renferme les établissements qui peuvent rester sans inconvénients auprès des habitations, mais qui doivent rester soumis à la surveillance de la police.

Les demandes en autorisation pour les établissements insalubres de la première catégorie doivent être adressées au préfet du département, et dans le ressort de la préfecture de police (département de la Seine et communes de Saint-Cloud, Sèvres et Meudon), au préfet de police. Elles donnent alors lieu à des affiches et à une enquête de *commodo* et *incommodo*. Lorsqu'il y a opposition, le conseil de préfecture est appelé à donner son avis. L'instruction terminée, les pièces sont envoyées par le préfet au ministère du commerce, et l'autorisation est définitivement accordée, s'il y a lieu, par une ordonnance royale rendue en conseil d'État.

Pour les établissements de la seconde catégorie, la demande doit être adressée au sous-préfet de l'arrondissement, et après une enquête de *commodo* et *incommodo*, faite par le maire de la commune, les pièces sont renvoyées au préfet, qui statue. Si l'autorisation est refusée, ou si les conditions qui lui sont imposées lui paraissent inutiles ou trop onéreuses, le fabricant peut se pourvoir en conseil d'État contre l'arrêté du préfet; mais ce pourvoi n'est pas suspensif, et, provisoirement, il doit se soumettre à la décision du préfet. Il en est de même des oppositions.

Pour les établissements de la troisième catégorie, les autorisations sont délivrées par les sous-préfets, sur l'avis des maires et de la police locale. Quoique l'enquête ne soit pas exigée, elle a lieu dans le ressort de la préfecture de police. Les oppositions sont jugées par le conseil de préfecture, et le pourvoi est même admissible devant le conseil d'État.

Nous renvoyons pour plus de détails au *Code administratif des établissements insalubres*, par M. *Trébuchet*, et nous nous contenterons de donner ici la nomenclature de ces établissements :

1re *catégorie*. Affinage des matières d'or et d'argent par l'acide sulfurique, quand les gaz dégagés pendant cette opération sont versés dans l'atmosphère. — Affinage des métaux au fourneau de coupelle, ou au fourneau à réverbère. — Allumettes (fabrication d') préparées avec des poudres, ou matières détonnantes ou fulminantes. — Amidonneries. — Ammoniacaux (fabrication des sels) par la distillation des matières animales, ou préparés au moyen des eaux de condensation des usines d'éclairage. — Bleu de Prusse (fabriques de), lorsqu'on n'y brûle pas la fumée et le gaz hydrogène sulfuré, etc. — Bleu de Prusse (dépôts de sang destinés à la fabrication du). — Boues et immondices (dépôts de). — Boyaudiers. — Calcination d'os d'animaux, lorsqu'on n'y brûle pas la fumée. — Cendres d'orfèvres (traitement des) par le plomb. — Cendres gravelées (fabrication des), lorsqu'on laisse répandre la fumée au dehors. — Chairs ou débris d'animaux (dépôts de). — Chanvre (rouissage du) en grand par son séjour dans l'eau. — Charbon animal (fabrication ou revivification du), lorsqu'on ne brûle pas la fumée. — Charbon de terre (épuration du), à vases ouverts. — Chlorures décolorants, *eau de Javelle*, chlorure de chaux (fabrication en grand des), destinés au commerce. — Colle-forte (fabriques de). — Cordes à instruments (fabriques de). — Cristalleries, — Cuirs vernis (fabriques de). — Dégras ou huile épaisse à l'usage des tanneurs (fabriques de). — Écarrissage. — Échaudoirs ou cuisson des débris d'animaux, intestins, etc. — Émaux (fabriques d'). — Encre d'imprimerie (fabriques d'). — Engrais animaux (dépôts et fabriques d'), poudrette, etc. — Étoupilles ou amorces fulminantes (fabriques d'). — Feutres vernis (fabriques de). — Fourneaux (hauts). — Goudron (fabrication et travail du). — Graisses à feu nu (fonte des). — Huiles de lin (cuisson des). — Huile de pied de bœuf (fabriques d'). — Huile de poisson (fabriques d'). — Huiles de térébenthine et d'aspic (distillation en grand des). — Huile rousse (fabriques d'), extraite des crétons et débris de graisse à une haute température. — Noir d'ivoire et noir d'os (fabriques de), lorsqu'on ne brûle pas la fumée. — Orseille (fabrication d'). — Porcheries. — Poudres fulminantes (fabriques de). — Pyro-ligneux (fabrication de l'acide), lorsque les gaz se répandent

ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES.

dans l'air sans être brûlés. — Résines et matières résineuses (travail en grand), soit pour la fonte et l'épuration de ces matières, soit pour en extraire la térébenthine. — Rouge d'Angleterre (fabriques de) en vases ouverts. — Sabots (ateliers à enfumer les), dans lesquels il est brûlé de la corne ou autres matières animales, dans les villes. — Soufre (fabrication des fleurs de). — Soufre (distillation du). — Suif (fonderie de) à feu nu. —Sulfate de cuivre (fabrication du) au moyen du soufre et du grillage. — Sulfate de soude (fabrication du) en vases ouverts. — Sulfures métalliques (grillage des). — Sulfurique (fabriques d'acide). — Tabac (combustion des côtes de) en plein air. — Taffetas et toiles, cirés et vernis (fabriques de). — Tourbe (carbonisation) en vases ouverts. — Tripiers. — Tueries, dans les villes dont la population excède 10,000 âmes. — Vernis (fabriques de). — Verreries.

2e *catégorie*. Acier (fabriques d'). — Affinage des matières d'or et d'argent, par l'acide sulfurique, quand les gaz dégagés pendant cette opération sont condensés. — Battoirs à écorce, dans les villes. — Bitumes, asphaltes (ateliers pour la fonte et la préparation des). — Blanc de baleine (raffineries de). — Blanc de plomb ou de céruse (fabriques de). — Blanchiment des fils et tissus par le chlore et l'acide sulfureux, gazeux ou liquide. — Bleu de Prusse (fabriques de), lorsqu'elles brûlent leur fumée et le gaz hydrogène sulfuré. — Buanderies des blanchisseurs de profession et les lavoirs qui en dépendent, quand ils n'ont pas un écoulement constant de leurs eaux. — Calcination d'os d'animaux, lorsque la fumée est brûlée. — Carbonisation du bois à l'air libre ou en vases clos, lorsqu'elle se pratique dans des établissements permanents, et ailleurs que dans les bois et forêts, ou en rase campagne. — Carton (fabriques de). — Cendres d'orfèvre (traitement des), par le mercure et la distillation des amalgames. — Cendres gravelées (fabriques de), lorsqu'on brûle la fumée, etc. — Chamoiseurs. — Chandelles (fabriques de). — Chapeaux (fabriques de) — Charbon animal (fabrication ou revivification du), lorsque la fumée est brûlée. — Charbon de bois (dépôts de), dans Paris. — Châtaigues (dessiccation des). — Chaux (fours à) permanents. — Chiffonniers. — Chlore (fabriques de). — Chlorures décolorants, *eau de Javelle*, *chlorure de chaux* (fabrication des), quand ces produits sont employés dans l'établissement même, ou que la production ne dépasse pas 300 kil. par jour. — Chrômate de potasse (fabriques de). — Chrysalides (dépôts de). — Cire à cacheter (fabriques de). — Colle de peau de lapin (fabriques de). — Corroyeurs. — Couverturiers. — Cuirs verts (dépôts de). — Cuivre (fonte et laminage du). — Cuivre (dérochage du) par l'acide nitrique. — Distilleries d'eaux-de-vie et liqueurs. — Étain (fabriques de sel d'). — Faïence (fabriques de). — Feutre goudronné propre au doublage des navires (fabriques de). — Fonderies au cubilot. — Fondeurs en grand au fourneau à réverbère. — Forges de grosses œuvres, où l'on fait usage de moyens mécaniques pour mouvoir, soit les marteaux, soit les masses soumises au travail. — Fours à cuire les cailloux destinés à la fabrication des émaux. — Galons et tissus d'or et d'argent (brûleries en grand des). — Gaz d'éclairage (ateliers de). — Harengs (saurage des). — Hongroyeurs. — Huiles essentielles (dépôts d'). — Huiles (extraction des huiles et autres corps gras contenus dans les eaux savonneuses des fabriques). — Huiles (épuration en grand des) au moyen de l'acide sulfurique. — Hydro-chlorique (fabrication de l'acide) en vases clos. — Lard (ateliers à enfumer le). — Maroquiniers. — Mégissiers. — Morues (dépôts de). — Moulins à broyer le plâtre, la chaux et les cailloux. — Moulins à farine, dans les villes. — Nitrique (fabrication de l'acide), *eau-forte*, par la décomposition du nitre au moyen de l'acide sulfurique, dans l'appareil de Woolf. — Noir de fumée (fabriques de). — Noir d'ivoire et noir d'os (fabriques de), lorsqu'on brûle la fumée. — Noir minéral (carbonisation et préparation des schistes bitumineux pour fabriquer le). — Os (blanchiment des) pour les boutonniers. — Papier (fabriques de). — Parcheminiers — Phosphore (fabriques de). — Pipes (fabriques de). — Plâtre (fours à) permanents. — Plomb (fonte et laminage du). — Poêles et fourneaux en faïence et terre cuite (fabriques de). — Porcelaine (fabriques de). — Pyro-ligneux (fabrication de toutes les combinaisons de l'acide) avec le fer, le plomb ou la soude. — Rouge d'Angleterre (fabriques de) en vases clos. — Salaisons (dépôts de), — Secrétage des peaux ou poils de lièvre et de lapin. — Soufre (fusion du), pour l'épurer et le couler en canons. — Sucre (raffineries de). — Suif (fonderies de) au bain-marie ou à la vapeur. — Sulfate de soude (fabrication du) en vases clos. — Sulfates de fer et de zinc (fabrication des) par la dissolution des métaux dans l'acide sulfurique. — Sulfures métalliques (grillage des), dans des appareils propres à recueillir le soufre et à utiliser l'acide sulfureux qui se dégage. — Tabac (fabriques de). — Tabatières en carton (fabriques de). — Tanneries. — Tôle vernie (fabriques de). — Tourbe (carbonisation de la) en vases clos. — Tuileries et briqueteries. — Vernis à l'esprit-de-vin (fabriques de). — Zinc (usines à laminer le).

3e *catégorie*. — Acétate de plomb, *sel de Saturne* (fabrication de l'). — Acétique (fabriques d'acide). — Ammoniaque ou alcali volatil (fabrication en grand de l'). — Ardoises artificielles et mastics divers (fabrication des). — Battage en grand et journalier de la laine et de la bourre. — Batteurs d'or et d'argent. — Blanchiment par les chlorures alcalins. — Blanc d'Espagne (fabriques de). — Bois doré (brûleries de). — Borax (raffinage du). — Bougies (fabriques de). — Boutons métalliques (fabrication des). — Briqueteries ne faisant qu'une seule fournée en plein air, méthode flamande. — Briquets phosphoriques et oxygénés (fabriques de). — Buanderies des blanchisseurs de profession et les lavoirs qui en dépendent quand les eaux ont un écoulement constant. — Camphre (raffinage du). — Caractères d'imprimerie (fonderies de). — Carbonate de soude (fabrication du). — Cendres (laveurs de). — Cendres bleues et autres précipités du cuivre (fabriques de). — Chantiers et dépôts de bois à brûler et de charbon de bois dans les villes. — Chaux (fours à), ne travaillant pas plus d'un mois par année. — Chicorée-café (fabriques de). — Chrômate de plomb (fabriques de). — Ciriers. — Colles de parchemin et d'amidon (fabriqus de). — Corne (travail de la), pour la réduire en feuilles. — Dégraisseurs. — Doreurs sur métaux. — *Eau seconde* (fabrication de l'), alcali caustique en dissolution des peintres en bâtiments. — Échaudoirs dans lesquels on traite les animaux pour séparer le poil de la peau. — Encre à écrire (fabriques d'). — Engraissage des oies (établissements en grand pour l'). — Essayeurs. — Étain (fabrication des feuilles d'). — Féculeries. — Fer blanc (fabriques de). — Fondeurs au creuset. — Fromages (dépôts de). — Gélatine (fabrication de la). — Glaces (étamage des). — Grillage des tissus de coton par le gaz (ateliers de). — Laques (fabriques de). — Lavoirs à laines (établissement des). — Lustrage des peaux. — Moulins à huile. — Nitre ou salpêtre (fabrication et raffinage du). — Ocre jaune (calcination de l') pour le convertir en ocre rouge. — Papiers peints (fabriques de). — Plâtre (fours à), ne travaillant pas plus d'un mois par an. — Plomb de chasse (fabriques de). — Potasse (fabriques de). — Potiers d'étain. — Potiers de terre. — Sabots (ateliers à enfumer les). — Savonneries. — Sel (raffineries de). — Sulfate de cuivre (fabrication du) par voie humide. — Sulfate de potasse (raffinage du). — Sulfate de fer et d'alumine; extraction de ces sels des matériaux qui les contiennent tout for-

més, et transformation du sulfate d'alumine en alun. — Sirop de fécule (extraction du). — Tartre (raffinage du). — Teinturiers. — Toiles peintes (ateliers de). — Tréfileries. — Tueries dans les communes dont la population est au-dessous de 10,000 habitants. — Vacheries dans les villes dont la population excède 5,000 habitants. — Vert-de-gris et verdet (fabriques de). — Viandes (Salaison et préparation des). — Vinaigre (fabriques de). Voy. *Complément* INSALUBRES (ARTS).

ÉTAIN (*angl.* tin, *all.* zinn). L'étain est connu dès la plus haute antiquité ; il en est parlé dans les livres de Moïse, et il était fourni au commerce par les Phéniciens qui le tiraient du Cornouailles. C'est un métal d'un blanc presque aussi pur et aussi brillant que celui de l'argent. Il possède une saveur et une odeur très sensibles et très désagréables ; il est très malléable, et peut être réduit en feuilles excessivement minces en le battant sous le marteau : sous ce rapport, il tient le quatrième rang parmi les métaux. Il est aussi très ductile ; cependant, sous ce rapport, il n'occupe que le septième rang. Dans l'ordre de la ténacité, il occupe le cinquième rang : il exige pour se rompre une charge d'environ 8 kilogrammes par millimètre carré de section. Il est très mou, quoique moins que le plomb. Fondu, sa densité est de 7,29, et elle s'élève par le laminage et le martelage jusqu'à 7,45. Il se dilate de 1/162, de 0 à 100°, et fond à 212° suivant Newton, et 228° suivant Chrichton ; il est peu volatil. Les acides, en agissant sur sa surface, y développent des dessins qui ont été utilisés pour la préparation du *moire métallique* (voir *fer-blanc*). Lorsque l'on plie une baguette d'étain pur, elle fait entendre un craquement particulier que l'on appelle cri de l'étain : cet effet est dû au brisement des cristaux rudimentaires que renferme la masse ; quand on a renouvelé plusieurs fois l'essai sur une même baguette, il cesse de se produire.

Dans le commerce, on apprécie la pureté de l'étain : 1° à l'intensité du *cri*, qui est d'autant plus grande que l'étain est plus pur ; 2° au poids comparatif de deux balles de même grosseur, l'une d'étain fin, l'autre de l'étain à essayer ; et 3° en coulant le métal, fondu à une très basse température, dans une cavité de 1 à 2 centimètres de diamètre. L'étain pur, coulé en feuilles ou en lingots, présente au moment où il se solidifie une surface parfaitement lisse, sur laquelle on n'aperçoit aucun indice de cristallisation ; mais de très petites quantités de métaux étrangers lui donnent la propriété de se couvrir de ramifications aiguillées ou étoilées d'autant plus étendues que l'étain est plus impur. Les étains de Banca et Malacca (Inde), et celui d'Angleterre connu sous le nom de *grain-tin*, sont très purs ; les autres renferment toujours une petite quantité de cuivre, de plomb, de fer ou d'arsenic.

L'étain forme deux oxydes. Il ne s'altère pas sensiblement, même à l'air humide ; mais maintenu en fusion au contact de l'air, il se convertit rapidement en protoxyde (surtout lorsqu'il est allié avec du plomb), et même en deutoxyde, si le grillage est suffisamment prolongé. Il ne décompose l'eau qu'au rouge. Il est dissous par les acides sulfurique, hydro-chlorique et nitrique à chaud. Il se combine directement avec le soufre, le sélénium, le tellure, le phosphore, l'arsenic et le chlore. Il s'allie avec un grand nombre de métaux, et plusieurs de ces alliages sont d'un grand usage dans les arts ; tels sont ceux qu'il forme avec le cuivre, le plomb et le fer. (Voyez ALLIAGES, BRONZE, FER-BLANC, SOUDURE, ETC.)

Nous venons de dire qu'il y avait deux oxydes d'étain. Ces oxydes sont réduits, à l'aide de la chaleur par l'hydrogène, le charbon, le soufre, le fer, etc., à l'état d'hydrate ; ils sont solubles dans les sulfures alcalins.

Le *protoxyde d'étain* est tantôt en petits cristaux d'un gris métalloïde, tantôt en poudre d'un jaune-olivâtre, d'une densité = 6,67 ; il est fusible, et chauffé au contact de l'air, il brûle comme de l'amadou, en se changeant en deutoxyde. Son hydrate est blanc, et perd son eau à la température de 100°. Le protoxyde d'étain est soluble dans les acides et les alcalis fixes caustiques, mais il est insoluble dans l'ammoniaque. L'acide nitrique et le chlore le font passer à l'état de deutoxyde. On prépare l'hydrate, en précipitant une dissolution de protochlorure par de l'ammoniaque en excès, et lavant à froid avec de l'eau bouillie. En le faisant digérer à 97°, pendant plusieurs heures, avec de l'eau ammoniacale, lavant à l'eau bouillie, ou le chauffant au rouge dans un courant d'acide carbonique, on obtient le protoxyde anhydre, qui est composé de :

Etain. . . .	0,88	Sn O.
Oxygène. .	0,12	

Le deutoxyde d'étain se présente sous deux états distincts, sous lesquels il possède des propriétés différentes. Préparé en oxydant l'étain métallique par l'acide nitrique, il est blanc, à l'état d'hydrate contenant 11 pour 100 d'eau, insoluble dans l'acide nitrique, et se réduit facilement par calcination à l'état anhydre. Préparé en précipitant par l'ammoniaque une dissolution de deuto-chlorure d'étain, il est d'un blanc jaunâtre, hydraté et soluble dans l'acide nitrique. Sous ces deux états, cet oxyde joue le rôle d'un acide faible : aussi le nomme-t-on souvent *acide stannique* ; il est soluble dans les alcalis fixes caustiques et dans l'ammoniaque étendue, mais non dans l'ammoniaque concentrée. En fondant le deutoxyde d'étain insoluble dans l'acide nitrique avec un alcali caustique, on le rend soluble dans cet acide. Réciproquement, en faisant digérer à chaud un mélange de deuto-chlorure, d'eau et d'acide nitrique, il s'en précipite un chlorure qui donne avec l'ammoniaque un hydrate insoluble dans l'acide nitrique.

A l'état anhydre, le deutoxyde d'étain est composé de :

Etain. . . .	0,7867	Sn O^2.
Oxygène. .	0,2133	

L'étain est précipité de ses dissolutions salines, à l'état métallique, par le fer et le zinc.

Les *sels de protoxyde* s'altèrent promptement à l'air, en absorbant de l'oxygène. Ils donnent avec les alcalis caustiques des précipités blancs solubles dans un excès de réactif, avec l'ammoniaque et les carbonates alcalins des précipités blancs insolubles dans un excès de réactif, avec l'hydrogène sulfuré des précipités bruns, avec les sulfures alcalins des précipités semblables, solubles dans un grand excès de réactif, avec les prussiates jaune et rouge des précipités blancs, et avec les iodures alcalins des précipités rouges solubles dans un excès de réactif.

Les *dissolutions de deutoxyde*, dans les acides, offrent des caractères analogues, à cette différence près, que l'hydrogène sulfuré les précipite en jaune sale, le prussiate jaune en blanc jaunâtre, et que les iodures alcalins ne les troublent pas.

Les combinaisons de deutoxyde avec les bases, ou *stannates*, sont décomposées par les acides ; il se forme alors des dissolutions de deutoxyde, que l'on reconnaît aux caractères que nous venons d'indiquer. Les principaux sels d'étain sont les suivants :

Le *protosulfure*, qui est d'un gris de plomb métallique, demi-ductile, un peu moins fusible que l'étain, et inaltérable par la chaleur. Il se décompose par le grillage, et se transforme en deutoxyde. On l'obtient directement en chauffant au rouge de l'étain et du soufre. Son hydrate est brun, et se prépare en précipitant un sel de protoxyde par l'hydrogène sulfuré.

Le *deutosulfure*, connu sous le nom d'or *musif*, et em-

ployé pour bronzer le bois, etc., se présente sous la forme de lames micacées d'un jaune de laiton tirant sur le jaune de bronze, et se décompose à la chaleur rouge avant de se fondre, en abandonnant la moitié du soufre qu'il renferme et se transformant en protosulfure. On le prépare ordinairement en faisant un amalgame de 2 parties d'étain et de 1 partie de mercure, y ajoutant 1 partie 1/4 de soufre et 1 partie de sel ammoniac; puis, triturant le tout ensemble, dans un mortier, avec un peu d'eau, on place le mélange dans des creusets couverts ou dans des cornues, et l'on chauffe au bain de sable pendant plusieurs heures à une chaleur qui ne doit pas dépasser le rouge naissant. Le mercure ne sert qu'à rendre l'étain susceptible d'être très divisé. Il se volatilise pendant l'opération.

Le *protochlorure* ou *sel d'étain* est blanc-grisâtre éclatant, à cassure résineuse, fusible au-dessous de la chaleur rouge et volatil peu au-dessus. Il se dissout dans une petite quantité d'eau; mais celle-ci en excès le décompose en oxy-chlorure qui se précipite, et en chlorure acide qui est employé dans la teinture comme mordant. Les dissolutions mêlées de deutochlorure donnent, avec celles d'or, un beau précipité pourpre connu sous le nom de *pourpre de Cassius*. (Voyez OR.) On l'obtient, soit en distillant de l'amalgame d'étain avec du protochlorure de mercure, soit en chauffant en vase clos, jusqu'à fusion, le chlorure acide cristallisé. Ce dernier se prépare en dissolvant l'étain métallique dans de l'acide hydro-chlorique.

Le *deutochlorure* ou *liqueur fumante de Libavius* est liquide à la température ordinaire, incolore, transparent, très fluide, plus lourd que l'eau, d'une ardeur piquante et insupportable, et très volatil; il bout à 120°. Il répand à l'air d'épaisses fumées blanches, par suite de sa grande affinité pour l'eau avec laquelle il se combine en toutes proportions. On le prépare ordinairement en distillant, à une chaleur ménagée, un mélange de 4 parties de sublimé corrosif et de 1 partie d'étain amalgamé avec environ 1/3 de son poids de mercure.

Le seul minerai d'étain est l'*oxyde* (deutoxyde) que l'on rencontre en filons, en amas, et le plus souvent en veinules très disséminées (stockwerk) dans les terrains anciens. On le trouve souvent aussi en galets dans les alluvions qui proviennent du détritus de ces terrains. Il est presque toujours accompagné de wolfram (voyez TUNGSTÈNE), de molybdène sulfuré et de pyrites arsenicales. Les gîtes d'étain exploités ne sont pas en grand nombre; les principaux se trouvent dans les Indes, le Cornouailles, la Saxe et la Bohême. On a découvert, au commencement de ce siècle, deux gîtes d'étain en France, à Piriac (Loire-Inférieure) et à Vaulry (Haute-Vienne); mais ces gîtes n'ont aucune importance.

L'oxyde d'étain est brun-rougeâtre, se foncant quelquefois jusqu'au noir et d'autres fois incolore, tantôt transparent ou fortement translucide, le plus souvent opaque. Il est assez dur pour rayer le verre. Sa densité varie de 6,5 à 6,9; il cristallise en prismes droits à base carrée, presque toujours maclés, ce qui forme même un de ses caractères saillants, et qui présentent un éclat extrêmement vif. Sans addition, il est infusible au chalumeau; difficilement réductible au feu de réduction, il se réduit aisément par l'addition de la soude. Il est inattaquable par les acides. Rendu soluble par la fusion avec la potasse ou la soude, il donne lieu, par le chlorure d'or, à un précipité pourpre.

L'essai des minerais d'étain est très simple. On commence d'abord par les griller pour décomposer les matières pyriteuses et arsenicales, que l'on enlève ensuite par un lavage par décantation; ou mieux, ce qui est beaucoup plus exact et plus rapide on fait bouillir pendant quelques instants le minerai réduit en poudre avec un faible excès d'eau régale; on étend d'eau, on jette le résidu sur un filtre, on le lave, on le fait sécher, et on calcine le tout, le filtre à part, pour chasser la petite quantité de soufre libre qui a pu se former par l'action de l'eau régale. L'essai se fait à la température des essais de plomb ou à celle des essais de fer. Lorsqu'on opère à une basse température, on fond le minerai grillé, soit avec 4 parties de flux noir dans un creuset nu, soit avec 1/2 partie de carbonate de soude dans un creuset brasqué. Mais en suivant ce procédé, qui est cependant encore presque le seul employé dans les usines, il reste toujours dans les scories une certaine quantité d'étain, et d'autant plus que la matière est plus pauvre et qu'on emploie plus de flux; en sorte qu'il pourrait arriver que des minerais ou des scories qui seraient assez riches en grand, pour être traitées avec bénéfice, ne donnassent pas d'étain en petit, si l'on faisait l'essai de cette manière.

Lorsqu'on veut réduire en totalité l'étain, il faut fondre le minerai grillé avec addition d'un fondant convenable, à la température des essais de fer, dans un creuset brasqué. 0,30 à 0,40 de borax ou de carbonate de soude, préalablement pulvérisés, peuvent servir dans tous les cas, mais, étant volatils, on ne peut vérifier l'exactitude des essais, comme lorsqu'on emploie pour flux des fondants terreux (voyez *essais de* FER); l'opération se conduit du reste absolument comme pour les essais de fer. On obtient un alliage qui renferme de l'étain, du fer, et quelquefois du tungstène, qu'il faut analyser par voie humide.

Quand on veut rechercher combien une scorie pourrait produire en grand d'étain pur, ou susceptible d'être purifié par la liquation, on en fond une certaine quantité avec 10 à 15 p. 100 de son poids de fer métallique en limaille, dans un creuset nu, et l'on analyse le tout. L'étain est du reste à peu près pur lorsqu'il n'est point magnétique, et il est susceptible d'être purifié par liquation toutes les fois qu'il est malléable. Nous verrons d'ailleurs que l'on emploie également en grand le fer métallique, pour réduire l'oxyde d'étain resté dans les scories provenant de la fonte des minerais, ou dans les carcas de liquation.

Il n'y a aucun moyen de doser par voie sèche l'étain contenu dans un alliage; il faut nécessairement opérer par voie humide. Dans les essais d'étain à une température élevée, on obtient des alliages d'étain, de fer, et presque toujours de tungstène. On réduit ces alliages au laminoir en feuilles aussi minces que possible quand ils sont ductiles, et on les pulvérise quand ils sont cassants, puis on les fait bouillir avec de l'acide hydrochlorique pur et concentré, qui dissout le fer et l'étain et laisse un résidu de tungstène renfermant quelquefois un peu de fer; on précipite l'étain de la dissolution par l'hydrogène sulfuré, on recueille le précipité sur un filtre, on le lave, on le traite par l'acide nitrique, on évapore à sec et l'on calcine le résidu, qui par là se trouve transformé en deutoxyde d'étain pur. On fait bouillir avec de l'acide nitrique la liqueur qui renferme le fer, pour ramener ce métal à l'état de peroxyde, que l'on précipite par l'ammoniaque et que l'on calcine, le filtre à part, après lavage.

Pour analyser l'étain du commerce, on le traite par l'acide nitrique pur qui le convertit en deutoxyde insoluble : on évapore presque à siccité, on étend d'eau et on filtre pour séparer l'étain; dans la liqueur filtrée, on précipite le plomb à l'état de sulfate par l'acide sulfurique, on filtre et on précipite le fer à l'état de peroxyde par un excès d'ammoniaque qui redissout le cuivre; on filtre et enfin on précipite le cuivre à l'état de deutoxyde en faisant bouillir la dissolution ammoniacale avec de la potasse caustique. Lorsqu'il y a de l'arsenic dans l'étain, au lieu d'opérer comme nous venons de le dire, il faut, après avoir séparé le plomb, sursaturer la liqueur d'hydro-sulfate d'ammoniaque après l'avoir neutralisée avec de l'ammoniaque, et filtrer. L'ar-

senic passe dans la liqueur filtrée d'où on le précipite, à l'état de sulfure, en la neutralisant par l'acide hydrochlorique, tandis que le fer et le cuivre restent sur le filtre à l'état de sulfures; on les dissout dans l'acide nitrique et on les sépare comme ci-dessus.

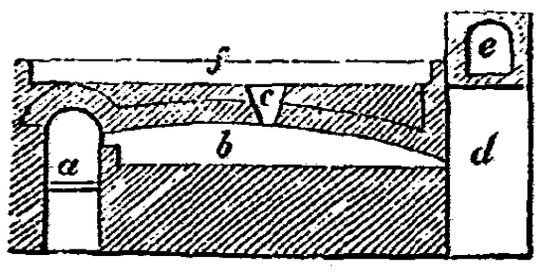
Traitement métallurgique.

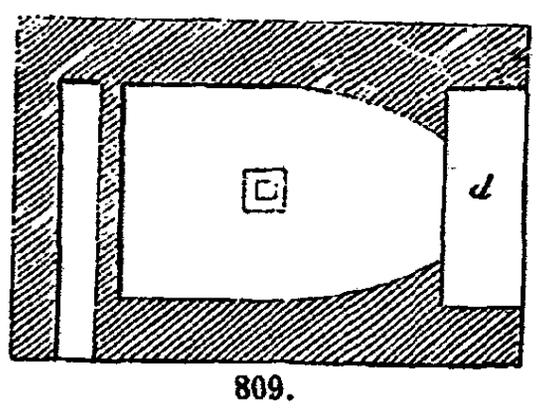
Le traitement métallurgique des minerais d'étain comprend : le grillage du minerai, le lavage du minerai grillé, la fonte du minerai grillé, le traitement des résidus et le raffinage de l'étain. La fusion des minerais grillés s'exécute, soit dans des fourneaux à tuyères, soit dans des fourneaux à réverbère, ce qui constitue deux classes de procédés distincts. En Angleterre, pour les minerais d'alluvion seulement, en Bohême et en Saxe, on emploie le premier procédé; le second est usité en Angleterre pour tous les minerais venant des mines de Cornouailles. Nous allons les passer successivement en revue.

SAXE. En Saxe les propriétaires de mines d'étain sont obligés de livrer leur minerai préparé aux usines royales, qui leur en paient immédiatement la valeur d'après celle de l'étain qu'ils donnent à l'essai, déduction faite des frais de traitement; il en résulte, d'une part, que l'exploitation des mines peut se faire avec peu de fonds, puisqu'elle n'exige pour ainsi dire aucuns fonds de roulement, et, d'autre part, que les usines royales peuvent associer les minerais divers qui leur sont livrés de la manière la plus convenable pour leur traitement ultérieur.

Les minerais sont apportés à l'usine, lavés, à l'état de *schlichs crus*. On commence par les griller afin de décomposer les matières pyriteuses et arsenicales qu'ils renferment, et qui, ramenées à l'état d'oxyde, se séparent ensuite aisément par le lavage. Le grillage s'effectue dans des fours à réverbère, représentés en plan et en coupe fig. 808 et 809 : la sole *b*, de forme trapézoïdale, a 5m,15 de longueur, 3m,30 de largeur près de la grille *a*, et 1m,65 près de la porte de travail *d*, placée à l'autre extrémité; la voûte n'a que 0m,22 de hauteur, à la clef, au-dessus de la sole; celle-ci est une aire plane ouverte des deux côtés, sur laquelle on brûle du bois; près de la porte de travail et dans la voûte, est pratiqué un canal horizontal *e*, qui conduit l'acide arsénieux et les autres produits du grillage dans une série de chambres de condensation. On en retire de temps à autre l'acide arsénieux impur, qui forme moyennement les 20 à 25 p. 100 de schlich cru. On charge à la fois 6 à 700 kil. de schlich cru préalable

808.



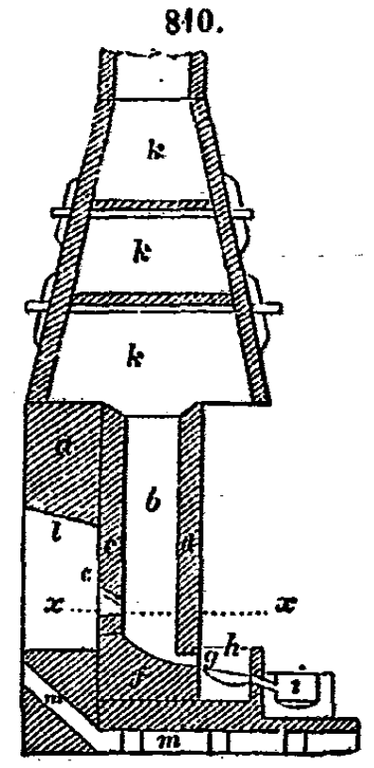


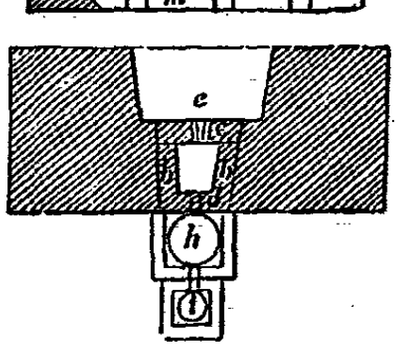
809.

ment desséché sur la voûte *f* du fourneau, d'où on le fait tomber sur la sole par l'ouverture *c*, pratiquée dans la voûte, et on augmente graduellement le feu de manière à ne pas dépasser le rouge sombre dans les deux premières heures; on donne à la fin un bon coup de feu, l'oxyde d'étain pur étant infusible. Chaque grillage dure en moyenne sept heures.

Les schlichs grillés sont lavés sur des tables à secousses, puis fondus sans addition, ou avec une petite quantité de quarz quand ils sont très ferrifères, et avec 2 à 4 p. 100 de chaux quand ils sont très chargés de wolfram (tungstate de fer), de schéelin-calcaire (tungstate de chaux) et de molybdène sulfuré; ces schlichs renferment de 40 à 60 p. 100 d'étain. La fusion s'exécute dans un demi-haut-fourneau à poitrine fermée, ayant seulement un *œil* pour l'écoulement de l'étain et des scories, et surmonté de chambres de condensation. Ce fourneau est représenté en coupe verticale, fig. 810, et en coupe horizontale au niveau *x x* de la tuyère, fig. 811 : *a*, massif du fourneau; *b*, *b*, costières; *c*, warme, et *d*, poitrine; *e*, tuyère; *f*, sole en granite; *g*, *œil* de la poitrine, par lequel l'étain et les scories tombent dans l'avant-creuset *h*; *i*, bassin de réception dans lequel on fait de temps en temps couler l'étain, et où on le puise pour le couler; *k*, *k*, *k*, chambres de condensation; *m*, *m*, canaux d'assèchement. La hauteur totale du fourneau au-dessus de la sole est de 4 mètres; la largeur de la warme est au gueulard 0m,57, à la sole 0m,38; celle de la poitrine, aux mêmes hauteurs, est de 0m,47 et 0m,38; et la distance de la warme à la poitrine est de 0m,66 et 0m,52. La poitrine est déversée intérieurement de telle sorte, que la verticale partant de son extrémité supérieure tombe exactement au milieu de la sole; celle-ci a une inclinaison de 0m,10. On lance dans le fourneau de 4 1/2 à 5 kil. d'air par minute au moyen de deux soufflets pyramidaux. La charge normale est d'environ 6 kil. 1/4 de schlich grillé et de 1 litre et 1/2 de charbon de bois léger. On passe 52 kil. de minerai par heure. La campagne dure de cinq à six jours. Les scories que l'on obtient sont repassées dans la proportion des 2/3 dans le courant de l'opération, puis à la fin de la fonte on les repasse une fois seules.

810.





811.

L'étain en pains obtenu par la coulée est affiné sur des aires de liquation analogues à celles usitées à Schlaggenwald, et dont nous parlerons plus bas.

Les scories de la fonte du minerai renferment encore 25 à 26 p. 100 d'étain métallique; on les ajoute aux crasses d'affinage ou carcas de liquation, et on fond le tout avec parties égales de scories de forge, dans un petit fourneau à manche de 1m,60 de hauteur, à bassin extérieur hémisphérique, et dont les campagnes ne durent que douze heures. Les scories de forge tendent à se réduire dans le fourneau à l'état de fer métallique,

et produisent par conséquent le même effet que donnerait l'addition directe de ce dernier, mais à beaucoup meilleur marché. Les scories sont enlevées par plaques, au fur et à mesure de leur solidification, dans le bassin extérieur qui a 0m,45 de diamètre, et rejetées; elles sont très pauvres en étain, et n'en renferment plus que 4 à 5 p. 100.

Le prix de revient des 100k d'étain, en Saxe, peut moyennement s'établir comme suit, à 204 fr. 18 c. :

Frais d'extraction du minerai. . . .	79f,68c
Frais de transport au jour, de grillage et de préparation mécanique. . .	63f,00c
Frais de fondage et de raffinage. . .	3f,53c
Frais généraux.	57f,97c
Prix de revient des 100k d'étain raffiné.	204f,18c

BOHÊME. Les mines d'étain de Bohême se groupent autour de deux centres bien distincts : *Zinnwald*, qui n'est en quelque sorte que le prolongement d'Altenberg en Saxe, dont il n'est éloigné que de quelques kilomètres, et où on suit les mêmes procédés de traitement; et *Schlaggenwald* (cercle d'Ellbogen), qui est de beaucoup le plus important, et dont nous allons dire quelques mots.

Les schlichs crus, livrés aux usines, sont grillés dans des fours à réverbère, à sole elliptique, de forme presque identique avec ceux employés pour la chloruration des minerais d'argent. (Voyez ARGENT, *amalgamation saxonne*.) La sole a 2m,40 de long sur 3m,50 de large; l'autel, 0m,30 sur 1m,65; la grille en briques réfractaires posée de champ, les mêmes dimensions; la voûte est à 0m,50 au-dessus de la grille; 0m,25 au-dessus de l'autel; 0m,35 au-dessus de la sole, près de l'autel; 0m,40 au milieu de la sole, et 0m,40 à son extrémité, près de laquelle elle est percée de deux cheminées de 0m,10 de diamètre, qui communiquent avec les chambres de condensation placées au-dessus. On charge à la fois de 200 à 250 kilogrammes de schlich cru sur la sole, et l'opération dure de 6 à 30 heures, en moyenne 20 à 25 heures. On élève graduellement la température en brassant à la fin, à plusieurs reprises, avec du poussier de charbon pour réduire les arséniates. Le grillage est terminé : 1° quand il ne se dégage plus de fumées arsenicales; 2° quand par le lavage à l'augette le minerai paraît bien pur, et que l'eau de lavage se colore fortement en rouge par l'oxyde de fer qu'elle tient en suspension; 3° quand enfin le minerai grillé et lavé à l'augette donne à l'essai au flux noir, fait à une température élevée, un bouton d'essai qui se laisse facilement laminer en un ruban flexible faisant nettement entendre, lorsqu'on le plie, le cri particulier à l'étain pur.

Les schlichs crus que l'on apporte à l'usine sont de trois sortes : le schlich gros obtenu dans les caisses à tombeau, le schlich moyen obtenu sur des tables dormantes à toiles, et le schlich fin venant des tables jumelles (voyez MÉTALLURGIE). Le schlich gros est grillé à part; les schlichs moyen et fin le sont ensemble; le schlich gros grillé est lavé à part dans une caisse à tombeau; il en est de même des autres schlichs grillés; enfin, les boues sont lavées sur une table à secousse ou sur des tables jumelles.

La fonte des minerais grillés s'exécute dans des fourneaux à manche de même forme que celui représenté fig. 810 et 811, mais beaucoup moins élevés, et dont les campagnes durent très peu de temps; de telle sorte que les propriétaires des mines, lesquelles sont très nombreuses et donnent lieu chacune à une faible extraction, peuvent fondre au fur et à mesure le minerai qu'ils en tirent. Le vide intérieur est prismatique, à section trapézoïdale, dont la largeur est de 0m,25 à la warme, 0,m20 à la poitrine et la profondeur de 0m,50, la hauteur de ce vide est de 2 mètres, à partir de la sole, qui est formée d'une pierre de granite inclinée de 1/3, à l'extrémité de laquelle est pratiqué, dans la poitrine, l'œil de 0m,03 de diamètre par lequel l'étain et les scories coulent dans l'avant-creuset extérieur; la sole dure au plus deux à trois campagnes, souvent même seulement une seule; le fourneau est construit avec un mélange damé d'argile réfractaire et de quarz grossièrement concassé. La poitrine est déversée à l'intérieur, de manière à ce que la verticale, partant de son extrémité supérieure, tombe au milieu de la sole. La tuyère est à 0m,15 ou 0m,20 au-dessus de la sole, suivant que le minerai est plus ou moins réfractaire; elle est rectangulaire et en granite; on démolit l'embrasure qui y conduit, à la fin de chaque campagne, pour réparer le fourneau. Le vent est donné par deux soufflets pyramidaux, qui en lancent de 3 à 4 kilogr. par minute, et il vient frapper la sole à 0m,07 environ de l'œil. Le séchage du fourneau se fait en 2 heures; on commence alors par donner le vent, et par charger dans le fourneau 3 parties de scories de l'opération avec 1 partie de schlich moyen, dont on augmente graduellement la proportion jusqu'à ce que la charge se compose de parties égales de minerai et de scories. A mesure que les scories se solidifient dans l'avant-creuset de 0m,33 de côté, on les retire à la pelle, et on les plonge encore rouges dans l'eau pour les étonner; on les concasse ensuite avec le dos de la pelle, et on les repasse dans le fourneau. On passe ainsi successivement, dans le fourneau, le schlich moyen, le schlich gros et le schlich fin; puis enfin, à la fin de la campagne, on repasse dans le fourneau, à deux reprises successives, les scories mêmes de l'opération, sans addition et sans élever la température, qui doit toujours être telle, que les matières qui s'écoulent par l'œil soient bien liquides et aient une couleur un peu au-dessus du rouge sombre. Les dernières scories que l'on obtient sont bocardées et lavées, pour en séparer les grenailles d'étain qu'elles renferment, et ce qui reste sur les tables de lavage est repassé dans le fourneau à la fonte suivante.

Après que l'on a passé dans le fourneau 150 kilogrammes de minerai, ce qui a lieu toutes les 4 heures environ, on coule l'étain, qui se trouve dans l'avant-creuset, dans un petit bassin hémisphérique de 0m,22 de diamètre, creusé dans une pierre de granite et préalablement chauffé avec quelques charbons allumés, et on l'y agite avec une petite quantité de poix minérale, jusqu'à ce qu'il se soit refroidi au point qu'une petite coquille de bois sec se transforme promptement en charbon roux sans s'enflammer, lorsqu'on l'y plonge. On puise alors l'étain avec une cuillère en fer, et on le verse dans un moule en granite, où il prend la forme de pains qui sont plus tard soumis à la liquation. Il reste, dans le bassin de réception, quelques crasses qui sont traitées à part avec les carcas du raffinage et les grenailles d'étain venant du bocardage des scories.

En résumé, le minerai employé rend de 30 à 60 p. 100 d'étain. Chaque campagne dure environ quarante-huit heures en tout, et, pendant ce temps, on passe dans le fourneau 1,300 kil. environ de minerai. Un fondage, que nous avons suivi, a fourni 12 pains d'étain qui, purifiés par liquation, ont donné 511 balles d'étain pesant 604 kil.

Le raffinage de l'étain se fait sur une aire plane de liquation en granite de 0m,30 de large, sur 0m,95 de long, inclinée de 1/12e, et ayant sur trois de ses côtés un rebord de 0m,15 de hauteur. On y met de petits morceaux de bois en croix que l'on allume, puis l'on charge successivement au-dessus les pains d'étain. Ce dernier métal se sépare peu à peu, coule sur le sol de l'aire, et se rend à sa partie inférieure, dans une cavité hémisphérique de 0m,25 de

diamètre, en granite, chauffée d'abord avec quelques charbons. Lorsque cette cavité se trouve remplie on y puise, avec une cuillère en tôle, l'étain, qui doit être à une température telle, qu'un morceau de papier qu'on y plonge se charbonne instantanément sans s'enflammer, et on le coule sur une table en cuivre ou en fonte, en feuilles que l'on roule ensuite et qui portent le nom de balles d'étain. Les tables en cuivre sont de beaucoup préférables à celles en fonte, parce que le premier métal peut se travailler en feuilles très-minces, et qu'en outre il est beaucoup meilleur conducteur du calorique, de telle sorte que l'étain s'y refroidit bien plus rapidement et acquiert par suite beaucoup plus de brillant et d'apparence.

Les balles d'étain ainsi obtenues, et livrées au comptoir du gouvernement, qui délivre en les recevant un à-compte de 90 p. 100 sur leur valeur, sont soumises tous les six mois à une seconde liquation, sur des aires de 1m,90 de long et 0m,50 de large, ayant pour but de purifier l'étain, et en outre d'obtenir par le mélange des balles provenant des différentes exploitations, un métal d'une qualité à peu près constante, et sur lequel on applique quatre marques.

Les grenailles d'étain venant du bocardage des scories et les carcas de liquation, sont mélangés avec un peu de poix minérale et du charbon de bois pulvérisés, puis introduits dans des pots de terre intérieurement vernis à l'alquifoux, et recouverts à l'extérieur d'un enduit d'argile servant à augmenter leur résistance et leur durée; ces pots ont environ 0m,13 de diamètre intérieur sur 0m,16 de profondeur. On les recouvre avec des couvercles en terre non lutés, on les range en plein air sur des morceaux de briques, qui leur servent de supports ou de fromages, en laissant entre chacun d'eux un certain intervalle. On élève ensuite tout autour un petit mur en pierres sèches de 0m,30 à 0m,40 de hauteur, on jette dans cette enceinte un peu de menu bois, puis on la remplit de charbon de bois et on allume le tout. Deux heures après la mise en feu, les ouvriers retirent séparément chaque pot, le découvrent et se mettent de suite à remuer les matières qu'il renferme avec une tige de bois vert; il se dégage d'abondantes fumées blanches, que l'on regarde comme dues à la volatilisation et à l'oxydation au contact de l'air d'une certaine quantité d'antimoine, d'arsenic, de zinc, et quelquefois de plomb et de soufre. Dès que l'on laisse quelques instants les matières en repos, l'étain gagne le fond et s'y rassemble. L'opération est terminée, lorsqu'en découvrant la surface du bain, le métal est d'un blanc brillant ne s'altérant pas à l'air d'une manière sensible; lorsqu'il est impur, sa surface se recouvre instantanément d'une pellicule d'un jaune plus ou moins foncé passant quelquefois au bleu violet, et présentant toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Il va d'ailleurs sans dire qu'il ne faut procéder à la coulée que lorsque la température est très basse (300 à 350°); il n'y a alors que les parties métalliques les plus pures qui restent assez liquides pour se rassembler en masse au fond du pot; on coule alors l'étain sur le sol de l'atelier, en inclinant le pot et en retenant les matières solides avec une planchette en bois. L'étain ainsi obtenu est raffiné avec l'étain de fusion en pains. On jette ensuite dans une cuve d'eau ce qui reste dans le pot, on en sépare les grenailles d'étain par lavage au crible à secousses et on les retraite comme ci dessus. Les boues sont concentrées par lavage et les résidus les plus riches traités comme le minerai cru.

Voici quels sont les résultats de ce traitement pour la principale exploitation des environs de Schlaggenwald, résultats qui sont la moyenne de l'année 1838.

Le schlich cru amené à l'usine, et sec, avait une teneur moyenne en étain de 36,4; grillé et lavé, elle s'est élevée à 47,4. Les consommations et frais par 100 kil. d'étain en balles obtenu, ont été comme suit :

275k de minerai lavé, sec, rendu à l'usine.			136f,39
Combustible pour le grillage, la fonte et le raffinage.	1/2k de poix minérale.	0f,28	
	2k 1/2 ou 750k de bois léger.	9f,72	
	425k de charbon de bois léger.	16f,85	
		26f,85	26f,85
Main-d'œuvre, frais divers et frais généraux.			17f,86
Impôts sur l'étain.			11f,63
Prix de revient des 100k d'étain en balles.			192k,73
Prix de vente des 100k d'étain en balles.			225f,75
Bénéfice.			32f,02
			ou 16,67 p. 100.

ANGLETERRE (*Cornouailles*). On distingue dans le Cornouailles deux sortes de minerais d'étain, ceux de filons, qui viennent des mines du pays, et ceux qu'on retire du lavage des sables d'alluvion. La presque totalité de ces minerais est traitée dans des fourneaux à réverbère alimentés à la houille; on ne soumet à la fonte au charbon de bois, dans un fourneau à tuyères, que les meilleurs minerais d'alluvion, dans le but d'obtenir de l'étain extrêmement pur.

Fonte au fourneau à manche. On fond immédiatement les minerais d'alluvion lavés, sans qu'il soit nécessaire de leur faire subir un grillage, dans un demi-haut-fourneau de 5 mètres de hauteur. L'étain réduit est d'abord reçu dans le premier bassin de réception, puis coulé dans le second, où on le laisse reposer quelque temps. Les scories qui coulent dans le premier bassin sont enlevées à mesure qu'elles se solidifient, jetées dans l'eau, puis divisées en deux classes; celles encore riches en oxyde d'étain, qui sont repassées dans le lit de fusion, et celles qui ne renferment guère que des grenailles d'étain, que l'on y concentre par bocardage et lavage avant de les repasser dans le lit de fusion. Le bain métallique se divise, par le repos des masses, en tranches horizontales d'autant plus pures qu'elles sont situées plus près de la surface. Lorsque l'étain qui forme les tranches supérieures est jugé suffisamment pur, on le transvase, au moyen de poches, dans le bassin d'affinage, qui a été préalablement chauffé, et sous lequel, s'il est en fonte enduite d'argile, on entretient un peu de feu. L'étain qui occupe le fond du bain est toujours très impur; on n'en transvase aucune portion dans le second bassin, mais tout ce qui reste dans le premier est coulé en saumons destinés à être rejetés dans le fourneau de fusion.

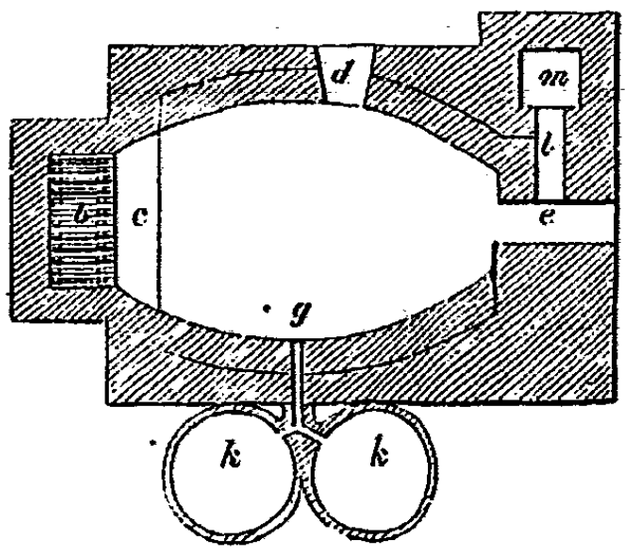
Lorsque le bassin d'affinage est suffisamment rempli, on y produit une ébullition artificielle en y plongeant une tige de bois vert que l'on agite dans le bain; le minerai non réduit et les substances pierreuses viennent à la surface sous la forme d'une espèce d'écume. Lorsque l'ébullition a été prolongée 1 heure à 1 heure 1/2, on retire le bois vert et l'on écume la surface du bain d'étain, qui doit présenter un éclat particulier et très vif. On laisse la masse reposer pendant quelque temps, ce qui permet aux parties inégalement pures de se séparer encore plus complétement, et, quand elle est suffisamment refroidie, on la coule en saumons, en puisant toujours l'étain à la surface du bain. De cette manière, presque tout ce qu'il y a d'impuretés dans le bain se trouve concentré dans les derniers saumons qui doivent être refondus; les autres, destinés au commerce, sont envoyés à un bureau où, après avoir constaté leur degré de pureté et perçu le droit de la couronne, on les frappe d'une marque. Ils sont généralement livrés ainsi au commerce; quelquefois cependant on chauffe le métal au point seulement de le rendre fragile, de sorte qu'en le laissant alors tomber d'une assez grande hauteur la masse se réduit en fragments, qui présentent une agglomération de grains allongés ou de *larmes*; ce

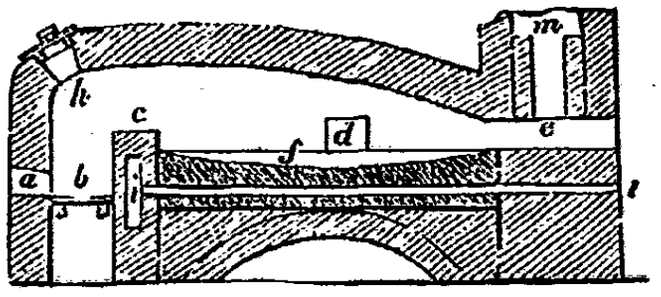
qui a fait donner à cette espèce d'étain le nom d'*étain en larmes* (*angl.* grain-tin).

Fonte au fourneau à réverbère. Tous les minerais d'étain de filon et une partie de ceux d'alluvion, sont traités par cette méthode. Après avoir lavé ces minerais, on les grille dans des fourneaux de grillage surmontés de chambres de condensation, et dont les dimensions varient dans des limites assez étendues. Ils ont ordinairement de 3 à 4^{m} de long sur 2 1/2 à 3^{m} de large. On charge à la fois 300 à 400^{k} de schlich cru sur la sole, et chaque grillage dure de 12 à 18 heures. L'arsenic impur qui se dépose dans les chambres de condensation est vendu aux usines d'arsenic. Le minerai grillé est exposé au contact de l'air pour transformer les sulfures en sulfates, et lessivé. Les eaux de lavage contiennent du sulfate de cuivre; on en précipite le cuivre, par de la ferraille, à l'état de cuivre de cément. On crible ensuite le minerai grillé pour séparer les fragments qui se sont agglomérés et qui doivent être de nouveau soumis au grillage après un bocardage préalable. Ce qui a passé à travers le crible est lavé dans des caisses à tombeau ou sur des tables dormantes, suivant le degré de finesse du schlich.

Les fig. 812 et 813 donnent la coupe et le plan du

812.





813.

fourneau à réverbère employé à St-Austle pour la fonte des schlichs d'étain grillés et lavés : *a*, est la porte par laquelle on charge le combustible sur la grille *b*; c, l'autel; *d*, la porte par laquelle on charge le minerai sur la sole; *e*, la porte de travail; *f*, la sole qui a environ 3^{m},50 de long sur 2^{m} de large; *g*, le trou de coulée; *h*, ouverture pratiquée dans la voûte, que l'on ouvre seulement au moment où l'on charge le minerai d'étain sur la sole afin d'empêcher le courant d'air d'entraîner la poussière dans la cheminée; *i*, petit canal donnant passage à de l'air froid qui rafraîchit l'autel et la sole et les empêche de se détruire aussi promptement; *k*, *k*, bassins de réception; *l*, rampant qui conduit les fumées à la cheminée *m*, qui a de 10 à 15^{m} de hauteur.

Avant de charger sur la sole le minerai grillé, dont la teneur moyenne est de 65 p. 100 d'étain, on le mélange, selon sa qualité, avec 1/15^{e} à 1/5^{e} de houille très sèche en poudre qui sert de réductif. On y ajoute aussi quelquefois de la chaux éteinte ou de la chaux fluatée, pour obtenir des scories plus fusibles. On charge à la fois 700 à 800^{k} de minerai, en chauffant fortement de prime-abord. Au bout de 6 à 7 heures, on jette quelques pelletées de houille sèche en poudre, afin de rendre les scories moins fusibles. On coule d'abord l'étain, et dès qu'on voit arriver des scories, on ferme le trou de coulée. Immédiatement après on retire les scories laissées sur la sole et on procède à une nouvelle charge. On laisse reposer pendant quelque temps l'étain dans le bassin de réception, afin de favoriser la séparation d'une petite quantité de scories qui ont coulé en même temps et que l'on enlève, puis on le prend avec des poches et on le coule dans des moules en fonte. Les scories qui étaient en contact immédiat avec la surface de l'étain sont très riches en grenailles; elles sont en très petite quantité, et sont mises de côté et fondues à part sans addition. Les scories qui contiennent seulement quelques grenailles d'étain sont bocardées et lavées, dans le but de concentrer les grenailles dans une faible quantité de scories, puis fondues isolément; elles donnent un étain de qualité très inférieure, ce qui se conçoit très facilement, attendu que le métal qui forme ces grenailles étant moins fusible que l'étain pur, se solidifie promptement et ne peut pas se réunir au bain métallique : on refond ces divers résidus au commencement de chaque campagne, lorsque les fourneaux ne sont pas encore suffisamment échauffés pour la fonte des minerais. Enfin, plus des 3/4 des scories sont assez pauvres pour être rejetées.

Le raffinage des saumons d'étain se compose de deux opérations, une liquation et le raffinage proprement dit. La liquation s'opère dans un fourneau à réverbère pareil à celui de fusion; on range les saumons d'étain sur la sole du fourneau, près de l'autel, et on les chauffe modérément. L'étain fond et coule dans le bassin d'affinage construit en briques ou remplacé par une chaudière en fonte sous laquelle on fait un peu de feu; au bout de quelque temps, les saumons cessent de donner de l'étain, et laissent sur la sole un résidu formé d'un alliage très ferreux. On range alors de nouveaux saumons sur les restes des premiers, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que le bassin de raffinage soit suffisamment rempli : sa grandeur est telle qu'il renferme 5000 à 6000^{k} d'étain.

Alors commence la seconde opération du raffinage. On enfonce dans le bain d'étain des bûches de bois vert, que l'on maintient à l'aide d'un châssis fixé sur une potence tournante. Le dégagement de gaz qui en résulte produit un bouillonnement constant dans le bain, qui amène à la surface une sorte d'écume et facilite la tendance qu'ont les parties les plus impures et les plus lourdes à se précipiter au fond. L'écume, composée presque entièrement d'oxyde d'étain et d'une petite quantité d'oxyde de fer est enlevée et rejetée à mesure dans le fourneau. Lorsqu'on juge que l'ébullition a duré un temps suffisant, on retire le bois vert et on laisse reposer le bain. Il se sépare en différentes zônes, d'autant plus pures qu'elles sont plus près de la surface. Lorsque l'étain est suffisamment refroidi, on le puise avec des poches et on le coule dans des moules en fonte. On conçoit que l'ordre de succession des saumons est celui de leur pureté; ceux qui proviennent du fond de la chaudière sont même ordinairement tellement impurs, qu'ils doivent être de nouveau soumis au raffinage, comme s'ils provenaient directement du minerai. La durée totale du raffinage est de 5 à 6 heures.

Chaque saumon d'étain qu'on soumet à la liquation laisse, comme nous l'avons dit, sur la sole du fourneau à réverbère, des crasses formées d'un alliage très ferreux. Lorsque la liquation d'une charge est terminée, on augmente le feu pour fondre les crasses restées sur la sole, et l'on fait couler l'alliage qui en provient dans un petit bassin à part. Cet alliage étant laissé en repos pendant quelque temps, la partie supérieure est coulée

en saumons, qui sont de nouveau soumis au raffinage. Il se dépose, au fond du bassin et sur ses parois, un alliage blanc, aigre, à cassure cristalline, qui contient une si grande proportion de métaux étrangers qu'on n'en peut tirer aucun parti. Il en est de même d'un nouveau résidu, infusible même à la température actuelle du fourneau, qui reste sur la sole.

En résumé, d'après MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont, on peut évaluer ainsi qu'il suit le prix de revient des 100ᵏ d'étain raffiné, obtenu au fourneau à réverbère :

157ᵏ de minerai grillé et lavé. . .	494ᶠ,37ᶜ
175ᵏ de houille.	2 ,20
main-d'œuvre et frais généraux. .	7 ,80
Prix de revient des 100ᵏ d'étain raffiné.	204ᶠ,37ᶜ

INDE. On rencontre dans la presqu'île de Malacca, l'île de Banca et quelques îles environnantes, du minerai d'étain d'alluvion très riche et très abondant; on le fond sans grillage préalable dans de petits fourneaux à manche analogues à ceux de Bohême.

Statistique. — La production totale de l'étain est annuellement d'environ 75,630ᵐᵉ qui se répartissent ainsi qu'il suit :

Saxe (1840).			1245ᵐᵉ
Bohême (moyenne de 1830 à 1841). . .			623
Angleterre.	étain en larmes. . .	3000ᵐᵉ	40000
	étain commun. . .	37000	
Inde.	presqu'île de Malacca. .	2386ᵐᵉ	33762
	Banca et îles voisines. .	31376	
Production annuelle de l'étain. . . .			75630ᵐᵉ

Le prix de l'étain varie de 250 à 300 et même 350 francs.

P. DEBETTE.

ÉTAMAGE. L'étamage a pour but de recouvrir un métal facilement oxydable d'une couche d'un autre métal non oxydable. Ainsi l'on recouvre le fer d'une couche d'étain, de zinc, de plomb, pour le préserver de l'oxydation qu'il éprouve à l'air humide. Ainsi, encore, on recouvre les vases culinaires en cuivre d'une couche d'étain, afin d'éviter les dangers qui peuvent résulter de la formation des sels vénéneux de cuivre dans les différentes préparations où l'on emploie le vinaigre, où l'on fait cuire des herbages acides, etc.

Les procédés d'étamage ont, quant au but, une grande connexité avec ceux employés dans la dorure, l'argenture, et les autres dépôts métalliques, que nous avons décrits à l'article DORURE; ils en diffèrent essentiellement, quant au principe de l'opération. Dans les procédés de dorure, pour fixer le métal précieux sur le métal commun, il faut employer un intermédiaire, parce que les deux métaux à juxtà-poser n'exercent point d'action l'un sur l'autre. Dans les procédés d'étamage, au contraire, les deux métaux à juxtà-poser étant susceptibles de donner des alliages, il suffit d'appliquer un métal sur l'autre, convenablement décapé, pour que la soudure s'effectue, pour qu'il y ait adhérence entre les deux surfaces en contact.

Nous allons considérer successivement l'étamage du cuivre; celui de la tôle, qui donne le fer-blanc; celui de la fonte, auquel nous ajouterons les procédés propres à émailler cette matière; celui du fer, qui sera complété par la galvanisation ou zincage, et par le plombage de ce métal; enfin l'étamage des glaces.

Auparavant nous devons nous occuper d'une opération essentielle qui précède toujours l'étamage; nous voulons parler du décapage des surfaces métalliques destinées à être recouvertes de couches d'étain, de zinc ou de plomb.

Décapage. Toutes les parties de la surface qui ne seraient pas parfaitement décapées ne prendraient point l'étamage. Le décapage du cuivre se fait habituellement en saupoudrant de sel ammoniac la pièce chauffée, étendant et frottant au moyen d'une étoupe. L'oxyde dont la surface était revêtue se combine avec le sel ammoniac pour donner un sel double volatil que la chaleur enlève. Pour la tôle et le fer, on emploie aussi une dissolution d'un sixième d'acide hydrochlorique dans l'eau. M. Golfier-Besseyre conseille fortement l'usage du chlorure double de zinc et d'ammoniaque. Ce sel s'obtient facilement par la combinaison équivalent à équivalent de chlorure de zinc et de sel ammoniac; il cristallise avec une grande facilité, tantôt en tables, tantôt en prismes, est très soluble dans l'eau, et se décompose par la chaleur en hydro-chlorate d'ammoniaque qui se sublime, et en chlorure de zinc qui se fond.

Ce composé est remarquable par la propriété qu'il possède de faciliter tellement l'étamage, qu'on peut très bien étamer du cuivre et du fer avec de l'étain, du plomb et du zinc; du zinc avec de l'étain ou du plomb, et même de l'étain avec du plomb, et réciproquement. Il met si bien à nu les surfaces métalliques sur lesquelles on en fait l'application, qu'aussitôt le contact il se produit des alliages fusibles qui déterminent l'étamage; c'est ainsi du moins que l'auteur s'explique la possibilité, par l'intermédiaire de ce sel, d'étamer une lame d'étain au moyen d'une lame de plomb, et réciproquement une lame du même plomb avec une lame du même étain.

Ce sel, dont la faible valeur permet un facile emploi, donne une si bonne qualité à l'étamage, que M. Besseyre a pu se servir, pendant plusieurs mois, d'une chaudière en tôle étamée avec du plomb seulement, pour faire cristalliser des liqueurs chargées d'acide sulfurique, sans qu'elle ait présenté aucune apparence d'altération.

C'est surtout la dissolution de ce sel qu'il convient d'employer lorsque l'on veut étamer, car il est essentiel pour le succès de l'opération que les surfaces à étamer soient uniformément et très complétement recouvertes d'une couche de ce composé, ce qu'il est à peu près impossible d'obtenir quand on l'emploie en poudre.

En thèse générale, M. Besseyre pense que l'action qu'exerce le chlorure double de zinc et d'ammoniaque sur les métaux, dont il facilite les soudures à l'étain ou l'étamage, s'explique par la plus grande affinité du zinc pour l'oxygène que pour le chlore, tandis qu'au contraire les autres métaux (même le fer) ont une affinité plus grande pour le chlore que pour l'oxygène.

ÉTAMAGE DU CUIVRE. La pièce étant décapée, il faut la recouvrir du métal préservateur. Pour cela, on promène l'étain en fusion sur la pièce chauffée, et on l'étale sur tous les joints avec de l'étoupe. Mais on n'obtient ainsi qu'une couche superficielle extrêmement mince d'étain, de telle sorte que ce métal étant bientôt emporté par le frottement, employé pour récurer les vases culinaires, on est dans la nécessité de renouveler souvent l'étamage.

Afin de faire cette opération à moindres frais, on emploie rarement l'étain pur; pour la plupart des usages on se sert d'un alliage contenant du dixième au quart de son poids de plomb. Dans ces proportions, l'emploi du plomb n'est pas dangereux. Toutefois cet alliage n'est pas plus résistant que l'étain pur, et M. Biberel lui a substitué avec avantage un alliage de 6 parties d'étain et de 1 partie de fer, sous le nom d'étamage polychrône. Cet alliage a l'avantage incontestable de produire un étamage d'une bien plus grande durée que celui obtenu par les moyens ordinaires. On l'obtient facilement en fondant d'abord l'étain, y projetant des rognures de fer, et chauffant jusqu'au rouge.

On reproche à cet alliage, qui a le grain de l'acier, d'être peu malléable à froid, cassant à chaud, et plus difficile à appliquer que l'étain ou l'alliage d'étain et de plomb, d'exiger une plus haute température pour se fixer, d'adhérer en couche plus épaisse sur les vases de cuivre, et d'être d'une couleur moins brillante.

MM. Richardson et Motte proposent de lui substituer un alliage composé :

Nickel.	0k,283
Rognures de fer.	0k,498
Étain.	4k,534

On fait fondre ensemble ces métaux avec un flux composé de 28 grammes de borax et 85 grammes de verre pilé. On obtient un étamage plus adhérent et plus blanc que le précédent.

ÉTAMAGE DE LA TÔLE. Le fer, exposé à l'air humide, a la propriété de se couvrir très facilement d'une couche d'oxyde qui augmente incessamment, de telle sorte que les pièces de fer peu épaisses ne tardent pas à se trouer. Aussi pour obvier à ce grave inconvénient, on fait adhérer à la surface de la TÔLE une couche d'étain, qui la change en *fer-blanc*, et l'on peut alors l'employer à une foule d'essais auxquels le fer ordinaire ne résisterait pas.

Pour fabriquer la tôle à fer-blanc, on se sert, en général, de fer préparé au charbon de bois ; on lamine ce fer, suivant des dimensions qui dépendent de la puissance des machines, et on découpe ensuite la tôle à la cisaille, à cinq ou six dimensions en usage dans le commerce, et qui varient dans les divers pays. On en forme des caisses de 100, 200 et 225 feuilles.

Pour exécuter l'étamage, on commence par préparer le métal, par le décaper. Le décapage se fait au moyen de l'acide hydro-chlorique. Pour huit caisses de 225 feuilles chacune, on emploie 2 kilogrammes d'acide hydrochlorique à 25° et 12 kilogrammes d'eau. On plie les feuilles en forme de Ω, et on les plonge, l'une après l'autre, dans l'acide, de manière que leurs deux surfaces soient bien mouillées par le liquide. Après cinq ou six minutes d'immersion, on passe dessous une barre de fer, et on les enlève trois par trois pour les porter dans le four à dessécher chauffé au rouge obscur. Lorsqu'elles ont atteint cette température, on les retire et on les laisse refroidir à l'air. Leur surface se découvre par la séparation d'écailles d'oxyde qui s'en détachent. Alors un ouvrier les redresse, en saisit huit à dix avec sa pince et les frappe avec force contre un bloc en fonte, afin que tout l'oxyde disparaisse. On les passe ensuite sous un laminoir à cylindres durs de 43 à 48 centimètres de diamètre.

Les feuilles sont alors parfaitement unies ; mais leur surface présente encore çà et là des taches noires. Pour les faire disparaître, on lessive les feuilles, en les tenant plongées pendant dix ou douze heures dans une eau légèrement acidulée par du son ou de la recoupe qu'on y a fait macérer durant huit à douze jours, et on les agite ensuite, pendant une heure, dans une autre eau renfermant quelques centièmes d'acide sulfurique, et contenue dans une caisse en plomb, divisée par compartiments dans chacun desquels se place une caisse de feuilles. Enfin, on retire rapidement les feuilles pour les placer dans de l'eau pure, où on les frotte avec de l'étoupe et du sable, et où on les conserve ensuite jusqu'au moment de s'en servir. On peut les garder ainsi autant de temps qu'on veut, parce qu'elles sont à l'abri du contact de l'air, et parce que le fer ne décompose pas l'eau à la température ordinaire.

Si, lorsque l'on veut pratiquer l'étamage, on plongeait immédiatement les feuilles dans l'étain fondu, il y aurait danger imminent d'explosion et de voir le métal fondu projeté hors du bain. D'un autre côté, quand on sèche les articles de fer qui sortent du décapage, les surfaces sont très sujettes à être attaquées et altérées par l'oxygène de l'air, au point que l'adhérence et la solidité de l'enduit métallique sont gravement compromises. MM. Morewood et Rogers proposent de faire sécher les objets en fer dans une atmosphère de vapeur, de manière à exclure, autant qu'il est possible, la présence de l'air. Ils prétendent qu'on obtient ainsi des surfaces sèches infiniment plus aptes à recevoir la couche de métal au moment où on les plonge dans le bain, que quand on a recours aux autres moyens de dessiccation en usage jusqu'à présent.

Pour procéder à cette opération, on emploie une caisse fermée en fer, qui peut avoir 2 mètres de longueur, 0m,45 de largeur et 1 mètre de profondeur, dimensions qui varient du reste suivant celles des articles sur lesquels on se propose d'opérer. Quand ce sont des feuilles ou des plaques qu'il s'agit de traiter, on place trois râteliers de fer à une distance entre eux de 0m,50 en travers de la caisse ; ces râteliers portent des barres verticales distantes entre elles de 25 millimètres, et entre lesquelles on place sur champ les feuilles ou plaques qui ne peuvent ainsi se toucher. Ces barres s'élèvent jusqu'au sommet de l'auge, mais ne descendent qu'à 15 centimètres du fond ; elles sont aplaties, larges d'environ 36 millimètres, les bords tournés du côté des plaques pour s'opposer à toute espèce de contact entre elles. Si les articles ont toute autre forme que celle de feuilles, on se sert de râteliers sans barres verticales, ou, si on les emploie, on les met à une distance suffisante pour que les objets puissent être introduits entre elles. Au fond de cette caisse, on dépose du sel ammoniac sur une épaisseur de 7 à 8 centimètres, et dessous on allume du feu, de manière à chauffer le sel ammoniac et à le convertir en vapeurs qui remplissent la caisse et en chassent l'air atmosphérique.

Il est inutile de faire remarquer qu'on pourrait se servir de toute autre vapeur, pourvu qu'elle fût de nature à ne point affecter sérieusement le fer, et à chasser l'air en contact avec la surface des pièces qu'on veut dessécher ; telles seraient celles que donnent le chlorure de zinc, et quelques autres sels ; mais l'expérience a appris que le sel ammoniac était la meilleure substance qu'on pût employer pour cet objet.

Il est encore bon d'observer que, lorsqu'on a appliqué la chaleur, il faut bien avoir soin de n'élever la température qu'avec un certain degré de lenteur, afin de ne pas donner lieu à des pertes par une vaporisation trop rapide, puisqu'il ne s'agit simplement que de remplir la caisse de vapeur, et de chasser autant d'air atmosphérique qu'il est possible.

La préparation des feuilles de tôle étant suffisamment indiquée, nous devons nous occuper de celle de l'étain. On fait un premier bain de parties égales d'*étain en saumons*, provenant des minerais en roche, et d'*étain en grains*, provenant de minerais d'alluvion et qui est plus pur que l'autre ; on ajoute au mélange 1 kilogr. de cuivre pour 70 kilogr. d'étain. Quand le métal est fondu, afin d'empêcher l'oxydation, on ajoute une quantité suffisante de suif ou de graisse, pour former sur le métal fluide une couche d'environ un décimètre d'épaisseur. La chaudière est chauffée au moyen d'un foyer placé au-dessous de son fond, et de conduits qui règnent autour de la surface extérieure ; on porte la chaleur aussi loin qu'il est possible, sans enflammer la graisse qui couvre l'étain fondu.

A côté de cette première chaudière s'en trouve placée une autre, qui est remplie seulement avec de la graisse.

On commence par plonger les feuilles une à une dans la graisse, jusqu'à ce que la chaudière en soit entièrement remplie, et on les y laisse environ une heure. Les feuilles de fer sont mieux disposées alors à prendre l'étain. Au sortir de ce premier bain, on les plonge dans la chaudière à l'étain, avec la graisse adhérente à leur surface, et on a soin de les ranger dans une position verticale. On met ordinairement dans cette chaudière 340 feuilles, et on les y laisse au moins une heure et demie pour qu'elles soient bien étamées. Si on retirait les feuilles de tôle au bout d'un temps moins long, or

n'aurait qu'un fort mauvais étamage, parce que la surface du fer ne serait qu'à peine attaquée; il faut qu'il puisse se faire à l'endroit du contact des deux métaux un véritable alliage de fer et d'étain. Dans tous les bons fer-blancs cet alliage existe; on en a la preuve en exposant une feuille de fer-blanc à l'action de l'acide chlorhydrique étendu d'eau. L'étain étant dissous laisse la feuille de fer couverte d'un grand nombre de cavités, ce qui n'aurait pu avoir lieu si l'étain n'avait pas pénétré dans le fer, car les feuilles avaient été laminées, et avant l'opération de l'étamage elles présentaient une surface parfaitement unie.

En retirant les feuilles du bain d'étain, on les laisse s'égoutter sur une grille de fer; l'excès de ce métal se rassemble surtout à la partie inférieure des feuilles. En plusieurs points de leur surface elles retiennent aussi plus d'étain qu'il ne faut, et, en outre, de l'oxyde et beaucoup de crasse. Pour les nettoyer et enlever cet étain en excès, on procède au *lavage*. Le principe de cette opération consiste tout simplement à fondre, par l'application d'une chaleur brusque, le métal excédant et à le happer par des bains d'étain et de graisse, qui sont eux-mêmes la source de la chaleur.

Le laveur remplit presque entièrement une chaudière de fer avec le meilleur *étain en grains* fondu; une seconde chaudière contient du suif en fusion pur ou du lard exempt de sel; une troisième chaudière, non chauffée, ne renferme autre chose qu'un grillage à son fond pour recevoir les feuilles; et une quatrième, nommée chaudière à lisser, contient une couche d'étain fondu de l'épaisseur d'un centimètre seulement. Nous n'avons pas compté une première chaudière, qui n'a pas d'autre but que d'entretenir de l'étain à l'état de fusion, afin d'en avoir toujours de disponible et de pouvoir en mettre au besoin dans les chaudières suivantes, qui doivent en contenir plus ou moins.

Le travail s'effectue de la droite à la gauche, dans le bâtiment qui renferme l'appareil du lavage.

La chaudière à laver est divisée en deux compartiments par une cloison mobile. L'ouvrier enlève la cloison, et lorsque l'oxyde d'étain s'est rassemblé à la surface, il le pousse avec un ringard vers une extrémité et remet la cloison, afin que l'oxyde ne rentre pas dans l'autre compartiment où l'on donne la dernière immersion aux feuilles. L'oxyde et les crasses provenant du premier bain où l'on emploie de l'étain commun, se détachent des feuilles et remontent, au fur et à mesure de l'opération, à la surface du bain. L'ouvrier laveur s'en débarrasse en soulevant la cloison, et les refaisant refluer dans le premier compartiment. Quand on a lavé un certain nombre de caisses de feuilles, on enlève les crasses, en écumant le bain, et remplaçant le déchet par l'étain parfaitement pur de la chaudière dont nous avons parlé en dernier lieu, et qui est destinée à cet objet. Dans le lavage on ne doit jamais se servir que de l'étain en grains. Tout l'étain commun qui est consommé dans cette fabrication est employé dans l'étamage proprement dit.

Le laveur retire un petit nombre de feuilles de la chaudière à laver, les place devant lui sur le fourneau, prend une feuille avec des tenailles qu'il tient de la main gauche, et avec une brosse de chanvre disposée pour cet objet, et qu'il tient de la main droite, il frotte un côté de la feuille. Il la retourne aussitôt, frotte l'autre, la plonge rapidement une seconde fois dans la chaudière à laver, pour faire disparaître les marques de la brosse, et la retire pour la plonger dans la chaudière à la graisse. L'étain superflu qui adhère à quelques parties de la surface, et qui y forme quelques ondulations, est enlevé par cette immersion, qui ne doit pas durer trop longtemps pour que trop d'étain ne se détache pas des feuilles, ce qui exigerait une troisième immersion dans le bain d'étain.

Au sortir de la chaudière à la graisse les feuilles sont placées dans le vase vide où elles se refroidissent. Il se forme alors sur le bord inférieur un bourrelet d'étain qu'on enlève au moyen de la dernière chaudière, nommée chaudière à lisser, et qui, comme nous l'avons dit, ne contient qu'une très petite quantité d'étain. On y place les feuilles, suffisamment refroidies, une à une sur leur bord inférieur; le bourrelet d'étain fond; l'ouvrier retire alors la feuille, et lui donne un coup vif avec une baguette; cette percussion fait tomber tout le métal excédant.

Pour que l'étamage soit bon, il est nécessaire qu'aucun point de la surface du fer ne soit libre; car, dans le cas contraire, la feuille s'oxyde bien plus facilement que si elle n'avait pas été étamée, lorsqu'elle vient à être mouillée par de l'eau, ou seulement lorsqu'elle se trouve dans de l'air humide. Le contact des deux métaux donne alors, en effet, naissance à un courant voltaïque qui hâte l'altération du fer. On dit que le fer-blanc qui présente quelques points non recouverts est *piqué*; on corrige ce défaut très grave, lors même que les points ne sont pas plus grands que des pointes d'épingles, par un battage qui ramène la couche d'étain voisine sur le point non suffisamment étamé.

C'est pour la même raison que le fer-blanc n'a aucune durée lorsqu'il a été coupé, et qu'on n'a pas passé de l'étain fondu sur tous les bords découpés pour les recouvrir. L'oxydation commence alors aux bords et s'étend avec une grande rapidité à toute la surface.

Dans toute la série des nombreuses opérations que nous venons de décrire, il y a une très grande quantité de déchets d'où il faut revivifier l'étain; on le fait par la *liquation* et par le *raffinage*.

La quantité d'étain qui adhère au fer est proportionnelle à la surface, quel que soit d'ailleurs le poids des lames; une caisse de 225 feuilles de 35 centimètres sur 27 exige de 5k,500 à 6 kilogr. Cela fait de 130 à 140 grammes d'étain par mètre carré de surface à recouvrir.

Le fer-blanc obtenu par les procédés précédents est connu sous le nom de fer-blanc *brillant doux*. On connaît aussi dans le commerce un fer-blanc sous le nom de *terne doux*; il se fabrique par les mêmes procédés que le premier, en employant un allinge de 2 parties de plomb contre 1 partie d'étain.

En se combinant avec le fer, l'étain détermine une cristallisation à grandes lames qui est dissimulée par une très légère pellicule d'étain qui recouvre la feuille de fer-blanc. Au moyen d'une eau acidulée par l'acide nitrique, l'acide hydro-chlorique, ou un mélange de ces acides, on dissout la pellicule, et la cristallisation reparaît avec l'apparence d'un beau *moiré métallique*. Proust est le premier qui ait remarqué ce phénomène; ses expériences lui ont démontré que c'est l'étain le plus pur qui fournit les cristallisations les plus nettes. Les essais nombreux de M. Robiquet ont confirmé ce résultat. Le fer-blanc destiné à donner du moiré doit donc être fait avec de l'étain très pur; et de plus, afin que les cristaux soient assez volumineux, il faut que ce fer-blanc soit recouvert de couches d'étain plus épaisses que le fer-blanc ordinaire.

La fabrication du moiré métallique, rendue industrielle par M. Alard, a eu un moment une très grande importance; mais la vogue de ce produit est passée aujourd'hui. Toutefois, comme il est certain que le moiré reviendra un jour à la mode, ainsi qu'il arrive à la plupart des produits industriels, nous pensons devoir indiquer sommairement les détails de sa fabrication.

On commence par frotter la feuille de fer-blanc avec un morceau d'étoffe de laine, pour déterminer quelle est la surface qui se moire le mieux, car l'une des faces de la feuille présente toujours une cristallisation plus belle que l'autre.

Pour donner le moiré, on suspend horizontalement la feuille au-dessus d'un fourneau jusqu'à ce que l'étain s'échauffant prenne une teinte jaune. On procède alors à une espèce de dégraissage avec une eau formée de 2 parties d'eau et de 1 p. d'acide sulfurique; on lave avec de l'eau pure qu'on fait couler dessus, on laisse égoutter, et on applique ensuite l'acide. Cette application se fait, soit avec une éponge, soit avec une espèce de brosse formée d'un morceau d'étoffe de laine tendu sur une planche. L'acide peut avoir une composition très variable. Les fabricants de moiré employaient l'une ou l'autre des compositions suivantes :

1° 8	part. d'eau,	4	de sel marin,	2	d'acide	nitrique;	
2° 8	—	2	d'acide	nitr. 3	—	hydro-chlorique;	
3° 8	—	1	—	sulf. 2	—	—	
4° 4	—	2	—	nitr. 2	—	—	
5° 3	—	2	—	— 1	—	—	
6° 3	—	1	—	— 2	—	—	
7° 8	—	4	—	sulf. 0,1	—	nitr.	

Nous ne pensons pas qu'une de ces liqueurs mérite une préférence marquée sur une autre.

Quoi qu'il en soit, après le passage de l'acide, les cristaux présentent des lames fibreuses très larges, et très étendues, dont l'aspect est trop uniforme. On change cet aspect par des moyens qui peuvent varier à l'infini, mais qui ont tous pour principe le changement du moiré à grandes lames en un moiré à petites lames.

Moiré graniteux. La feuille de fer-blanc étant chauffée au point de mettre l'étain presque en fusion, on la saupoudre de sel ammoniac pour détruire l'oxyde formé, et on la plonge brusquement et obliquement dans l'eau froide.

Moiré satiné. La feuille étant chauffée comme précédemment, on plonge verticalement dans l'eau froide, par saccades qui varient de profondeur selon la largeur des apparences qu'on veut obtenir.

Moiré étoilé. Sur la feuille chauffée, on projette avec un balai de petites gouttes d'eau. Chacune d'elles, en s'évaporant, refroidit un point de la feuille et détermine un centre de cristallisation. Les cristaux offrent souvent alors l'aspect des nodules de malachite polie.

Dessins divers. En passant sur la surface de la feuille de fer-blanc, avant de la soumettre à l'action de l'eau acidulée, la pointe d'un petit cône de fer rougi qui ne fasse que l'effleurer, on peut tracer tels dessins qu'on veut, et qui, en vertu de la différence de cristallisation produite aux endroits touchés, apparaissent nettement lorsque l'acide a agi.

Dans tous les cas, quel que soit l'effet qu'on veut obtenir, il faut avoir soin de ne point trop prolonger l'action de l'acide qui mettrait en certains points la tôle à nu, et ensuite il faut de toute nécessité, pour préserver la surface moirée de toute oxydation ultérieure qui en détruirait l'éclat, la recouvrir d'une couche de vernis blanc ou coloré, que l'on a soin de poncer ordinairement pour le rendre plus mince, et pour que la lumière puisse continuer à se jouer sur les faces des cristaux. Le vernis au copal est celui qu'on emploie le plus ordinairement.

ÉTAMAGE AU PLOMB. Dans certaines circonstances on peut, dans l'étamage du fer, remplacer l'étain par le plomb; on obtient alors le *fer plombé*. Ainsi, on sait que les couvertures en zinc ont de graves inconvénients à cause de leur peu de solidité et de leur prix élevé; on sait aussi que les couvertures en plomb résistent mieux que celles en zinc, mais qu'elles sont encore plus coûteuses et chargent trop les bâtiments. On a eu l'idée dans l'importante fabrique de fer-blanc de Montataire (Oise), de fabriquer de la tôle de fer étamée au plomb pour cet usage; et tous les essais qu'on a faits ont complétement réussi. Le meilleur décapage que dans cette circonstance on puisse employer pour la tôle, est celui de M. Golfier-Besseyre, que nous avons indiqué plus haut, et qui se pratique au moyen du chlorure double de zinc et d'ammoniaque.

Voici le procédé donné par MM. Morewood et Rogers, pour la fabrication de la tôle étamée avec du plomb ou tout autre alliage convenable dans lequel le plomb domine.

Disons d'abord qu'il ne s'agit ici que d'un alliage de plomb et d'étain, dans lequel l'étain n'entre que dans le rapport de 15 p. 100, et que nous n'ignorons pas qu'on a déjà enduit le fer de plomb combiné à l'étain, mais que dans ce cas ce dernier métal entrait dans l'alliage pour une portion très considérable. Quoi qu'il en soit, c'est un fait avéré que le plomb seul ou le plomb légèrement allié d'étain ne saurait être employé avantageusement pour enduire la tôle, lorsqu'on se sert d'huile ou de suif pour couvrir le bain, attendu que la température de fusion du plomb seul ou du plomb légèrement allié d'étain décompose rapidement ces matières grasses.

Il faut donc chercher un autre flux ou matière préservatrice, et on le rencontre dans le sel ammoniac ou le chlorure de zinc, sans mélange aucun de matières grasses, qu'on applique sur le bain contenant le métal ou l'alliage en fusion, qui consiste principalement en plomb, ou si c'est du plomb et de l'étain qui ne renferme pas plus de 15 p. 100 de ce dernier métal.

Il est préférable d'employer un mélange des deux sels dans la proportion de trois parties de sel ammoniac contre deux parties de chlorure de zinc sans matières grasses, ou bien celui d'une partie de sel ammoniac toujours avec ou sans introduction d'une partie d'huile ou de suif.

Les feuilles de tôle sont plongées dans le bain à la manière ordinaire. Seulement lorsqu'on applique le flux préservateur sur le bain, on introduit les sels séparément et on n'en opère le mélange qu'à la surface de ce bain.

On parvient ainsi à plomber les tôles ou bien à les recouvrir d'un enduit consistant principalement en plomb et dans lequel l'étain n'entre pas pour plus de 10 p. 100, en donnant toutefois la préférence au plomb sans alliage, pour l'appliquer sur le fer qui a reçu préalablement une couche de quelque autre métal, tel que l'étain, puis une couche de zinc ou d'un alliage de zinc, cas dans lequel on procède ainsi qu'il suit.

Le plomb étant fondu dans un vase en fer de dimensions convenables, on couvre sa surface avec le flux préservateur, tel par exemple que celui composé de deux parties de chlorure de zinc et environ une partie d'huile ou de suif avec ou sans une petite dose de sel ammoniac, et qui réussit très bien. Cela fait, on plonge les objets qu'il s'agit d'enduire dans le métal en fusion jusqu'à ce que leur surface ait acquis la même température que celle du bain; en cet état on les enlève avec lenteur de ce bain et peu après on les plonge dans l'eau. Enfin on les frotte avec une brosse ou de la sciure de bois pour enlever le flux qui peut adhérer à leur surface et pour les sécher. La température du bain ne doit pas s'élever beaucoup au-dessus du point de fusion du plomb; autrement, le zinc serait disposé à s'enlever à la surface de l'article qu'on veut enduire de plomb. La meilleure méthode pour s'assurer que le plomb est à la température convenable, consiste à prendre un petit barreau de zinc allié de 5 p. 100 d'étain et à l'introduire dans le bain; s'il fond avec rapidité, le bain est trop chaud; s'il ne fond pas, le bain est à peu près à la température convenable.

Il faut avoir soin que les articles ne restent pas dans le bain au-delà du temps nécessaire pour se charger d'une couche suffisamment épaisse de plomb.

Lorsqu'on veut donner de la dureté à cet enduit de plomb, on peut l'allier avec une petite quantité d'antimoine, mais cette addition augmente les frais.

ÉTAMAGE.

ÉTAMAGE AU ZINC. On étame le fer avec le zinc comme avec l'étain, en plongeant le fer réduit en feuilles et bien décapé par l'un des procédés que nous avons donnés, dans du zinc fondu, et le retirant très peu de temps après. Il y a pénétration du fer par le zinc, et cette pénétration est telle que l'alliage formé fondrait si l'immersion durait un temps assez long. Le produit obtenu présente un avantage réel pour certains usages et est préférable au fer-blanc ordinaire. Les deux métaux, fer et zinc, sont susceptibles d'être altérés par l'eau; mais une action galvanique est produite, et le fer, négatif par rapport au zinc, est alors moins oxydable que ce métal. Le zinc s'oxyde donc dans l'eau et protége le fer; mais, en outre, il donne un oxyde qui fait vernis, tandis que l'oxyde de fer tombe; ce vernis empêche l'oxydation de continuer. Les avantages du fer zingué, qu'on a appelé FER GALVANISÉ, sont bien reconnus aujourd'hui, et par exemple, dans la marine, on emploie avec succès les clous galvanisés. La découverte de ce produit date de 1742, mais elle était restée dans l'oubli, et ce n'est que dans ces dernières années, que M. Sorel, par des expériences suffisamment décisives, a démontré toute son importance. Nous rendrons donc toute justice à M. Sorel, car il a rendu un immense service à l'industrie en faisant voir expérimentalement que le zinc préservait le fer, tandis que Malouin, le premier inventeur du fer galvanisé, n'avait point constaté l'excellence du produit dont il a indiqué la préparation. Les moyens de préparation du fer galvanisé imaginés par M. Sorel sont l'objet d'un brevet d'invention; nous n'en parlerons donc pas. D'ailleurs, nos lecteurs trouveront assez de renseignements dans le passage suivant extrait du Mémoire de Malouin (Mémoires annexés à l'histoire de l'Académie royale des sciences, 1742, pag. 110). « L'analogie que j'apercevais entre le zinc et l'étain, dit Malouin, me conduisait à chercher les moyens de blanchir superficiellement le cuivre par une couche de zinc, comme on l'étame ordinairement; la même chose m'encourageait aussi à tâcher de faire du fer blanc avec le zinc comme on le fait avec l'étain : je souhaitais d'autant plus y réussir, que j'imaginais que le zinc donnerait un blanchîment plus parfait que ne le donne l'étain, parce que le zinc étant beaucoup plus dur, doit être beaucoup plus difficile à user; d'ailleurs le zinc se fondant bien plus difficilement que ne fait l'étain, le blanchîment des vaisseaux fait avec le zinc résisterait bien plus au feu que ne fait leur blanchîment fait avec l'étain; enfin l'étain a la mauvaise qualité de noircir les doigts et le linge lorsqu'on l'essuie, ce que ne fait pas le zinc, l'étain a aussi une odeur qui n'est pas agréable, le zinc n'a point d'odeur du tout. Invité par les apparences de ces avantages du zinc sur l'étain, je m'animai à chercher les moyens de faire le blanchiment du fer et du cuivre avec le zinc, comme on le fait avec l'étain, et j'y ai réussi. Le Mémoire que M. Réaumur donna en 1725, sur les principes de l'art de faire du fer-blanc, m'a servi de guide dans les différents essais que j'ai été obligé de faire avant que de trouver le secret de faire le fer-blanc avec le zinc au lieu de l'étain : le moyen qui m'a le mieux réussi pour cela, a été celui du sel ammoniac. Il faut avant toutes choses rendre son fer bien net, ensuite le tremper dans la dissolution de sel ammoniac, et le plonger dans du zinc fondu, d'où on le retire aussitôt : on a par ce moyen un fer-blanc dont le blanchîment paraît tenir au fer encore plus fort que n'y tient celui qu'on fait avec l'étain.

« Ayant vu que le blanchîment du fer pouvait se faire avec le zinc comme avec l'étain, j'espérai que je pourrais aussi faire celui du cuivre par le même moyen; j'ai fait les mêmes essais pour blanchir le cuivre avec le zinc, que j'avais faits pour blanchir le fer; j'ai trouvé que le zinc s'attache au cuivre comme au fer, et qu'il s'y attache pour le moins aussi bien que le fait l'étain. Il faut, après avoir décapé le cuivre avec de l'eau-forte, employer le sel ammoniac comme on l'emploie pour le fer avant que de le mettre dans le zinc fondu.

« Après m'être ainsi assuré que le zinc s'attache aussi bien au cuivre que le fait l'étain, je ne doutai pas qu'on ne pût blanchir la surface intérieure des vaisseaux de cuivre avec le zinc, aussi aisément qu'on les étame ordinairement; mais je me trompais en cela, parce que, lorsqu'il s'agit de blanchir des vaisseaux en dedans, la préparation de ces vaisseaux, soit de cuivre, soit de fer, ne suffit pas; il faut outre cela y étendre également et y conduire avec la main l'étain ou le zinc fondu, ce qui est plus difficile que d'y plonger seulement une feuille ou de fer ou de cuivre.

« Les ouvriers en étamage ne peuvent se persuader qu'il soit possible d'employer pour leur ouvrage d'autre métal que l'étain et ceux que j'ai engagés à employer du zinc au lieu d'étain n'ont jamais voulu prendre dans leur travail avec le zinc des précautions différentes de celles qu'ils prennent lorsqu'ils étament à l'ordinaire : cela m'obligea d'essayer à étamer moi-même.....

« Les obstacles que je trouvais à surmonter dans cette opération, venaient de ce que le zinc ne s'étend point qu'il ne soit bien fondu et qu'il ne soit entretenu bien chaud; c'est pourquoi il fallait que je fisse bien chauffer le vaisseau de cuivre que je voulais blanchir. Mais après avoir versé le zinc bien fondu dans un vaisseau qui était bien chaud sur un feu de charbon, lorsque je venais à étendre le zinc avec la main, le feu prenait à l'étoupe par la résine qui s'enflammait, et cela en rendait l'opération impraticable..... Mais dans une seconde opération, n'ayant point mis de résine à l'étoupe, le feu n'y prit point; or, il ne faut point de résine à l'étoupe, quand on a soin d'employer du sel ammoniac dans le décapage. »

Nous n'avons besoin de rien ajouter à la description de Malouin; la résistance inerte contre l'emploi du zinc, qui est venue de la part des ouvriers ne voulant point renoncer à leurs méthodes habituelles, est un fait qui se présente trop souvent pour qu'on ne comprenne pas comment il fallut un siècle pour que son invention fût appliquée par des ouvriers non formés en corporations comme autrefois. Si les anciennes maîtrises eussent encore existé, M. Sorel n'eût point été admis à fabriquer le fer galvanisé.

Le zinc dont on fait usage doit être parfaitement pur, et si on le fait fondre dans des creusets de terre, ces creusets doivent être, surtout si les objets ne sont pas d'un grand volume, renfermés dans d'autres creusets de fer ou de fonte, en remplissant l'intervalle compris entre les deux creusets avec du sable fin ou du plomb. Quand on emploie directement des creusets de fer ou de fonte, il se forme un alliage de fer et de zinc qui perfore les creusets en peu de jours et les met hors de service. Pour obvier à cet inconvénient, on met du plomb au fond du creuset, on munit le creuset d'un anneau de fer qui descend jusqu'au bain de plomb et on remplit avec de l'argile le vide cylindrique qui existe entre l'anneau et le creuset. Le zinc ne se combine pas avec le plomb et surnage; il n'attaque que l'anneau de fer qu'on remplace quand il est hors de service.

On chauffe les creusets avec du coke ou du charbon de bois.

On préserve le bain de zinc de l'oxydation en le couvrant d'une couche de sel ammoniac, ou bien d'un flux formé de résine ou de carbonate de soude.

Quand ce sont de gros objets que l'on veut zinguer on doit les chauffer d'abord dans un four à réverbère ou autre, après qu'ils ont été décapés à l'acide et récurés. Les vis ou autres objets auxquels on ne veut pas que le zinc prenne, sont recouverts d'une légère couche d'ar-

gile, et quand il y a des cavités ou des trous, on les bouche avec des chevilles ou des pièces de bois.

Pour effectuer le zincage des clous et autres articles du même genre, on les place d'abord dans un panier en fil de fer, ou dans un vaisseau de forme quelconque percé de trous. Le panier ou vaisseau est alors plongé dans le zinc liquéfié et le bain de métal couvert avec une couche de sel ammoniac. Le panier étant enlevé du bain est secoué avec soin afin de détacher des objets le zinc en excès. On peut aussi, dans le même but, jeter ces objets dans un cylindre percé de trous tournant sur son axe et qui a été chauffé à un degré de chaleur suffisant pour empêcher toute quantité superflue de zinc d'adhérer dans les trous ou cavités. Tous les objets sont d'ailleurs jetés dans l'eau, à un moment opportun que l'habitude fait connaître, afin que par un refroidissement subit le reste du zinc excédant s'en détache.

Pour finir les objets assez considérables, on fait disparaître par la lime ou par le grattoir toutes les inégalités qui se trouvent dans la surface. Ensuite on donne le poli par de la pierre-ponce ou du grès, en terminant par du cuir ou du liège.

Enfin, on achève de rendre la couche de zinc complétement préservatrice en recurant les surfaces zinguées avec du sablon humide, puis en les humectant avec un chiffon trempé dans une solution de sel ammoniac, ce qui engendre, à ce qu'il paraît, un vernis très solide.

On préserve aussi les surfaces de fer par un enduit formé de zinc en poudre et d'une substance onctueuse, et que l'on appelle PEINTURE GALVANIQUE. Pour préparer la poudre de zinc, on place ce métal dans un fourneau à réverbère; on lute avec soin toutes les ouvertures qui pourraient donner passage à l'air, et on porte peu à peu le zinc fondu jusqu'à une température voisine du rouge. Alors on ouvre la porte de travail du fourneau, on écume le bain de zinc et on y jette le dixième de son poids de limaille de fer forgé humecté avec de l'acide hydro-chlorique, auquel on a ajouté un peu de sel ammoniac; on a soin d'agiter pendant tout le temps. *Après l'introduction de la limaille, la surface* du zinc est recouverte avec du charbon en poudre fine, et la température portée au rouge cerise ou à peu près. On maintient le zinc à cette température durant une heure environ en l'agitant de temps à autre avec un ringard. On verse ensuite le métal dans une auge en brique, en terre ou en fonte, et on le préserve du contact de l'air avec un couvercle de fonte. On l'agite au moyen d'une spatule en fer qui passe par une ouverture percée dans le couvercle, jusqu'à ce que, par le refroidissement, il devienne assez solide pour ne plus être remué. Il peut alors être réduit en poudre, ce à quoi l'on voulait arriver en en faisant un alliage avec du fer.

On prépare une très bonne peinture avec cette poudre *en la mélangeant avec l'huile obtenue par la distil*lation du goudron de gaz à laquelle on ajoute un tiers d'essence de térébenthine. Quand on emploie l'huile ordinaire de la peinture, on ajoute un peu de céruse pour donner de la consistance au mélange. Les proportions dépendent des substances avec lesquelles la poudre de zinc est mélangée, ainsi que de l'usage auquel la peinture est destinée.

On fait aussi avec la même poudre de zinc une pâte qui peut être employée à préserver les objets en cuivre, acier, fer limé ou poli, qu'on en frotte tout simplement. Cette pâte se compose de cire fondue à laquelle on ajoute dix fois son poids de zinc en poudre et environ un 50e de suif ou d'huile.

ÉTAMAGE DE LA FONTE. L'étain pur s'applique difficilement sur la fonte, et n'adhère pas assez sur le métal pour donner un étamage solide et durable. M. Budi a découvert un alliage qui non seulement adhère avec force à la fonte, sans qu'il soit nécessaire de tourner celle-ci, et après l'avoir seulement récurée avec du sable,

mais qui de plus est plus fusible, plus dur et plus blanc que l'étain.

La fonte étamée s'introduira de cette manière dans une foule de ménages, et pour des opérations où on l'avait repoussée jusqu'à présent; mais, il y a plus, l'alliage de M. Budi pourrait être aussi employé au lieu d'étain pur, à cause de sa dureté et de sa blancheur, dans l'étamage du cuivre, parce que cet étamage serait plus solide et plus beau que l'étamage ordinaire sans coûter davantage.

Il se rapproche du reste beaucoup de l'étamage polychrône dont nous avons parlé plus haut.

Quoi qu'il en soit, l'alliage pour la fonte se compose, sur 100 parties, de :

Etain.	89
Nickel.	6
Fer.	5
	100

Cet alliage se dissout complétement dans l'acide hydro-chlorique.

MM. Morewood et Rogers, qui se sont beaucoup occupés de l'art d'enduire et recouvrir le fer avec d'autres métaux, et que nous avons déjà cités, ayant entrepris de recouvrir la fonte avec des métaux ou des alliages, ont fait une remarque qui peut avoir de l'importance : c'est que, quand on coule la fonte dans des moules en métal, l'objet que l'on produit peut être revêtu, avec un autre métal, d'une manière plus satisfaisante qu'il n'est possible de le faire lorsque les objets à enduire ont été coulés à la manière ordinaire.

Au lieu d'étamer la fonte, il est assez avantageux de l'ÉMAILLER. Cette fabrication a été essayée en France; mais la mode n'a pas encore voulu des produits qu'elle a donnés. Il n'en est pas de même en Allemagne, où plusieurs usines fabriquent une assez grande quantité de fonte émaillée, qui donne des vases et ustensiles d'un usage précieux pour la cuisine.

Les objets doivent être coulés en fonte douce, homogène et non poreuse, et ne présenter ni pailles, ni crevasses, ni soufflures; *la fonte grise à grains fins convient* assez. Les pièces ayant été choisies doivent être débarrassées avec du grès ou à la lime, de tous les corps étrangers, tels que sable, argile, scories, charbon, qui peuvent y adhérer mécaniquement. Quand on soupçonne que leur surface a pu être imprégnée de quelque matière grasse, on doit les soumettre préalablement à la chaleur du rouge naissant; mais le plus ordinairement cette opération n'est point nécessaire.

On procède ensuite au décapage, qui se fait en remplissant les vases avec de l'acide acétique provenant de la fermentation du vin ou de la distillation du bois, ou bien avec la liqueur acide provenant de la fermentation de grain moulu. L'atelier du décapage doit être entretenu à une température de 25 degrés, et on détache plusieurs fois la couche d'oxyde qui se forme sur la surface des vases, afin que l'action soit plus rapide. Il faut environ 12 heures pour que le décapage soit parfait.

Après le décapage on procède au recurage; on plonge les objets dans l'eau tiède, et on frotte les surfaces à émailler avec de la chaux maigre en poudre; on lave ensuite à l'eau froide, et on sèche rapidement dans la moufle d'un fourneau, au sortir duquel on les laisse refroidir jusqu'à environ 80 degrés, et à ce moment on les recouvre d'émail.

Cet émail se compose de *couverte* et de *vernis*. La couverte s'obtient de la manière suivante : on broie et on mélange intimement, au moyen d'une grosse molette, 5 parties en poids de silice pure très blanche et très fine, obtenue par la réduction en poudre de roches quarzeuses ou de cailloux de rivière blancs, avec 8 parties de borax pulvérisé. On met le mélange dans un creuset réfractaire, qu'on introduit dans un fourneau à moufle susceptible d'être porté à une température rouge. Quand

le borax est fondu dans son eau de cristallisation, et que toute l'eau s'est évaporée, on coule la masse dans un plat, et on prépare une nouvelle quantité de ce flux. On le pulvérise finement, on en remplit les 5/6 d'un creuset, et cette fois on le maintient durant 1 heure à une bonne température rouge. On laisse refroidir le creuset, on le casse, on nettoie la masse intérieure des fragments de creuset qui peuvent y adhérer, on la chauffe dans une capsule au rouge brun, et on la plonge brusquement dans l'eau froide. Elle devient très friable, et on la réduit en poudre fine. Cette poudre est alors mélangée avec le quart de son poids d'argile blanche, à laquelle on ajoute quelquefois la moitié de son poids d'oxyde d'étain. Cette argile et l'oxyde d'étain doivent donner l'opacité à l'émail.

Le *vernis* consiste en un verre formé de 6 parties de silice, 3 de borax et 2 de soude, la soude et le borax ayant été calcinés. Le verre étant formé par les moyens ordinaires, on le réduit en poudre.

Quand on veut appliquer l'émail, on forme une pâte de la couverte dans de l'eau purgée d'air par l'ébullition, et qui est à la température de 40 degrés environ, de manière à obtenir la consistance d'un sirop de sucre ordinaire. 3 kilogr. de couverte en poudre, délayés dans un vase de 4 à 5 litres de capacité, suffisent pour émailler 50 pots ou casseroles de 1 1/2 à 2 litres de capacité. Dans un de ces pots on verse 15 à 16 centilitres de la bouillie, entretenue à une température constante et toujours remuée. Avec un pinceau on étend vivement cette bouillie sur la surface à émailler, qui est à la température de 75 degrés. Quand la pièce s'est refroidie jusqu'à 30 degrés, on fait tomber la matière excédante. Il doit être resté sur tous les points de la paroi une couche qui varie de 1 1/2 à 2 1/2 millim. d'épaisseur, et qu'on a rendue uniforme par quelques secousses convenables imprimées au vase. On essuie avec une bande de cuir le bord interne de la pièce, sur une hauteur de 3 millimètres environ, afin que l'émail ne s'étende pas sur le bord intérieur, et on répand ensuite le vernis, réduit en poudre fine, en le tamisant à travers un sac de batiste fine, qu'on tient à environ 10 centimètres au-dessus de la surface. Toutes les parties enduites de la couverte retiennent une couche d'environ 2 millimètres d'épaisseur.

Avant de procéder à la cuisson de l'émail, on laisse les pièces sécher dans un endroit chauffé, et on les porte peu à peu jusqu'à la température de 100 degrés. On les range ensuite dans une moufle en fonte fermée par une plaque de tôle, et qui doit être placée dans un fourneau qui lui a déjà donné la température de la fusion du laiton. On chauffe jusqu'au rouge, afin de mettre l'émail en fusion. On laisse alors refroidir lentement pour que la couche d'émail ne se fendille pas. Quand la température est arrivée à environ 100 degrés, on revêt extérieurement le vase d'une couche de vernis noir.

ÉTAMAGE DES GLACES. C'est au moyen d'un amalgame d'étain qu'on étame ordinairement les glaces, afin que la quantité de lumière qui les traverse ne soit pas perdue pour la réflexion.

La lame de verre, lorsqu'elle sort de la verrerie, est rugueuse à la surface; on commence donc par la polir. Le polissage s'effectue d'abord avec du grès grossier, ensuite par de l'émeri ou corindon, et on finit par frotter avec du colcothar. La lame doit être usée de telle sorte que ses deux faces soient parallèles, autant que possible. Ce premier travail s'est effectué en plaçant la glace sur une plaque métallique.

Cette opération faite, on prend une feuille d'étain de la dimension de la glace; on l'a obtenue par le battage. Elle doit être d'une seule pièce afin qu'il ne se produise aucune raie dans la glace. On a une table de marbre parfaitement dressée, entourée d'un cadre en bois et garnie de rigoles et deux trous, et mobile sur un genou pour recevoir l'inclinaison nécessaire. Quand on a mis cette table dans une position parfaitement horizontale, on y étend la feuille d'étain au moyen d'une patte de lièvre. On la dégraisse ensuite au moyen d'un peu de mercure qu'on promène avec la même patte sur toute la surface. On verse ensuite une couche de mercure dont l'épaisseur varie de 4 à 6 millimètres.

Les opérations préliminaires exécutées, on place la lame de verre à l'extrémité de la feuille d'étain, de manière que ses bords poussent devant eux le mercure en excès qui s'écoule par les rigoles pratiquées dans la table. La glace, en se transportant parallèlement à elle-même, a chassé une grande partie du mercure sans laisser aucun vide entre elle et la lame d'étain, et toutes les impuretés du mercure qui se trouvent à la surface sont ainsi expulsées.

La glace presse déjà par son poids sur l'amalgame formé; on ajoute en outre des blocs de plâtre qui exercent une pression plus forte, et on penche un peu la table, pour que son inclinaison facilite l'écoulement du mercure. Au bout de quinze ou vingt jours la lame d'étain a pris tout le mercure qu'elle pouvait prendre; le mercure en excès a disparu, et on a un amalgame à proportions définies contenant 4 parties d'étain pour 1 de mercure.

Lorsque quelques irrégularités se manifestent dans la glace, tout l'ouvrage est à recommencer, c'est-à-dire qu'on ne peut pas corriger; mais l'étamage peut être enlevé facilement, et on en retire sans peine et l'étain d'une part, et le mercure d'autre part, par la volatilisation.

L'humidité étant une des grandes causes d'altération du tain des glaces, on a cherché à parer à ces inconvénients en recouvrant le tain d'une couche de VERNIS, qui doit être assez élastique pour ne pas se fendiller par les changements de température. Cette condition est assez difficile à remplir, et c'est pourquoi l'amélioration dont nous parlons n'est point encore acceptée.

On a cherché aussi à étamer les glaces avec divers alliages de plomb et d'étain; mais l'application ne pouvant avoir lieu qu'à chaud, compromet le sort des glaces, et cette indication n'a pas été adoptée.

Les procédés galvano-plastiques conduiront peut-être un jour à supprimer l'emploi du mercure dans cette industrie fort dangereuse pour la santé des ouvriers. Nous montrerons à l'article GALVANO-PLASTIE comment il pourra se faire que cet important perfectionnement se réalise. L'électricité est une force bien puissante que l'homme s'essaie seulement encore à mettre en jeu; il est loin d'en avoir tiré tout le parti possible. Nous avons fait connaître à l'article DORURE les moyens d'étamer et de zinguer les métaux en se servant de dissolutions décomposées par le courant voltaïque: c'est pour cela que nous ne sommes pas revenu sur cet objet dans tout ce que nous avons dit de l'étamage.

BARRAL.

ÉTAMAGE AU ZINC ET AU PLOMB. Nous donnerons ici, d'après le mémoire de l'inventeur, M. Rabatel, de Lyon, la description d'un nouveau produit qui offre des avantages spéciaux. Il l'emploie surtout pour couvertures de maisons, sous formes de losanges attachés par un sommet aigu au voligeage, et agrafés latéralement par des plis en équerre (deux côtés en dessus et deux en dessous.

La fabrication de ce produit nouveau est analogue à celle du fer-blanc. Laissons parler l'inventeur :

« *Grave défaut du fer zinqué.* On savait depuis longtemps que la grande oxydabilité du zinc le rendait attaquable par tous les acides (gazeux ou liquides), même par les plus faibles; aussi, dans la pratique, a-t-on reconnu que dans tous les cas où le zinc n'est pas applicable, le fer recouvert de zinc ne l'est pas davantage.

« On a vu des faits curieux produits par cette action des acides, faibles en degré et en volume, sur le zinc ou sur le fer zinqué.

« Dans les locaux sujets à des dégagements de vapeur d'eau, qui pénètre les planches sur lesquelles reposent les feuilles de zinc ou de fer zinqué, cette vapeur se mêle à l'acide pyroligneux, et, en se condensant, suinte à travers les pores du bois : cela suffit pour ronger ces métaux en quelques mois. C'est surtout lorsqu'on pose une couverture en zinc ou en fer zinqué sur du chêne que cette destruction est certaine.

« Les couvertures de bâtiments et les articles de fumisterie, soumis à l'action des gaz acides dégagés par la fumée du bois, de la houille, et surtout du coke; les tuyaux de descente qui reçoivent les eaux ménagères, chargées d'acides alimentaires, ou ceux placés dans des terres ou dans des eaux minérales renfermant quelques traces d'acides; les objets exposés aux émanations acides des fabriques; les vases contenant des *substances légèrement acidulées, etc., etc.*, ont été, toujours et partout (plus ou moins rapidement, selon la force des acides et selon la nature du milieu où ils étaient placés), attaqués, oxydés, détruits.

« Cela devait être, puisque la surface de la tôle galvanisée n'est autre chose que du zinc. L'action destructive exercée par les acides sur ce corps isolé est la même lorsqu'il recouvre le fer; il y a plus, on peut supposer que cette action doit être encore plus énergique, à cause de l'état électro-positif dans lequel se trouve le zinc lorsqu'il est mis en contact avec le fer.

« L'administration des ponts-et-chaussées sait combien les couvertures en zinc ou en fer zinqué, placées sur les toits de remises à locomotives, ont été promptement altérées et criblées de trous par l'acide sulfureux que dégage le coke en combustion. Il a été facile de remarquer que les portions les plus endommagées étaient celles qui se trouvaient dans la direction des courants d'air régnants. »

Les observations qui précèdent semblent conduire à remplacer le zinc par un métal moins attaquable aux acides, le plomb, par exemple. C'est en effet sous l'influence de ces idées qu'on a tenté le plombage de la tôle, l'étamage au plomb dont nous avons parlé plus haut. Mais l'expérience a détruit toutes les espérances que l'on avait fondées sur ce nouveau produit, comme on aurait dû le prévoir. Le fer-blanc, la tôle plombée, s'attaquent avec facilité à l'air humide, parce que ni l'étain ni le plomb n'exercent sur le fer l'action préservatrice de l'oxydation qui est due au zinc.

Réunir les avantages des deux procédés était un progrès important à réaliser. Voici comment l'expose l'inventeur :

« *Conservation du fer zinqué par le plombage au l'étamage.* Comme nous venons de l'établir, le défaut capital, nous dirons même le seul défaut du fer zinqué, est son attaquabilité par les acides. Ce fait reconnu depuis longtemps, par ceux qui se sont occupés de galvanisation, a conduit tout naturellement à l'idée d'appliquer sur la couche de zinc un métal qui pût résister aux acides.

« Cette idée a été suivie de l'invention de divers procédés manufacturiers, au moyen desquels on dépose sur le fer zinqué, soit le plomb, soit l'étain, soit le cuivre; s'il le fallait même, on pourrait superposer des couches de ces différents métaux les unes sur les autres.

« Ces couches sont régulières, uniformément réparties sur toute la surface de l'objet zinqué, et elles y sont très adhérentes.

« La couche recouvrante garantit le fer zinqué de la corrosion des acides, et de plus, elle lui communique ses propriétés spéciales.

« On obtient, par cette combinaison, un produit doué de la ténacité et de la malléabilité du fer, lequel prend en retour les propriétés de *durée* et de *résistance* aux influences extérieures que possède le métal formant la dernière couche recouvrante. La fonction de la couche de zinc interposée (fonction que ce métal est seul apte à remplir) est de garantir le fer de l'oxydation.

« Ainsi préparé, le fer peut même, dans beaucoup de cas, remplacer avec avantage les métaux recouvrants dont nous venons de parler.

« *Ajoutons*, et ceci est très *important*, que cette préparation équivaut à la création d'un nouveau métal propre à des applications spéciales auxquelles ne conviendraient ni le fer ni les autres métaux isolés (1).

« En résumé, dit-il, 1° aucune peinture ou vernis ne peut empêcher que le fer soit détruit par la rouille;

« 2° Lorsque deux métaux sont en contact, le plus oxydable constitue celui qui l'est le moins à l'état électro-négatif, et, en absorbant l'oxygène, préserve l'autre de l'oxydation;

« 3° En conséquence, le plomb ou l'étain appliqués directement sur le fer, pour en empêcher l'oxydation, ne peuvent produire ce résultat, puisqu'ils sont moins oxydables que ce dernier métal. Ce sont eux, au contraire, qui seraient garantis aux dépens du fer, si celui-ci en s'oxydant ne détachait pas et ne brisait pas la couche recouvrante;

« 4° Le zinc, qui est plus oxydable que le fer, possède seul cette précieuse propriété d'attirer à lui l'oxygène, et de le détourner du métal qu'il recouvre;

« 5° Par un privilége spécial, l'oxydation du zinc, loin de le détruire, le conserve au contraire; mais ce métal a le défaut capital d'être attaquable par tous les acides, même par les plus faibles;

« 6° Le moyen de mettre le fer zinqué à l'abri de cette cause de destruction consiste à le recouvrir d'une couche de plomb ou d'étain;

« 7° Cette superposition de métaux, combinée d'après leurs lois physiques et chimiques, constitue un produit composé, qui a les qualités de chacun des métaux composants, sans en avoir les défauts. »

Cette fabrication curieuse ne laisse pas que d'offrir d'assez grandes difficultés, par la nécessité de trouver le point exact où le zinc se recouvre d'une couche de plomb d'épaisseur convenable. Si le bain de plomb (recouvert de chlorure de zinc) est trop chaud et l'action trop prolongée, il se fait un véritable lavage du zinc qui est complétement dissous dans le plomb; il n'en reste plus sur la tôle. Il y a donc une température convenable pour que l'opération s'effectue le mieux.

ÉTAU (*angl.* vice, *all.* schraubstock). Sorte de presse, ordinairement en fer, qui se compose de deux leviers à mâchoires, articulés à leur partie inférieure, dont l'un est fixé à une vis, presque toujours à filet carré, qui traverse l'autre levier et s'engage ensuite dans un écrou qui, selon qu'on le fait tourner dans un sens ou dans un autre, serre ou desserre les mâchoires ou *mors* de l'étau. Ces mâchoires sont aciérées à l'intérieur, taillées en lime et trempées; un ressort placé entre les deux branches, mais que l'on comprime aisément en faisant marcher l'écrou, les fait ouvrir, quand on desserre l'étau.

Il y a des étaux dits *à agrafes* qu'on fixe contre le bord d'un établi au moyen d'une simple vis de pression; mais on ne peut s'en servir que pour de très petits objets.

---

(1) Après avoir appliqué sur le fer zinqué des couches de divers métaux, on a fait la même opération sur le zinc seul. En agissant ainsi, on n'avait qu'un but de curiosité; car, évidemment, tout le monde préfèrera le fer zinqué et plombé ou étamé, qui a une durée certaine, au zinc, pareillement plombé ou étamé, dont la ténacité et la malléabilité sont très faibles et la dilatation et la combustibilité très grandes.

On fait aussi des étaux qu'on appelle *parallèles*, parce que la branche de devant s'ouvre, par l'effet de la vis, parallèlement à elle-même au lieu d'articuler autour d'un point comme à l'ordinaire. Ils ne sont guère en usage, malgré leur commodité, que chez les amateurs, ainsi que les étaux qui ont la faculté de pivoter sur eux-mêmes.

On donne le nom d'*étau à main* à une petite pince à vis qui a la forme d'un étau, et qu'on tient à la main pour limer une infinité de petits objets.

Les forgerons emploient de gros étaux, du poids de 150 à 200^k, dits étaux à chaud, parce qu'on s'en sert pour façonner au marteau des pièces de fer ou d'acier à chaud. Il est nécessaire qu'ils aient de la masse et de la solidité pour ne pas s'échauffer trop vite et pour résister aux chocs produits par les coups de marteau. On les isole et on les fixe le plus solidement possible, au milieu de la forge, de manière à pouvoir circuler tout autour.

Les étaux de serruriers, de limeurs, etc., sont ordinairement du poids de 25 à 35^k. Les étaux des menuisiers sont presque toujours en bois.

ÉTHER (*angl.* ether, *all.* æther). Une seule des substances désignées par les chimistes, sous le nom d'éther, est préparée en grand et a quelque emploi dans les arts; c'est l'*éther sulfurique*, le seul dont nous nous occuperons ici, et qui, quoique son nom semble l'indiquer, ne contient aucune portion de l'acide qui a servi à le préparer.

L'éther se compose de :

Carbone.	65,32	$C^4 H^{10} O$
Hydrogène . . .	13,31	
Oxygène	21,37	
	100,00	

Cette formule peut le faire considérer, suivant la manière dont on la décompose, soit comme un hydrate d'hydrogène bi-carboné $C^4 H^8$ ($C^4 H^8 + H^2 0$), soit comme un oxyde d'un radical particulier, appelé par M. Dumas l'*éthyle* $C^4 H^{10}$. La formule qui représente la composition de l'alcool étant $C^4 H^{12} 0^2 = C^4 H^{10} 0 + H^2 0$ montre que l'alcool est de l'éther hydraté. Dans la première hypothèse que nous avons indiquée, ce serait du bihydrate d'hydrogène bi-carboné; dans la seconde, de l'hydrate d'oxyde d'éthyle. Quoi qu'il en soit, l'éther est incolore, liquide, très fluide, d'une odeur particulière, forte et pénétrante, d'une saveur d'abord âcre, brûlante et douceâtre, puis fraîche. Il ne possède aucune réaction acide ou alcaline, ne conduit pas l'électricité, et réfracte fortement la lumière; sa densité est de 0,712 à 24°,77; il est très volatil, et bout à 35°,6 sous la pression barométrique de 0^m,760; il distille sans altération; la vapeur qui se forme est très dense; ramenée par le calcul à 0° et à la pression de 0^m,760, sa densité est de 2,565. Cette circonstance, l'inflammabilité et la grande volatibilité de l'éther expliquent facilement les graves accidents que ce produit a souvent occasionnés. En effet, quand on transvase de l'éther, il répand d'abondantes vapeurs que leur densité amène dans les parties inférieures de l'appartement; quand on n'est pas éloigné d'une cheminée ou d'une lumière, elles peuvent s'y enflammer, et propager l'incendie jusqu'à l'éther lui-même. En pareil cas, il faut conserver assez de présence d'esprit pour boucher immédiatement le flacon. Dans tous les cas, il est prudent de conserver l'éther dans des flacons d'un petit volume, 1/2 litre par exemple, et de le manier loin de tout foyer allumé.

L'éther est très inflammable, comme nous venons de le dire, et brûle avec une flamme blanche et fuligineuse sans laisser de résidu. Il est décomposé avec inflammation par le chlore gazeux. Il est également décomposé par les acides minéraux à chaud; les alcalis n'ont sur lui qu'une faible action. Il dissout très bien le brôme et l'iode, ainsi qu'une certaine quantité de soufre et de phosphore. Il dissout également le caoutchouc, et nous avons vu que c'était le meilleur moyen connu pour ramener ce dernier à l'état d'émulsion. Il dissout aussi nombre de sels métalliques, tels que le chlorure d'or, le nitrate de mercure, etc., qu'il enlève même à leurs dissolutions aqueuses, pourvu qu'elles soient acides. De son côté, il est soluble dans 9 parties d'eau, et se mêle en toutes proportions avec l'alcool auquel il communique sa saveur et son odeur. La *liqueur d'Hoffmann*, employée en médecine, est formée d'un mélange de 2 p. d'alcool et de 1 p. d'éther.

La préparation de l'éther consiste à distiller un simple mélange d'alcool et d'acide sulfurique, et à purifier le produit obtenu par l'eau, les alcalis et une nouvelle distillation. Mais comme théoriquement on peut s'y prendre de manière à convertir, avec le même acide, une quantité pour ainsi dire indéfinie d'alcool en éther, il vaut mieux, comme M. Boullay l'a proposé le premier, rajouter de l'alcool au mélange, au fur et à mesure que l'éther distille.

La préparation de l'éther, quoique très simple en elle-même, exige néanmoins quelques précautions que nous allons indiquer. On mêle parties égales d'acide sulfurique concentré à 66° et d'alcool rectifié à 36°; la chaleur, qui se développe au moment du mélange, serait assez forte pour déterminer la rupture des vases; on doit donc ajouter l'acide par petites portions, et agiter fortement le mélange à mesure. Quand la chaleur devient trop forte, on le laisse en repos; puis on recommence, lorsqu'il est suffisamment refroidi. Quand la majeure partie de l'acide est ajoutée, on s'arrête, et on en réserve une partie pour réchauffer le mélange au moment où l'on procédera à la distillation. Il est, en effet, avantageux de laisser le mélange en repos pendant 24 heures.

L'appareil distillatoire peut se composer d'une cornue tubulée en verre, chauffée au bain de sable, et munie d'une allonge qui entre dans le col d'un matras tubulé placé dans un baquet rempli d'eau froide, qui se renouvelle constamment. La tubulure du matras est traversée par un syphon servant à extraire l'éther condensé, et à le faire passer dans les flacons destinés à le recevoir.

On ajoute la dernière portion d'acide dans le mélange, et on verse le tout dans la cornue; la tubulure de celle-ci porte un tube en S, dont la branche inférieure, terminée en pointe presque capillaire, plonge jusqu'aux 2/3 de la hauteur du liquide. On chauffe jusqu'à ce qu'il se manifeste un léger frémissement; on retire le feu, et l'ébullition s'établit peu à peu et sans tumulte; on remet alors quelques charbons allumés, de manière à la maintenir bien régulière. Comme l'appareil est parfaitement clos, la dilatation intérieure refoule le liquide condensé, et le fait sortir par le syphon, lorsqu'il se développe un peu plus de vapeurs que de coutume, ce qui permet de fractionner à volonté les produits.

Lorsqu'on a recueilli un litre de produit dans le récipient, on ajoute sans désemparer, par le tube en S, une quantité égale d'alcool à 36°. Comme l'extrémité du tube est effilée, l'alcool s'écoule avec lenteur, et le mélange n'est pas sensiblement refroidi; l'ébullition et l'éthérification continuent, et la liqueur contenue dans la cornue renferme toujours les mêmes proportions d'acide et d'alcool.

Lorsqu'on a ajouté, de la sorte, une quantité d'alcool égale à celle qui entrait dans le volume primitif, on abandonne l'opération à elle-même, et on se contente de soutenir le feu pendant quelques heures. On l'arrête quand on aperçoit d'abondantes vapeurs blanchâtres qui troublent la transparence des vases, les échauffent

beaucoup, et ne peuvent se condenser; la chaleur seule du fourneau suffit pour former le peu d'éther qui reste à obtenir.

On fractionne ordinairement en trois portions la totalité des produits; la première, peu éthérée, ne contient en quelque sorte que de l'alcool qui se volatilise *avant d'avoir subi la réaction de l'acide sulfurique*; la deuxième, la plus considérable et la plus pure, est celle qu'on rectifie immédiatement; on y ajoute 1/6 de son poids de carbonate de potasse, qui s'empare de l'eau, ou de l'acide sulfureux, et qui décompose l'huile de vin pesante que l'éther peut contenir; on agite le mélange et, lorsque l'éther a acquis une odeur suave et pure, on le rectifie dans un appareil semblable au précédent, à cela près que la cornue n'a pas besoin d'être tubulée. *La rectification doit être faite au bain-marie* et conduite très doucement; on recueille les 2/3 de la quantité soumise à la distillation, et l'on obtient ainsi un éther parfaitement pur.

Le résidu de la rectification réuni au dernier produit de la première distillation, est mis en contact pendant plusieurs jours avec le carbonate de potasse qui a servi à la purification précédente; on y ajoute un peu d'eau et du peroxyde de manganèse en poudre fine, afin d'enlever l'acide sulfureux qui y existe en assez grande quantité. La réaction de cet acide sur l'oxyde de manganèse produit un dégagement de chaleur si considérable, que le liquide entrerait en ébullition, si on n'avait soin d'ajouter le peroxyde de manganèse par petites portions. On ajoute au mélange, quand il s'échauffe trop, une certaine quantité d'eau froide. Celle-ci favorise plus tard l'action et sert d'ailleurs à dissoudre le sulfate et l'hyposulfate de manganèse formés par la réaction de l'acide sulfureux sur le peroxyde de manganèse. Lorsque l'odeur de l'acide sulfureux est tout à fait dissipée, on sépare, à l'aide d'un entonnoir, la couche d'éther; elle renferme encore un peu d'huile de vin pesante, qu'on en sépare par une rectification ménagée. Cet éther est de qualité inférieure et n'offre jamais la pureté et l'odeur franche et suave du précédent.

La marche que nous venons de décrire est à peu près celle que l'on suit dans tous les ateliers où l'on s'occupe de la préparation de l'éther; mais les appareils sont souvent plus simples. Ainsi, on se sert fréquemment d'un alambic en plomb, dont le chapiteau communique au moyen d'un long tube avec un serpentin ordinaire; ce dernier verse l'éther dans un flacon à col étroit qui sert de récipient. L'alambic est d'ailleurs muni d'un tube qui sert à introduire de l'alcool, pour remplacer celui qui s'est converti en éther. La première distillation se fait à feu nu. On rectifie également l'éther dans un alambic, en employant de la chaux vive au lieu de carbonate de potasse. On obtient facilement 30 à 40 litres d'éther dans un alambic convenablement dirigé.

Il résulte des recherches de MM. Liebig et Mitscherlich que, l'acide sulfurique étendu d'eau de manière à bouillir à 140°, peut transformer en éther une quantité indéfinie d'alcool que l'on ferait arriver d'une manière continue dans l'alambic, et il se dégage un courant continu d'éther mêlé d'eau pure et d'un peu d'alcool non décomposé, sans autre produit. Ce fait sera sans doute mis à profit dans la préparation de l'éther en grand, et viendra compléter la révolution commencée par M. Boullay, dans la fabrication de ce produit.

ETHIOPS. C'est le nom générique donné par les alchimistes à de certaines préparations métalliques, noires. L'*Éthiops martial* était l'oxyde noir de fer; l'*Éthiops minéral*, le sulfure noir de mercure, et l'*Éthiops perse*, l'oxyde noir de mercure.

ÉTOUPILLES DE SURETÉ. Voyez MINES.

ÉTUVE. Voyez SÉCHOIR.

ÉVAPORATION. L'évaporation a pour objet de séparer, en la faisant passer à l'état de vapeur, l'eau renfermant en dissolution des substances fixes, que l'on obtient ainsi à l'état solide. Tandis que dans la distillation, on se propose de séparer de l'eau les parties plus volatiles qu'elle, dans l'évaporation, au contraire, c'est l'eau qu'on distille pour obtenir les substances fixes *qu'elle tient en dissolution*.

L'évaporation a toujours lieu par l'action de la chaleur, qui seule peut produire des vapeurs, mais dans des conditions très diverses.

On distingue :

1° L'évaporation spontanée à l'air libre;

2° L'évaporation par un courant d'air forcé;

3° L'évaporation à vases ouverts par l'action directe d'un foyer, et celle de la vapeur;

4° *L'évaporation dans le vide.*

1° *Évaporation spontanée à l'air libre.* Quand l'air n'est pas saturé d'humidité, il se produit à la surface de l'eau, en proportion de la température, une véritable vaporisation spontanée, fort lente il est vrai, mais dont l'action devient très considérable quand on peut disposer de très grandes surfaces.

Dalton a démontré que l'espace rempli d'un fluide élastique, comme l'air, était capable de recevoir la même quantité de vapeur que s'il était vide; seulement cette action a lieu beaucoup plus lentement, et cette diffusion est retardée comme par une espèce de frottement moléculaire. Comme l'évaporation produit un froid notable qui tend singulièrement à retarder l'évaporation spontanée, on en conclut que cette manière d'opérer ne peut être employée que dans des contrées chaudes, où l'action du soleil est très grande; et sur des dissolutions qu'il est possible de répandre sur des surfaces très considérables.

Ces conditions sont très bien remplies par les marais salants du Midi dans lesquels l'évaporation spontanée enlève, dans le courant d'une campagne, 1,000 mètres cubes d'eau au moins par hectare.

Le renouvellement de l'air est encore un moyen d'accélérer l'évaporation. On l'utilise fort avantageusement en même temps qu'on accroît considérablement les surfaces de contact de l'eau et de l'air, dans les bâtiments de graduation employés dans quelques salines (voyez SEL).

2° *Évaporation par un courant d'air forcé.* Dès 1794, Montgolfier, l'illustre inventeur des aérostats, voulant concentrer des dissolutions de jus de fruits dont la chaleur détermine rapidement la fermentation, eut l'idée d'employer à cet effet l'air chauffé à 40 ou 50° qu'il faisait passer à travers la dissolution.

La facilité avec laquelle on met des volumes énormes d'air en mouvement permet de montrer que, théoriquement, ce procédé doit être économique; Montgolfier ayant reconnu qu'en moyenne, en automne, un mètre cube d'air peut dissoudre 3 grammes d'eau.

Cette idée a été reprise par plusieurs inventeurs.

En 1811, Curaudau proposa de faire passer l'air échauffé par un poêle à travers une tour carrée traversée par des toiles métalliques sur lesquelles se répandait le liquide. En 1812, Parmentier essaya de lancer l'air échauffé dans la dissolution à évaporer, en faisant arriver l'air dans un vase lenticulaire percé d'un très grand nombre de trous. Ces divers essais n'eurent pas de suite.

En 1829, M. Kneller prit un brevet en Angleterre pour concentrer les dissolutions de sucre au moyen d'air chaud, lancé dans la dissolution par un grand nombre de petits tuyaux plongés dans le liquide; une raffinerie a même été montée sur ce système, qui ne s'est pas répandu.

En 1833, M. Brame-Chevalier reprit cette idée, aussi dans le but d'évaporer les dissolutions du sucre à une basse température. Il fait arriver l'air chaud à la partie

inférieure des chaudières renfermant le sirop de sucre, par un double fond dont la surface supérieure est percée d'une infinité de trous capillaires, par lesquels le sirop de sucre est trop visqueux pour pouvoir passer, quand l'injection de l'air s'arrête.

La chaleur latente, nécessaire à l'évaporation de l'air, étant fournie par des grilles à vapeur (voir plus loin) qui maintiennent constante la température du sirop malgré l'évaporation, et l'air le traversant avec trop de rapidité pour prendre sa température, on obtient, d'après l'expérience, les résultats suivants :

La machine soufflante donnant 10 mètres cubes d'air par minute, l'air entre à 135° et sort à 95°, et enlève 30 kil. d'eau par minute. Le sirop reste à la température de 75 à 80 degrés centigrades.

La complication, le haut prix de ces appareils, les a fait disparaître de l'industrie. Ils ne peuvent être mis en comparaison sous aucun rapport avec les appareils à cuire dans le vide, outre que le sirop retient des bulles d'air qui gênent beaucoup la cristallisation du sucre. Néanmoins ce procédé a une valeur réelle dans la voie où Montgolfier l'avait d'abord appliqué, pour évaporer à une température extrêmement basse des produits très facilement altérables. C'est par ce moyen qu'on a préparé dernièrement du lait solidifié et diverses autres conserves.

3° *Évaporation à vases ouverts par l'action directe d'un foyer ou de la vapeur d'eau.* Le cas le plus fréquent, celui employé presque à chaque instant dans les arts, est celui où l'évaporation a lieu par le chauffage direct d'une chaudière placée sur un foyer. C'est le système le plus simple et le plus économique, aussi l'emploie-t-on toujours quand la nature du corps dissous n'impose pas des conditions spéciales.

Quand on chauffe un liquide, les quantités d'eau évaporées sont proportionnelles aux tensions de la vapeur aux diverses températures. Connaissant donc la table des tensions de la vapeur (voy. VAPEUR), et sachant que l'expérience a indiqué que 1 mètre carré de surface de chauffe d'eau à 40° évapore à très peu 1 kil. d'eau en une heure dans un air calme, on en déduira, dans chaque cas, les quantités d'eau évaporées par mètre carré, pourvu que la production de chaleur soit suffisante pour empêcher la température de baisser.

La quantité de chaleur tant latente que sensible de l'eau étant (voyez VAPEUR) de 651 unités, et un kil. de houille développant par la combustion 7500 unités, on voit que ce dernier pourra évaporer 7500/651 ou 11k,10 d'eau. Mais la perte par la cheminée nécessaire pour le tirage, ne peut guère être moindre que 0,15 à 0,20. On voit que donc 9k ou 9k,50 seront la limite supérieure de la quantité d'eau que pourra évaporer un kil. de houille.

La dépense absolue de combustible est théoriquement indépendante de la température de l'évaporation (pourvu que tout le combustible soit bien brûlé, et transformé complétement en gaz acide carbonique, ce qui exige une combustion un peu vive), mais en réalité elle est moindre à une température basse qu'à une température élevée, à cause de la rapidité de la perte de chaleur par rayonnement.

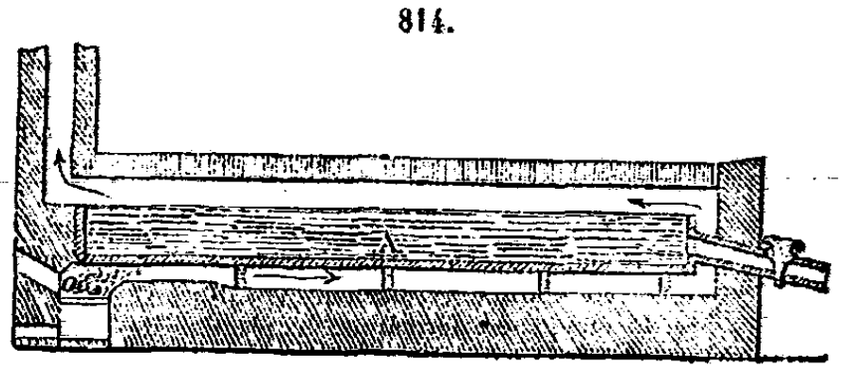
De la condition d'avoir un feu un peu actif dans le foyer, et de celle, pour le bon emploi du combustible, de jeter les produits de la combustion dans la cheminée à une température peu élevée, on en déduit que les meilleurs résultats seront obtenus de systèmes dans lesquels on fera circuler la flamme sur une grande longueur autour de la chaudière, de manière qu'elle rencontre avant de sortir les parties de la dissolution les plus froides.

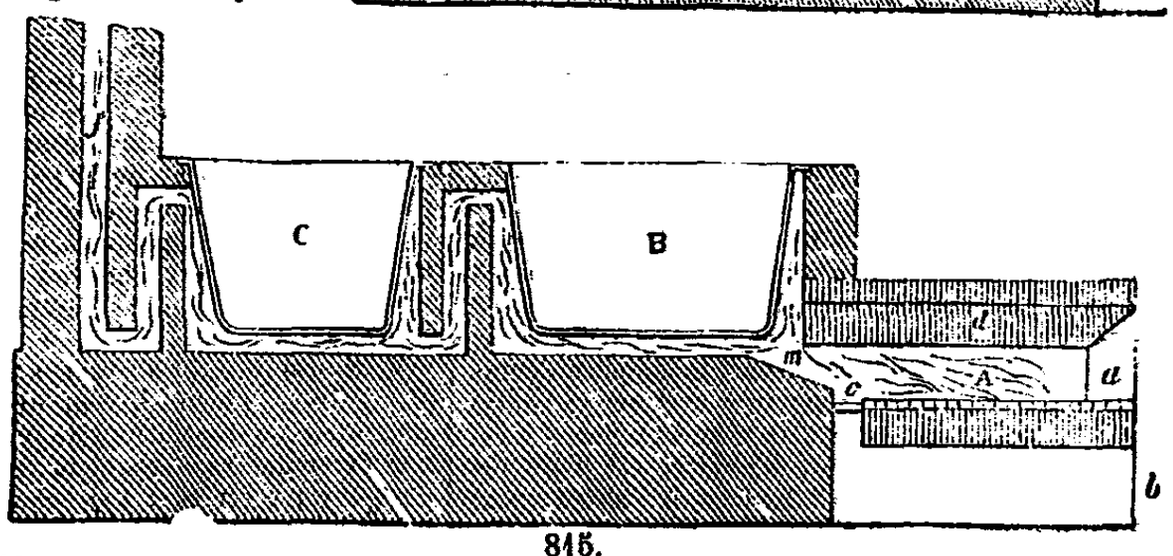
On doit encore remarquer que quand une chaudière est exposée au feu, son fond ne doit pas être placé trop près de la grille, pour qu'il ne refroidisse pas trop les gaz qui s'échappent du foyer, et ne s'oppose pas, par suite, à leur combustion complète. Ainsi, en plaçant au-dessus de la flamme d'une chandelle une capsule pleine d'eau, on fera aisément bouillir celle-ci, tandis qu'en plaçant la capsule au milieu de la flamme on fera fumer la chandelle; il se déposera une couche de noir de fumée sur le fond de la capsule, venant d'une combustion imparfaite, et l'eau pourra cesser de bouillir, quoique la capsule soit alors environnée de flamme.

La chaudière (fig. 814) est un appareil évaporatoire du genre de ceux employés dans les salines qui évaporent en général 7k,50 d'eau par kil. de houille.

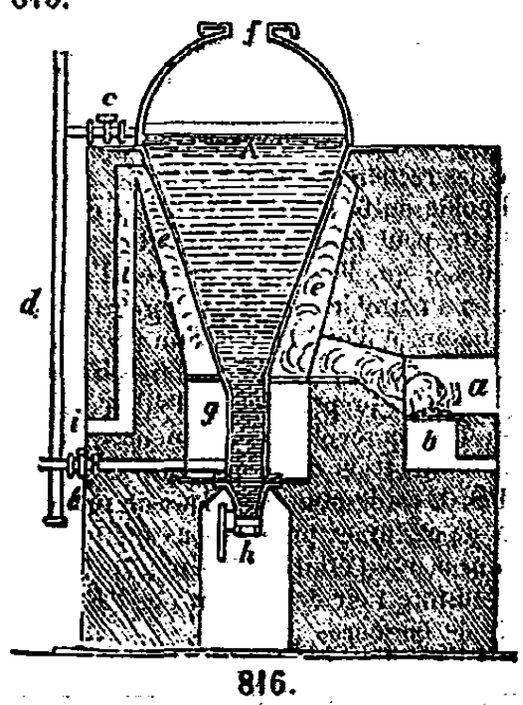
La fig. 815 représente une succession de deux chaudières placées sur le même feu; on peut placer la seconde chaudière au dessus de la première dans laquelle on

814.





815.



816.

verse son contenu quand l'évaporation est plus avancée. Il y aurait avantage à contrarier ainsi le mouvement de la fumée pour la forcer à venir lécher la chaudière si des contours trop brusques n'exigeaient un surcroît de tirage, et n'occasionnaient pas aux coudes des dépôts de suie qui nécessitent des ramonages fréquents.

La fig. 816 représente une chaudière pour les dissolutions qui laissent déposer des cristaux, lesquels se réunissent par la forme de la chaudière et se rassemblent dans un vase conique percé de trous qu'on suspend par une chaîne au fond de la chaudière. Ces cristaux intercepteraient la communication de la chaleur et feraient brûler le fond des chaudières si la chaleur se communiquait par cette partie.

Emploi de la vapeur. La vapeur, moyen si simple de transmettre la chaleur, est *fréquemment employée pour* les évaporations. Elle présente les avantages suivants :

1° D'évaporer dans plusieurs vases avec un seul feu et une seule cheminée; d'où simplicité dans le chauffage, économie dans les pertes de combustible employé à déterminer le tirage.

2° De ne jamais brûler les chaudières.

3° De ne jamais décomposer les substances végétales tenues en dissolution dans la liqueur et qui, se précipitant *sur les parois des chaudières, ne peuvent jamais* être chauffées à une température supérieure à celle de la vapeur.

C'est ce troisième avantage qui décide presque toujours de l'emploi de la vapeur, car quant aux autres le chauffage direct est encore plus avantageux (puisque la production de la vapeur a déjà occasionné les pertes de combustible qui se produisent dans l'évaporation produite directement par l'action du feu), et économise la dépense d'appareils coûteux ; mais il n'en est plus ainsi quand cette dépense est faite pour d'autres appareils, comme quand il existe dans un établissement une machine à vapeur.

Le mode d'action de la vapeur se conçoit facilement. Quand celle-ci est amenée en contact avec les parois métalliques d'un vase renfermant une dissolution froide, elle se condense. La chaleur latente dégagée par la liquéfaction de la vapeur étant de 550 calories, il s'en suit que 1^{k} de vapeur à 100° donne, en se condensant dans 5^{k} 1/2 d'eau à 0°, 6^{k} 1/2 d'eau à 100°.

Cette action est donc très énergique; elle varie évidemment en proportion de la surface baignée par la vapeur.

En général, 1^{mc} de surface de chauffe d'une chaudière à double fond condense 3^{k} de vapeur par heure, et par chaque degré de différence de température entre la vapeur et la dissolution. Pour les serpentins cette quantité est bien plus considérable et s'élève à 8 kil.

La manière de faire agir la vapeur pour l'évaporation, consiste à la faire arriver dans un double fond pratiqué autour de la chaudière. A l'article BIÈRE nous avons figuré un appareil de ce genre pour la *coction du* houblon. Pour multiplier les surfaces on emploie souvent en outre, dans l'intérieur des liquides, des grilles formées de tuyaux de cuivre dans lesquels circule la vapeur. Nous décrirons à l'article SUCRE plusieurs appareils de ce genre. C'est pour l'extraction du sucre qu'on a surtout inventé et développé les applications de ce genre d'appareils. Une condition essentielle est de les disposer de manière à les purger complétement d'air, en les faisant *traverser* par la vapeur en *mouvement*, car le mélange d'air diminue beaucoup la rapidité de la transmission de la chaleur.

Nous ne parlerons pas des bains d'huile chaude qui ont été proposés pour chauffer à des températures supérieures à 100°. Ces dispositions sont tout à fait inutiles aujourd'hui qu'on fait circuler avec facilité la vapeur à 3 ou 4 atmosphères et par suite à des températures de 120 à 130°. D'ailleurs l'évaporation ne peut s'obtenir avec un liquide aussi rapidement qu'avec la vapeur, le liquide ne transmettant de chaleur que sa chaleur sensible, tandis que la condensation de la vapeur dégage en outre une quantité considérable de chaleur auparavant latente et qui devient sensible.

4° Evaporation dans le vide. Le point d'ébullition d'un liquide *s'abaisse à mesure que la pression à la*quelle il est soumis diminue. C'est donc une heureuse idée que d'avoir pensé de placer dans le vide les dissolutions à évaporer, puisque de la sorte on peut opérer à des températures plus basses et bien plus rapidement, si le vide est pratiqué avec facilité. Des appareils de cette nature sont exclusivement employés dans les raffineries aujourd'hui, et permettent de travailler avec une rapidité extrême et à une température très basse, *à laquelle la production du sucre incristallisable* est très peu sensible.

Les avantages du vide, parfaitement reconnus aujourd'hui pour l'évaporation de dissolutions renfermant des substances facilement altérables, trouveront certainement encore à s'appliquer dans quelques autres cas. M. Kuhlmann s'est occupé de cette question dans un mémoire soumis à l'Académie des Sciences : il a proposé d'employer la diminution de pression pour la concentration de l'acide sulfurique, opération qui exige l'emploi de cornues de platine d'un prix fort élevé. Nous extrayons ce qui suit du mémoire de M. Kuhlmann :

« Le plus haut degré de l'aréomètre auquel il soit possible à la pression habituelle de concentrer l'acide sulfurique dans des chaudières de plomb, est de 62 à 63 degré de Baumé. Le plus souvent on s'arrête à 60 ou 61 degrés; toutefois, en opérant avec quelques ménagements, les chaudières de plomb ne sont pas sensiblement attaquées, même en poussant la distillation au delà de 62 degrés.

« En chauffant l'acide sulfurique sous une faible pression, on rapproche son point d'ébullition suffisamment pour que la concentration puisse être complétée dans des vases de plomb.

« L'ébullition de l'acide à 66 degrés peut avoir lieu de 190 à 195 degrés, sous une pression de 3 à 4 centimètres de mercure; à 10 centimètres de pression, la température s'élève à 215 degrés.

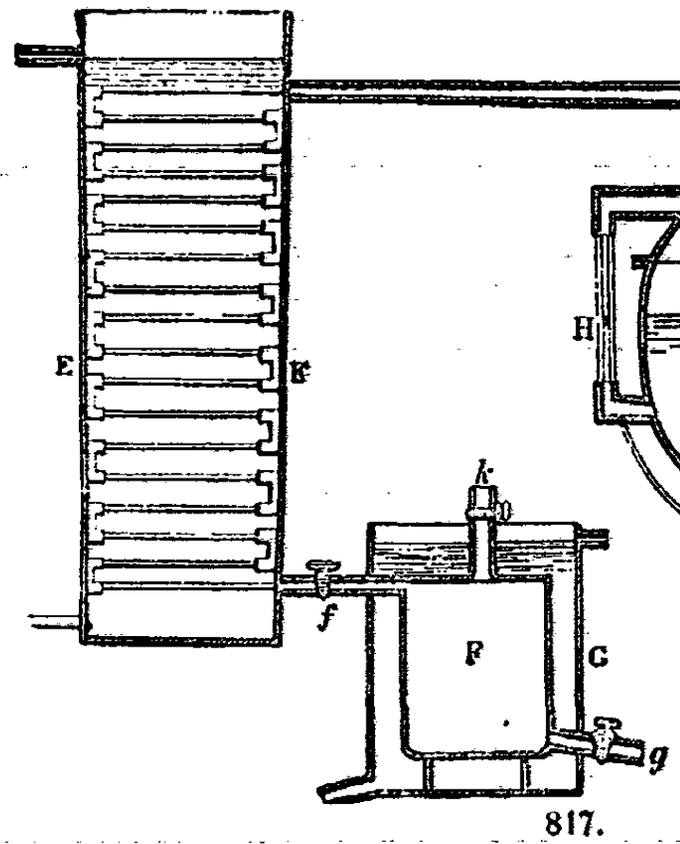
« Quoique la température à laquelle le plomb est attaqué par l'acide sulfurique soit assez rapprochée du point d'ébullition de cet acide dans le vide, la concentration de l'acide sulfurique jusqu'à 66 degrés pourra s'exécuter en fabrique dans des chaudières de plomb, et n'exposera pas plus les vases à être corrodés ou fondus, que l'opération telle qu'elle se pratique actuellement en arrêtant la concentration à 62 degrés de l'aréomètre.

« En faisant concentrer à faible pression l'acide jusqu'à 66 degrés, dans des ballons de verre contenant des lames de plomb, la concentration se produit avec facilité *sans que le plomb soit sensiblement attaqué.* »

Appareils à cuire dans le vide. Le premier appareil dont nous donnerons la description, d'après le docteur Ure, est un véritable alambic fermé, dans lequel la condensation de l'eau, par des surfaces froides, détermine une diminution de pression.

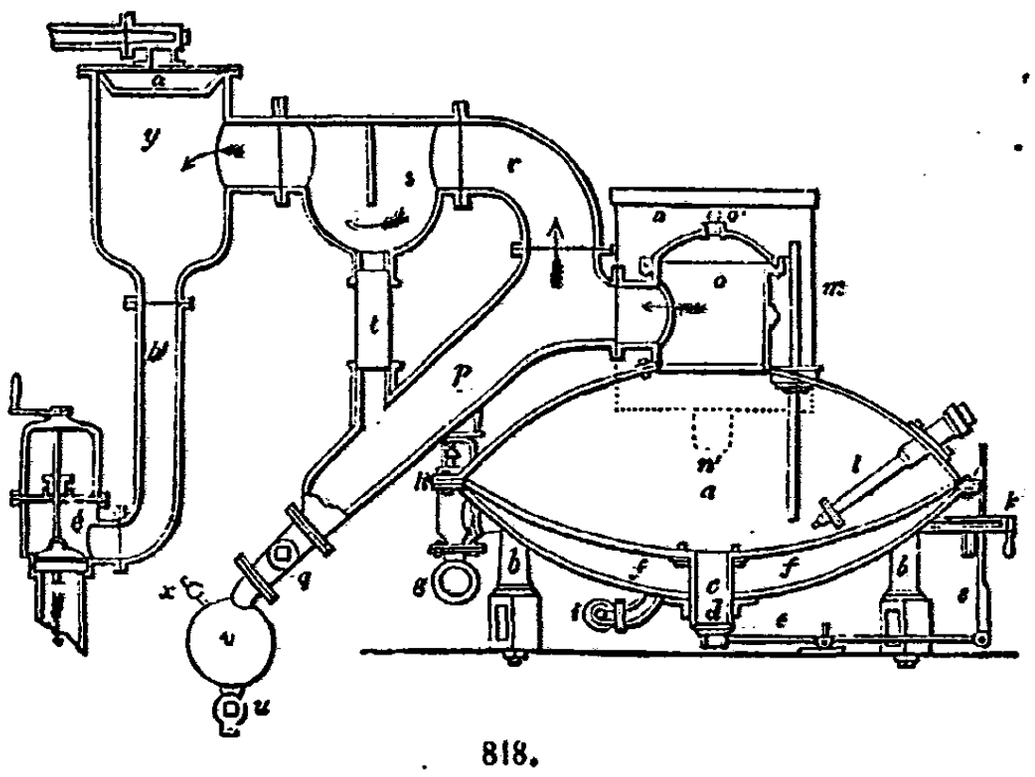
A D (fig. 817), représente une chaudière chargée de la dissolution qui doit être évaporée. Le grand orifice *c*, fermé par une porte à vis, sert à introduire la main pour le nettoyage; *h* est le tuyau de communication avec la chaudière à vapeur; *b* est un syphon plongé dans la liqueur qui doit être évaporée, contenue dans un récipient (qui n'est pas représenté dans la figure) : H est un tube de verre qui indique le niveau du liquide, à la partie supérieure est un tube muni d'un robinet C pour fermer et ouvrir la communication avec le condenseur; *j* est un tube pour la sortie de l'air et de l'eau du condenseur Le réfrigérant E doit être formé de tu-

bes minces en cuivre, d'environ 253 centim. de diamètre, arrangés en zigzag ou spirale, comme le serpentin d'un alambic. Le petit condenseur est joint par le tuyau



f au réfrigérant; il se vide par le robinet *g*, et est environné d'eau. Dans sa partie supérieure, il y a un tube *k*, pourvu aussi d'un robinet qui communique avec la chaudière à vapeur.

Le travail s'opère comme suit : après avoir ouvert les robinets C, *f*, *g*, et avant d'admettre l'eau froide dans le condenseur E, le robinet du tuyau *k* est ouvert, de manière que, par l'injection de la vapeur, il laisse sortir l'air inclus. Après quoi, les robinets *k* et *g* sont fermés. L'eau doit être alors introduite dans le condenseur, et le robinet *b* ouvert. Le liquide à évaporer s'élève du réservoir à travers le tube *b*, et remplit la bassine vide à une hauteur convenable, comme l'indique le tube de niveau H. Lorsque l'évaporation désirée ou la concentration est effectuée, on ferme le robinet C. On ouvre le tuyau *k*, de manière à remplir l'appareil de vapeur, et enfin on ouvre le robinet d'écoulement *a*, pour décharger le résidu de la liqueur. En fermant les robinets *a* et *k* et ouvrant le robinet *b*, la bassine doit se charger elle-même de nouvelle liqueur, et l'opération recommence après que *b* a été fermé et C ouvert.



Pour vider le vase F, on ferme le robinet *f* et on ouvre les robinets *g* et *k*. La vapeur entrant par *k*, fait couler l'eau; mais lorsque cette vapeur elle-même sort du robinet *g*, cet orifice doit être immédiatement fermé, le robinet *f* ouvert, et l'eau froide introduite de nouveau. L'eau condensée, qui a, sur ces entrefaites, été recueillie dans la partie inférieure du réfrigérant, coule dans le vaisseau condensateur F. Comme un peu d'air entre toujours avec la liqueur dans la chaudière, il doit être enlevé au temps où l'on tire l'eau des deux condenseurs, en conduisant la vapeur à travers l'appareil. Cette necessité est moins urgente, si la liqueur est mise en ébullition avant d'être introduite dans la chaudière vide.

Un tel appareil peut être modifié suivant l'objet particulier qu'on a en vue, la disposition décrite est employée pour des extraits de matières végétales. L'intérieur du vaisseau AB doit être fait de fer ou de cuivre étamé

L'appareil jadis employé dans les raffineries était l'appareil d'Howard dont la fig. 818 est une coupe. *a* est une chaudière à double fond, qui reçoit le sirop à cuire; le double fond *f* reçoit la vapeur par le tuyau *k*; *i* est le retour d'eau par lequel s'écoule l'eau condensée; *é* est le tuyau communiquant à la chambre de condensation à laquelle aboutit le tuyau d'une pompe à air, qui sert à entretenir le vide dans l'appareil. C'est au moyen de la manivelle qu'on voit en *é*, qu'on ouvre une soupape latérale qui fait entrer de l'eau froide dans le tuyau. Les vapeurs passant par *o*, *r*, *y*, *b*, viendront donc se condenser. La capacité *o* sert à purger la vapeur des parties de ce sirop entraînées mécaniquement, qui retombent dans la chaudière. Le tuyau *p* reçoit par *t* la vapeur déjà condensée par l'action extérieure sur la partie *r* du tuyau d'écoulement, et en *r* par le contact de la partie extérieure du réservoir d'eau. L'eau condensée se vide par le robinet *u*.

D'après M. Péclet, un appareil d'Howard servant à raffiner par jour 600 à 700 kilogr. de sucre blanc, exige une pompe à air mue par une force de deux chevaux-vapeur. Le volume d'eau froide employée est de 10 mèt. cub. par heure, l'eau de condensation sortant à 30 degrés.

L'appareil d'Howard, plus ou moins modifié dans ses détails, donne des résultats excellents. On rencontre néanmoins souvent dans les raffineries l'appareil de

Roth qui lui ressemble beaucoup, si ce n'est que le vide est fait en remplissant toutes les capacités de vapeur pour expulser l'air, et faisant le vide par la communication avec un condenseur. Mais le sirop lui-même contenant de l'air, le vide ne peut être aussi bien fait qu'avec l'appareil d'Howard, et de plus l'expérience a prouvé que cette condensation, pour produire le vide, exigeait plus de vapeur qu'il n'en faut pour mouvoir la pompe à air de l'appareil d'Howard. Aussi a-t-on généralement adapté à l'appareil de Roth de petites pompes à air qui rendent ces appareils tout à fait analogues.

Enfin M. Degrand a construit des appareils fort ingénieux, et qui ont trouvé une très heureuse application dans la fabrication des sucres de betterave, en employant la vapeur produite par l'évaporation à évaporer une partie de l'eau contenue dans les premiers jus. Pour cela il fait passer les vapeurs sortant de la chaudière dans une série de tubes communiquants disposés verticalement; de sorte qu'en faisant couler les jus en lames verticales, la condensation des vapeurs se produit en évaporant une quantité d'eau presque égale à celle vaporisée dans la chaudière, et qu'on gagne ainsi presque tout le combustible dépensé.

On comprendra de quelle importance est un semblable appareil pour la fabrication du sucre de betterave, en songeant que le jus de cette plante étant composé en moyenne de 95 parties d'eau pour 5 de sucre, chaque partie de sucre ne peut être obtenue que par la combustion de 4 kilogr. de houille par kilogr. de sucre, quand l'évaporation a lieu directement. — Nous reviendrons, au reste sur ces appareils à l'article SUCRE. Voy. aussi l'appareil Rillieux, à triple effet, *Complément*, article ÉVAPORATION.

EVENTAIL (angl. *fan*, all. *fæcher*). La fabrication des éventails, fort ancienne à Paris, est une des plus importantes parmi celles comprises habituellement sous le nom d'articles Paris; c'est un des articles pour lesquels le goût de l'ouvrier français ne saurait être facilement détrôné.

Le fabricant d'éventails proprement dit ne fait que mettre en œuvre les matériaux qui lui sont fournis par divers ouvriers. La fabrication des montures s'est concentrée dans quelques villages du département de l'Oise, entre Beauvais et Méru, et y occupe 1500 à 2000 personnes. Une division parfaite du travail a permis d'obtenir à des prix très modérés des formes variées à l'infini par la mode; la monture passe successivement entre les mains du débiteur, du façonneur, du polisseur, du découpeur, du sculpteur, du graveur, du doreur et du riveur. Les matières principalement employées pour les montures sont : la nacre, l'ivoire, l'os, la corne, l'écaille, le citronnier, l'ébène, etc., et grand nombre de bois veinés.

Quant à la feuille, formée généralement de deux feuilles de papier réunies par de la colle, quelquefois d'une étoffe de soie brodée de plumes, etc., et entre lesquelles se placent les extrémités de la monture, on les obtient par l'imprimerie lithographique et quelquefois la gravure en taille-douce, dont les effets sont rehaussés par l'enlumineur, le coloriage.

Le fabricant recevant d'une part les montures et de l'autre les feuilles (qu'il a soin de faire fabriquer suivant son goût et en raison des demandes) procède au montage qui consiste à plisser la feuille, à la réunir à la monture et à la border avec le petit filet d'or qui se colle en haut tout autour.

Les procédés spéciaux de cette fabrication sont peu de chose, c'est le bon goût qui fait la principale valeur de l'objet fabriqué.

EXPLOSION (MACHINES A). On a proposé à diverses reprises des machines ayant pour but d'utiliser les forces produites par les explosions. Sauf l'emploi de la poudre à canon, pour lancer avec une énorme vitesse des projectiles, dans des conditions où l'économie du prix de revient du travail mécanique importe bien moins que la puissance de son action et la facilité de son transport, aucune action de ce genre n'a pu encore être utilisée pratiquement. La cause principale en est dans la condition essentiellement défectueuse de la production de la force, dont la communication régulière aux organes de transmission ne peut être imaginée sans à coups et chocs destructifs, au moyen desquels une fraction minime de la puissance se transmet à la résistance.

Il nous a paru néanmoins curieux de relater quelques essais faits dans cette voie. Nous ne parlerons pas de ceux qui consistent à faire détonner de la poudre ou des mélanges analogues dans des vases clos en communication avec des cylindres, dans lesquels seraient des pistons mobiles. Indépendamment des mauvaises conditions de travail d'un semblable appareil, le prix de revient de la force serait énormément trop élevé. Poncelet donne, dans son introduction à la Mécanique industrielle, le calcul comparatif du prix de revient du travail de la poudre et de la vapeur d'eau, dans lequel il établit que le rapport est d'au moins 90 à 1.

Les seuls essais qui aient paru plausibles sont ceux basés sur l'emploi des mélanges détonnants d'air et de gaz hydrogène, qui offrent le double avantage de produire une explosion énergique par suite de la température très élevée que développe la combinaison, qui produit de la vapeur d'eau à une température très élevée, et en même temps de pouvoir faire naître le vide par la condensation de celle-ci. Disons de plus que le gaz hydrogène se produit avec facilité et à un prix peu élevé, par la décomposition de l'eau, soit par l'acide sulfurique et le fer ou le zinc, soit par le charbon.

Machine Brown. Dans cette machine, on utilise surtout la propriété détonnante du mélange d'air et du gaz hydrogène de pouvoir produire le vide. Dans cette machine, qu'on a pu voir à Paris il y a quelques années, le gaz hydrogène est conduit dans un cylindre de grande capacité, fermé supérieurement par une calotte mobile et inférieurement par une vanne-soupape.

Quand le mélange d'air et d'hydrogène est dans les proportions convenables, une soupape s'ouvre pour le mettre en communication avec un corps incandescent qui l'enflamme. A l'instant, les produits de la combustion, soulevant la calotte, s'échappent en grande partie au dessous, et il se produit une condensation de la vapeur d'eau formée. Alors le couvercle supérieur se referme hermétiquement, tandis que l'eau à élever soulève la soupape inférieure, et entre dans le cylindre dans lequel s'achève la condensation. Cette eau s'échappe par une soupape plus élevée, aussitôt qu'un mécanisme soulève le couvercle du cylindre pour y laisser rentrer l'air.

L'inventeur a disposé plus tard deux appareils semblables, côte à côte, pour fournir de l'eau à la partie supérieure d'une roue hydraulique, qui, nous n'avons pas besoin de le dire, devient elle-même une nouvelle cause de perte de forces.

Malgré les essais réitérés de l'inventeur, cette machine n'a pas reçu d'applications. Le gaz est trop cher, son utilisation trop incomplète, pour qu'une pareille machine puisse soutenir la comparaison avec la machine à vapeur.

Machine Selligue. Dans l'année 1844, M. Selligue a proposé l'emploi de l'explosion du gaz hydrogène carboné (qu'il est parvenu à obtenir dans des appareils très simples, au moyen de la décomposition de l'eau par le charbon) pour faire mouvoir les bateaux, en agissant directement sur l'eau et en se dispensant de tout mécanisme intermédiaire.

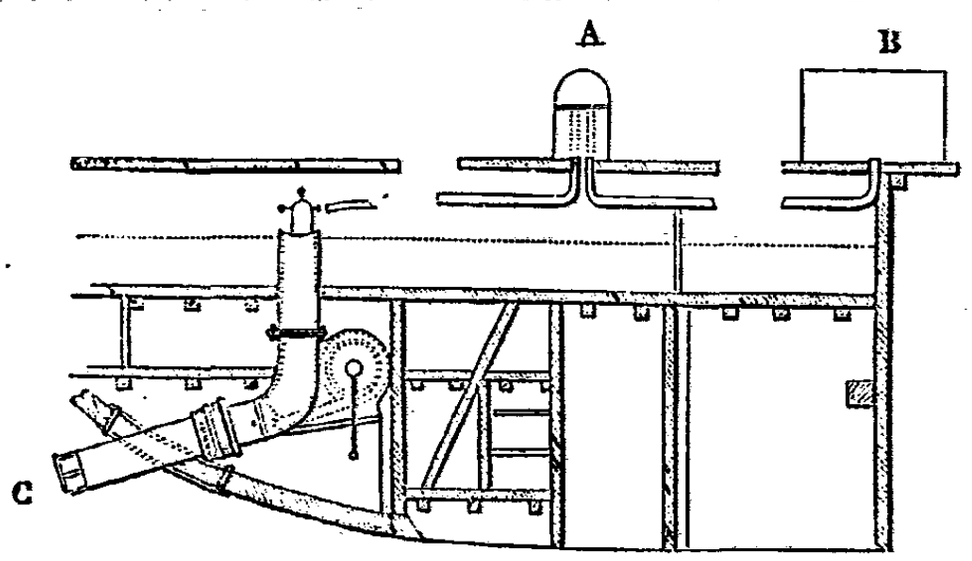
Nous empruntons ca description à la note qu'il a présenté à l'Académie des Sciences :

EXPLOSION.

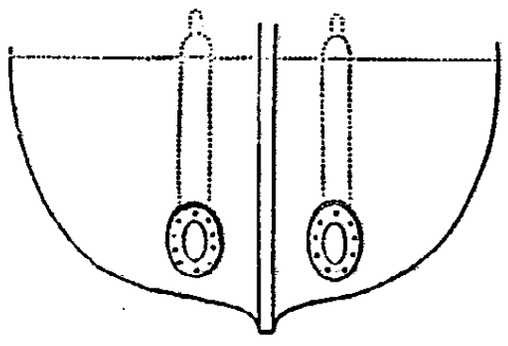
« Je me sers de la force expansive, que j'obtiens par la détonation du gaz, et qui est d'autant plus forte que l'air et le gaz contiennent de l'eau en vapeur en plus grande quantité; comme à chaque explosion, les vapeurs sont portées au rouge, les 20 à 30 grammes d'eau qui y sont contenus, portés à cette température, donnent une force très considérable que je fais agir directement sur l'eau libre; en sorte qu'il n'y a aucune crainte de rupture des récipients d'explosion.

« Voici le fait qui m'a conduit à imaginer ces appareils. En faisant diverses expériences sur le gaz dans une de mes usines, j'ai remarqué que les détonations, dans diverses circonstances, avaient plus ou moins de puissance avec les divers mélanges d'air atmosphérique indiqués dans le Traité de chimie de M. Dumas. J'ai vu que la quantité de vapeur en suspension, ainsi que la quantité d'oxyde de carbone qui se produisent dans le gaz que j'obtiens par la décomposition de l'eau par le charbon au rouge, faisaient aussi varier les effets comme puissance et comme vitesse, si je puis me servir de cette expression. Je suis parti de là pour combiner des appareils pour faire marcher des vaisseaux et remplacer des machines hydrauliques d'une grande puissance.

« Voici la description succincte de ces appareils, représentés fig. 819 et 820 :



819.



820.

« Je place à l'arrière d'un vaisseau, et le plus bas possible au-dessous de la flottaison, deux à quatre récipients d'explosion en métal ductile. Je me servirai du mot éprouvette métallique, qui spécifie bien la forme du récipient d'explosion. Ces éprouvettes seront du calibre d'un mètre, je suppose, et de sept mètres de longueur. Je courbe cette éprouvette presque à angle droit à la distance de deux mètres et demi de la partie supérieure qui est fermée; ainsi l'autre partie du tube a quatre mètres et demi qui se trouve placés presque horizontalement, et ce bout d'éprouvette est ouvert.

« Je fixe avec les collets qui tiennent aux bouts ouverts de cette éprouvette et avec d'autres armatures nécessaires, l'éprouvette elle-même à la muraille et aux planchers du vaisseau, de manière que le bout qui est fermé et perpendiculaire soit à la hauteur de la flottaison.

« A la partie supérieure de chaque éprouvette, il y a trois robinets; l'un s'ouvre après une première explosion pour laisser remonter l'eau qui reprend son niveau et chasse l'azote qui existait après l'explosion; l'autre sert à introduire le gaz et l'air dans l'éprouvette, et se ferme de suite; le troisième est combiné de manière à faire effectuer la détonation. A cet effet, il a une flamme de gaz qui brûle par un petit orifice ménagé au centre de la clef dudit robinet, et une autre flamme placée sur le robinet, laquelle brûle constamment et rallume la première, qui s'éteint à chaque explosion.

« Il y a ensuite, dans le tube inférieur de l'éprouvette, une espèce de piston-rame articulée, de manière à laisser passer au travers l'eau qui vient reprendre son niveau après l'explosion. Les lames qui composent ce piston se placent horizontalement, et ne présentent que leur épaisseur comme résistance au retour de l'eau; quand l'explosion a lieu, elles présentent toute leur surface.

« Au moyen d'une ligne droite de va-et-vient, mue par un mouvement circulaire et continu, je fais faire les fonctions en temps utile et marcher deux corps de pompe de grandeur et de capacité convenables, telles que *un* pour le gaz et *huit* pour l'air. Ils aspirent dans un sens et foulent dans l'autre l'air et le gaz dans l'éprouvette.

« Voici ces fonctions : quand la ligne droite marche dans un sens, elle ferme le robinet supérieur qui ouvre l'éprouvette pour en laisser échapper l'azote et y laisser remonter l'eau jusqu'au niveau de la flottaison et des corps de pompe; ensuite elle injecte dans l'éprouvette l'air atmosphérique et le gaz au moyen de deux corps de pompe. Aussitôt l'injection faite avant la fin de sa course, elle fait fonctionner, par un quart de tour le robinet d'explosion, qui retourne se mettre à sa pre mière position quand l'explosion a eu lieu. Dans l'autre sens de la ligne droite, le robinet supérieur s'ouvre pour laisser échapper l'azote et remonter l'eau dans l'éprouvette; ensuite il fait aspirer l'air et le gaz par les corps de pompe, et ainsi de suite.

« Il va sans dire que la même ligne droite fait marcher deux éprouvettes ou récipients d'explosion en faisant la fonction par chacun de ses bouts en raison inverse, c'est-à-dire que quand elle injecte l'air et le gaz dans l'une des éprouvettes, elle aspire l'air et le gaz dans les corps de pompe pour l'autre éprouvette, dont la détonation doit suivre.

« Dans certaines dispositions, on peut placer, outre les récipients d'explosion de l'arrière, deux autres récipients à l'avent pour virer de bord plus vite : alors on y transporte le gaz et l'air par des tubes; et quand on les fait agir, on ne fait produire les détonations que par les récipients de l'avant et de l'arrière du bord opposé au rayon de la courbe que l'on veut décrire.

« Une explosion peut avoir lieu toutes les trois

secondes par le même récipient (je prends à présent pour point de départ, de mise en action, des récipients d'explosion dans lesquels j'introduirai 35 litres de gaz et 280 litres d'air atmosphérique; chaque explosion égalera environ 25,000 kilogrammes de force). C'est donc une seconde et demie de temps par explosion, 40 explosions par minute, et par heure 2,400 explosions à 35 litres, égale 84,000 litres. Il faut deux de mes fourneaux ordinaires pour obtenir d'une manière normale cette quantité de gaz, et la capacité totale des cylindres doit être de 3,600 litres, ce qui fait douze tubes de deux mètres de long sur 0m,44 de diamètre intérieur. Pour combustible en 24 heures, on brûle, dans deux fourneaux de cette capacité, 20 hectolitres de houille, et on emploie, pour chaque production de 3,500 litres de gaz, 1 kilogramme de charbon de bois ou autre pour décomposer l'eau. Ainsi, en 24 heures, c'est 576 kilogrammes de charbon. L'eau ne coûtant rien, je n'en parle pas dans ce compte.

20 hectolitres de houille, à 3 fr. 50 c. l'hectolitre.	70
576 kilogr. de charbon, à 10 fr. les 100 kilogr.	57 60
	127 60

« Avec 127 fr. 60 cent., on a une force motrice égale à 25,000 kilogr. toutes les secondes et demie; ce qui, à 75 kilogr. par cheval-vapeur par seconde, égale 222 chevaux. Une machine à vapeur coûterait dix fois plus cher.

M. Selligue dit avoir fait un appareil de démonstration qui, au moyen de 400 centimètres cubes de gaz et de 800 centimètres cubes d'air, portait 6 litres d'eau à chaque explosion à 10 mètres de hauteur.

D'après ces calculs et ces résultats et aussi la facile production du gaz à l'aide du charbon de bois, M. Selligue donnait son appareil comme sept ou huit fois moins coûteux que la machine à vapeur. Il est évident que les calculs de l'inventeur, relativement à un système qui n'a jamais été exécuté et qui était encore bien loin de l'état d'exécution pratique, eussent dû être corrigés à l'aide d'un coefficient pratique qui en eût singulièrement atténué les avantages.

En réalité, il était séduit par l'idée, obscure pour bien des esprits, d'explosion, qui paraît susceptible de vaincre toutes les résistances, quelque grandes qu'elles soient, ce qui est erroné, mais surtout n'entraîne pas comme conséquence la production d'une quantité considérable de travail, car la détente peut être minime si l'effort est grand. Ces questions ont été avancées par l'étude de machines à explosion fondées sur une théorie plus avancée et dont nous avons cherché à formuler les principes dans l'INTRODUCTION. Le seul but rationnel que l'on peut se proposer d'atteindre avec les machines à explosion, c'est d'utiliser la chaleur qui peut résulter de celle-ci, qui ne peut être qu'égale à celle qu'a coûté la décomposition du corps qui a produit les gaz, dans des conditions tellement plus avantageuses relativement à la machine à vapeur, que malgré ce détour, cause de pertes évidentes, il y ait bénéfice. Le problème ainsi posé a conduit à la machine à gaz de M. Lenoir, dont nous traiterons en détail, la première qui ait donné pratiquement des résultats utiles, non au point de vue de l'économie qu'elle procure comparativement à la machine à vapeur, mais à cause de la facilité de son emploi dans toutes les villes où l'on a à sa disposition le gaz courant.

EXPLOSIONS DES CHAUDIÈRES A VAPEUR. Voyez CHAUDIÈRES A VAPEUR et VAPEUR.

EXTRAITS. On distingue deux espèces d'extraits proprements dits : les extraits de bois de teinture et les extraits pharmaceutiques.

Les composés odorants que l'on désigne dans le commerce de la parfumerie sous le nom d'extraits de citron, de bergamote, de musc, de lavande, etc., ne sont, à proprement parler, que des cosmétiques huileux ou alcooliques et parfumés par des essences (voyez HUILES VOLATILES).

Les extraits aromatiques de légumes, tels que ceux de carottes, de navets, d'oignons, de poireaux, de champignons, d'estragon, de céleri, que l'on vend chez les épiciers pour donner de l'arome à la préparation des mets, ne sont pas autre chose que des conserves de légumes cuits et concentrés à la vapeur.

Les extraits de teinture sont presque restreints aujourd'hui à la composition des couleurs pour les impressions sur étoffes de coton, de laine et de soie; on les obtient en soumettant les bois de Fernambouc, du Brésil, de Sainte-Marthe, de Cuba, de Santal, et certaines substances végétales (quercitron, fustet, orseille, gaude, graine d'Avignon, etc.), à l'action successive de l'eau et de la vapeur d'eau.

En pharmacie, les extraits sont des médicaments composés des parties solubles des végétaux ou des animaux, ramenés par l'évaporation en consistance molle, pilullaire ou sèche.

Au reste, la grande difficulté consiste à extraire économiquement, soit la matière colorante des bois de teinture, soit les parties solubles des espèces médicinales, de façon à les réduire en pâte sèche ou en solution liquide plus ou moins concentrée; c'est là le point essentiel ou manufacturier que nous voulons traiter ici.

Comme nous l'avons dit (BROYAGE), les bois de teinture doivent être divisés suffisamment, afin que l'eau puisse agir plus facilement sur la matière colorante qu'elle doit dissoudre; mais il faut opérer cette division dans un état convenable, et à l'aide de machines et d'outils faciles à manier et à réparer en cas d'usure. Déjà une vingtaine de machines ont été inventées et publiées depuis le commencement de ce siècle pour remplir ce but (voir les *Descriptions des brevets expirés*, *Annales des arts et manufactures*, tome II, page 198), et il en existe même plusieurs assez ingénieuses, telles que celles de MM. Barcker et Boweliffe, Hunter-Murdoch, Newton, Berendorff, etc., et d'un nombre assez grand d'autres inventeurs. Toutefois, nous nous bornerons à donner ici la description de la machine de feu Valery, qui réunit des organes nouveaux et propres à scier, râper, ou réduire les bois colorants en poudre fine. Cette machine d'ailleurs est dans le domaine public, et tout le monde a le droit de s'en servir aujourd'hui.

La figure 821 représente l'élévation longitudinale de la machine.

La figure 822 est la vue horizontale.

A, A, bâti en fonte de la machine; B, B, croix de Saint-André servant à assembler les deux côtés du bâti; C, coussinet de l'arbre du plateau; D, chariot qui glisse dans des coulisses sur des tringles *h*, *h*, fixées le long de l'intérieur du bâti sur de petites portées; E, crémaillère fixée sous le chariot; F, pignon engrenant dans cette crémaillère; G, G, mâchoires armées de dents qui saisissent fortement l'extrémité de la bûche; H, plateau circulaire et vertical monté sur l'arbre I, et portant les couteaux ou lames d'acier K, qui rongent la bûche; J, J, boîtes saillantes fondues d'une seule pièce avec le plateau, et recevant les couteaux, serrés entre deux plaques par une vis de pression. Ces boîtes sont disposées en double spirale sur le plateau, au nombre de six; l'intervalle occupé par chacune d'elles est un peu plus grand que le sixième du rayon du plateau, afin que les couteaux se recouvrent un peu les uns les autres, et coupent bien toute la surface que présente le bout de la bûche soumise à leur action, et qui est attaquée

EXTRAITS.

perpendiculairement à la direction de ses fibres. On n'emploie que le nombre de couteaux nécessaire, suivant le diamètre de la bûche.

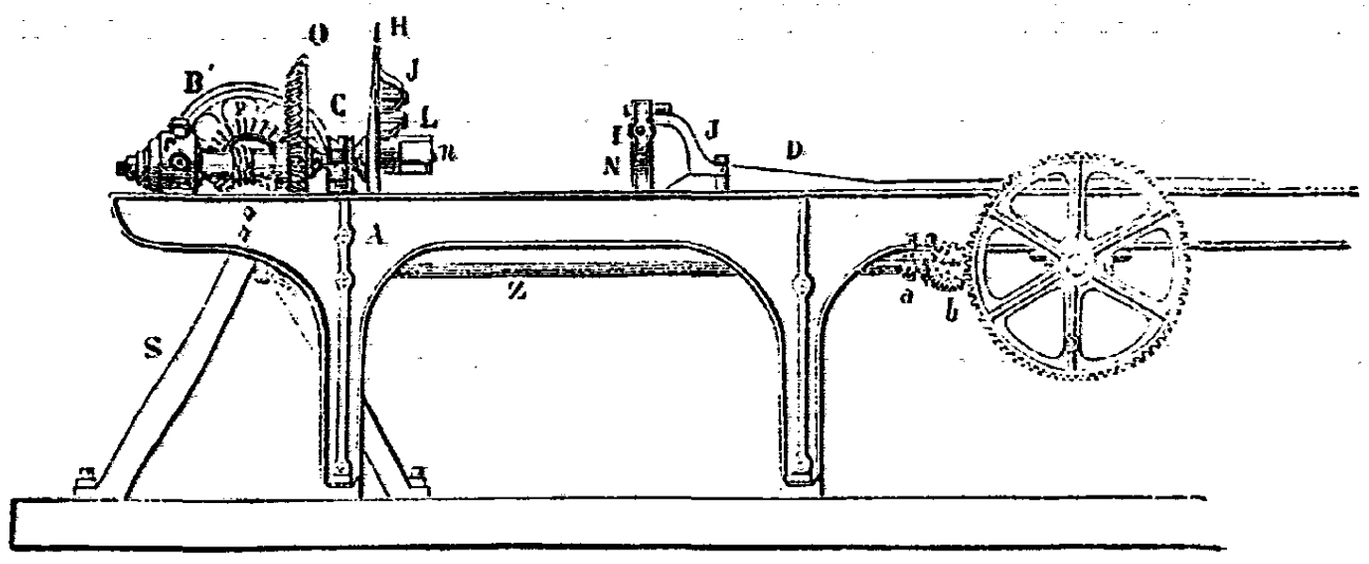
L, pièce de fer solidement fixée dans le centre du plateau, et terminée par une pointe quadrangulaire mobile armée d'une lame d'acier maintenue par une petite vis. La lame peut être avancée à mesure qu'elle est usée par le travail et le repassage; une encoche pratiquée dans la pièce L donne passage au bois coupé par la lame. Cette pièce est taraudée à sa base et sert d'écrou pour recevoir la vis de l'arbre du plateau, et faire appuyer fortement celui-ci contre son embase M. Elle fait saillie de 2 à 3 centim. au-delà des bottes J, J. Son objet est de pénétrer dans la bûche que l'on veut réduire en poudre au moyen de la pointe quadrangulaire et de sa lame, et, en précédant les autres couteaux du plateau, de soutenir (comme le pourrait faire une forte pointe de tour) cette bûche d'une manière invariable.

N, anneau recevant l'extrémité de la bûche que l'on veut réduire en poudre; il est fixé au moyen de deux boulons sur le chariot, et soutenu derrière par une jambe de force.

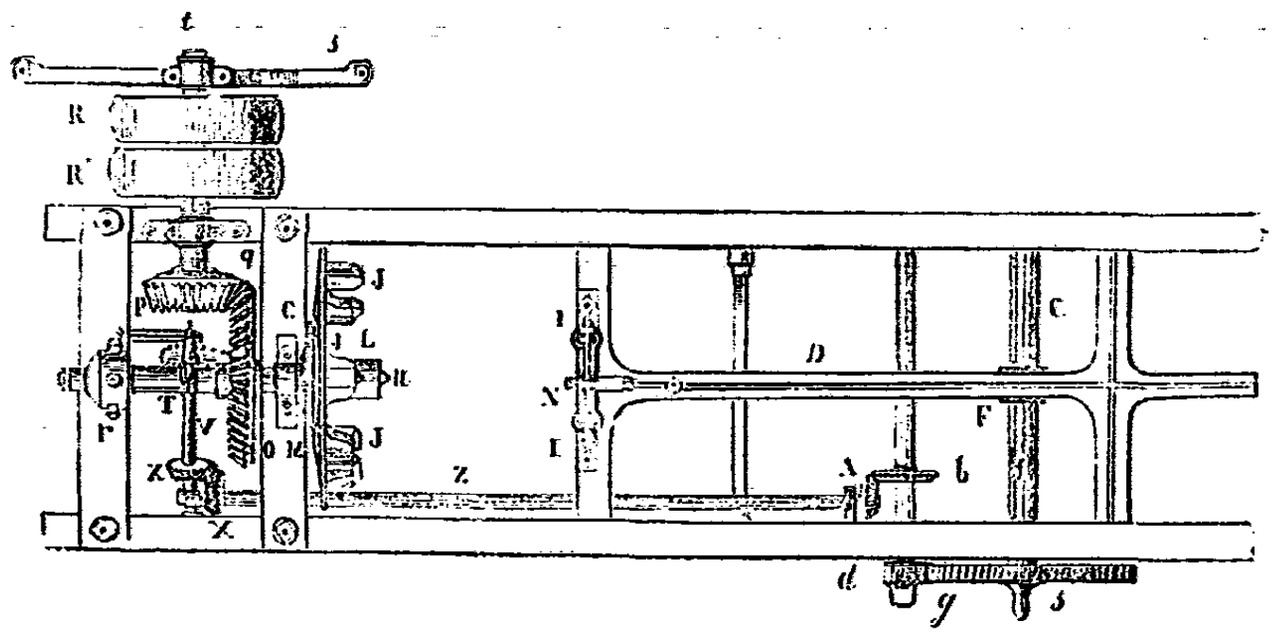
O, roue d'angle montée sur l'arbre I, et recevant son mouvement d'un pignon P ajusté sur l'arbre *q*; sur cet arbre sont aussi montées les deux poulies R, R', dont l'une est fixe et l'autre folle.

L'arbre *q* tourne dans des coussinets, dont l'un est fixé sur le bâti et l'autre sur une chaise en fonte S.

L'arbre I porte une vis sans fin, T, qui fait mouvoir la roue U. L'arbre incliné V de cette roue est muni à son extrémité d'un pignon X, engrenant avec une roue, Y, montée sur l'arbre Z.



824



822.

A l'autre extrémité de cet arbre est monté un pignon *a*, communiquant le mouvement à la roue *b* fixée sur l'arbre *c*, lequel porte un pignon *d* qui commande la roue *e*; cette roue, en faisant tourner l'arbre *f*, entraîne le pignon F, qui, engrenant dans la crémaillère E, fait avancer le chariot.

Le pignon *d* n'est qu'enfilé sur l'arbre *c*; il peut en être retiré à volonté au moyen de la poignée Q, ce qui permet de faire fonctionner le pignon F, et en même temps de reculer le chariot pour remplacer la bûche qui vient d'être rongée par une nouvelle.

Les engrenages qui font mouvoir le chariot sont calculés de manière à ce que celui-ci avance d'un quinzième de millimètre pendant une révolution entière du plateau H.

h, *h*, règles sur lesquelles chemine le chariot; elles sont attachées contre les côtés extérieurs du bâti; *i*, *i*, vis destinées à serrer fortement les mâchoires qui retiennent la bûche sur le chariot.

J, saillies adaptées au plateau et portent les couteaux ou lames d'acier qui rongent la bûche; ils sont pris entre deux petites plaques, et serrés par des vis de pression.

n, pointe quadrangulaire mobile fixée au bout de la

EXTRAITS.

pièce L; c'est cette lame qui, attaquant le bois debout, le réduit en poussière en tranchant de petites longueur des fibres; *r*, crapaudine de l'arbre I; *s*, poignée adaptée à l'un des rayons de la roue *e*, pour ramener le chariot lorsque la bûche est débitée; *t*, *t*, coussinets de l'arbre *q*.

Jeu de la machine. La courroie passée autour de la poulie R fait tourner l'arbre Q qui, par l'intermédiaire des roues d'angles O, P, imprime une vitesse de 30 à 40 tours par minute au plateau H. Le mouvement est transmis par la vis sans fin T, fixée sur l'arbre I, à la roue U, et successivement aux pignons X, Y, qui, en faisant tourner l'arbre Z et les pignons *a*, *b*, puis le pignon *d* et la roue *c*, font avancer le chariot, à l'aide du pignon F et de la crémaillère E, d'un mouvement lent et régulier.

Le produit de la machine est de 175 à 200 kilogr. de poudre par jour; cette poudre est passée dans un blutoir à brosses, d'où elle sort d'une finesse et d'une égalité parfaites. (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, octobre 1839.)

Disons, cependant, que les fabricants d'extraits ne sont pas généralement d'accord sur la nécessité de réduire les bois de teinture en poudre très fine. Les uns prétendent que cette méthode est défectueuse ou au moins superflue quand on opère l'extraction de la matière colorante au moyen de la vapeur d'eau; les autres affirment, d'après leurs propres expériences, que les poudres colorantes de M. Valery rendent moins d'extraits que les bois coupés en feuillets minces au moyen de la varlope circulaire; M. Panay, l'un de nos plus habiles fabricants, nous a communiqué sur ce fait une expérience fort curieuse et très concluante.

« J'ai fait réduire, dit-il, sous mes yeux des moitiés de bûches de bois de teinture en poudre fine par la machine Valery, et j'ai réduit les autres moitiés en copeaux minces au moyen de la varlope circulaire; puis j'ai soumis les deux produits obtenus au même mode d'extraction par l'ébullition dans l'eau chauffée par la vapeur circulant dans un serpentin, et pendant le même espace de temps. A mon grand étonnement, les poudres de M. Valery, quoique parfaitement épuisées en moins de 6 heures, m'ont donné 30 p. 0/0 d'extraits de moins que les bois réduits en copeaux. » M. Panay pense que, dans les poudres tinctoriales de M. Valery, une partie de la matière colorante est altérée ou brûlée par la violence du choc, c'est-à-dire par la chaleur produite par le choc de l'outil qui coupe les fibres ligneuses dans le sens perpendiculaire. Cette opinion semblerait confirmée jusqu'à un certain point par le témoignage de M. Chevreul, qui recommande de soustraire les poudres Valery au contact de la lumière et de l'atmosphère, parce qu'elles s'altèrent, dit-il, bien plus vite à cause de leur division même.

Tout en reconnaissant ce fait incontestable, que les bois effilés, coupés, moulus ou réduits en poudre fine, sont altérés ou modifiés par l'action de la lumière et de la chaleur, nous devons convenir aussi que la fabrication des extraits et des teintures tend à se simplifier et à s'améliorer aujourd'hui, par suite de l'emploi des machines à couper et triturer les bois de teinture. On comprend aisément qu'une division mécanique, qui a pour effet de donner aux copeaux, ou particules des bois de teinture, la plus grande surface et la moindre épaisseur possibles, est extrêmement favorable à l'extraction de la matière colorante, par l'économie qu'elle apporte dans la durée de l'opération et dans la dépense du combustible; mais il faut employer les poudres ou les copeaux aussitôt après leur préparation pour obtenir le plus de matières colorantes possible.

Preparation des extraits. Jusqu'au commencement de ce siècle, l'usage suivi en France a été de réduire les bois en copeaux à l'aide d'une hache, et de laisser macérer ces copeaux pendant quelques jours dans l'eau pour dissoudre la matière colorante. Mais, en observant la contexture des bois et le dépôt de la couleur dans leurs interstices ou cellules, les Hollandais s'aperçurent *les premiers qu'on perdait une quantité considérable* de matière colorante. Ils songèrent alors à triturer les bois de teinture entre deux meules placées perpendiculairement sur une table ronde, dans la même position que les meules propres à écraser les graines oléagineuses.

Un ouvrier jetait sur la table et au passage des meules les bois de teinture coupés en éclats ou petits morceaux, de l'épaisseur de quelques millimètres et longs de 5 à 6 centimètres. Les meules réduisaient d'abord les copeaux en lames plus ou moins épaisses et grossières, ressemblant à des brins de filasse légèrement contournés et aplatis; puis les copeaux étaient soumis à une seconde machine à triturer, et tamisés ensuite au moyen d'un blutoir.

Pour aider la première trituration on humectait par moments les copeaux ou brins de bois; et cette humectation empêchait aussi la volatilisation des poudres colorantes.

Les bois étaient réduits en éclats par le moyen de petites haches ou de couteaux de boulanger mus à la main.

Nous lisons, dans un Mémoire envoyé en 1793 par un représentant du peuple en mission en Hollande au comité de salut public : « C'est avec ces meules que les Hollandais réduisent en poudre les bois de Santal, de Campêche, du Brésil, de Fernambouc et de mûrier. » (Voir le *Journal des Arts*, tome I^er^, page 304.) C'est à l'aide de ce procédé que les Hollandais passaient alors pour avoir un moyen particulier de préparer les couleurs, qu'ils extrayaient d'ailleurs au moyen d'une longue ébullition dans l'eau.

En 1816, M. Salleron employa le filtre-presse ou filtre hydraulique de M. le comte Réal pour extraire la matière colorante des bois de teinture. (Voir le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, tome XV, année 1816). Mais cet appareil ne permet pas d'opérer sur des quantités de matières un peu considérables. Il exige surtout une trop grande dépense de combustible pour évaporer les eaux de lavage.

Vers la même époque, M. de Rommerhausen, physicien allemand, inventa la *presse à vapeur*, qui, même aujourd'hui, peut encore paraître nouvelle et d'un bon emploi pour la préparation des extraits, sauf pourtant à la compléter par les additions, changements ou perfectionnements que l'on a apportés depuis plusieurs années dans les appareils à vapeur.

La fig. 823 représente la coupe verticale de cette presse, publiée, en 1825, dans le Traité de Leuchs sur la *préparation des matières tinctoriales*. (Voir la traduction par M. Péclet. Paris, 1829. Première partie, page 40.)

« *A*, est le foyer; le feu chauffe la chaudière *c*, la fumée va envelopper la chaudière *b*, et se rend dans la cheminée.

« *b*, chaudière pleine d'eau, garnie d'un tuyau à robinet qui aboutit à une chaudière à vapeur *c*; sa capacité est les 2/3 de celle de la première.

« *c*, chaudière à vapeur. Le tuyau *f* est destiné à laisser dégager la vapeur quand on veut l'alimenter; le tuyau *e*, également garni d'un robinet, communique avec la partie inférieure d'un vase, où se trouvent les corps que l'on doit soumettre à la vapeur; les deux chaudières sont en fer ou en cuivre.

« *d*, est un vase en bois de chêne. L'eau bouillante arrive à sa partie inférieure par le tuyau *e*, et passe à travers un fond percé recouvert de paille, et delà elle s'é-

EXTRAITS.

chappe à travers les corps qui ont été placés dans l'espace *h*. A la partie supérieure on place une grosse toile de laine ou un fond percé que l'on fixe de manière qu'il ne puisse pas être levé.

« *k*, tuyau par lequel le liquide, qui a traversé le vase *d*, se rend dans le tonneau *t*. Lorsque les corps sont aromatiques, on condense la vapeur dans un serpentin.

« *n* est un tuyau fermé par un robinet qui sert à soutirer le liquide qui reste dans le vase.

« Pour travailler avec cet appareil, on commence par fermer tous les robinets, on introduit l'eau dans la chaudière *b* et on ouvre le robinet qui communique avec la chaudière à vapeur et le robinet *f*, pour que l'eau de la chaudière *b* puisse pénétrer dans la chaudière *c*; alors on ferme le premier robinet, on laisse ouvert le robinet *f*, on remplit de nouveau la chaudière *b*, et on chauffe.

« Pendant que l'eau renfermée dans les chaudières *a* et *b* se chauffe, et que les vapeurs se dégagent par *f*, on remplit l'espace *h* avec les objets que l'on veut soumettre à l'expérience; si ce sont des corps solides, ils doivent être grossièrement pilés.

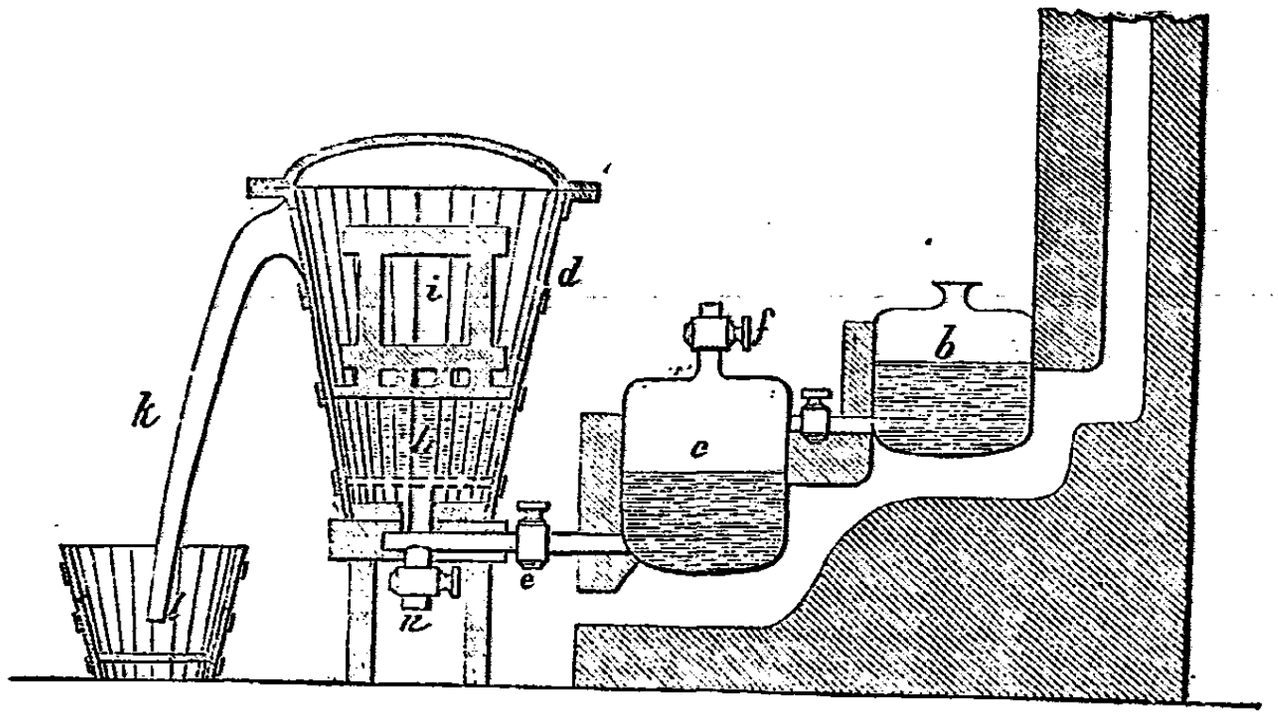
« Aussitôt que l'eau entre en ébullition, on ferme le robinet *f* et on ouvre quelques minutes après le robinet *e*. La pression de la vapeur qui se forme dans la chaudière *c* force l'eau à pénétrer dans l'espace *h* (le robinet *n* est fermé); en traversant les corps qui y sont renfermés, elle dissout les matières solubles qu'ils renferment, et se rend par le tuyau *k* dans le tonneau *t*.

« S'il paraît des vapeurs dans le tuyau *k*, c'est une preuve que l'eau de la chaudière *c* est évaporée; on ouvre alors le robinet *f* et celui du tuyau placé entre *c* et *b*, et on laisse pénétrer l'eau de la chaudière *b* dans la chaudière *c*; l'opération recommence comme précédemment et on répète cette opération jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule par le tuyau *k* soit pure, ce qui indique que les corps solubles qui renfermaient les matières placées en *h* ont été complétement entraînés.

« On peut accélérer l'opération en faisant d'abord tremper les corps pendant quelques heures dans l'eau, et encore davantage si on les fait traverser par de la vapeur. Cette dernière opération peut s'exécuter en mettant d'abord seulement, dans la chaudière *c*, quelques pouces d'eau qui se transforme rapidement en vapeur. »

M. Leuchs ajoute dans une note : « Il ne faut pas ouvrir trop tard le robinet, parce que la vapeur pourrait acquérir une assez grande force élastique pour briser la chaudière. Pour éviter ces accidents, il serait convenable de garnir les chaudières de soupapes de sûreté. »

Cet appareil, disons-nous, peut être perfectionné facilement et utilement : ainsi, en plaçant plusieurs cuves ou cylindres verticaux *d*, faits solidement en cuivre, les uns à côté des autres, et en les faisant communiquer par des tuyaux de métal du haut en bas, on peut former un appareil d'extraction par la méthode dite de déplacement (voyez DÉPLACEMENT), et opérer ainsi une circulation continue de l'eau ou de la vapeur d'eau condensée, de manière à obtenir des extraits à un degré de concentration voulu. Il faudrait alors employer un générateur à vapeur marchant à haute pression, et muni de soupapes de sûreté, de pompes alimentaires, etc.; la vapeur chaufferait d'abord à l'aide de serpentins les cuves ou chaudières pour évaporer à l'air libre les extraits liquides; elle reviendrait ensuite dans la première cuve *d*, où elle se condenserait et opérerait en même temps la circulation du liquide coloré, par l'effet de la pression dans les autres chaudières.



823.

C'est d'après le principe de la circulation de l'eau et de la vapeur que M. Panay construit avec succès un appareil fort ingénieux, pour lequel il a pris un brevet d'invention de 15 ans, en y joignant, par des combinaisons mécaniques bien entendues, l'emploi de l'eau distillée chaude. Le dessin de cet ingénieux appareil nous a été communiqué par l'inventeur avec le plus entier désintéressement; et nous saisissons avec empressement cette occasion pour lui adresser publiquement tous nos remercîments.

Pour n'omettre aucun des renseignements théoriques qui peuvent guider dans l'étude et la marche progressive de la fabrication des extraits, nous allons décrire la composition et les principes organiques des bois le plus généralement employés.

Bois de campêche que l'on appelle aussi *bois d'Inde*. Les bûches de ce bois sont dures, compactes et lourdes; elles sont à l'extérieur d'une couleur brun-rougeâtre; mais elles doivent être dans l'intérieur orangé-rougeâtre et exhaler une odeur de violette.

Le bois de campêche est composé, suivant M. Chevreul, de ligneux, d'hématine, qui contient le principe colorant assez semblable au sang, d'une matière particulière qui lui est intimement unie, d'une substance azotée, d'une substance volatile, d'une matière résineuse, d'acide acétique, de chlorure de potassium, d'acétate de potasse, d'acétate, de sulfate, d'oxalate et de phosphate de chaux, d'alumine, d'oxyde de fer et d'oxyde de manganèse.

L'eau bouillante enlève environ 0,03 de matières solubles au bois de campêche; la décoction contient tous les corps que nous avons déjà nommés, moins le ligneux, l'oxalate et le phosphate de chaux.

L'hématine et la matière particulière qui lui est unie sont les substances dominantes de l'extrait aqueux.

L'alcool bouillant enlève au bois qui a été épuisé par l'eau, de la matière résineuse, de l'hématine et la matière particulière.

L'acide hydro-chlorique sépare du bois épuisé par l'eau et l'alcool de l'hématine, de la matière particulière, de l'oxalate, et probablement du phosphate de chaux.

Le bois qui a été épuisé successivement par les dissolvants retient encore de l'hématine et de la matière particulière; probablement cette matière est fixée au ligneux par la substance azotée et la matière résineuse (30e leçon de *Chimie appliquée à la teinture, par M. Chevreul*, 2me vol., page 89).

Pour obtenir l'hématine pure dans les laboratoires de chimie, on fait évaporer à siccité la dissolution aqueuse de bois de campêche à une basse température et on traite le résidu par l'alcool chaud à 36 degrés. On filtre, on évapore jusqu'à consistance sirupeuse et on ajoute un peu d'eau; en évaporant de nouveau et abandonnant la liqueur à elle-même, une partie de l'hématine cristallise. On lave les cristaux avec un peu d'alcool.

M. Panay obtient l'hématine cristallisée pure sans aucun traitement à l'alcool et sans aucune manutention; par son procédé, l'hématine se forme et se dépose tout simplement par le repos sur les parois mêmes des baquets en bois qui contiennent la décoction plus ou moins concentrée de campêche, et dépouillée préalablement de la matière résineuse.

L'hématine n'est employée à l'état de pureté que comme réactif dans les laboratoires; elle n'est encore d'aucun usage dans les arts et les manufactures.

Bois de Brésil. Le plus estimé dans le commerce est connu sous le nom de *bois de Fernambouc, bois de Fernambourg.*

Il est très dur, compacte, très pesant, et va au fond de l'eau. Il a une odeur et un goût sucrés; sa couleur est jaune-rougeâtre à l'extérieur, et passant plus ou moins au rouge foncé quand il a été exposé à l'air; les couches intérieures sont plus pâles et se foncent au contact de l'air.

La décoction ou l'infusion aqueuse de ce bois contient, suivant M. Chevreul, du ligneux, de la *brésiline*, qui renferme la matière colorante, une matière qui y est intimement unie, une huile volatile qui a l'odeur et la saveur du poivre, de l'acide acétique libre, des acétates de chaux, de potasse et d'ammoniaque, du sulfate de chaux et une substance azotée.

Sa solution tire moins sur le rouge que celle de l'hématine, à concentration égale.

On emploie aussi le bois de Nicaragua ou de Sainte-Marthe qui ne renferme ordinairement que le 1/3 et souvent 1/2 de la matière colorante du bois de Fernambourg, qui n'est pas, du reste, aussi belle, ni aussi durable.

Bois de Santal. Ce bois n'est employé aujourd'hui que dans la teinture; il renferme un principe colorant rouge nommé *santaline*, et une matière analogue à celles qu'on nomme résines.

EXTRAITS.

Bois de Brésil jaune. Il se rencontre dans le commerce sous la forme de grosses bûches qui doivent être compactes, denses, d'une couleur jaune sans mélange de rouge.

On rencontre souvent dans l'intérieur de ces bûches une matière pulvérulente jaune ou d'un blanc tirant sur la couleur de chair, et une matière rouge dont l'aspect est résineux. M. Chevreul a désigné sous le nom de *morin*, la matière colorante de ce bois.

La décoction ou infusion aqueuse de bois est jaune d'or, mais elle peut présenter accidentellement quelques parties rougeâtres et orangées, suivant qu'elle est faite avec plus ou moins d'eau. Nous examinerons la décoction de *bois jaune* à l'article TEINTURE; et nous renvoyons pour l'examen du *morin* aux leçons de chimie appliquée à la teinture par M. Chevreul, tom. II, 30e leçon.

Au résumé, le bois de Brésil jaune est plutôt employé dans les teintures sur laine que pour les couleurs d'impression sur étoffes; les jaunes qu'il donne d'ailleurs ont l'inconvénient de devenir roux à l'air; précisément à cause des composés astringents qu'il renferme. Aussi lui préfère-t-on, dans les manufactures d'impression, le bois jaune venant de Cuba, qui donne des jaunes plus intenses et plus variés.

Au reste, les extraits de quercitron, de Gaude, de graine de Perse, sont encore supérieurs et plus brillants; et on les emploie généralement aujourd'hui dans les grandes et bonnes manufactures d'impressions et de teintures.

Usage des extraits. L'extrait de campêche sert à faire le violet et le noir; celui de Brésil est employé principalement pour le rouge sur soie.

L'extrait de Sainte-Marthe sert pour faire le rouge à bon marché, le puce et le marron sur coton.

L'extrait de Cuba est principalement en usage pour le vert et le jaune.

Il ne suffit pas, cependant, pour fabriquer des extraits vendables, de connaître seulement la composition et les propriétés des bois colorants, comme les savants chimistes les ont définis, il faut connaître encore l'état actuel de la manufacture, c'est-à-dire le mode d'employer et de mélanger les mordants pour produire sur les étoffes des couleurs brillantes et solides.

La partie commerciale et économique est aussi d'une grande importance, puisqu'il s'agit de produire des extraits que l'on vend aujourd'hui à un prix inférieur à celui du bois brut.

Préparation des extraits en grand au moyen de la vapeur. M. Panay a été un des premiers en France qui se soit livré à la fabrication des extraits aqueux, en employant la méthode d'extraction et de concentration de la matière colorante par la vapeur; ses travaux datent de l'année 1826. Au commencement de l'année 1829, cet industriel habile a monté, d'après le même principe, la fabrique d'extraits de M. Charles Meissonnier à Paris, et celle de M. *Michel* à Puteaux, en 1835.

Mais, au mois de novembre 1829, M. Charles Meissonnier a pris un brevet d'invention pour un appareil d'extraction, qui a beaucoup d'analogie avec la presse de Rommerhausen (voir *la Description des brevets expirés*, tome 39, page 193); toutefois cet appareil renferme des additions et perfectionnements pour l'évaporation économique des liquides, dans des vases chauffés au moyen de la vapeur.

Il est bon de dire aussi que dès le mois de mai 1828, M. Perpigna avait pris un brevet pour une méthode d'évaporation des liquides en multipliant les surfaces exposées à l'action de la chaleur (voir *les Descriptions des brevets expirés*, tome XXXVI, page 186). Son appareil était composé d'une chaudière à large ouverture avec un double fond, chauffé par la vapeur; et celle-ci circulait ensuite dans un serpentin placé au-dessus. Nous retrouvons en outre dans le *Journal de pharmacie*, tome V,

page 302, année 1819; tome IX, page 348, année 1823, l'emploi des appareils d'évaporation, chauffés au moyen de la vapeur d'eau, pour préparer les extraits pharmaceutiques; et ces appareils sont encore les meilleurs que l'on puisse employer avec sûreté et économie.

Appareil de M. Meissonnier. La vapeur entre dans une grande chaudière de cuivre hermétiquement fermée, et dans laquelle on a placé préalablement les copeaux de bois de teinture, sur un double fond de fer-blanc troué comme une passoire à café; elle pénètre facilement les fibres ligneuses, dissout la matière colorante qu'elles renferment, se condense en partie et forme l'extrait liquide qui s'écoule au moyen d'un tuyau fixé à la partie inférieure de la chaudière, dans un vase plat et à double fond.

La vapeur surabondante s'échappe de la grande chaudière par un second tuyau placé au-dessus du niveau du liquide ou extrait coloré; elle chauffe le vase à double fond qui le contient, et se condense dans un troisième vase rempli d'eau.

L'extrait ainsi chauffé prend bientôt la consistance sirupeuse qui est généralement demandée dans les manufactures; on le met, au besoin, dans une petite bassine hémisphérique placée au-dessus de la grande chaudière, afin de lui donner la consistance molle ou sèche.

On continue ainsi l'opération, c'est-à-dire l'extraction de la matière colorante, tant que le liquide qui découle de la grande chaudière est coloré; puis on remplace le bois épuisé par du bois neuf.

Le vase qui reçoit l'extrait est peu profond et d'une assez grande dimension pour pouvoir produire promptement l'évaporation; il est ouvert à sa partie supérieure afin d'établir l'accès d'un courant d'air sur la superficie du liquide bouillant, ce qui accélère encore l'évaporation.

La chaudière d'extraction est en cuivre, et assez forte pour résister à la tension de la vapeur et à la dilatation produite par la chaleur.

En 1839, M. Beyssère présenta à l'Académie des sciences un procédé qui, au premier aspect, paraît simple et facile d'exécution; les bois de teinture réduits en copeaux très minces à l'aide de la varlope sont immédiatement soumis dans un cuvier fermé à un courant de vapeur, et quand la température de la masse totale a atteint près de 80 degrés, on découvre et l'on arrose avec quelques litres d'eau froide; puis on soutire à l'aide d'une cannelle inférieure la portion de liquide qui s'est condensée, et on la rejette à l'aide d'un arroseur sur la surface des copeaux. Cette manœuvre est réitérée jusqu'à ce que la lessive ait atteint un assez grand degré de concentration, et alors on l'évapore d'abord à feu nu; puis au bain-marie. L'action de la chaleur ainsi ménagée permet d'obtenir des extraits bien homogènes et entièrement solubles dans l'eau chaude. Suivant l'auteur, on évite ces longues ébullitions au contact de l'air auxquelles on avait recours autrefois, et les matières colorantes éprouvent beaucoup moins d'altération. (Voir *Compte-rendu de l'Académie des sciences*, 29 avril 1839.)

M. Beyssère n'a point élevé de fabrique, et tout porte à croire que sa méthode de lavage est longue et plus dispendieuse que celles employées par MM. Panay, Meissonnier et Michel. Nous reconnaissons cependant, d'après notre propre expérience, que les extraits aqueux obtenus par son procédé sont riches en matière colorante, en ce sens que celle-ci est plus vive et plus éclatante, mais il faut éviter la concentration à feu nu, qui agit sur la matière colorante en la carbonisant.

Le résultat de la coloration des extraits paraît tenir à deux causes que la science n'a pas encore suffisamment expliquées : l'une est inhérente à la fabrication elle-même, qui opère par des lavages successifs; l'autre paraît accidentelle et due au développement des couleurs par l'action d'une chaleur régulière et prolongée, en présence de certains agents chimiques ou physiques qui éprouvent eux-mêmes des modifications plus ou moins stables.

Il est probable que les phénomènes de la coloration plus ou moins intense des extraits sont analogues à ceux des couleurs, qui ont lieu dans la teinture par l'action lente et prolongée de la chaleur, au contact de l'air, et sous l'influence de certains agents (voyez TEINTURE).

Au reste, quelle que soit l'opinion que l'on ait sur le développement des couleurs des extraits, les rapprochements que nous faisons ici ne peuvent avoir aucun inconvénient, puisque nous ne les présentons pas comme définitifs, mais comme probables, et que, d'un autre côté, les extraits et les couleurs de teinture sont remarquables par leur analogie de composition.

Il est démontré d'ailleurs qu'on doit purifier les extraits de bois de teinture, tels que ceux de campêche, autant que possible de la matière résineuse, d'un excès d'hématine, des corps solides et des sels qui changent et altèrent la couleur fixée sur l'étoffe par l'impression, et nous avons reconnu même qu'en teinture les extraits d'orseille fournissent une couleur plus vive, plus économique que les orseilles ordinaires.

PURIFICATION DES EXTRAITS AQUEUX.

On précipite la matière résineuse au fond des vases, après la première évaporation, par une légère addition d'eau froide versée dans le liquide aqueux lorsqu'il est encore chaud; on la laisse déposer dans des cuviers en bois.

Après plusieurs jours de repos le liquide aqueux se compose de trois parties distinctes : l'une compacte, solide, fortement colorée en brun-rougeâtre, qui se dépose au fond des cuves et qui contient la matière résineuse, les sulfates de chaux et d'alumine, les oxydes de fer et de manganèse, etc., qu'on sépare; l'autre gluante, d'une apparence résineuse, et d'autant plus riche en couleur qu'elle est plus insoluble dans l'eau froide; la troisième partie, c'est-à-dire la partie supérieure du liquide, est sirupeuse, et plus ou moins soluble dans l'eau froide, suivant que l'extrait a été fait avec plus ou moins d'eau ou de vapeur d'eau condensée. On décante ensuite cette dernière partie et on la fait évaporer et concentrer, au moyen de la vapeur, dans un vase en cuivre à double fond, ou garni intérieurement d'un serpentin. On obtient ainsi un second extrait gluant, plus insoluble et plus riche en couleur, que l'on mêle avec la première partie. Comme nous l'avons déjà dit, l'hématine pure se dépose et cristallise sur les parois mêmes du vase sans l'intermédiaire d'aucun réactif. C'est à M. Panay que l'on doit ce procédé facile, qui lui permet de préparer et de vendre aujourd'hui l'hématine cristallisée au prix de 6 francs le kilogramme.

Quant à l'épuration immédiate des extraits du bois de Fernambouc, de Sainte-Marthe, et généralement de tous les bois de Brésil, elle a la plus grande analogie avec celle du bois de campêche, sauf la différence du principe colorant (*la brésiline*) et de la matière qui y est unie, qu'on ne cherche pas à obtenir à l'état de pureté; mais l'extrait de Fernambouc l'emporte toujours pour la quantité et la vivacité des couleurs. La cause de cette différence, dit Leuchs, provient en grande partie de ce que les bois de Brésil, autres que ceux de Fernambouc de bonne qualité, contiennent une matière colorante fauve.

Dingler a fait voir que l'on pouvait séparer cette dernière, et qu'alors on pouvait teindre avec le brésillet le bois de Sainte-Marthe, du Japon, de Sapan, etc., aussi bien qu'avec le meilleur bois de Fernambouc. Le procédé de Dingler consiste à traiter les bois par l'eau ou la vapeur d'eau, à concentrer la décoction, de manière

à obtenir 7 kil. à 7 kil. 1/2 de décoction par 2 kilogr. de bois, laissant refroidir, et y versant un kilogr. de lait écrémé trait depuis 12 à 18 heures (pour les bois peu riches en couleur 1/3 à 1/2 de moins); on agite, on fait bouillir pendant quelques minutes et on filtre. Les matières colorantes fauves sont précipitées par la coagulation de la matière caséeuse. En teignant on étend la décoction avec de l'eau. Pour l'impression, on la concentre de manière que 2 kilogr. de bois ne fournissent que 2 1/2 kilogr. à 3 kilogr. de décoction, et on épaissit la liqueur comme à l'ordinaire. Les décoctions peuvent être employées de suite, parce que par ce traitement elles ont acquis les propriétés qu'elles n'acquerraient, par la préparation ordinaire, qu'en les conservant quelque temps. On peut augmenter la quantité colorante des différents bois, et principalement celle de celui de Ste-Marthe, en laissant légèrement fermenter les décoctions. Pour cet effet on le fait moudre grossièrement, et on le met dans des tonneaux, ou en masses bien couvertes, dans un lieu dont la température ne soit ni trop basse ni trop élevée; où on l'abandonne pendant quatre ou cinq semaines. L'humidité et la chaleur y développent bientôt une fermentation qui se reconnaît à la température de la masse, qui se trouve plus élevée que celle de l'air. Après on peut le faire moudre fin et le mettre dans des tonneaux (extrait du *Traité complet de la préparation des matières tinctoriales*, par Leuchs, traduit de l'allemand par M. Péclet, première partie, page 245).

Quelques chimistes attribuent l'amélioration qu'éprouve la décoction de bois de Fernambouc par le temps, à la séparation des matières résineuses, et le fait est démontré depuis longtemps par l'expérience et par la pratique manufacturière. Il ne faut donc pas croire, *à fortiori*, que l'action simultanée de l'oxygène atmosphérique et de la chaleur ne puisse avoir aucune influence sur les bois pulvérisés, ainsi que sur les décoctions de certains bois de teinture, surtout lorsqu'on fait évaporer ces liquides à feu nu et au contact de l'air.

Il est plusieurs faits bien démontrés, c'est que si on laisse du bois de campêche, pulvérisé, pendant plusieurs mois, et même pendant des années, dans un lieu très sec et exposé à une chaleur tempérée, il perd bientôt ses propriétés tinctoriales. En évaporant une décoction de ce bois resté quelque temps à l'air, le résidu n'est presque plus soluble dans l'eau, et donne des couleurs très faibles et très fugaces (*Bancroff*).

Au contraire, la décoction de Fernambouc exposée dans une cave pendant plusieurs mois, et même pendant des années, éprouve une altération qui embellit sa couleur et le rend plus solide. Il est bon d'y jeter de temps en temps un peu de bois de Fernambouc moulu, on perd moins de matière colorante (*Leuchs*).

Ces rapprochements nous conduisent à reconnaître que les belles couleurs des extraits de bois sont, pour la plupart, le résultat d'opérations chimiques plus ou moins adroites et bien entendues; que le développement ou l'altération de la matière colorante sont subordonnés à diverses circonstances inconnues, qui en modifient plus ou moins les nuances.

Quant au meilleur mode d'évaporation (voyez ÉVAPORATION), l'expérience prouve qu'il y a avantage à évaporer lentement, au moyen de la vapeur à basse pression, afin de ne point altérer la matière colorante, et pour amener les extraits constamment au même degré de concentration. C'est ainsi que M. Panay opère, et ses préparations, dont la production s'élève au chiffre énorme de plus de 700 kilog. par jour, sont justement citées et appréciées dans les manufactures d'impressions.

PRÉPARATION DES EXTRAITS PHARMACEUTIQUES.

Les extraits sont classés par les pharmaciens de la manière suivante :

1° Les extraits faits avec le suc des plantes vertes;

2° Les extraits obtenus par l'action de l'eau, soit à froid, soit à chaud, sur les plantes sèches, et appelés *extraits aqueux;*

3° Les extraits obtenus au moyen de l'eau et de l'alcool appelés *extraits hydro-alcooliques;*

4° Les extraits obtenus avec l'alcool seul, et appelés *extraits alcooliques* ou *résineux;*

5° Les extraits obtenus avec le vin, qui ne sont guère plus employés.

A ces cinq variétés d'extraits, M. Dausse, pharmacien à Paris, en a ajouté deux autres qui sont dues à ses recherches.

1° Les extraits obtenus par l'intermède de l'éther et de l'eau, qu'il appelle *extraits aqueux éthérés;*

2° Les extraits obtenus au moyen de l'eau, de l'alcool et de l'éther, qu'il appelle *extraits hydro-alcooliques éthérés*. Ces deux extraits ne se préparent qu'avec les plantes aromatiques.

Pour les préparer, il faut employer toutes les opérations que nécessite la fabrication des extraits de teinture, c'est-à-dire l'*extraction des matières* solubles par l'action de l'eau ou de l'alcool, soit à froid, soit à chaud, l'*évaporation* et la *concentration* du liquide aqueux par le chauffage au moyen de la vapeur et la distillation régulière et méthodique.

On doit employer surtout le moyen d'extraction à l'eau froide ou tiède, et celui d'évaporation au bain-marie ou à la vapeur, ou dans le vide, pour transformer les sucs végétaux en extraits sans les altérer. On sait d'ailleurs que la plupart des extraits pharmaceutiques obtenus par la décoction ou l'infusion à chaud et l'évaporation à feu nu se colorent fortement, et contractent un goût empyreumatique très désagréable.

L'extraction s'opère facilement à froid, lorsqu'on fait usage d'un appareil fondé sur la méthode de déplacement; et depuis l'heureuse application de cette méthode, tant recommandée par MM. Boullay, Guibourt et autres, des expériences ont prouvé que, traitées à froid par l'eau ou l'alcool, les substances médicamenteuses cédaient à ces liquides toutes les parties solubles qu'elles renfermaient, et cela en employant beaucoup moins de liquides que par les anciens procédés.

Le mode d'évaporation de la solution aqueuse, dans un vase à double fond chauffé par la vapeur, n'altère en rien l'extrait que l'on veut obtenir. Pourtant la majeure partie des pharmaciens emploient encore l'évaporation et la concentration des extraits à feu nu ou à l'aide du bain-marie. Nous ne connaissons qu'un seul pharmacien à Paris, M. Dausse, qui emploie le chauffage à la vapeur, et encore depuis quelques années seulement; il est aussi le premier qui ait fabriqué par ce procédé les extraits pharmaceutiques en grand.

Au résumé, voulant fournir sur la préparation des extraits pharmaceutiques des indications exactes, nous avons recueilli et mis en ordre les travaux des hommes spéciaux.

Extrait du Dictionnaire universel des Matières médicales, par Mérat, 1831. « On les prépare en faisant évaporer le suc des plantes fraîches, naturel ou dépuré, ou l'infusion, la décoction, la macération ou la digestion de ces plantes, pour leur donner la consistance qu'ils doivent avoir, soit par l'ébullition (ce qui est le plus mauvais procédé), soit par l'évaporation lente sur le feu, à l'étuve, à la vapeur, au soleil. Un extrait bien préparé doit être lisse, luisant, fléchir sous le doigt sans y adhérer, et se dissoudre complétement dans l'eau. Les extraits doivent se conserver à l'abri de l'air, dans des endroits secs, et être visités de temps en temps pour voir s'ils ne s'altèrent pas, auquel cas il faut les renouveler, et non les remanier. En les cuisant ou les décuisant, comme on le recommande dans les pharmacopées, on les altère; car le moindre changement leur ôte leurs propriétés; il faudrait les conserver dans des

flacons à large ouverture bouchés à l'émeri. Les extraits présentent beaucoup de différences, suivant leur mode de préparation, ainsi que l'a prouvé M. Orfila, qui a conclu des expériences qu'il a faites de la température employée pour l'obtenir (*Toxicologie*, tome II, page 214), que ceux préparés par décoction et évaporés par ébullition sont presque sans propriétés ; les meilleurs sont ceux faits récemment par l'infusion de la plante sèche. Comme chaque pharmacien prépare à sa manière ce composé médicinal, qu'il apporte plus ou moins de soins dans sa confection, il en résulte que les extraits sont fort différents, suivant les officines. Toutes choses égales d'ailleurs, ils diffèrent encore suivant que l'année a été sèche ou pluvieuse, que la plante employée a été récoltée dans des localités chaudes ou humides, sauvage ou cultivée, que l'extrait est ancien ou nouveau. On voit donc que ce genre de médicament ne saurait être toujours le même, et que ses effets doivent être nécessairement incertains. Il n'y a que les extraits très actifs auxquels il reste toujours une partie de leurs propriétés naturelles. »

Le but qu'on se propose en faisant des extraits est triple ; on a l'intention : 1° de conserver les principes qu'on suppose les plus précieux des substances employées pour les saisons ou les lieux où elles existent peu fraîches ; 2° de les rapprocher sous le moindre volume possible ; 3° d'en faciliter l'administration. Ces deux dernières intentions sont assez bien remplies ; mais il n'est pas certain qu'il en soit de même de la première ; on n'a dans un extrait, comme nous l'avons dit, que les parties solubles dans l'eau de végétation, ou le liquide employé ; il y en a d'insolubles qui n'en font point partie, et qui cependant ont aussi des propriétés non équivoques. C'est donc la plante entière qu'il faut employer lorsqu'on veut avoir toutes les vertus qu'elle possède. Il n'y a donc que l'usage, aidé de l'analogie, qui puisse donner au juste le degré de valeur des extraits.

Les doses des extraits sont en général du quart de la quantité de la plante en nature ; ainsi la belladone, l'aconit, la jusquiame, etc., dont on donne deux grains en poudre, se prescrivent par demi-grains, en extrait ; dans les végétaux moins actifs on peut donner moitié en poids. On les administre en bols ou en pilules, parce que leur saveur est toujours amère et désagréable ; ils servent, en outre, d'excipient pour d'autres substances dont on fait des pilules. On mêle fréquemment les extraits au savon et à d'autres médicaments fondants. Lorsqu'on ajoute aux extraits la partie verte de leur suc, on les dit préparés à la manière de Storck. On ne connaît qu'un petit nombre d'extraits animaux, ce sont les tablettes de bouillon, l'extrait de fiel de bœuf, de cantharides, etc.

Les extraits peuvent contenir les principes suivants : Extractif alcaloïde, gomme, gomme-résine, fécule, mucilage, gluten, soufre, acide benzoïque, citrique, etc. ; sels, principes colorants, etc. On y trouve parfois du fer, du cuivre, qui viennent des vases qui ont servi à les préparer.

Extraits obtenus avec le suc des plantes, par Dausse. Généralement pour préparer ces extraits, on fait usage d'un FILTRE-PRESSE. La seule modification que M. Dausse a apportée à ce procédé, consiste en ce que, pour ne rien perdre de la substance extractive que retiennent toujours les résidus après l'expression, il met ces derniers dans des cylindres à déplacement où ils sont épuisés par l'eau, jusqu'à ce que celle-ci passe insipide ; c'est de cette manière qu'il prépare les extraits de tige de laitue, de turyons d'asperges, etc.

Extraits aqueux. Pour les extraits aqueux, toutes les substances, à l'exception d'un très petit nombre, sont soumises à l'action du *filtre-presse*. Fleurs, feuilles, écorces, bois, racines, sont traités dans cet appareil par l'eau à la température ordinaire ; quelques plantes seulement sont traitées au moyen de l'eau chaude.

Les racines, les écorces et les bois, les feuilles sont réduits en poudre grossière. Il y a certaines fleurs qu'il ne faut point pulvériser, si l'on veut que l'opération ait un résultat satisfaisant.

Lorsque la substance à traiter est très avide d'humidité, et susceptible de se dilater considérablement, on l'humecte préalablement avec une suffisante quantité d'eau pendant quelques heures ; c'est ainsi qu'on doit traiter la poudre de têtes de pavots, de racine de patience, de rhubarbe, etc. On les introduit ensuite dans le cylindre à déplacement, en les tassant légèrement. On déplace la première eau employée, en ajoutant de l'eau sur le filtre, et on continue successivement à en ajouter de nouvelles quantités jusqu'à ce que la substance soit épuisée.

Pour les bois durs, tels que le gayac, le quinquina, le buis, etc., qui se dilatent très peu, on les place de suite dans le cylindre, sans les avoir humectés préalablement, et on verse de l'eau par dessus. La poudre de ces substances se dilate un peu à mesure que l'eau les pénètre ; mais cette légère dilatation, loin de nuire, empêche que l'eau ne les traverse trop rapidement ; but qu'on atteint d'ailleurs, avec la précaution de tourner le robinet qui se trouve au bas du cylindre, de manière à ce qu'il ne sorte qu'un petit filet d'extrait, et à permettre que les substances et l'eau soient longtemps en contact pour que le liquide puisse se charger des principes médicamenteux.

Enfin les extraits sont placés dans une capsule au bain-marie, pour coaguler l'albumine qu'ils contiennent presque tous ; après on les retire pour les laisser refroidir et les filtrer au papier. Ils sont ensuite remis dans la capsule pour achever la concentration de l'extrait.

Les extraits ainsi évaporés entièrement au bain-marie, sont entièrement solubles dans l'eau froide ; avantage que n'offrent pas les extraits obtenus par décoction, surtout quand on les évapore à feu nu, soit en totalité, soit en partie ; en outre, le mode d'évaporation à feu nu carbonise toujours une partie notable des extraits, et leur communique à tous une odeur analogue que l'on désigne par le nom d'*odeur d'extrait*.

Extraits hydro-alcooliques. Pour préparer ces extraits on emploie l'alcool tantôt à 22°, tantôt à 24°, selon la substance que l'on veut traiter ; mais il est inutile de faire macérer préalablement la poudre. On se contente de la placer dans le cylindre, garni à son extrémité inférieure d'un disque d'étoffe de laine. Après avoir placé un disque en fer-blanc percé de petits trous sur la surface unie de la poudre, on verse l'alcool, que l'on déplace successivement, jusqu'à l'entier épuisement de la substance. Seulement on a la précaution de remettre sur le filtre les premières parties qui sortent troubles, jusqu'à ce que le liquide extrait soit très clair. On déplace les dernières quantités d'alcool retenues par la plante, au moyen de l'eau, afin de ne rien perdre du menstrue employé. Ces extraits, bien clairs, sont distillés dans un alambic chauffé au bain-marie, afin de recueillir la majeure partie de l'alcool employé. Le résidu trouble est versé dans une capsule et évaporé au *bain-marie*. Vers la fin de l'opération, on remue le produit avec une spatule en os, afin de bien mélanger les principes abandonnés par l'alcool et l'eau, et d'avoir un extrait homogène.

Comme pour les extraits aqueux, il est convenable d'employer 2 kilog. d'*alcool* à 22 ou 24° par 500 gram. de substances.

Extraits alcooliques ou résineux. On doit toujours employer de l'alcool à 34° ou 36°, afin de ne pas dissoudre la matière extractive aqueuse qu'ils ne doivent pas contenir, sans quoi, si l'on veut les obtenir bien purs, on est

obligé, pour les en débarrasser, de les laver avec de l'eau chaude, quand ils sont en consistance pilulaire.

Au reste la marche de la préparation est absolument la même que celle adoptée pour obtenir les extraits hydro-alcooliques.

Extraits vineux. On préparait jadis les extraits d'absinthe, de fumeterre, etc., en traitant ces plantes avec le vin blanc. Ces extraits ne sont plus en usage. De tous ceux de cette espèce, il n'y a que celui qu'on prépare avec la racine d'ellébore noir, en la traitant par l'alcool, le vin et le sous-carbonate de potasse, qui soit encore employé et seulement dans la préparation des pilules toniques de Bachet.

Extraits aqueux éthérés et extraits hydro-alcooliques éthérés. Dans la préparation des extraits aqueux éthérés on ne doit avoir en vue que d'obtenir le principe soluble dans l'eau et le principe aromatique.

Dans la préparation des extraits hydro-alcooliques éthérés, le but est d'obtenir les principes solubles dans l'eau, dans l'alcool et dans l'éther.

On emploie les plantes aromatiques à l'état sec, bien conservées et de premier choix. Quoique sèches, elles contiennent encore beaucoup d'huile essentielle. Chacune d'entre elles fournit, par 30 grammes et selon sa nature, depuis 2 grammes 1/2 jusqu'à 7 grammes 1/2 et plus d'huile tant fixe que volatile et aromatique.

Voici la manière d'opérer :

La substance est préalablement pulvérisée, placée ensuite dans un cylindre à déplacement, pourvu de tous ses accessoires; vous versez alors dessus un poids égal d'éther sulfurique; vous déplacez ensuite cet éther par l'alcool à 33° et à son tour l'alcool est déplacé par l'eau. Avec ce dernier menstrue vous lessivez, sans discontinuer la substance, jusqu'à ce que le liquide qui passe soit insipide et incolore, l'extrait éthéré est distillé à part dans une petite cornue, pour retirer presque tout l'éther. L'extrait alcoolique est mêlé à l'extrait aqueux, et soumis aussi à la distillation, pour retirer la majeure partie de l'alcool. Ce qui reste dans le bain-marie de ces deux derniers extraits, est recueilli avec soin, placé dans une capsule, et évaporé jusqu'à la consistance d'extrait pilulaire bien rapproché; alors le résidu de l'éther, qui n'est que de l'huile fixe ou volatile est ajouté à la masse extractive et incorporé rapidement au moyen d'un pilon. Si on veut obtenir ces extraits secs, il faut attendre, avant d'ajouter les essences, que la masse extractive soit plus rapprochée que ne le comporte l'état pilulaire. Après avoir incorporé les huiles, on étend la masse sur les bords de la capsule, quelques minutes après on retire ce vase de dessus le bain-marie; et quand il est presque refroidi, on enlève l'extrait avec la pointe d'un couteau.

Au mois de janvier dernier, M. Payen a publié dans les Annales de physique et de chimie (*tome XIII*, page 59), un appareil qu'il nomme *extracteur à distillation continue*. Tous ceux qui s'occupent de l'analyse des substances végétales, ou qui demandent des solutions très chargées, soit de sels, soit d'autres principes solubles, peuvent tirer de grands avantages de cet appareil, qui offre des applications aussi heureuses que multipliées; mais nous laisserons parler l'auteur.

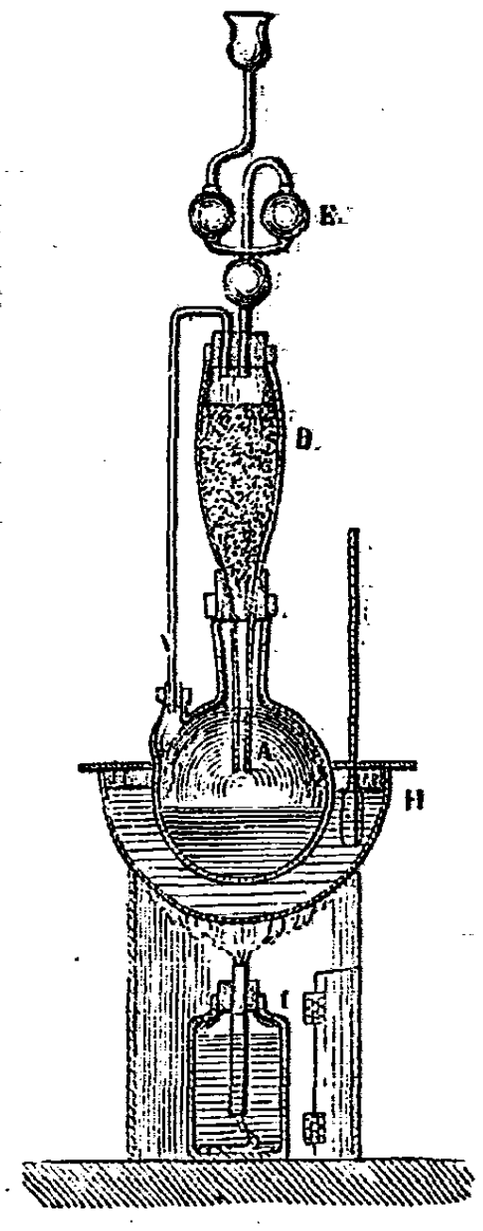
Extracteur à distillation continue, par M. Payen. Les appareils propres à déterminer les propriétés physiques et la composition élémentaire des corps, se sont tellement perfectionnés entre les mains des célèbres chimistes de notre époque, qu'ils semblent ne plus rien laisser à désirer. Il n'en est pas de même des appareils et ustensiles destinés à l'extraction ou à la séparation des principes immédiats; aussi, les travaux entrepris dans cette voie sont-ils presque toujours lents, difficiles et dispendieux.

Ces inconvénients sont plus particulièrement sentis lorsqu'il s'agit, par exemple, d'extraire d'une substance organisée la totalité des principes solubles, dans l'éther l'alcool; et d'autres véhicules volatiles et d'un prix plus ou moins élevé.

Il faut, en effet, beaucoup de temps et de soins minutieux pour opérer, avec ces liquides, des filtrations, lavages à épuisement, et des distillations successives, afin d'isoler les principes dissous et de reprendre une partie du dissolvant; l'action de l'air, d'ailleurs outre les pertes qu'elle occasionne, vient parfois compliquer les résultats en donnant naissance à de nouveaux produits.

Ces difficultés disparaîtront si l'on fait usage de l'appareil simple et facile à diriger que j'ai disposé dans la vue de les résoudre.

Au moyen de l'extracteur à distillation continue, on réalise les conditions d'un épuisement spontané, en évitant les transvasements à l'air et réduisant aux proportions les plus minimes le temps absorbé par les manipulations, la dépense des réactifs, ainsi que les chances d'erreurs résultant de l'impureté de ceux-ci, et de la déperdition des produits extraits.



824.

On comprendra *sans peine* les avantages de cet appareil en examinant sa construction: il se compose d'un ballon A, fig. 824, surmonté d'une allonge B, la pointe effilée de celle-ci entre jusqu'à la moitié de la profondeur du ballon. Les parties supérieures de ces deux vases communiquent entre elles par un tube latéral *cd*. L'ensemble du système offre deux capacités closes; il était donc nécessaire de pourvoir aux dilatations et contractions des gaz et vapeurs; telle est la fonction du tube de sûreté à triple effet E, dont la première boule, *f*, condense d'ailleurs une portion des vapeurs, et fait retomber le produit liquide dans l'allonge.

Lorsqu'on veut se servir de l'*extracteur* pour épuiser par l'éther ou l'alcool, une substance en concentrant tous les produits des lavages, on garnit le col de l'allonge avec un tampon de fil de coton (1); on remplit sa panse aux deux tiers de la hauteur avec la substance en poudre sèche, on verse dessus le liquide, en quantité

(1) Lavé préalablement, ainsi que tous les bouchons, avec les mêmes liquides.

suffisante pour mouiller toutes les parties, remplir les interstices, filtrer dans le ballon et le remplir à moitié. On assujettit alors les bouchons à l'embouchure de l'allonge et à la tubulure du ballon; on fait plonger la moitié de celui-ci dans un bain-marie d'eau H. L'appareil reste maintenu dans sa position verticale à l'aide d'un support ordinaire qui embrasse le col du ballon.

Le bain-marie, recouvert d'une plaque en deux parties, est chauffé par une lampe à l'alcool I, dont la mèche peut être tellement abaissée que la température de l'eau, indiquée par un thermomètre, soit entretenue de 38 à 40 degrés centésimaux.

L'éther dans le ballon est ainsi porté et maintenu en ébullition; sa vapeur s'élève et se condense en partie dans le tube latéral. Le liquide résultant de cette condensation retombe distillé sur la substance que contient l'allonge. L'excès de vapeur et l'air dilaté se dégagent par le tube de sûreté; mais une partie de la vapeur se condense dans les trois boules, dont la première verse immédiatement son liquide dans l'allonge, et concourt à l'épuisement de la substance. Afin de régulariser la filtration, on place à la superficie bien nivelée de la substance pulvérulente trois disques de diamètres gradués, en papier à filtre.

La concentration de la solution filtrée s'opère continuellement dans le ballon; elle alimente la distillation qui fournit également, d'une manière continue, l'éther épuré à la substance, qui s'épuise par une filtration incessamment reproduite.

On parvient sans peine à régler pour plusieurs heures consécutives la température de cette sorte de circulation.

Nous citerons un exemple qui fera bien comprendre les avantages de la méthode et de l'appareil.

Deux décilitres de bois, en poudre, ont été lavés pendant trente heures, sans interruption, avec un demi-litre d'éther, et sans demander, pour la surveillance de l'opération, à différentes reprises, plus d'une heure de temps.

Il eût fallu pour obtenir les mêmes effets en opérant sur un filtre à l'air, employer au moins 5 litres d'éther, opérer plus de dix rectifications, y consacrer presque tout son temps durant trois jours, respirer constamment la vapeur d'éther, et courir quelques chances d'incendie.

On peut facilement modifier cet *extracteur* dans les formes et les dimensions de ses parties; il peut être utile, comme nous l'avons presque toujours fait, de placer l'allonge dans une cloche renversée, afin de mettre de l'eau froide dans l'intervalle entre deux vases. La modification du tube de sûreté rend l'usage de cet appareil plus commode; elle permet d'ajouter le dissolvant par ce tube, et de faire rentrer dans l'allonge le liquide condensé dans les boules; il suffit pour cela de refroidir un peu le ballon.

L'épuisement continu, au moyen de l'alcool, peut être rendu plus économique en échauffant le bain-marie, au moyen d'une lampe à l'huile dont le niveau soit constant; la flamme et la distance seront réglées de façon à entretenir la distillation de l'alcool, sans dégagement sensible de vapeur au travers du tube de sûreté.

On pourrait même placer le bain-marie sur un foyer ordinaire, où l'on brûlerait du charbon ou tout autre combustible usuel; mais alors il faudrait consacrer beaucoup plus de temps à surveiller l'appareil et diriger le feu.

L'emploi de l'extracteur à distillation continue, nous semble destiné à rendre plus faciles et moins dispendieuses diverses opérations des laboratoires. On s'en servira quelquefois avec avantage pour épuiser certaines matières par l'eau distillée; dans ce cas, on remplacerait par de l'huile ou une solution saline (1) l'eau du bain-marie.

Il est bien probable que la facilité avec laquelle on pourra extraire ainsi les matières grasses et résineuses, les huiles essentielles, permettra d'étudier ces substances, même dans les organes et les produits naturels qui n'en renferment que de faibles proportions.

Nous pourrions citer encore, pour compléter cet article, plusieurs procédés et appareils propres à la fabrication des extraits de teinture, et pour lesquels les auteurs ont pris des brevets d'invention. L'un est destiné à extraire et concentrer tout à la fois la matière colorante dans un générateur à vapeur; l'autre consiste « à hâter, dit l'inventeur, la dissolution de la matière colorante dans l'eau ou la vapeur d'eau, au moyen d'un agitateur mis en mouvement par une force motrice quelconque; » le troisième a pour objet d'extraire la matière colorante par pression et par ascension, comme on peut le faire facilement, au moyen de la presse à vapeur de Rommerhausen, etc. Mais nous préférons renvoyer les lecteurs à la description des brevets, pour qu'ils jugent eux-mêmes les procédés dans leur application possible et manufacturière.

A. ROUGET DE LISLE.

F

FAIENCE (*angl.* earthen ware, *all.* steingut). La faïence est une espèce particulière de poterie que nous ne pouvons définir d'une manière nette et exacte sans mettre sous les yeux du lecteur le tableau de la classification des poteries qu'a donné M Alexandre Brongniart, l'illustre directeur de la manufacture royale de porcelaine de Sèvres, dans le beau traité des arts céramiques qu'il a publié à la fin de sa carrière.

On verra par ce tableau, que toutes les poteries, depuis les simples terres cuites, dont les molécules sont à peine liées les unes aux autres, comme les briques et les vases les plus communs, jusqu'aux porcelaines dont les molécules se sont enchevêtrées les unes dans les autres, parce que la pâte a reçu un commencement de fusion, forment une série presque continue. Les poteries qu'on appelle faïences communes ou faïences fines occupent les quatrième et cinquième ordres, et forment la transition entre la première et la seconde classe.

(1) La solution de chlorure de calcium, par exemple, dont le degré d'ébullition varie à volonté, suivant la densité qu'on lui donne.

TABLEAU DE LA CLASSIFICATION DES POTERIES.

CLASSES.	NOMS ET CARACTÈRES.	ORDRES.	NOMS ET CARACTÈRES.
I.	POTERIE A PATE TENDRE, c'est-à-dire rayable par le fer, argilo-sableuse, calcarifère, la plupart fusible au feu de porcelaine. *Nota.* Du XII^e^ siècle avant J.-C. au XV^e^ siècle après, avec une lacune de vingt siècles.	1^er^ ordre.	TERRES CUITES. Pâte argilo-sableuse. Surface matte. Sans aucune glaçure. *Sous ordre.* A. LA PLASTIQUE (*moulée*) B. LES USTENSILES. Briques, fourneaux (moulés). C. LES POTERIES MATTES. Jarres, urnes (tournées)
		2^e^ ordre.	POTERIES LUSTRÉES. Glaçure mince. Silico-alcaline.
		3^e^ ordre.	POTERIES VERNISSÉES. Glaçure plombifère.
		4^e^ ordre.	POTERIES ÉMAILLÉES. (*Faience commune.*) Glaçure stannifère. (*Appendice.*) Carreaux, briques, etc., à glaçure vitrifiée.
II.	POTERIE A PATE DURE, c'est-à-dire non rayable par l'acier, opaque, argilo-siliceuse, infusible. *Nota.* Du XVI^e^ au XVIII^e^ siècle.	5^e^ ordre.	FAÏENCE FINE. Pâte incolore. Glaçure vitro-plombique.
		6^e^ ordre.	GRÈS CÉRAME. Pâte colorée. Sans glaçure ou glaçure silico-alcaline.
III.	POTERIE A PATE DURE, translucide, argilo-siliceuse, alcaline, ramollissable. *Nota.* Du XVII^e^ au XIX^e^ siècle.	7^e^ ordre.	PORCELAINE DURE. Pâte de kaolin. Glaçure felspathique.
		8^e^ ordre.	PORCELAINE TENDRE NATURELLE. Pâte argilo-saline, phosphatique, kaolinique. Glaçure vitro-plombique, boracique.
		9^e^ ordre.	PORCELAINE TENDRE ARTIFICIELLE. Pâte marno-saline, frittée. Glaçure vitro-plombique.

Les faïences communes ont une pâte colorée ou blanchâtre, tendre, c'est-à-dire assez facilement rayable par le fer, à texture lâche, à cassure terreuse ; par une glaçure rendue opaque au moyen de l'étain, on dissimule la grossièreté de cette pâte. Ces faïences sont d'origine italienne. Elles constituent un genre qui renferme toute terre cuite ou brique revêtue d'un émail opaque.

Les faïences fines, au contraire, ont une pâte blanche, encore opaque, mais à texture fine, qui est dense et sonore ; on n'a pas besoin de chercher à en dissimuler les défauts ; aussi ne les recouvre-t-on que d'un vernis vitro-plombifère. Ces faïences sont d'origine anglaise.

Les fabrications de toutes les espèces de poteries ont des principes et des procédés communs. Nous ne donnons dans cet article que les détails qui ont plus particulièrement trait aux faïences communes, qui sont d'ailleurs les seules poteries méritant réellement ce nom ; les faïences fines se rapprochent beaucoup des grès cérames et même des porcelaines, et c'est avec raison que M. Brongniart les a mises dans une classe distincte des premières. Nous renvoyons donc à l'article POTERIE pour la faïence fine, ainsi que pour tout ce qui concerne l'examen des matériaux tant naturels qu'artificiels employés, leur préparation, le façonnage des pièces, le posage des enduits vitreux, et la cuisson.

FAÏENCE COMMUNE OU ÉMAILLÉE. L'époque connue de la fabrication de la faïence commune est moderne en Europe, et même, par toute la terre, ne remonte pas au-delà du quatorzième siècle. Les Persans et les Arabes paraissent seuls avoir connu cette faïence avant les Européens. On admet généralement que des ouvriers arabes, ou bien espagnols, mais tenant leurs procédés des Arabes, introduisirent des îles Baléares en Italie l'émail opaque stannifère. A ce sujet, nous ne pouvons mieux faire que de citer les paroles de M. Brongniart. « Le nom de *majolica*, donné alors dans presque toute l'Italie à cette faïence, dérive, suivant Scaliger, de *majorica*, Mayorque ; ce nom transformé, par coquetterie de langage, comme le dit Fabio-Ferrari, en celui de majolica, ne laisse aucun doute sur cette filiation ; cette introduction aurait eu lieu vers 1415, à peu près à l'époque où Luca della Robbia, sculpteur de Florence, fit ses figures et bas-reliefs en terre cuite, et les empâta dans un émail d'étain. » Il ne faut pas confondre, toutefois, les sculptures en terre cuite, mises à l'abri des altérations atmosphériques, par un émail dur, et qui constituent la *terra invetriata* de Luca della Robbia (1420) avec la *majolica* (1450), qui n'est qu'une transformation des poteries vernissées faites depuis longtemps à Pesaro. Ces poteries vernissées furent d'abord *engobées*, dans le but de cacher la couleur de la pâte que laissait voir leur vernis transparent, d'une couche mince d'une argile blanche, dont on les revêtait en les plongeant dans une bouillie de cette argile ; on cuisait à une basse température, et on les passait ensuite à un vernis, ou fondant, composé d'oxyde de plomb, de potasse et de sable très fin. Entre 1450 et 1500, on substitua à cette engobe l'émail stan-

nifère. La fabrication de la majolica se fit d'abord à Castel-Durante et à Florence, sous la direction des frères Fontana d'Urbin. Toutes les principales villes d'Italie voulurent ensuite avoir leurs manufactures de cette faïence qui avait obtenu une grande vogue. Parmi ces dernières se trouvait Faenza, où travaillait Guido Selvaggio.

Toutes ces manufactures faisaient bien plutôt des objets de luxe, que des vases ou ustensiles destinés à l'usage domestique; c'étaient des services de table destinés aux princes de l'époque, revêtus de sculpture d'une grande délicatesse et de peintures splendides. La majolica fut dans l'état le plus florissant, de 1540 à 1560. A partir de cette dernière époque, après la mort des frères Fontana, cette fabrication qui avait été une branche des beaux-arts, devint simplement une branche du commerce des potiers, et ses produits allèrent constamment en se dégradant.

Quoique Girolamo della Robbia, petit-neveu de Luca, soit venu en France vers 1530, et ait contribué, assure-t-on, à la décoration en carreaux émaillés du château de Madrid, à Boulogne, près Paris, il paraît que les procédés de fabrication de la faïence italienne majolica étaient entièrement perdus ou inconnus en France, vers 1560. A cette époque, en effet, Bernard de Palissy entreprit, à Saintes, les recherches qui le conduisirent, après un travail de vingt-cinq ans, au résultat qu'il ambitionnait d'atteindre, c'est-à-dire de faire une coupe semblable à une coupe émaillée d'une grande beauté qui lui avait été montrée. Bernard de Palissy, comme il le dit lui-même, « a porté son secret dans la fosse, et nul ne s'en est ressenti. » Aussi, après sa mort et après celle de ses successeurs immédiats qui fabriquèrent sans doute par routine, on cessa de faire de riches faïences dans le genre de celles assez nombreuses laissées par notre célèbre potier. Les faïences de Palissy sont caractérisées par un style particulier et par des représentations d'objets naturels en reliefs coloriés d'une très grande vérité. Entre autres objets, on remarque les coquilles fossiles du bassin de Paris, moulées sur nature, et qui peuvent être utilement employées, selon l'observation de M. Brongniart, pour faire reconnaître les vraies faïences de Palissy et les distinguer des faïences postérieures, fabriquées sans doute dans le Midi, et qui portent surtout des reptiles en relief. Dans l'émail de Palissy, on trouve souvent un grand nombre de petites gerçures.

A partir de Bernard de Palissy, l'art de fabriquer cette sorte de faïence dégénéra considérablement en France, de même qu'en Italie. Les objets ont revêtu des formes sans aucun goût, et la pâte très grossière n'est plus suffisamment recouverte par l'émail, dont les gerçures deviennent de plus en plus nombreuses. On n'en a plus fabriqué que pour les vases de cuisine destinés à aller sur le feu, les carreaux de revêtement des fourneaux, et les poêles.

Cependant, dans ces cinq dernières années, on a cherché à perfectionner ces produits, parce que les gerçures faisaient le plus mauvais effet dans les revêtements extérieurs des cheminées, qu'il est fortement de mode de garnir en faïence, au lieu d'employer la tôle ou le cuivre. On s'est appliqué à faire une faïence ingerçable, et on a à peu près réussi. Nous avons été assez heureux pour aider à résoudre le problème, et nous avons vu, depuis peu, l'une des solutions que nous avions trouvées à Paris, appliquée avec beaucoup de succès, à Berlin, par M. Feilner, qui fabrique de très beaux ornements du meilleur goût et d'une grande richesse. La nouvelle faïence est telle que l'on peut la recouvrir facilement de toutes les couleurs habituellement en usage pour peindre sur porcelaine. M. Brongniart a fait peindre des panneaux de cheminée qui ont parfaitement réussi. Nous avons de fortes raisons de croire que l'art du fabricant de faïence émaillée est en train de se régénérer; notre plus grand désir est que le potier trouve dans ce qui va suivre des renseignements qui puissent l'aider à perfectionner son industrie encore fort imparfaite aujourd'hui dans notre pays.

FAIENCE.

La pâte de la faïence émaillée est composée d'argile plastique, de marne argileuse et de sable; quelquefois on y ajoute du ciment. Les proportions de ces substances employées sont variables suivant les diverses contrées, parce que ces matières elles-mêmes n'ont pas partout la même composition; les proportions varient aussi selon l'objet qu'on se propose de confectionner. Nous allons nous borner, pour le moment, à indiquer sommairement la série des opérations le plus généralement suivies. Ces matières sont mêlées dans une caisse rectangulaire qu'on appelle gâchoir; on met assez d'eau pour que les corps pesants étrangers se séparent par décantation. A la sortie du gâchoir, la pâte est tamisée une fois, et elle se rend ensuite dans des fosses d'une grande dimension; on la relève au bout d'un temps plus ou moins long, qui dépend de l'état de l'atmosphère, et on la place sur des renversoirs, des tablettes, ou on l'applique contre des murs, pour qu'elle se raffermisse.

Quand la pâte a acquis une consistance convenable, on procède au façonnage, qui s'exécute en formant avec la pâte, bien battue, corroyée et foulée par le marchage de l'ouvrier, des balles d'une grosseur calculée sur le volume de la pièce qu'on veut fabriquer; quelquefois on se contente d'ébaucher d'une manière assez soignée, mais le plus souvent on pratique le tournassage. L'ébauchage et le tournassage ont lieu sur le tour. Les pièces qui ne sont pas arrondies et les garnitures se font au moule de plâtre.

On fait arriver les pièces à une certaine dessiccation en les abandonnant sur des planches dans des salles où passent les cheminées des fours, et on procède ensuite à la cuisson. Cette cuisson est double; elle fournit d'abord le biscuit, par une température qui s'étend du rouge-cerise au rouge-blanchâtre; on émaille le biscuit, et on cuit de nouveau à une température un peu supérieure. Ces deux cuissons sont nécessaires, parce qu'il est très difficile de mettre l'émail sur le cru, à cause de l'eau qu'il faut d'abord chasser et qui ferait *bouillonner* l'émail. Elles s'exécutent dans le même four, qui est généralement rectangulaire et terminé par un cylindre couché; il est à bouche latérale, foyer inférieur, et n'a généralement qu'un seul laboratoire. On cuit le cru ou biscuit dans la partie supérieure, et le biscuit émaillé dans la partie inférieure.

Le biscuit est très poreux, et c'est pourquoi on le recouvre d'un émail épais. Mais il se présente alors un grave inconvénient, c'est que cet émail, au lieu de faire une couche continue, tressaille, se fendille, se gerce; alors les matières grasses, se plaçant dans les fentes, pénètrent dans les biscuits, et font contracter aux ustensiles une très mauvaise odeur, outre qu'ils prennent une apparence fort désagréable à l'œil, parce que les gerçures, d'abord insensibles, sont devenues noires et trop visibles.

Quand on veut obtenir la faïence qui ne va pas sur le feu, celle qu'on a appelée faïence blanche, rien n'est plus simple que d'éviter les gerçures; il suffit de faire en sorte que la pâte contienne une quantité suffisante de chaux, qui augmente la fusibilité de l'argile; alors le biscuit n'a plus à l'avance aucune gerçure, forme un corps plus continu, et quand on le revêt d'émail celui-ci adhère plus facilement à la pâte, dont la fusibilité a été rapprochée de la sienne. Mais la chose n'est pas aussi facile quand on veut obtenir la faïence brune, qui va sur le feu; M. Bastenaire-Daudenart prétend qu'il suffit de diminuer la proportion de chaux employée dans la faïence blanche, pour que les pièces puissent supporter l'action du feu et rester ingerçables. Ainsi il dit que le mélange des argiles et des marnes, convenables pour la fabrication de la faïence blanche et brune, doit renfer-

mer de la silice, de l'alumine et du carbonate de chaux, à peu près dans les proportions suivantes :

	Faïence blanche.	Faïence brune.
Alumine ferrugineuse.	35	38
Silice.	58	57
Carbonate de chaux. .	7	5
	100	100

Nous doutons fortement de l'efficacité de ces proportions, qu'on a cependant regardées longtemps, dans tout ce qui a été dit sur ce sujet, comme une règle incontestable. Ni les expériences directes, ni les analyses chimiques, n'ont confirmé cette règle. Tout ce qu'il y a de vrai, c'est qu'à mesure qu'on augmente la quantité de chaux dans la pâte de la faïence, on la rend plus fragile. Pour avoir une faïence qui aille bien sur le feu, il faut arriver à supprimer la chaux, ou au moins à en employer les proportions les plus faibles qu'il soit possible de faire. Mais alors on est exposé à avoir des gerçures.

Voici les analyses de plusieurs pâtes de faïences privées de leur émail, qui vérifient les prémisses que nous venons de donner. Les onze premières ont été faites dans le laboratoire de Sèvres (*Traité des arts céramiques*, vol. II, p. 23); les trois dernières ont été faites par nous.

Si on se rappelle que nous disions plus haut que la faïence de Bernard de Palissy était recouverte d'un grand nombre de gerçures, on voit, d'après l'analyse n° 12, qu'il y a une très grande analogie de composition et d'apparence entre cette faïence ancienne et la faïence avec laquelle les poêliers ont aujourd'hui l'habitude de fabriquer les poêles en faïence. On voit aussi que la présence de la chaux dans la pâte fait disparaître les gerçures, lorsque, du moins, le biscuit a été assez cuit, car souvent les gerçures proviennent uniquement d'un défaut de cuisson et se présentent même alors dans les faïences dites ingerçables. Ce n'est pas à la chaux seule qu'appartient cette propriété d'empêcher une faïence de gercer. Si notre principe est vrai, c'est-à-dire si c'est en rendant la pâte plus fusible, en facilitant l'aggrégation de ses molécules, que la chaux empêche les gerçures, tout alcali fixe doit, en effet, produire le même résultat. C'est ce que nous avons vérifié, en introduisant de la soude et de la potasse dans la pâte. A cause de la facile dissolution de ces deux bases dans l'eau, nous avons dû d'abord les fixer en formant ce qu'on appelle des frittes. Nous avons en conséquence calciné ensemble : 1° 1 partie de sable de Belleville et 1/2 partie de soude du commerce; 2° 1 partie de grès

COMPOSITION DE LA PATE DES FAIENCES ÉMAILLÉES.

NOMS DES FAIENCES.	Silice.	Alumine.	Chaux.	Magnésie.	Fer.	Acide carbonique et perte.	OBSERVATIONS.
1. Faïence italienne de Luca della Robia.	49,65	15,50	22,40	0,17	3,70	8,58	Fait une vive effervescence.
2. Faïence majolica	48,00	17,50	20,12	1,17	3,75	9,46	Fait effervescence, fusible en émail verdâtre, mêlé de jaunâtre, et comme cristallisé en aiguilles.
3. Faïence de Bernard de Palissy.	67,50	28,51	1,52	0,00	2,05	0,42	La pâte ne fait aucune effervescence, n'est pas fusible.
4. Faïence d'Espagne (ancienne).	46,04	18,45	17,64	0,87	3,04	13,96	Fait effervescence, fond comme le n° 5.
5. Faïence de Valence (Espagne) (moderne).	51,55	20,52	13,64	1,24	2,63	10,42	Fait effervescence, fond en émail concave vert sale, jaunâtre, texture cristallisée.
6. Faïence de Manassès, près Valence.	54,71	18,80	19,69	traces	2,20	4,60	Cette poterie était couverte du lustre Burgos. (Voir DORURE.)
7. Faïence de Delft.	49,07	16,49	18,01	0,82	2,82	13,09	Fait effervescence, fond comme le n° 10.
8. Faïence de Perse.	48,54	12,05	19,25	0,30	3,44	16,72	Fait effervescence, fond en verre homogène transparent, cristallisé sur les bords.
9. Faïence de Nevers.	56,49	19,22	14,96	0,71	2,12	6,50	Fait effervescence, fond en beau verre homogène, transparent.
10. Faïence de Rouen.	47,96	15,02	20,24	0,44	4,07	12,27	Fait effervescence, fond en verre bouteille translucide.
11. Faïence de Paris.	61,50	12,99	16,24	0,15	3,01	6,10	Fait effervescence, fond en verre brun avec bords et taches jaunâtres cristallisées.
12. Faïence pour poêles (gercée).	74,9	22,1	1,6	0,5	0,7	0,2	Ne fait aucune effervescence, infusible.
13. Faïence pour poêles (ingerçable).	56,3	26,6	14,7	traces	1,3	1,1	Fait effervescence, fond comme le n° 11.
14. Autre faïence pour poêles (ingerçable).	55,4	29,2	13,2	traces	0,9	1,3	Fait effervescence, fond comme le n° 11.

pilé et 1/2 partie de soude; 3e et 4e les mêmes sable et grès avec de la potasse. Nos frittes formées, nous avons préparé des carreaux formés de :

1 partie d'argile de Gentilly,
2 parties de sable de Belleville;

ou bien 1 partie d'argile de Gentilly
2 parties de la fritte n° 1.

et successivement en employant chacune de nos frittes.

Tous ces derniers carreaux étaient ingerçables; le premier seul était gercé. Cette expérience est décisive; c'est bien en rendant la pâte de la faïence plus fusible, quel que soit l'ingrédient capable de reproduire ce résultat qu'on emploie, qu'on évite les gerçures.

Nous avons voulu aller plus loin; nous nous sommes demandé pourquoi il fallait chercher cette fusibilité, et nous avons trouvé que les gerçures provenaient certainement de l'emploi du sable dans la composition de la pâte. L'usage du sable provient de la nécessité où l'on est d'avoir une faïence qui supporte assez bien les changements de température un peu brusques. Ainsi que nous l'avons entendu dire à M. Gay-Lussac dans le cours qu'il nous faisait à l'École Polytechnique, si on employait l'argile à l'état natif, elle éprouverait par la cuisson un retrait d'où il résulterait des crevasses. Pour empêcher cet inconvénient, on amaigrit ou dégraisse l'argile, c'est-à-dire qu'on lui ajoute du sable ou de l'argile déjà cuite, et qui partant n'est plus soumise au retrait. Les grains de cette substance ajoutée laissent entre eux des interstices que remplit l'argile nouvelle. Ne pouvant pas se retirer, et offrant à la compression une assez grande résistance, ces grains rendent la forme invariable, quand la température s'élève. Mais la forme reste tellement invariable, que le biscuit de la faïence est alors formé de parties distinctes à peine liées entre elles, et qui laissent des interstices visibles à la loupe, d'où proviennent les gerçures. Si, par un alcali introduit dans la pâte, on attaque ou dissout les grains de sable qui maintenaient à distance ces parties, les interstices disparaissent, mais aussi la faïence ne supporte pas aussi bien les changements de température. Cela est tellement vrai, qu'en remplaçant, dans la faïence gercée de nos poêles ordinaires, le sable par du ciment très fin, c'est-à-dire par du biscuit pilé très fin, nous avons diminué considérablement les gerçures, et que prenant de l'argile de Gentilly, la lavant fortement, la mettant en bouillie pour la priver de tout sable et de toute matière étrangère, nous avons fabriqué avec cette argile, sans aucun mélange, de la faïence tout à fait ingerçable.

C'est ce dernier procédé que nous avons vu employer, à Berlin, par M. Feilner, qui réduit en bouillie claire, à la mécanique, une argile plastique analogue à celle de Gentilly, fait passer cette bouillie dans de longs conduits où elle abandonne le sable, avant de la laisser se rendre dans des fosses où elle se dessèche. Cette terre est mise, sans aucun mélange, en mottes de la grosseur correspondante aux dimensions des carreaux de poêle qu'il s'agit d'obtenir. Les mottes sont ensuite moulées par compression, au moyen d'une presse double à levier, telle que, quand on moule inférieurement un carreau, on place supérieurement une motte, qui à son tour, est moulée quand la presse se relève; à ce moment on enlève le carreau inférieur, on le remplace par une motte et on redescend la presse, qui comprime cette dernière motte, tandis qu'on enlève le carreau supérieur, et ainsi de suite. La faïence ainsi fabriquée présente un glacé magnifique, exempt de toute gerçure. Nous pensons que ces indications suffiront pour mettre nos poêliers, dont les procédés sont si imparfaits, sur la voie d'améliorations qu'il leur sera facile d'introduire dans la fabrication.

Quoi qu'il en soit, voici les principales compositions de pâtes aujourd'hui employées. D'après M. Brongniart, la faïence brune, qui, pour les ustensiles de ménage, est destinée à aller au feu, se compose à Paris de :

Argile plastique d'Arcueil.	30
Marne argileuse verdâtre supérieure au gypse.	32
Marne calcaire blanche des terrains gypseux.	10
Marne sableuse ou sable impur marneux jaunâtre, supérieur au terrain gypseux de Picpus.	28
	100

Quant à la faïence blanche, dit encore M. Brongniart, elle se compose à Paris de :

Argile plastique d'Arcueil.	8
Marne argileuse verdâtre.	36
Marne calcaire blanche.	28
Sable impur et marneux jaunâtre.	28
	100

Nous avons vu employer, pour cette dernière faïence, au faubourg Saint-Antoine, dans une des plus importantes fabriques de ce quartier où il y a tant de fabriques de faïences, la composition suivante :

Argile plastique d'Arcueil.	25
Marne verte.	19
Marne blanche.	28
Terre à four de Picpus.	28
	100

A Tours (Indre et Loire), on fabrique deux sortes de faïence, l'une dite *caillou* ou *terre à feu;* elle est brune au dehors, blanche en dedans et résiste très bien aux changements de température qui ont lieu dans le service de la table et de la cuisine; elle se compose de parties égales de marne calcaire de Chambray et d'argile figuline impure dite terre de *pâtis* ou de *près;* l'autre, qu'on nomme faïence ordinaire, est blanche et composée des mêmes éléments que la précédente, mais on introduit, en outre, dans sa pâte, une terre qui est une marne calcaire d'eau douce, dite terre de *Fondète.*

A Nevers (Nièvre), où selon l'opinion de de Thou, que partage M. Brongniart, furent importés vers 1600, de Faënza, en Italie, les procédés de fabrication de faïence italienne, par une personne de la suite du duc de Gonzague, et où on suppose que se sont conservés par tradition les procédés de fabrication primitifs, on emploie pour la composition de la faïence commune :

TERRE BLANCHE, marne argileuse d'un blanc sale qu'on extrait près de la ville, dans un lieu nommé la Raye de Porteneul.	33
TERRE JAUNE, argile figuline, sableuse, friable, non effervescente, extraites aux Chaumoines.	50
TERRE GRISE, argile figuline friable, mais moins sableuse, non effervescente, extraite aux Neuf-Piliers.	16
	99

Il y avait autrefois à Rouen un centre de fabrication de faïences communes qui produisait des objets d'une grande richesse de décoration. Le nombre des manufactures de faïence était très considérable; aujourd'hui il est bien diminué. Il n'y a plus guère que la fabrique de M. Lambert qui soit en état de répondre à toutes les exigences du commerce. L'argile qu'on y emploie est tirée principalement de la forêt de Lalonde, près Rouen, de Saint-Aubin-la-Campagne, de Rose-Roger, de Thuit-Hébert et de Forge-les-Eaux. On y ajoute du sable fusible de Decize, ou bien un sable provenant du

broyage d'un grès jaune des environs de Pithiviers.

Au Havre, on fabrique la faïence commune avec les argiles de Saint-Aubin, les marnes des prairies et des terres des bords de la mer. Les proportions sont :

Argile rouge de Saint-Aubin.	45
Terre de mer (Marne).	22
Terre de pré (Marne).	33
	100

Enfin, à Lunéville (Meurthe) et Sarreguemines (Moselle), se trouvent deux grands centres de fabrication de faïence émaillée, de la plus haute importance, dont les produits sont justement renommés. Nous ne savons point exactement les terres qui y sont employées ; mais tout ce que nous venons de dire prouve surabondamment qu'on ne peut fixer à priori les mélanges qu'il convient de faire dans telle ou telle localité, que ces mélanges doivent être appropriés aux ressources du pays. Pour trouver ceux qui sont les plus convenables, il faut faire les analyses des terres qui sont à meilleur marché, et qui présentent une plasticité suffisante.

Quelques essais pratiques conduiront rapidement à former une pâte qui présente une des compositions mentionnées dans le tableau précédemment donné, et qui satisfasse aux conditions voulues par les habitudes locales.

Les différentes proportions que nous venons de rapporter ne concernent que la fabrication des vases et ustensiles de ménage. Il nous reste à parler des procédés employés dans la fabrication des carreaux et panneaux destinés aux poêles, aux cheminées, etc. Cette fabrication n'a guère été étudiée jusqu'à présent.

La pâte des poêles de Paris est faite avec l'argile plastique qui se trouve au sud, à peu de *profondeur*, et au-dessous des couches de calcaire grossier qui vont en s'amincissant sur la pente nord du plateau de Gentilly, Arcueil, Vanvres, Vaugirard, etc., avec le sable argilo-ferrugineux de Belleville, et du ciment résultant de biscuit broyé. Ces substances sont employées sans aucune préparation préliminaire ; elles sont *marchées* par un ouvrier qui se promène en décrivant une sorte de spirale du centre à la circonférence du tas, et réciproquement de la circonférence au centre. Le mélange s'opère ainsi. Une marchée est composée en volume de :

Argile plastique de Gentilly ou terre grasse.	540
Ciment.	225
Sable de Belleville.	120
	885

Les poêliers font souvent une autre composition plus soignée destinée à être placée à la surface extérieure des pièces, et à rendre l'émail plus uni. Ils appellent cette composition *terre à sable ;* elle est formée de :

Argile plastique de Gentilly.	540
Sable de Belleville.	278
	818

Elle est étendue en couche mince sur l'autre pâte, dont elle corrige les inégalités provenant du ciment qui est en grains trop gros. Au lieu du sable employé dans cette composition, on pourrait mettre du ciment tamisé très fin ; les gerçures dont sont recouverts les panneaux et carreaux seraient beaucoup moins apparentes. Mais cette précaution augmenterait peut-être trop le prix de cette faïence.

L'inspection du tableau qui donne la composition des faïences fait connaître de suite un moyen certain de faire disparaître les gerçures ou tressaillures des faïences destinées aux poêles. On voit, en effet, que ces faïences

ne contiennent pas de chaux. Il n'y a donc qu'à leur appliquer un principe connu et appliqué déjà aux faïences destinées à l'usage de la table et aux pièces qui ne doivent pas aller au feu. Il n'y a qu'à *introduire, dans la pâte*, de la chaux à l'état de carbonate, afin de faire convenablement adhérer l'émail. Toutefois, il est à craindre de donner à la faïence, par cette introduction, une fragilité qui l'empêche de supporter, sans se briser, les changements de température assez brusques qu'éprouvent les petits poêles en usage en France. Le premier fabricant qui ait tenté cette amélioration, à Paris, M. Pichenot, n'avait pas pensé à cet inconvénient, car il a pris un brevet pour l'introduction du carbonate de chaux dans la pâte d'une faïence qu'il nomma à la fois *ingerçable et réfractaire*. L'expérience vint bientôt lui apprendre son erreur, car tous les poêles qu'il fit ne tardèrent pas à se briser sous l'action de la chaleur. Ce n'est qu'en prenant certaines précautions qu'il est possible de faire servir au chauffage les faïences ingerçables. Les précautions sont indiquées par ce qui se passe en Suisse et en Allemagne où les faïences pour poêles ne sont généralement pas gercées. Dans ces contrées, les poêles sont de véritables meubles, des meubles tenant une grande place, ayant environ 2 mètres de hauteur, 1m,20 de largeur et 0m,70 de profondeur. Dans ce meuble, qui ressemble par sa forme et à ses dimensions à une grande armoire, est construit le poêle véritable en briques, isolé des plaques ou carreaux émaillés, qui, alors, ne reçoivent pas directement l'action du feu, et ne servent que d'enveloppe extérieure au foyer de chaleur placé intérieurement. L'usage de la faïence ingerçable calcarifère doit donc être borné à la construction de très grands poêles ou de panneaux de cheminée, ou de carreaux qui ne sont pas exposés à un feu vif, ou à de brusques changements de température.

M. Pichenot a indiqué plusieurs compositions pour sa pâte ; mais elles reviennent toutes à la composition suivante qu'il emploie ordinairement :

Argile plastique de Vaugirard ou de Gentilly.	25
Marne argileuse de Ménilmontant, ou plutôt craie de Meudon.	25
Sable.	13
Ciment composé de débris de cazettes et de biscuit de faïence.	37
	100

Mais l'émail des plaques assez grandes qu'il est parvenu à construire présente l'inconvénient d'être plus ou moins ondulé ; ce qui peut nuire à leur emploi dans la peinture et est d'ailleurs assez désagréable à la vue. J'ai reconnu qu'en employant un mélange de parties égales d'argile de Gentilly et de craie passée au tamis, on obtenait un émail très glacé ; mais les pièces gauchissent. *Pour obvier à ce nouvel inconvénient*, on peut placer, sur la pâte ordinaire qui ne gauchit pas, une couche mince de cette pâte tamisée, dans laquelle on a introduit une certaine quantité de ciment très fin. Il est préférable toutefois, ainsi que je l'ai constaté, d'employer une marne calcaire (comme celle de la plaine d'Ivry près Paris), qui est en même temps siliceuse, et renferme, outre les autres éléments, 26 pour 100 de sable.

On obtient une pâte très ductile, qui se dessèche aisément sans se fendre ni se fendiller, et qui peut donner de très grandes pièces très planes, en faisant le mélange suivant :

Argile plastique de Gentilly.	32
Marne sablonneuse d'Ivry.	38
Ciment de terre cuite.	30
	100

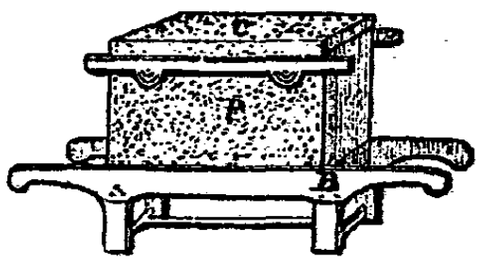
FAIENCE.

Cette pâte, employée par M. Vogt, a surtout l'avantage de ne pas être courte comme celle de M. Pichenot, qui présente de grandes difficultés pendant le travail.

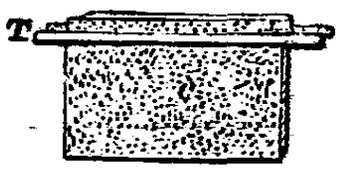
Le moulage des plaques, carreaux et panneaux ne s'opère pas tout à fait comme dans les autres fabrications. Nous allons, pour cette raison, le décrire en peu de mots.

Le marcheur ayant rendu la pâte suffisamment homogène et plastique, en forme de gros ballons qu'il marche en plaques circulaires d'un diamètre plus ou moins grand, suivant la dimension de la croûte qu'il veut obtenir. Il place ensuite ces plaques l'une sur l'autre, jusqu'à ce qu'il ait formé un cylindre d'environ un mètre de hauteur ; il change ensuite ce cylindre en un parallélipipède rectangle. P représenté dans la

825.



826



827.

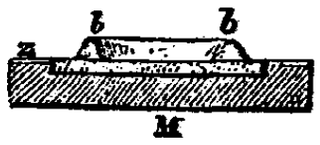


fig. 825, ayant pour base la plus grande plaque que l'on veut obtenir. Le parallélipipède est placé sur un brancard à pied bas AB, et on le transporte dans l'atelier du moulage. L'ouvrier mouleur indique, au moyen de deux règles T, l'épaisseur des croûtes qu'il veut enlever ; il fixe ces règles sur les faces verticales du parallélipipède, à l'aide de petits morceaux de pâte, puis avec le fil de laiton, qui est, comme on sait, la scie du potier, il enlève successivement les croûtes qu'il veut mouler. Pour enlever et transporter cette croûte C sans la déchirer, l'ouvrier en soulève un des côtés, puis prenant les deux règles T (fig. 826) qui lui ont servi pour limiter l'épaisseur de la croûte, il en serre le bord soulevé, et transporte alors la plaque, ainsi suspendue, dans le moule M (fig. 827). Ce moule est une plaque de plâtre d'une épaisseur convenable sur laquelle on pose un cadre en fer Z, qui donne les limites en largeur, longueur et épaisseur de la plaque. Plus ordinairement, au lieu de ce cadre en fer, le moule a des rebords en plâtre; mais alors il faut autant de moules que l'on veut faire de pièces différentes ; avec les cadres en fer, il n'y a besoin que de plaques de plâtre.

Le mouleur place sa croûte dans le moule, la tamponne et la comprime le plus également possible. Avec une racle en fer, il enlève tout ce qui, de la surface supérieure, excède la hauteur des rebords du cadre Z. Il place ensuite les colombins (*b*, *b*) faits avec la même pâte et qui sont destinés à maintenir la plaque, à la transformer en carreau de poêle.

La pâte prend tout son retrait en séchant dans des salles qui sont situées au-dessus des fours et où passent leurs cheminées ; le retrait est

Pour la pâte ingerçable, environ. .	55 p. 1000
Pour la pâte ordinaire gercée. . . .	90 p. 1000

Quand la pâte est sèche, on enfourne les pièces. Le four présente, comme le four du faïencier ordinaire, la superposition de deux demi-cylindres couchés sur leur axe. Il est composé d'une chambre inférieure voûtée, qui sert de cendrier, et dans laquelle on place la composition d'émail pour être fondue, d'un laboratoire moyen et d'une chambre supérieure nommée enfer ; le foyer est antérieur.

On place toutes les pièces en échappade en plusieurs lits, de champ ou verticalement ; les inférieures portent elles-mêmes les supérieures, dont elles sont séparées par des tasseaux ou briques longues. On place d'abord trois lits de pièces émaillées et ensuite deux lits de biscuit.

La cuisson se fait au bois et dure vingt-quatre heures. Nous ne mettons pas en doute qu'on pourra facilement employer la houille pour cuire toutes les poteries, dès qu'on trouvera que ce changement donnera une économie. On apprécie le degré de l'élévation de la température par la couleur de l'incandescence que l'on juge à travers deux visières pratiquées dans la porte du laboratoire, l'une en bas, l'autre en haut.

Quand les pièces sont cuites en biscuit, on passe à l'émail. L'émail de la faïence pour poêles est à peu près le même que l'émail blanc de la faïence ordinaire pour ustensiles de ménage. Nous allons donner maintenant quelques détails sur la fabrication de ces émaux dont nous ne nous sommes pas encore occupés.

On fait deux émaux, l'un pour la partie brune des vases que l'on place à l'extérieur, l'autre pour la partie blanche qui est à l'intérieur.

L'émail brun est rendu opaque par une matière terreuse. On réduit en poudre, on mélange, et on met en bouillie claire dans l'eau les proportions suivantes :

Minium.	52 ou bien	53
Manganèse.	7	5
Poudre de brique fusible (on prend à Paris celle de Sarcelles). . .	41	42
	100	100

La fabrication de l'émail blanc exige plus de précautions : il est rendu opaque par le peroxyde d'étain. Dans un petit four à réverbère qu'on appelle *fournette*, on fait oxyder ensemble du plomb et de l'étain ; on obtient une poudre jaunâtre qu'on nomme la calcine. On emploie pour cela environ les proportions suivantes :

Plomb.	84	Fournissant :	Oxyde de plomb.	90
Étain.	16		Oxyde d'étain. .	20
	100			110

La calcine obtenue, on la mêle avec des matières siliceuses et salines, et place le mélange au fond du foyer du four, dans une place qu'on nomme bassin. Les proportions des mélanges varient un peu suivant les localités, la nature des pâtes et le but qu'on se propose. M. Bastenaire-Daudenart (*Art de fabriquer les poteries communes*, page 303) indique les quatre compositions suivantes : la composition n° 1 est celle qui est la plus chargée d'étain, la plus dure ; la composition n° 2 est celle qui renferme le plus de plomb, est la plus tendre et aussi plus communément employée. Quand on n'a pas de sable de Nevers, qui est un peu fusible, on le remplace par du sable quartzeux pur, et alors on augmente un peu la dose du fondant (n°s 3 et 4).

N° 1.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain. .	23	44
	Oxyde de plomb.	77	
		100	
Minium.			2
Sable de Decise, près Nevers.			44
Sel marin.			8
Soude d'Alicante.			2
			100

N° 2.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain.	18	47
	Oxyde de plomb.	82	
		100	
Sable de Decise, près Nevers.			47
Sel marin.			3
Soude d'Alicante.			3
			100

N° 3.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain.	23	45
	Oxyde de plomb.	77	
		100	
Sable quartzeux lavé.			45
Minium.			2
Sel marin.			5
Soude d'Alicante.			3
			100

N° 4.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain.	18	45
	Oxyde de plomb	82	
		100	
Sable quartzeux lavé.			45
Sel marin.			7
Soude d'Alicante.			3
			100

Nous avons vu employer, par les fabricants de poêles du faubourg Saint-Antoine à Paris, la composition suivante :

N° 5.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain.	17	43
	Oxyde de plomb	83	
		100	
Sable de Nevers.			43
Minium.			3
Cailloux de rivière pilés.			3
Sel marin.			6
Potasse du commerce.			2
			100

On évalue à 60 ou 70 degrés du pyromètre de Wedgwood la température nécessaire pour fondre l'émail dans le bassin.

La masse fondue est broyée, réduite en poudre très fine, et la poudre est ensuite mise en suspension dans l'eau, où elle doit faire une bouillie fine. Quelques faïenciers sont dans l'habitude de colorer cette bouillie en rouge clair par un peu de minium ajouté. Quand la pièce doit être émaillée tout entière, on la trempe dans la bouillie ; quand elle ne doit l'être qu'intérieurement, on verse une portion d'émail avec une tasse dans l'intérieur, où on le promène par un mouvement approprié, et on rejette l'excédant dans le baquet contenant l'émail. Quand la pièce doit être émaillée seulement à l'extérieur, on procède à la fois par immersion et par arrosement.

Les pièces émaillées à épaisseur convenable sont retouchées au pinceau dans les parties où l'émail manque ; on en ajoute toujours d'ailleurs sur les parties saillantes, et on en ôte un peu dans les creux, parce que l'émail fondu peut couler, et alors les saillies laissent percer la couleur de la pâte, et les creux sont empâtés

Pour augmenter l'épaisseur de l'émail, certains fabricants saupoudrent aussi, à l'aide d'un tamis, les pièces fraîchement trempées avec de l'émail en poudre fine. Quelques poêliers les saupoudrent avec un peu de minium.

FAIENCE.

Enfin, avec une brosse, on enlève l'émail qui est sous le pied des pièces pour les empêcher d'adhérer sur les supports pendant la cuisson, et pour économiser l'émail mis en excès dans des endroits inutiles. C'est une opération très nuisible pour la santé des ouvriers.

L'émail de la faïence peut être coloré en jaune, en vert pur et en vert pistache, en bleu et en violet, par les oxydes métalliques suivants :

Émail jaune.

Émail blanc.	91
Jaune de Naples, c'est-à-dire oxyde d'antimoine.	9

Émail vert pur.

Émail blanc.	95
Battiture de cuivre (protoxyde).	5

Émail vert pistache.

Émail blanc.	94
Protoxyde de cuivre.	4
Jaune de Naples.	2

Émail bleu.

Émail blanc.	95
Oxyde de cobalt à l'état d'azur.	5

Émail violet.

Émail blanc.	96
Peroxyde manganèse.	4

Au lieu de colorer entièrement l'émail, on peut décorer de différents dessins la surface des pièces par plusieurs procédés dont les fabricants font des secrets. Un des moyens qui réussit bien consiste à saupoudrer l'émail coloré sur la faïence, fraîchement émaillée mais non cuite, et recouverte d'une feuille de carton ou de clinquant percée de petits trous qui dessinent les ornements qu'on peut obtenir. La poudre colorée ne s'attache qu'aux points de la faïence non recouverts par la feuille de clinquant ou de carton.

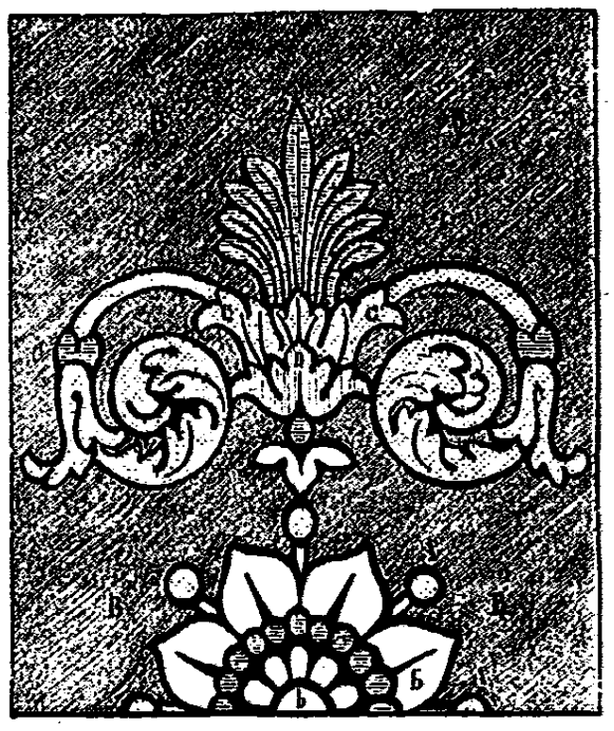
Les carreaux de revêtements employés pour garnir les fourneaux sont fabriqués par les procédés que nous avons donnés. Quand on veut que l'émail stannifère, dont ils sont aussi recouverts, ne gerce pas, il faut employer pour faire la pâte des compositions analogues à celles que nous avons recommandées.

Les carreaux de revêtement étaient autrefois fort en usage pour l'ornement des édifices. Les planchers et murs au rez-de chaussée de la plupart des anciens châteaux, et surtout des résidences et chapelles royales en étaient ornés. Cet usage est bien tombé aujourd'hui. Toutefois il serait à désirer que l'on se servît des très beaux et très grands panneaux en faïence que fabriquent si bien quelques poêliers de Paris, pour tapisser, par exemple, les salles de bain. On pourrait employer non seulement des faïences émaillées en blanc, mais encore des faïences incrustées et vernissées, comme celles que fait M. Vogt, qui a poussé très loin ce genre d'ornementation pour la fabrication des carreaux de poêles.

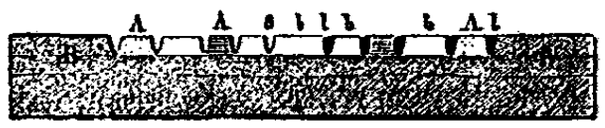
M. Vogt fait d'abord un modèle en terre sur lequel sont en creux tous les ornements de couleurs différentes de celles du fond (fig. 830). Il coule sur ce modèle un plâtre ML qui présente en saillie tout ce qui est en creux dans le modèle. Il obtient ainsi son moule. Il remplit avec des pâtes colorées tous les creux. Ainsi, dans la pièce que M. Brongniart, à qui nous empruntons cette description, prend pour exemple, les feuilles *b* (figure 828) sont blanches, les perles A sont jaune d'ocre, les enroulements ou volutes (travail pointillé) sont jaunes, le culot D est vert, la palmette est brune ; la pâte colorée s'arrête aux lignes noires qui sont en saillie ; on couvre le tout d'une couche de quelques millimètres d'é-

paisseur de la pâte brune B, qui fait le fond sur lequel les ornements sont incrustés, et qui doit être appliquée sur la pâte grossière et jaunâtre T, base des plaques en question.

828.



829



830.

On ôte alors le moule ML, et la croûte à fond brun B est creusée de sillons *l* (fig. 829) limités par les saillies du moule. Ces sillons sont remplis ensuite par de la pâte noire ou de tout autre couleur, et forment les contours et traits bruns des ornements.

La pièce, étant séchée, est cuite en biscuit, recouverte alors d'un vernis plombeux et transparent, et passée une seconde fois au feu pour vitrifier ce vernis.

Quoique nous ayons vu travailler M. Vogt, nous ne pouvons indiquer les moyens qu'il emploie pour colorer et composer ses pâtes très diverses. On conçoit qu'il a dû faire un grand nombre d'essais, souvent bien infructueux, avant d'arriver à accorder ses terres, c'est-à-dire à faire en sorte que par la dessiccation et la cuisson elles se retirent toutes de la même quantité sans la production d'aucun fendillement, d'aucune gerçure. Il est bien juste qu'un fabricant soit payé de ses peines par la vente exclusive des produits qu'il est parvenu à exécuter après bien des efforts dispendieux.

BARRAL.

FANAL. Voyez PHARE.

FANONS. Voyez BALEINE.

FARINE (*angl.* flour, *all.* mehl). On désigne sous ce nom un grand nombre de substances réduites en poudre par le moyen de meules; mais il s'applique plus particulièrement aux céréales. Les procédés employés pour obtenir les farines étant décrits à l'article MOULINS, nous ne nous occuperons ici que de leur nature et des moyens de reconnaître leurs falsifications.

Les principes constituants de la farine de blé sont une matière azotée neutre plus ou moins abondante, des matières grasses, de la fécule (voyez AMIDON), et des sels alcalins ou terreux (presque exclusivement des phosphates, voyez ENGRAIS).

Lorsqu'on humecte avec de l'eau la farine de blé, de manière à en former une pâte ferme et homogène, et qu'on malaxe ensuite cette dernière sous un mince filet d'eau, il reste entre les mains de l'opérateur, lorsque l'eau passe tout à fait claire, une substance d'un blanc-grisâtre, élastique, tenace, d'une odeur fade, à laquelle on a donné le nom de *gluten*. La liqueur trouble qui s'écoule entraîne l'amidon avec quelques débris de gluten, ainsi que tous les produits solubles. En laissant reposer cette liqueur, la fécule se dépose; en soumettant ensuite cette liqueur à l'ébullition, on voit se former à sa surface des écumes qui se contractent sous forme de flocons grisâtres, et qui présentent la plus grande analogie avec l'albumine coagulée. En filtrant et évaporant au bain-marie le liquide jusqu'à consistance sirupeuse, il est facile d'y reconnaître la présence du sucre et d'une matière gommeuse analogue à la dextrine sinon identique avec elle. Enfin, si l'on examine de plus près le gluten, on voit qu'on peut par l'action des dissolvants le séparer en quatre substances distinctes; mais ces substances, ainsi que l'albumine végétale, ayant toutes sensiblement la même composition, nous les réunirons sous le nom générique de gluten.

Cela posé, voici un tableau de l'analyse de plusieurs farines, d'après Vauquelin.

Les farines contiennent toujours de l'eau qu'elles ont puisé dans l'atmosphère depuis leur mouture, ou que le blé contenait avant cette opération. Le minimum est de 6 pour 100, et le maximum de 20 à 25. En moyenne, il faut compter sur 17 pour 100. Dans les analyses précitées de Vauquelin, la dessiccation était imparfaite.

Les meuniers n'ignorent pas que de la farine desséchée, exposée dans un lieu humide, ne tarde pas à s'échauffer, à se pelotonner, à se gâter : si on la pèse alors, on trouve que son poids est augmenté de 12 à 15 pour 100, et même plus. Quoique l'amidon sec attire aussi l'humidité de l'air, il ne présente aucun des phénomènes ci-dessus, qui sont dus à l'altération des matières azotées qui composent le gluten.

	FARINE brute de froment	FARINE de méteil	FARINE de blé dur d'Odessa	FARINE de blé tendre d'Odessa, 1re qualité.	FARINE de blé tendre d'Odessa, 2e qualité	FARINE de service, dite seconde	FARINE des boulangers de Paris.	FARINE des hospices, 2e qualité.	FARINE des hospices, 3e qualité.
Eau.	10,000	6,000	12,000	10,000	8,000	12,000	10,000	8,000	12,000
Gluten.	10,960	9,800	14,550	12,000	12,000	7,300	10,200	10,300	9,020
Amidon. . . .	71,490	75,500	56,500	62,000	70,840	72,000	72,800	71,200	67,780
Sucre de raisin.	4,720	4,220	8,480	7,360	4,900	5,420	4,200	4,800	4,800
Dextrine. . . .	3,320	3,280	4,900	5,800	4,600	3,300	2,800	3,600	4,600
Son resté sur le tamis. . . .	0,000	1,200	2,300	1,200	0,000	0,000	0,000	0,000	2,000
	100,490	100,000	98,730	98,360	100,340	100,000	100,000	97,900	100,200

L'influence de l'humidité sur les farines est très redoutable. D'une part, elle produit une altération du gluten, qui rend celui ci impropre à produire une bonne panification; de l'autre, elle favorise la formation des sporules de divers champignons, qui plus tard se développeront abondamment dans le pain. Les farines des blés de 1841 ont présenté, en 1842, pendant un été très chaud, cet inconvénient au plus haut degré. Les sporules, évidemment réunis sur la partie corticale du grain, se développaient surtout dans la partie inférieure des pains, toujours saupoudrée de son ou de recoupette. La superposition des pains favorisait leur développement; il en était de même de l'humidité et de la chaleur. Du reste, pendant le développement de ces champignons, la température s'élevait beaucoup, et le pain, bientôt envahi tout entier, ne présentait plus qu'une masse rougeâtre et repoussante. Des lavages énergiques du grain infecté, suivis d'une dessiccation rapide et des brossages réitérés, diminuent le nombre des sporules. En réduisant la proportion d'eau dans le pain, augmentant la dose de sel, et forçant la température de la cuisson, on rend leur développement moins facile.

Jetons maintenant un coup d'œil rapide sur les autres céréales:

Nous avons parlé de l'orge à l'article BIÈRE, ce qui *nous dispense d'y revenir ici.*

A côté de l'orge et du froment vient se placer le seigle, qui, dans quelques pays, constitue pour la majeure partie la pâte du pain de la classe pauvre, et que les classes plus aisées font quelquefois entrer par goût dans le pain. Quoique la farine de seigle soit moins blanche que celle de froment, elle donne un pain d'une saveur agréable, qui a la propriété d'être hygrométrique, et de se conserver frais pendant fort longtemps.

Le seigle possède, en outre, la précieuse faculté de croître dans des terrains impropres à la culture du froment.

Après le seigle vient le sarrazin, dont l'usage est beaucoup moins répandu, et qui n'offre qu'un intérêt secondaire. Sa farine a une saveur propre, et ne donne qu'un pain lourd et mal levé: elle est caractérisée par la présence de matières résineuses et huileuses particulières, qui causent une sorte d'ivresse aux animaux qui en mangent pour la première fois.

Le maïs ou blé de Turquie est surtout très productif dans les pays chauds; à la Havane, par exemple, on en fait jusqu'à quatre récoltes successives dans la saison. Il constitue un aliment très agréable, d'une digestion facile. Les individus qui en mangent, pendant quelque temps, présentent des symptômes d'accumulation de graisse dans leurs tissus; ce qui ne paraît pas étonnant, lorsqu'on se rappelle qu'un boisseau de maïs peut fournir un litre d'huile grasse.

On distingue deux variétés principales de riz, suivant leur origine, le riz de la Caroline et le riz du Piémont. *Le riz renferme très peu de gluten.* Cette substance a été, il y a quelques années, l'objet d'un Mémoire présenté à l'Institut, dont l'auteur, d'après des expériences qu'on a tout lieu de croire exactes, a prouvé que 1/7 de farine de riz ajoutée au pain lui donne la faculté de fixer une beaucoup plus grande quantité d'eau. Il supputait, d'après ces expériences, qu'il en résulterait une économie considérable sur la quantité de céréales consommées chaque année en France; mais, en définitive, comme le fait judicieusement observer M. Dumas, un homme qui mange un pareil pain ne consomme en réalité que le pain supposé sec qui entre dans son estomac, quoiqu'il ingère en même temps de l'eau, qui s'en va par les urines ou la transpiration.

Outre les farines des céréales et les fécules proprement dites (voyez AMIDON), il existe une troisième classe de farines qui jouent un grand rôle dans l'alimentation: ce sont les farines des légumineuses, c'est-à-dire des fèves, des haricots, des pois et des lentilles, et qui sont caractérisées par la présence d'une certaine proportion de soufre.

Parlons maintenant des caractères qui servent à distinguer la farine de froment et des substances avec lesquelles on la falsifie.

Les meilleures farines sont d'un blanc mat, virant plutôt au jaunâtre qu'au gris, et douces au toucher; on n'y distingue à l'œil nu aucune parcelle de son; elles développent une très légère odeur agréable à sec ou quand on les humecte. Délayées et pétries avec moitié de leur poids d'eau, elles donnent une pâte susceptible de s'allonger et de s'étendre en nappes minces et élastiques, homogènes, dans lesquelles on ne doit rencontrer ni insectes, ni grumeaux, ni aucuns corps étrangers.

La farine abandonne son eau hygrométrique par une exposition prolongée au contact de l'air, et à une faible chaleur. En conséquence, les farines qui perdront le moins de leur poids, dans une étuve à courant d'air à 100°, seront celles qui auront le plus de valeur.

Les falsifications les plus habituelles des farines s'effectuent avec la fécule de pommes de terre, et les farines de féverolles, de haricots ou de seigle.

La farine de féverolles est souvent employée à cause de l'œil jaunâtre fort recherché qu'elle donne à la farine, mais le pain en prend une teinte rose vineux qui décèle la fraude; celle de haricots donne au pain un goût amer et désagréable; celle de seigle lui communique une saveur caractéristique très prononcée. Pour reconnaître la présence de ces mélanges dans les farines, le procédé le plus exact après la panification et le plus simple, consiste à en prendre un échantillon et à verser dessus un peu d'eau bouillante; l'odeur qui se dégage décèle immédiatement la fraude.

Quant à la fécule de pommes de terre, elle peut avoir été ajoutée avant ou après la mouture; dans ce dernier cas, la fraude est plus facile à découvrir. Moins de 10 p. 100 de fécule n'offriraient guère de bénéfices au fraudeur; s'il y en avait plus de 30 p. 100, la panification deviendrait impossible. On peut presque toujours reconnaître la présence de la fécule par une analyse microscopique, mais le moyen le plus exact et le plus simple est le suivant, dû à M. Gay-Lussac, et perfectionné par M. *Boland, habile boulanger de* Paris:

On traite 20 grammes de farine, comme pour en extraire le gluten, mais en ayant soin de recueillir tout le liquide amylacé dans un grand verre conique à pied; on laisse déposer pendant 2 1/2 à 3 heures, puis on décante tout le liquide surnageant le dépôt. On enlève à l'aide d'une cuillère à café la couche supérieure grisâtre, mélange d'amidon, d'albumine et de gluten sans cohérence. On laisse ensuite la masse restée au fond du verre se dessécher en repos, jusqu'à ce qu'elle soit devenue assez solide pour pouvoir s'enlever d'un seul morceau. La portion arrondie qui forme le sommet des pains coniques, et qui contient les premières parties déposées, sera la plus riche en fécule, s'il y a un mélange de celle-ci dans l'échantillon essayé. On sépare avec le tranchant du couteau 1 gramme environ de cette partie, on le broie dans un mortier d'agate avec un peu d'eau, on l'étend d'eau, et la liqueur filtrée se colorera en bleu par une solution d'iode, s'il y a de la fécule. Suivant que ce phénomène se reproduit sur une deuxième couche enlevée parallélement à la première, puis sur une troisième, etc., on en conclut que la farine contenait à peu près 1, 2 ou 3/20es de son poids de fécule. Si la première couche enlevée au sommet du cône donnait, après la trituration, un liquide qui, filtré, ne se colorât pas sensiblement en bleu par l'iode ou qui prît une

légère teinte violacée rougeâtre disparaissant bientôt spontanément, on en conclurait que la farine n'est pas mélangée de fécule. Ce procédé est fondé sur ce fait que les grains de fécule, ayant un volume plus considérable et une texture plus lâche, se déchirent et se désagrégent en partie par le broyage au point de céder à l'eau assez de leur substance pour que la liqueur filtrée se colore en bleu par l'iode, tandis que, dans la farine pure, les granules de l'amidon, plus petits, plus plats et plus résistants, ne sont pas sensiblement entamés, et que l'eau, après le broyage et la filtration, ne se colore pas par l'iode, ou donne au plus une très légère nuance vineuse et instable.

Ce procédé permet bien de constater la présence de la fécule dans la farine, mais il n'en donne que très grossièrement la proportion, et l'on n'en connaît pas de plus simple.

M. Boland essaie également, pour gluten, de la manière suivante, toutes les farines qu'il reçoit : on prend 50 grammes de la farine à essayer, et on les place dans une capsule; on verse au milieu du tas de farine environ 20 centimètres cubes d'eau, et on délaie avec une cuillère ou une spatule, de manière à obtenir une masse plastique bien consistante. On la pétrit entre les doigts pendant 2 minutes, puis on laisse l'hydratation s'achever en repos pendant 15 minutes en été et 1 heure en hiver. On immerge alors dans un seau d'eau froide un tamis en toile métallique fine, dans lequel on malaxe la pâte avec précaution pour en retirer le gluten : les parties solubles et l'amidon s'échappent à travers les mailles du tamis; enfin, on achève le lavage du gluten en le malaxant fortement, pendant 10 minutes, sous un courant d'eau froide. Le gluten obtenu est fortement pressé, puis essuyé légèrement, et pesé; on l'introduit alors au fond d'un tube de cuivre qu'on porte au four ou, à son défaut, dans un bain d'huile chauffé à 140°; il se dessèche promptement, et on le retire, avant qu'il ne se colore, pour en prendre aussitôt le poids. On a donc ainsi la proportion du gluten humide et du gluten sec, qui se contrôlent mutuellement. On conçoit que l'addition de 10 à 15 p. 100 de fécule serait indiquée par une diminution correspondante dans la proportion du gluten. Ce procédé n'est pas absolu pour déterminer la valeur ou la pureté d'une farine, essayée sans objet de comparaison, car la proportion de gluten varie du simple au double, et même plus, comme nous l'avons vu dans les différentes espèces de blés; mais la nature du gluten peut, dans tous les cas, fournir des indications très utiles sur la qualité de la farine essayée; plus il est souple, élastique, tenace, extensible, homogène, exempt de mauvaise odeur et de coloration brune, plus il se soulève et augmente de volume par sa dessiccation rapide au four, et plus il est probable que la farine dont il provient est de bonne qualité. Il importe donc beaucoup d'exécuter l'essai du gluten indiqué par M. Boland.

Enfin, on falsifie quelquefois la farine, dans le but d'en augmenter le poids, en y mélangeant du plâtre, de la craie, de la cendre d'os, ou d'autres matières terreuses analogues. On reconnaît facilement cette fraude par l'incinération, la farine pure ne laissant qu'une proportion très faible de cendres.

FARINE DE POMME DE TERRE. Depuis longues années on s'est occupé de la panification de la pomme de terre, ou plutôt de l'emploi de la fécule ou de la pomme de terre pour obtenir par leur mélange avec la farine de blé un pain économique; l'adultération des farines par la fécule a même été employée sur une très grande échelle, dans la meunerie et la boulangerie, pendant les dernières années de disette, surtout depuis qu'on est parvenu à enlever complétement à la fécule la saveur propre qu'elle possède par un lavage avec une solution très faible de carbonate de soude. Il est évident que l'emploi de la pomme de terre réduite en farine eût été moins coûteux que celui de la fécule. D'ailleurs, la pulpe de la pomme de terre qui reste dans la farine est un peu glutineuse, légèrement azotée, et facilite la panification, de telle sorte que l'on peut mélanger la farine de pomme de terre à la farine de blé dans une proportion beaucoup plus forte que la fécule. En outre, cette farine est beaucoup moins sujette à s'avarier que celle de blé, de sorte qu'en la mélangeant à cette dernière dans la proportion de 20 à 30 p. 100, on réduirait de plus de 9/10e la proportion des farines qui sont annuellement avariées dans les transports ou dans les magasins, ce qui serait d'un immense avantage surtout pour la marine.

La transformation des pommes de terre en farine s'opère de deux manières : 1° en les faisant cuire à la vapeur, les divisant, les faisant sécher et les réduisant en poudre; 2° en les coupant par rouelles, les faisant macérer dans l'eau et les faisant sécher avant de les réduire en farine.

La farine de pommes de terre cuites offre rarement la blancheur exigée par le commerce et conserve un léger goût de pomme de terre. La pomme de terre crue, coupée en tranches et desséchée à l'air, donne un produit d'apparence cornée, susceptible il est vrai de se réduire en farine, mais qui se moisit souvent et se colore toujours, par la concentration à la surface et par l'altération au contact de l'air des sucs qu'elle renferme. Au commencement de ce siècle, plusieurs personnes, et notamment, en 1813, M. de Lasteyrie, indiquèrent l'emploi de macérations et de lavages méthodiques à l'eau pour enlever aux tranches de pommes de terre la matière âcre qu'elles contiennent, et produire ainsi une farine plus blanche et plus sapide; toutefois, ce procédé ne se répandit pas, par suite du long espace de temps qu'exigeait la macération, et surtout parce qu'aucun industriel ne s'en occupa. En Allemagne, depuis nombre d'années, on traite la pomme de terre, comme il vient d'être dit, en faisant précéder les lavages à l'eau froide par une macération dans de l'eau aiguisée d'acide sulfurique. Dans ces derniers temps, on a aussi essayé le procédé suivant : on commence à laver la pomme de terre au moyen d'un laveur mécanique; de ce laveur elle est amenée dans un coupe-racines qui la débite en tranches minces d'environ deux millimètres d'épaisseur. Ces dernières tombent dans un grand bac renfermant de l'eau saturée de chaux, afin de leur conserver toute leur blancheur en enlevant la partie jaunâtre qui vient recouvrir leur surface aussitôt qu'elles sont débitées. Après que les tranches ont suffisamment trempé dans cette eau de chaux, on la fait écouler et on la remplace immédiatement par de l'eau fraîche pour les laver de nouveau. Lorsqu'on a ainsi répété ce lavage plusieurs fois, on soumet ces tranches à une forte pression pour en exprimer la majeure partie de l'eau, et on achève la dessiccation à l'étuve. Par ces divers procédés on obtient des galettes minces et d'un beau blanc susceptibles d'être facilement réduites en farine, mais dans lesquelles on retrouve encore, à un degré assez prononcé, la saveur propre à la pomme de terre.

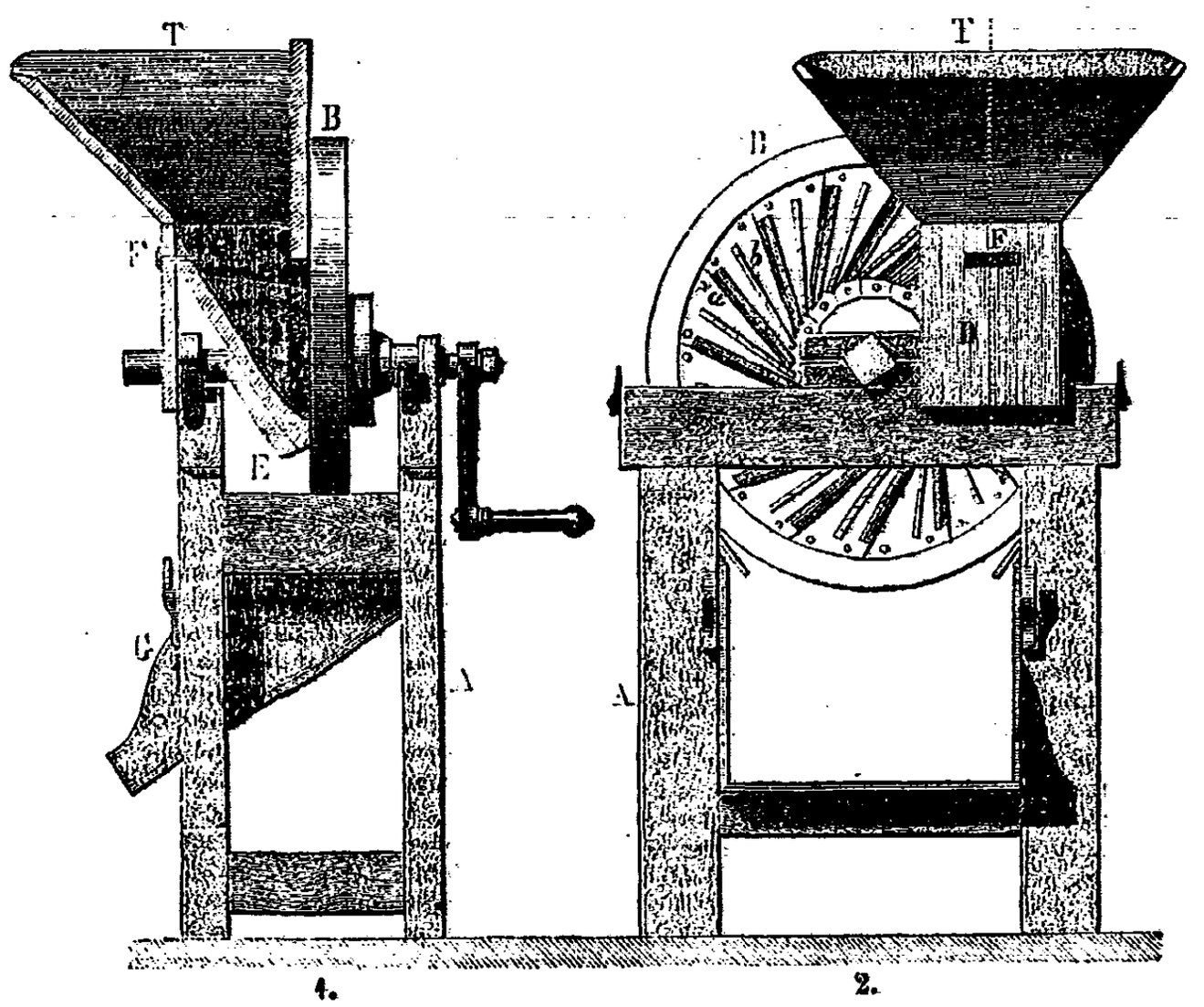
Enfin M. Auguste Clerget a proposé de perfectionner le procédé indiqué par M. de Lasteyrie, et d'employer pour la macération et le lavage, de l'eau chauffée à 30 à 40°. Une société se forma pour l'exploitation de ce procédé, mais ayant négligé le concours d'hommes pratiques et écrasée par des frais généraux exorbitants, elle s'est liquidée sans avoir même, on peut dire, livré de produits au commerce. C'est cette fabrication, qui en d'autres mains et mieux dirigée eût pu donner des résultats industriels, que nous allons sommairement décrire.

FARINE DE POMME DE TERRE.

Dès que la pomme de terre commence à germer, la fécule commence à disparaître; il est donc nécessaire ici, comme dans les féculeries, que le travail commence immédiatement après la récolte de ce tubercule pour être terminé, autant que faire se pourra, avant la germination. Le reste du temps la force motrice de l'usine peut être employée, soit à la mouture des cossettes, soit à tout autre usage.

Les pommes de terre sont d'abord lavées dans des tambours à claire-voie, qui tournent dans des bâches pleines d'eau, ou tout semblables aux laveurs mécaniques employés dans les féculeries. De ces laveurs la pomme de terre passait entre deux meules-brosses garnies en chiendent et tournant dans l'eau. Nous pensons que l'emploi successif de deux laveurs ordinaires eût produit plus économiquement le même effet. De là, les pommes de terre lavées se rendent dans un bassin, d'où un dragueur à godets et à claire-voie les extrait pour les conduire à un coupe-racines.

Nous avons vu employer avec avantage, pour débiter



1. 2.

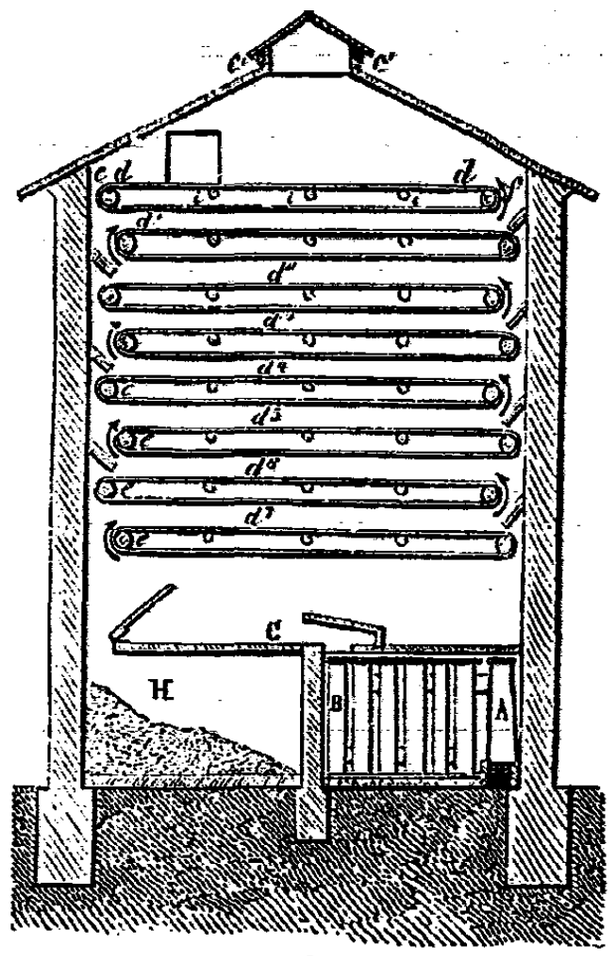
les pommes de terre en cossettes, un coupe-racines construit par M. Corrège, et analogue à celui de M. Burette, représenté en élévation et en coupe par les fig. 1 et 2 : A, bâti en charpente; B, roue sur laquelle sont montées les lames; T, trémie; D, plomb mobile ou volet qui forme le fond de la trémie; E, centre du mouvement du volet; F, vis au moyen de laquelle on change à volonté l'inclinaison du volet; G, couloir par où s'échappent les cossettes à mesure qu'elles sont coupées; *aa*, lames tranchantes; *bb*, rainures à travers lesquelles passent les tranches coupées. La machine est recouverte d'une chemise en planches, supprimée dans le dessin, qui sert à retenir les cossettes qui pourraient s'attacher à la roue et être lancées en tous sens par la force centrifuge.

Le coupe-racines que nous venons de décrire débite les pommes de terre en tranches minces ou cossettes qui tombent au fur et à mesure sur une chaîne sans fin en gutta-percha, qui les conduit dans les bassins de macération préalablement remplis d'eau à 35 ou 40 degrés. Ce n'est point un lavage que l'on cherche à produire; on s'efforce surtout de détruire, par une fermentation activée par la température à laquelle on opère, les principes âcres et sapides de la pomme de terre, tout en prévenant, autant que possible, la dissolution de la fécule ou de la pulpe sous l'action du ferment que renferme ce tubercule. A cet effet, on modère la fermentation, et on enlève de temps à autre les produits qui en résultent en changeant l'eau de macération. La conduite de l'opération offre peu de difficultés; celle-ci est terminée, après trente-six ou quarante-huit heures, selon la quantité relative d'eau employée, sa température et le nombre de lavages.

Les cossettes, lorsqu'on les retire des bassines de macération, sont assez molles, sans odeur, bien que les premières eaux de macération en eussent une très forte. Il est indispensable de les soumettre immédiatement à une pression aussi forte que possible, sous une presse hydraulique, pour en exprimer toute la quantité d'eau qu'elles sont susceptibles d'abandonner par ce moyen. Enfin on achève de les dessécher à l'étuve : cette dessiccation est d'autant plus facile, qu'elles ont été plus fortement pressées, et présente d'assez grandes difficultés lorsqu'il s'agit d'opérer en grand. Des essais, que nous avons fait faire à titre d'expert, nous ont convaincu que la dessiccation des cossettes devait se faire dans une grande exploitation au moyen de séchoirs mécaniques analogues à ceux employés dans les lavoirs à blé ou autres, et être conduite avec une grande rapidité.

Le séchoir mécanique qui nous paraît le plus approprié à la dessiccation des cossettes est celui représenté fig. 3; il se compose d'une étuve chauffée par un calorifère AB : l'air chaud fourni par le calorifère s'élève, entre dans l'étuve par la trappe C, suit les directions sinueuses marquées par des flèches sur la

figure, et sort en haut de l'étuve en c'. La cossette est étendue au sortir de la presse, soit immédiatement, soit après un pelletage préalable, sur une aire sèche et bien aérée pour la faire ressuer. De là elle passe sur une



3.

toile sans fin *d*, à l'étage supérieur, tendue entre deux cylindres *e*, *f*, et supportée par des rouleaux *i*, *i*, *i*. D'autres toiles *d'*, *d''*, ...*d⁷*, disposées au-dessous par étages, sont mises en mouvement alternativement en sens contraire, et avec des vitesses égales, par des roues d'engrenage adaptées sur l'axe de chaque cylindre *e*, *e*, ... Il s'ensuit que les cossettes, qu'un distributeur mécanique amène d'une manière régulière sur la toile sans fin supérieure, se distribue avec la même régularité sur les toiles inférieures, et que, rencontrant, au fur et à mesure qu'elle descend, de l'air de plus en plus chaud et plus sec, elle se dessèche graduellement, et tombe enfin dans le récipient H à l'état convenable pour être emmagasinée ou livrée au moulin.

Les cossettes desséchées sont ensuite réduites en farine dans des moulins à blé, et on en sépare par le blutage le son provenant de la pellicule de la pomme de terre.

Aujourd'hui sans emploi, les procédés qui viennent d'être décrits peuvent certainement aussi s'appliquer à d'autres substances amylacées, parmi lesquelles nous citerons en première ligne le *marron d'Inde*, qui pourra être réduit en farine alimentaire après qu'on aura enlevé, par des macérations et lavages appropriés, la saveur âcre et particulière qu'il possède.

P. DEBETTE.

FAUX ou **FAULX** (*angl.* scythe, *all.* sense). Instrument dont on se sert pour couper les fourrages, etc.; il se compose d'une grande lame mince en acier légèrement arquée, tranchante du côté concave, pointue à un bout, et terminée à l'autre par une poignée en queue qui sert à la fixer, au moyen d'une virole et d'un coin, à l'extrémité d'un manche en bois de 1m,50 au moins de longueur. La surface inférieure de la faux est convexe; du côté du dos, il y a une nervure dont toute la saillie est en dessus, et qui, prenant naissance à la queue, va former la pointe. C'est à cette disposition que la faux, quoique très mince (elle n'a pas 1mm d'épaisseur), doit toute sa fermeté. Cette nervure a en outre pour objet de renverser et d'entraîner les plantes au fur et à mesure que la faux les coupe, pour en former l'*ondin*.

La fabrication des faux a longtemps été concentrée en Allemagne, et surtout en Styrie. Actuellement neuf de nos départements, du midi et de l'est de la France, alimentent presque exclusivement le commerce intérieur.

L'acier naturel ou de cémentation est fourni au fabricant de faux en barres méplates de 25mm sur 50mm. Il les casse en tronçons de 0m,24 à 0m,25, qu'il classe en diverses catégories, suivant l'aspect de leur cassure. Les barreaux de nature *ferreuse* sont mis à part et destinés à fournir l'étoffe dont se compose le dos des faux; on les étire au martinet en barres de 30mm de large sur 8 à 10mm d'épaisseur, qu'on coupe par longueurs de 0m,65. On assemble ces barres par *trousses* de 16, que l'on corroie et que l'on réduit en barres carrées de 20mm de côté sur 0m,65 de long. On étire, de la même manière, les tronçons d'acier fin, destinés à faire les tranchants des faux, en barres de 20mm sur 10mm, qui sont soudées à plat sur les premières et étirées en barres de 25mm de large sur 7 à 8mm d'épaisseur; l'acier fin y entre pour 1/3 et l'étoffe pour 2/3. Un ouvrier raffineur, avec son compagnon, corroie 350k d'acier en 18 heures; le déchet est de 7 1/2 p. 100.

Des mains du *raffineur*, ces barreaux passent dans celles du *martineur*, qui, en deux chaudes, ébauche les faux, forme la pointe, le talon, et recourbe à angle droit le bout qui doit servir à faire la queue, le tout à l'aide d'un martinet de 45 à 50k qui bat environ 300 coups par minute. La pièce ébauchée porte 0m,80 de long, 22mm de large près de la crosse, 16mm au milieu et 10 au petit bout près de la pointe; son épaisseur est de 5mm près de la crosse et de 4mm au bout opposé; la crosse ou queue a 80mm de long, 30mm de large et 4mm d'épaisseur. On donne ensuite une chaude suante à la pièce, et on la courbe convenablement, en relevant en même temps, à l'extrémité de la queue, le petit *porreau* qui sert à la fixer contre le manche.

On élargit alors la lame sous un martinet de 30k; le maître, après l'avoir chauffée vers le bout, saisit la crosse de la main gauche, et le bout de la main droite avec une petite tenaille; il promène dans le sens de la longueur la pièce renversée sur l'enclume, pour former la nervure, puis dans le sens de la largeur pour étendre la lame. Il emploie trois chaudes sans changer cette disposition, puis en donne une quatrième, du côté de la crosse, pour en former le talon. La faux est ensuite remise à un ouvrier qui, avec un marteau à main et sur un tas de fer, la redresse en partie, après l'avoir légèrement réchauffée; cette opération se termine sous un petit martinet de 15k battant de 300 à 400 coups par minute. Enfin un autre ouvrier termine la nervure en la battant dans l'angle, à coups redoublés, avec un marteau à panne légèrement arrondie. Cette opération, ainsi que les deux précédentes, exige une grande habileté de la part de l'ouvrier.

Il reste à donner à la poignée ou *queue* la direction convenable, à imprimer la marque du fabricant, à affranchir à la cisaille le côté du tranchant, à tremper, recuire et affûter la faux, opérations qui n'exigent aucune description particulière.

Les faux de Styrie ne pèsent que 500 grammes; celles que l'on fabrique dans d'autres parties de l'Allemagne et en France en pèsent 700 à 800.

On donne le tranchant aux faux par un martelage, et ensuite avec une pierre à aiguiser, dont chaque faucheur doit être pourvu; ce martelage s'exécute à l'aide d'un marteau à manche très court, et d'une petite en-

clume que le faucheur plante en terre, entre ses jambes. Le marteau et l'enclume ont des formes différentes : c'est-à-dire que le marteau est à panne et tête de l'enclume légèrement bombée. Indépendamment de son enclume et de son marteau, le faucheur doit être muni d'un étui ou *coffin* plein d'eau, suspendu par un crochet à sa ceinture, et renfermant une pierre à aiguiser. Lorsqu'on aiguise la lame avec la pierre, il faut faire attention à l'usage que l'on veut en faire; pour les herbes fortes, la luzerne, les gros foins, le tranchant doit en être court; il devra être long et aplati pour les herbes fines.

La *faucille* (*angl.* sickle, *all.* sichel) est un instrument qui sert à couper ou à scier le froment, le seigle, et en général toutes les céréales dont les graines ne tiennent pas dans l'épi et qui tomberaient à terre si on les fauchait. C'est une lame d'étoffe d'acier recourbée en demi-cercle de 0m,20 à 0m,25, large de 25mm environ, à tranchant taillé en lime d'un seul côté, et dont un des bouts est façonné en queue propre à recevoir un petit manche qui, tantôt est placé dans le plan de la lame, tantôt s'élève un peu au-dessus, ce qui évite au moissonneur la peine de se baisser.

On commence à remplacer la faucille, dans les environs de Paris, par la *faux flamande*, employée depuis longtemps dans le nord de la France. Elle se compose d'une lame de 0m,80 de long et d'un manche en bois de 30mm de diamètre sur 0m,50 à 0m,60 de long; ce manche, qui est coudé à angle droit à 0m,15 environ de chacune de ses extrémités, porte à sa partie supérieure, près de la poignée, une espèce d'anneau en cuir, qui sert à faciliter la manœuvre de l'instrument. On réunit les chaumes que l'on veut couper à l'aide d'un bâton léger terminé par un crochet de fer. Tandis que l'ouvrier a sa faux dans la main droite, il tient le crochet de la main gauche par le milieu, de manière à ce que la partie courbée soit parallèle à la lame et au-dessus d'elle; le crochet soutient la paille vers la moitié de sa hauteur, tandis que la faux la coupe à 5 à 10 centim. du sol. Un grand avantage de cet instrument, c'est que celui qui s'en sert n'a pas besoin de se pencher, ce qui ménage ses forces et lui permet de faire plus d'ouvrage; il laisse aussi moins de chaume. Le sciage à la faucille arrange, il est vrai, plus régulièrement la paille, qui prend moins de volume; il donne un blé moins difficile à battre; enfin, beaucoup de mauvaises graines, échappant à la faucille et restant dans le chaume, le grain est plus propre. Mais le fauchage ne coûte que la moitié du sciage, la récolte est beaucoup plus prompte, la paille demeure plus longue, le sol est mieux nettoyé, et il n'est plus nécessaire d'y faire dispendieusement passer la faux pour enlever le chaume.

Nous avons vu employer avec succès, dans diverses parties de l'Allemagne, en lieu et place de la faux flamande, une *faux à rateau*, qui ne diffère de la faux ordinaire que par l'addition faite à l'extrémité du manche, d'une espèce de rateau composé de baguettes ayant la même courbure que la faux, et dont l'objet est de rassembler les tiges des céréales à mesure qu'on les coupe, et de les coucher doucement les unes à côté des autres, afin de ne pas les ébranler, et que l'ouvrier qui doit faire les gerbes ait moins de peine à les former; ce procédé procure, sur les précédents une économie considérable sur la main-d'œuvre.

FÉCULE (FABRICATION DE LA). La fabrication de la fécule a pris depuis quelques années en France un développement remarquable, et aujourd'hui ses produits sont expédiés jusqu'en Angleterre. A mesure que les produits de la culture, ont forcé les fermiers à planter en grand la pomme de terre, qui ne présente pas pour son exploitation manufacturière à beaucoup près autant de difficultés que la betterave, les prix de vente de la fécule ont baissé rapidement. Ils sont maintenant réglés sur ceux des pommes de terre; et de ce bon marché sont résultés des emplois tout nouveaux, et des consommations toujours croissantes et presque sans limites. La dextrine, les gommes employées dans l'apprêt des tissus; la glucose ou sucre de fécule, introduit en grand par son bas prix dans la fabrication des bières, des vins naturels pour les améliorer, même en Bourgogne, et par la pureté qu'elle atteint, remplaçant aujourd'hui le sucre ordinaire dans toutes les préparations des liqueurs, des sirops de pharmacie, etc., tous ces débouchés ont développé rapidement la fabrication de la fécule; et bientôt il n'y aura pas une grande ferme qui n'ait son atelier complet pour convertir la pomme de terre, qui ne peut être ni transportée ni vendue, en fécule, produit éminemment transportable et dont le placement se fait à la halle presqu'aussi facilement et aussi régulièrement que celui des farines.

C'est que cette fabrication est très simple, qu'elle n'exige que des machines peu coûteuses à établir, et s'organise parfaitement avec les travaux de la culture. On y emploie avantageusement les bœufs et les chevaux pour moteur, et comme là les frais généraux d'administration sont nuls, et qu'au besoin le fermier pourrait encore avec avantage se contenter de fabriquer et de vendre sa fécule sans bénéfice, pour écouler les pommes de terre nécessaires à sa culture, il en résulte que le nombre de ces établissements peut se multiplier presque sans limites.

Ainsi qu'il arrive dans toutes les industries qui s'appliquent à des objets de grande consommation et à bon marché, de nombreuses tentatives et des inventions de toute nature ont été faites pour perfectionner cette fabrication, si simple qu'elle soit; mais de même que pour le sucre de betterave, il reste peu de chose de toutes ces inventions, après un an ou deux d'emploi et de vogue; et les fabriques qui prospèrent le plus sont celles qui sont montées le plus simplement.

En décrivant les outils que l'on peut adopter avec pleine sécurité, nous dirons un mot de ceux que l'on a cherché sans succès à leur substituer.

Nous donnons ici la description et le plan (fig. 834 et 832) d'une fabrique qui a été construite par M. Firmin Raveau, architecte, et dont nous avons monté les machines et étuves, pour M. Legrand, fermier et propriétaire à Guitry, près Vernon (Eure).

Cette fabrique peut servir de modèle par la disposition générale, le choix des appareils et la simplicité de combinaison des transmissions de mouvement. Avec quatre chevaux attelés, elle travaille facilement et dans la perfection 200 hectolitres de pommes de terre par jour, et conduit, au besoin, en même temps, un moulin à broyer les tourteaux de colza pour la ferme.

Des silos et des soins à donner à la pomme de terre emmagasinée. Les silos destinés à recevoir la pomme de terre et la conserver saine et à l'abri de la gelée, sont établis près de la fabrique et parallèlement à elle, de manière à pouvoir, au moyen d'un appareil mécanique appelé *dragueur*, conduire la pomme de terre sans main-d'œuvre, du magasin à la fabrique, par une galerie couverte.

Ces silos, qui doivent être d'une grande capacité pour recevoir la pomme de terre destinée à cinq ou six mois de fabrication, c'est-à-dire 30,000 hectolitres, sont ordinairement creusés dans la terre sur un mètre ou deux, pour réduire les frais de construction, soutenir les murs contre la poussée d'une si grande charge, et préserver de la gelée les produits emmagasinés.

La pomme de terre doit autant que possible être rentrée sèche et avec le moins de terre adhérente que l'on pourra.

Les pommes de terre sont apportées en sacs de 1 hectolitre, après avoir été mesurés toujours sur le terrain,

tant pour la comptabilité de la ferme, que pour celle de la fabrique, qui doivent être soigneusement séparées. On les monte à dos d'hommes par deux portes réservées sous comble aux deux extrémités des silos, tant pour rendre facile l'arrivage et le déchargement de plusieurs charrettes à la fois, que pour diminuer les frais de transport à l'arrivée et à la sortie des silos; on les porte sur des planches mobiles, qu'on installe momentanément sur les sommiers du comble, dans toute la longueur du silo, et on les verse à droite et à gauche jusqu'à ce que le silo soit plein jusqu'au niveau des entraits qui ne doivent jamais être recouverts, ni enveloppés de pommes de terre, parce que, avec la fermentation et la chaleur qui se développe toujours, ces pièces de bois s'échaufferaient et s'altéreraient promptement.

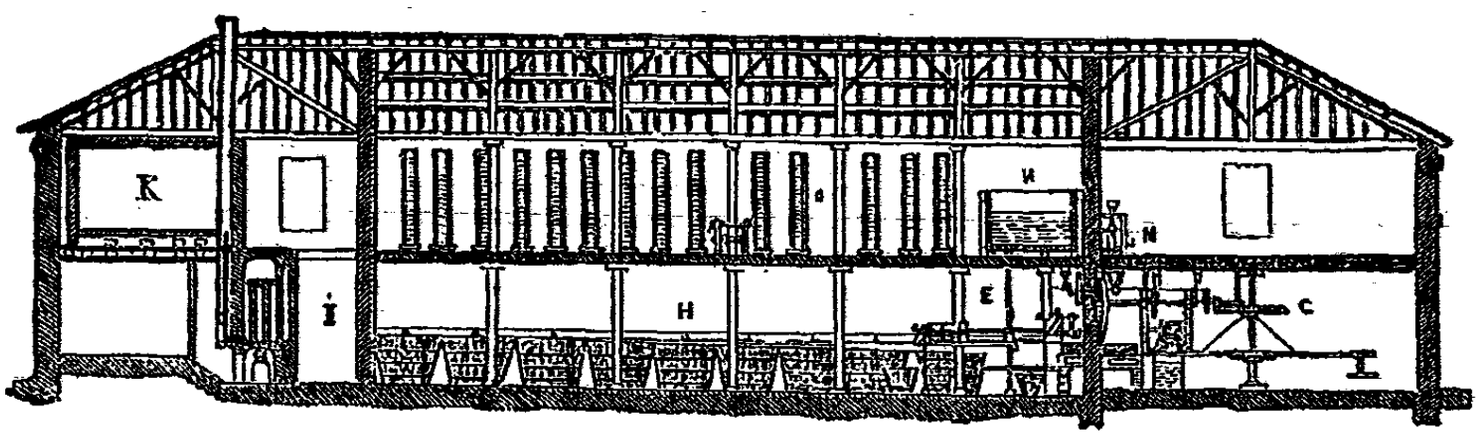
Quand on rentre la pomme de terre par des temps de pluie et de boue, ce qu'on doit éviter autant que possible, elle est inévitablement mouillée et sale, aussi faut-il encore lui donner de la surveillance pour diminuer au moins des inconvénients quelquefois inévitables, et ne pas laisser les ouvriers remplir le silo de boue avec leurs sabots, qu'ils doivent toujours laisser à la porte.

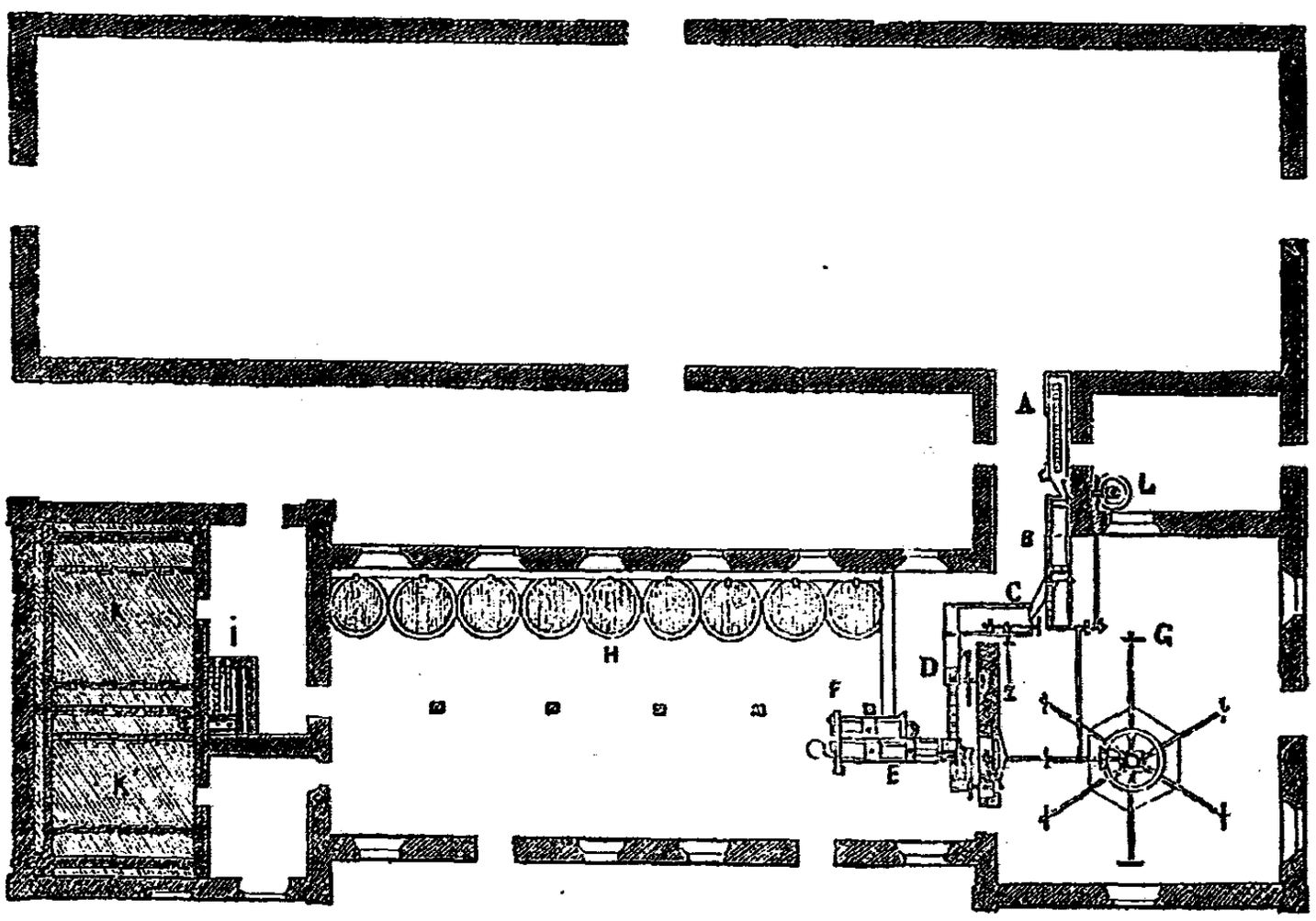
Quand le silo est plein, on ferme avec soin les fenêtres, et on les calfeutre de paille, ainsi que les portes qui ne communiquent pas avec la fabrique.

Il est de la plus haute importance de préserver la pomme de terre de la gelée qui, même légère, en altère la qualité, et forte, la perd entièrement. Aussi doit-on réserver toujours des places vides au milieu des pommes de terre, dans le silo, pour y placer deux ou trois poêles dans lesquels on fait du feu pendant les grandes gelées.

Quand la récolte est abondante, et que le silo ne la peut pas recevoir en entier, on établit, dans une partie sèche et élevée des terres cultivées en pommes de terre, des silos momentanés, creusés en terre de 1 mètre au plus, garnis de paille et d'une couche complète de terre de 20 à 25 centimètres d'épaisseur. Quelques manufacturiers aux environs de Paris se contentent de l'amonceler sur le sol et de la recouvrir de paille,

831.





832.

ou ayant seulement soin de la préserver, par un toit ou des planches, de la neige ou de la pluie, qui seules l'altèrent, disent-ils, et la font geler. Ce moyen est bon à employer quand on n'a pas de silo, et que l'on reçoit la pomme de terre à peu près au fur et à mesure des besoins de la fabrication ; mais on s'exposerait gravement, nous en sommes convaincus, en l'adoptant pour tous les produits d'une récolte destinés à alimenter une fabrique pendant l'hiver entier.

Un soin indispensable pour conserver à la pomme de terre toute sa qualité, est de la remuer de temps en temps dans le silo, afin d'empêcher la fermentation qui s'y développe très rapidement, surtout si elle a été rentrée par des temps de pluie et de boue.

La pomme de terre, comme la betterave, perd toujours à attendre la fabrication. C'est au moment où elle vient d'être récoltée, en pleine maturité, qu'elle contient et donne le plus de fécule; et, si on perd un mois au commencement de la campagne, il est évident qu'on ne le rattrape pas à la fin, puisque la pomme de terre rend moins de produits, surtout dans le mois de mars, à l'époque où le travail de la germination commence à se faire et où la fécule disparaît.

La première condition d'un travail bien organisé doit donc être de faire en été, et d'avance, tous les travaux de réparation et d'amélioration ou d'accroissement que l'on a jugé nécessaires, et de ne pas attendre pour cela le mois de septembre et d'octobre, comme font tant de fabricants. Il faut aussi que les outils soient tous essayés d'avance, le calorifère et les étuves nettoyés et réparés, et tout en ordre, pour commencer la fabrication le plus tôt possible, aussitôt les premières voitures de pommes de terre rentrées. Il y a des fermiers qui ont soin de planter de la pomme de terre à une époque et dans une position où elle sera plus hâtive, pour commencer aussi leur travail quinze jours plus tôt.

Il faut surtout pousser le travail avec autant d'activité que de régularité, et si la fabrication est réglée à 200 hectolitres, il faut que, chaque jour, les 200 hectolitres soient écrasés. Tous les efforts doivent être faits pour que la fabrication soit terminée à la fin de février ou dans la première quinzaine de mars. Aussi est-il très important, dans un grand établissement, d'avoir largement les machines nécessaires à la fabrication pour faire le plus possible par jour. Une augmentation bien légère, dans les intérêts des premiers établissements, donne une somme annuelle de bénéfices considérables.

Série des opérations que subit la pomme de terre pour être transformée en fécule.

La fabrication de la fécule se compose de quatorze opérations :

Figure 831. Plan de la féculerie.

Figure 832. Coupe en long.

1° Montage de la pomme de terre du silo à la fabrique, et en même temps au-dessus du premier laveur au moyen du *dragueur* A.

2° Lavage au premier *laveur* B.

3° Passage au second *laveur* C.

4° Déchirage de la pomme de terre lavée à la *râpe* D.

5° Montage de la pulpe de la râpe au tamis cylindrique E, au moyen d'une chaîne à godets.

6° Séparation de la fécule et de la pulpe dans un tamis cylindrique E.

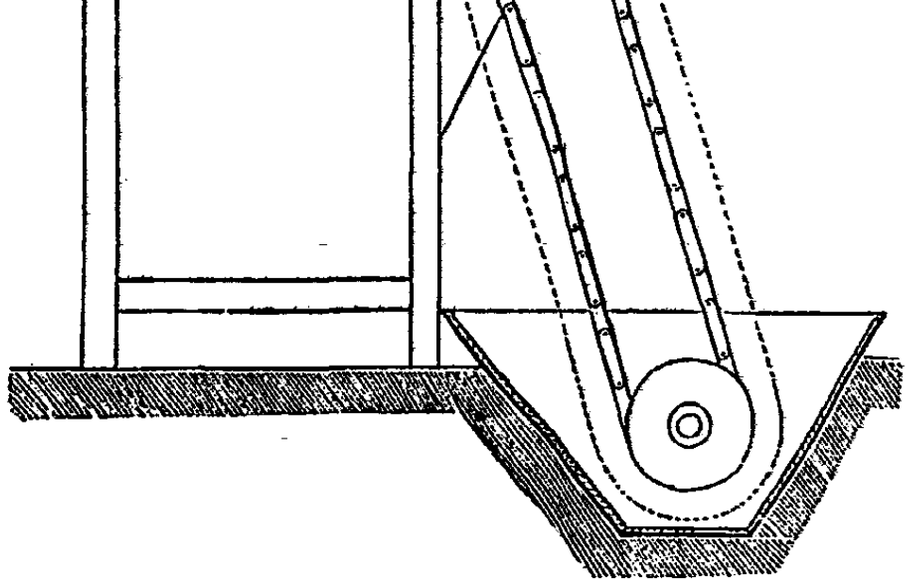
7° Séparation du petit son, que l'eau entraîne mélangé avec la fécule, dans un petit tamis cylindrique F.

8° Repos et décantation des fécules dans les cuves en bois H.

9° Lavage à grande eau de la fécule déposée dans les tonneaux et passage dans des tamis de soie à la main.

10° Montage au hâloir dans les bachots ou demi-tonnes, où elle a été après le lavage.

11° Exposition de la fécule humide en morceaux de 2 ou 3 décimètres cubes sur des étagères, dans un séchoir à air libre dit *hâloir* O.



833.

12° Ecrasage de la fécule séchée au hâloir à l'aide d'un gros rouleau de bois.

13° Séchage dans une étuve chauffée K.

14° Ecrasage au rouleau, et passage au blutoir M pour la vendre en sacs.

Dragueur. Fig. 833. Le dragueur est un plan incliné en madrier de chêne, pris entre deux longuerines qui lui servent de guides, au pied duquel est une grille en bois sur laquelle on jette la pomme de terre à la brouette pour en séparer déjà les principaux cailloux qu'elle contient, et dont l'enlèvement est très important pour la conservation des machines. Sur ce plan court une chaîne sans fin, composée de deux chaînes Galle à très longues mailles, séparées de 0m,25 et réunies par plusieurs tasseaux en fer placés perpendiculairement au plan, pas-

sant par-dessus deux tambours de fonte ajustés en haut et en bas du plan, et dont le mouvement, imprimé par le manége au moyen d'une forte chaîne Galle, se transmet à la chaîne sans fin. Celle-ci, agissant sur le plan, et à travers la trémie avec grille, où l'on a versé les pommes de terre, les entraîne sur les tasseaux, et les conduit en haut du plan, où elles sont versées dans la trémie du premier laveur. Il faut donner sept à huit tours par minute de vitesse à ce dragueur.

2e et 3e laveurs. Pour faire de belle fécule, et aujourd'hui qu'on l'emploie dans les apprêts des tissus et surtout des toiles blanches, on est extrêmement difficile pour la blancheur et l'éclat de la fécule, la première condition et la plus importante c'est un lavage parfait.

Dans beaucoup de fabriques, on laisse baigner la pomme de terre dans de grands tonneaux, avant de la passer au laveur, afin que la terre qui y adhère ait le temps de se détremper et ne résiste pas au lavage.

Dans d'autres, on plonge la pomme de terre sortant du silo dans un baquet plein d'eau placé auprès du dragueur, et d'où un ouvrier la jette à la pelle sur cet outil.

Mais ces procédés occasionnent une grande main-d'œuvre, et le travail est plus économique et plus parfait en les passant successivement à deux laveurs, dont le premier sert à détremper la pomme de terre et à enlever presque toute la terre et les cailloux, et le second avec de l'eau toujours propre achève le travail du premier et rince le tubercule.

Le laveur est un tambour à jour, composé de deux plateaux circulaires en fonte, montés sur un arbre tournant en fer, et réunis pour former le tambour par des baguettes de fer rond de 13 millim. de diamètre, ne laissant entre elles que 1 centimètre de passage pour l'échappement des cailloux. Plus de jeu entre les tringles laisserait passer les petites pommes de terre, et quoiqu'en vidant le grand et fort coffre de chêne plein d'eau qui est placé sous le tambour, et dans lequel ce dernier tourne, on ait soin de faire passer l'eau dans un panier à claire-voie pour ne laisser perdre aucune pomme de terre; cependant, celles qu'on en retire ne sont jamais aussi bien lavées que dans le laveur : ce serait donc encore une main-d'œuvre perdue.

Le tambour du laveur, tournant avec son arbre sur des paliers fixés sur le coffre de bois, plonge au tiers de toute sa hauteur dans l'eau, et les 12 tours par minute qu'il fait avec un diamètre de 0m,80, en faisant sauter vivement la pomme de terre sur chaque tringle de fer, la nettoient parfaitement. L'eau de ces laveurs est renouvelée au moins deux ou trois fois par jour au moyen d'une large porte réservée au bas du coffre et fermée par un tampon et une barrette à vis comme le trou d'homme des chaudières à vapeur. Un tour d'hélice en bois ou en métal fixé sur l'axe à l'autre extrémité du laveur, prend la pomme de terre pour la vider au-dehors. Du premier laveur on la passe au second, et du second elle tombe sur une grille de bois, qui la conduit à la râpe et où un enfant la pousse à la main en ayant soin de ne laisser passer aucun caillou, précaution très essentielle, car à chaque caillou qui passe toutes les lames de la râpe sont fortement endommagées.

Râpe. La râpe ou cylindre dévorateur est un tambour de fonte de 0m,50 à 0m,60 de diamètre et de 0m,27 à 0m,32 de largeur, armé sur toute sa circonférence de lames de scie fines, espacées de 10 à 15 millimètres; mais mieux de 10 millimètres, le râpage est plus fin.

Ce tambour tourne sur un axe porté solidement sur des paliers et un bâti de fonte. Au-dessus du tambour est une capote mobile en tôle, tenue par des clavettes, et au-dessous, dans le sens où le mouvement entraîne la pomme de terre, est une planchette inclinée et une auge, où tombe la pulpe, et d'où elle est prise par une chaîne à godets qui la conduit dans un tamis cylindrique.

Sur le devant de la râpe et du côté de l'arrivée des pommes de terre, est une table horizontale en bois avec un plateau mobile en fer, parfaitement dressés sur leurs arêtes et qui, au moyen de deux vis de serrage, sont amenés parallèlement, avec une grande exactitude, tout contre les lames de la râpe, de manière à ne laisser passer que la pulpe très fine sans aucun morceau de pomme de terre qui ait échappé à la râpe. Un poussoir en bois, à charnière en haut et à ressort en bas, reposant sur la planche mobile, serre la pomme de terre que le jeune ouvrier fait tomber sur la râpe avec une râclette en bois, en retirant à la main les cailloux.

Un levier placé à sa main, lui permet, si un caillou venait à passer inaperçu dans la râpe, de faire sauter les ressorts qui pressent le poussoir contre le cylindre, et d'avoir ainsi le temps de dégrener la râpe au moyen de la poulie folle. Un robinet fait couler constamment et abondamment de l'eau sur la râpe pour délayer la pulpe. Une râpe doit faire de 7 à 900 tours par minute, et elle pourrait traiter au besoin 250 hectolitres de pommes de terre par heure.

La pulpe tombe dans un coffre, d'où une chaîne formée de longues lames accouplées comme la chaîne Galle, et de godets en tôle, et montant sur un plan incliné en bois, va porter cette pulpe dans la trémie du tamis cylindrique, en même temps qu'un autre robinet y verse de l'eau.

Tamis cylindrique. Le tamis cylindrique E, fig. 834, est composé de trois cylindres en fer recouverts de toile métallique, tournant sur un axe en fer au moyen d'une chaîne, et au-dessus d'un coffre en bois. Ces trois tamis sont séparés l'un de l'autre par deux tambours en cuivre fixés solidement au coffre du tamis.

La pulpe qui arrive sur le premier tamis, abondamment délayée dans l'eau, est bien vite séparée de cette eau, qui emporte la fécule dans le coffre et va tomber dans le premier tambour, où elle est de nouveau délayée par une forte injection d'eau et des agitateurs, fixés sur l'arbre tournant.

De là elle est versée et séchée de nouveau sur le second tamis, et enfin délayée de nouveau dans le deuxième tambour et définitivement séchée sur le troisième tamis, qui la jette au dehors, complétement séparée de la fécule, d'où elle est emportée pour servir à la nourriture des vaches et des moutons.

Le tamis doit faire vingt-quatre à vingt-cinq tours par minute; plus de vitesse donnerait un mauvais tamisage. Il peut suffire facilement avec 3 mètres de longueur à 200 hectolitres de pommes de terre.

La fécule entraînée par l'eau va passer dans un autre tamis cylindrique, F, plus petit et plus fin, qui en sépare le menu son, et elle se rend par une rigole dans les cuves de dépôt.

Le tamis est l'outil qui, dans toutes les féculeries, a subi le plus de modifications, parce qu'on n'est pas encore fixé sur le meilleur système. On l'a fait longtemps avec un seul tambour en son milieu et tournant avec l'arbre. Celui-ci tamise mal, la pulpe n'est pas épuisée; il faut la délayer de nouveau dans l'eau.

Puis on a fait de longs plans inclinés en toile métallique, sur lesquels l'eau descendait en emportant la fécule, pendant que la pulpe était montée par des râcloirs mécaniques en mouvement. Ce système prend beaucoup de force. Il détruit très rapidement les toiles métalliques et ne donne pas plus de fécule que les autres; c'est à notre avis un mauvais système.

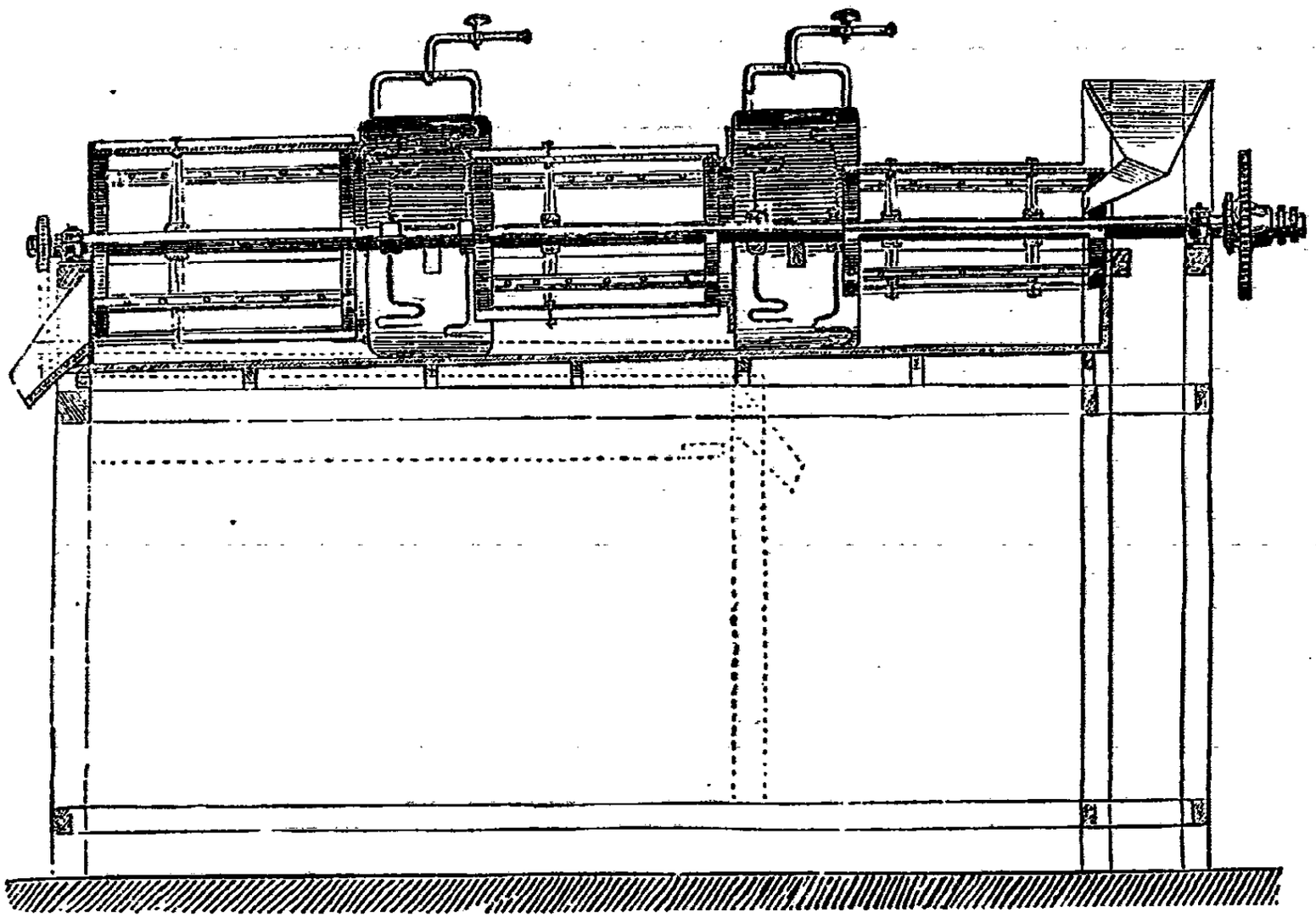
Enfin, on a fait de petits plans inclinés sur le même système, qui, dit-on, marchent très bien. Mais nous sommes convaincus que le meilleur système est le tamis à tambour fixe, parce qu'il sèche et délaie plusieurs fois la pulpe. A notre connaissance, l'invention des tam-

bours fixes et des tambours multiples est due à M. Pasquier, propriétaire à *Trou*, près Versailles.

Un manége, G, conduit toutes ces machines avec des bœufs ou des chevaux; quatre chevaux, quand les machines sont bien montées, suffisent pour travailler 200 hectolitres de pommes de terre.

la main, et enfin on en remplit ainsi successivement des baquets dits *bachots*, où on la tasse de manière à les remplir, et on la monte au hâloir O, dans les bachots au moyen d'un treuil.

L'eau est fournie à toute la fabrique par un réservoir N, de grande capacité et alimenté largement par



834.

Le manége de Guitry est très léger. L'arbre vertical tourne sur un pilier fixe en fer forgé, qui soutient le plancher du magasin placé au-dessus, et les bras en bois sont reliés ensemble et après l'arbre vertical, par des cordes métalliques qui lui donnent une grande légèreté.

Il est bon de donner cinq ou six bras à un manége, dans le cas d'augmentation du travail.

La transmission et la multiplication de mouvement se font au moyen de roues droites, de poulies et de chaînes Galle.

Décantage. La fécule délayée dans l'eau et sortant du tamis à petit son, se rend par une rigole fixée au mur dans la cuve H de dépôt, qu'elle remplit successivement au moyen de petites vannes.

En quatre heures la fécule est complétement déposée, et *on décante l'eau surnageante*, que l'on envoie sur les terres pour les fumer. Ces eaux ne doivent pas rester près de la féculerie, car elles deviennent très rapidement infectes.

On fait couler sur le premier dépôt une nouvelle charge d'eau et de fécule, que l'on décante de même. Puis, quand elle a atteint une épaisseur de 0m,25 dans des cuves de 1m,10 ordinairement de haut, on procède à son lavage.

Lavage. La fécule déposée est encore salie par de la terre.

On la délaie à grande eau dans des tonneaux, en la laissant reposer et la tamisant dans un tamis en crin, à des pompes. Pour travailler par jour 200 hectolitres de pommes de terre il faut de 100,000 à 120,000 litres d'eau.

Là, les bachots sont renversés et les morceaux de fécule encore tout pénétrés d'eau sont jetés sur le sol du hâloir qui est recouvert d'une couche épaisse de plâtre, qui boit une partie de cette eau; les morceaux sont ensuite placés sur les échelles. On les sépare les uns des autres pour les sécher le plus possible et diminuer ainsi les frais d'étuvage.

Au bout de quinze ou vingt jours, quand on n'est pas pressé par le manque de place au hâloir, ou par la vente, les pains sont déjà bien séchés; si le temps est favorable, ils se délitent bientôt, et tombent en poussière des échelles.

Dans les grands froids de l'hiver, ils gèlent souvent, et M. Pasquier nous a assuré que la fécule ainsi gelée était plus belle. On porte alors la fécule à l'étuve, en la chargeant dans de petits wagons placés sur un chemin de fer qui court dans toute la longueur du hâloir; mais avant de la mettre à l'étuve, on l'écrase sur une aire en plâtre au moyen d'un lourd rouleau de bois, tenu par un long manche. Il faut exiger de tous les ouvriers *du blanc*, c'est-à-dire de ceux qui font le travail du lavage de la fécule, du hâloir et de l'étuve, la plus grande propreté. Ils ne doivent monter au hâloir qu'en quittant leurs sabots et prenant des chaussons, laissés exprès au bas de l'escalier, car on marche là dans la.

fécule, et elle serait très vite perdue d'ordures.

Dans une féculerie bien montée, il y a toujours deux étuves, que l'on charge, et que l'on chauffe alternativement avec le même calorifère, pour pouvoir laisser reposer la fécule douze heures après qu'elle est complétement étuvée. La fécule est chargée sur des cadres en bois garnis de toile au fond, et placés sur des châssis, de manière à laisser 8 ou 10 centimètres d'espace entre chaque rang de cadres. La fécule s'y étend en couche de 3 ou 4 centimètres, et toutes les précautions doivent être prises dans la construction de l'étuve, d'abord pour qu'il n'y ait pas de bois qui puisse prendre feu; les incendies dans une étuve chauffée à 70° et avec de la fécule aussi sèche, étant très dangereux; ensuite, pour conserver le plus possible la chaleur, au moyen de doubles murs, de doubles portes, et de l'absence complète de toute fenêtre.

On chauffe très modérément pendant quatre heures, sans dépasser 45 à 50°, pour éviter que la fécule humide ne s'altère; on pousse ensuite vivement le feu de manière à atteindre 65 à 70°, et en dix-huit ou vingt heures l'étuvage est complet. Au moyen de registres, on jette toute la chaleur dans l'autre étuve que l'on a remplie d'avance, et on laisse reposer pendant douze heures l'étuve dont le séchage est fini, pour laisser retomber un peu la température, et aussi parce que la fécule achève de se sécher.

Au milieu de chaque opération, on ouvre la porte de l'étuve, et les ouvriers y pénètrent pour aller remuer avec des râclettes en bois tous les cadres, pour renouveler les surfaces. Le calorifère que nous avons monté à Guitry, et qui nous appartient, est d'un système tout nouveau et qui a donné les résultats les plus remarquables. Nous en avons donné la description et les plans, dans ce Dictionnaire, à l'article CHAUFFAGE, voir les fig. 468 et 469. Son principe est de pouvoir à volonté sécher, en faisant passer dans l'étuve un grand courant d'air, ou, au contraire, de monter rapidement la température de l'étuve, en faisant circuler de nouveau dans le calorifère l'air déjà chauffé de l'étuve. Nous avons monté l'étuve de Guitry en moins d'une heure de 70 à 105°. Ce calorifère, monté dans deux ou trois féculeries, et depuis dans plusieurs hôtels, fonctionne parfaitement bien.

La fécule perd à l'étuve environ 25 p. 100 de son poids, quand elle a été un temps suffisant au hâloir; quand elle arrive au hâloir, elle retient environ 35 à 40 p. 100 d'eau; et enfin, séchée et prête à livrer au commerce, elle en contient encore de 7 à 8 et 10 p. 100.

La fécule au sortir de l'étuve est mise en sac au magasin, ou en tas, où elle peut rester sans inconvénient un temps indéfini.

A mesure que l'on en a besoin, on la pile au rouleau, et on la passe à un blutoir M en soie, qui fait 30 tours par minute, et dont le cylindre commandé par une courroie, ou mieux une chaîne sans fin, reçoit à chaque tour plusieurs secousses vives qui le font retomber sur ses paliers, pour faire passer mieux la fécule. Ces secousses sont données par un excentrique à 2 cames fixées sur le bout de l'arbre tournant, et rencontrant un heurtoir en fonte.

Il nous reste à donner quelques détails économiques sur cette fabrication.

La pomme de terre rend de 16 à 18 p. 100 de fécule sèche, et les sons retiennent encore un peu de fécule, ce qui les rend si nourrissants pour les bestiaux.

Les machines nécessaires pour une féculerie coûtent, avec les pompes au complet et montées, de 15 à 16,000 fr. dans le meilleur système avec le calorifère.

Les frais de fabrication pour 200 hectolitres de pommes de terre par jour, pesant moyennement 80ᵏ l'hectolitre, peuvent être comptés comme suit :

	hect.	f.	c.	f.	c.
200 hectolitres de pommes de terre.	200	1	75	350	»
1 contre-maître.				2	25
2 ouvriers manœuvres, et 1 enfant pour approcher la pomme de terre, etc.	3	1	60	4	80
3 hommes au blanc et 2 étuveurs.	5	2	»	10	»
Entretien des machines, tamis, toiles.				10	»
Intérêts du capital de l'usine sur 150 jours de travail, à 75,000 fr. de dépense, bâtiments compris, à 6 pour 0/0.				30	»
Houille pour le calorifère. . . .	3	3	»	9	»
Frais généraux, bureau.				5	»
Transport de la fécule au lieu de la vente; 2700ᵏ par jour. . .	kil. 2700		75	20	25
Imprévu.				20	»
Total.				464	30
Soit les 400ᵏ de fécule.				17	8
Prix de vente des 400ᵏ de fécule. . . .				22	»
Bénéfice par 400ᵏ de fécule.				4	92
Et par jour, pour 200 hect. de pommes de terre.				136	70

PH. GROUVELLE.

FENDERIE. Voyez FER.

FER (*angl.* iron, *all.* eisen). Le fer métallique est d'un gris-bleuâtre, malléable, ductile et le plus tenace des métaux; il ne se rompt que sous une charge de 75 kilogr. par millimètre carré de section; poli, il possède beaucoup d'éclat; il a une saveur et une odeur distinctes, mais faibles. Il perd une partie de sa ténacité et devient cassant par l'écrouissage: on lui rend ses propriétés en le faisant *recuire*. Pur, il est absolument fixe, et extrêmement difficile à fondre, et peut-être même n'est-on pas encore parvenu à le liquéfier, car il est probable que lorsque cela arrive, on doit l'attribuer à l'absorption d'une certaine quantité de carbone; mais il jouit de la précieuse propriété de se ramollir à une température bien inférieure, et de pouvoir alors se souder sur lui-même et prendre sous le marteau toutes les formes que réclament les arts. Il est magnétique. Sa dilatation linéaire, de 0 à 100°, est de 1/846ᵉ. Le fer ne s'altère pas dans l'air sec, à la température ordinaire, mais lorsqu'on le chauffe, il se recouvre d'une pellicule d'oxyde très mince qui présente, à mesure qu'elle augmente d'épaisseur, le phénomène des anneaux colorés, les diverses couleurs se produisant dans le même ordre et aux mêmes températures que pour l'ACIER (voyez ce mot). Au rouge, il s'oxyde rapidement et se recouvre d'écailles d'oxyde dites *battitures*, parce qu'elles se séparent aisément par l'action du marteau; cette oxydation rapide explique le soin que l'on prend, en travaillant le fer; de le garantir autant que possible, comme nous le verrons, de l'action oxydante de l'air, lors du réchauffage, et l'importance de l'amener à la forme voulue en lui faisant subir le moins de chaudes possible.

Le fer obtenu en réduisant à une basse température un oxyde par l'hydrogène est pyrophorique, c'est-à-dire qu'il s'enflamme spontanément au contact de l'air même après qu'il a été refroidi; il perd cette propriété lorsqu'on augmente sa cohérence, en le chauffant au rouge en vase clos et le laissant refroidir à l'abri du contact de l'air. Très divisé et chauffé au blanc, il brûle dans l'air et dans l'oxygène en répandant une lumière extrêmement vive.

L'air humide oxyde lentement le fer qui se recouvre d'une couche jaunâtre d'hydrate de peroxyde de fer qu'on appelle *rouille;* une partie de l'hydrogène qui se dégage par la décomposition de l'eau, se combine à l'état naissant avec de l'azote venant de l'air, pour donner de l'ammoniaque qui reste en combinaison avec la

rouille. Le fer décompose très rapidement l'eau au rouge : l'hydrogène se dégage, et l'oxygène s'unit au fer pour donner de l'oxyde magnétique.

L'acide nitrique étendu dissout lentement le fer ; l'acide nitrique concentré l'oxyde également et avec une très grande rapidité, mais la plus grande partie du fer reste à l'état de peroxyde, sans se dissoudre. L'acide sulfurique le dissout aisément en présence de l'eau qui se décompose ; concentré, il n'a aucune action sur lui à froid, mais il le dissout à la chaleur de l'ébullition en se décomposant en partie et donnant lieu à un dégagement d'acide sulfureux. Les hydracides, tels que l'acide hydro-chlorique, etc., le dissolvent rapidement, même à froid, en dégageant de l'hydrogène, et le transforment en protochlorure, etc., l'eau régale le dissout rapidement, avec dégagement de vapeurs rutilantes, et il se produit du perchlorure.

Le fer ayant une grande affinité pour l'oxygène, réduit tant par voie sèche que par voie humide un grand nombre d'oxydes métalliques, tels que ceux d'argent, de cuivre, de plomb, etc., et même dans certaines circonstances la potasse et la soude.

Le fer se combine aisément et directement, à l'aide de la chaleur avec tous les *gazolites*, c'est-à-dire avec les corps simples non métalliques, l'hydrogène et l'azote exceptés ; mais lorsqu'on le chauffe dans un courant de gaz ammoniac sec, il décompose ce corps avec dégagement d'hydrogène, et il retient en combinaison de 7 à 9 p. 100 d'azote et peut-être aussi de très peu d'hydrogène, et devient extrêmement cassant et même friable.

Le fer se combine, par voie sèche, en plusieurs proportions avec le carbone, et selon que la proportion en est plus ou moins considérable, il constitue les fers du commerce, l'acier, ou la fonte.

Le fer est naturellement grenu et de qualité d'autant meilleure que le grain est plus fin et plus brillant ; par l'écrouissage ou le martelage, il devient nerveux, c'est-à-dire qu'il présente une disposition fibreuse ; la cassure d'un bon fer présente un nerf tordu très blanc et brillant ; si on le martelle à froid dans le sens de sa longueur ou si on le trempe, il reprendra sa texture grenue ; il paraît que cette texture est due à la présence du carbone ; pendant l'élaboration la quantité en diminue, ce qui, joint à l'action du marteau ou du laminoir, le fait passer à l'état nerveux ; mais il renferme encore une petite quantité de carbone qui suffit pour lui faire reprendre, lors de la trempe, la texture grenue. Lorsque, par une série de chaudes trop répétées ou mal conduites, on dépasse l'état nerveux, le fer est dit *brûlé*, le nerf qui existe encore a perdu son éclat, et, lorsqu'il est à texture grenue, il présente souvent des irisations qui tiennent à ce que tout le carbone peut se brûler et même le fer s'oxyder un peu : il perd alors une grande partie de sa ténacité. Le fer poli présente souvent des taches brunes qui portent le nom de *pailles* ou de *cendrures* suivant qu'elles sont plus ou moins grandes, et qui diminuent de beaucoup sa valeur ; ces taches paraissent dues à une interposition de scories ou d'oxyde de fer, et proviennent d'un corroyage imparfait lors de la fabrication

Les fers du commerce se distinguent en *fers forts* qui se laissent forger et courber à froid et à chaud et en *fers rouverains*, qui cassent à froid ou à une température plus ou moins élevée.

Les fers forts se divisent eux-mêmes en trois catégories :

Le *fer fort dur* ou *fer aciéreux*, qui est le plus réfractant au feu par suite de la plus forte proportion de carbone qu'il renferme ; il est très dur, et est particulièrement employé pour la fabrication de l'acier de cémentation, des câbles en fer, des canons de fusil, des tôles fortes de machines à vapeur, et en général pour tous les objets qui réclament une grande résistance.

Le *fer fort mou*, plus ductile que le précédent, moins résistant et plus facile à produire ; présente moins de résistance au feu ; se travaille aisément à froid et à chaud, et convient surtout à la fabrication des objets, comme les fers et clous de cheval, les jantes de roues, le fil de fer, les essieux, etc., qui exigent une certaine ductilité jointe à beaucoup de résistance.

Le *fer demi-fort*, ne cassant ni à chaud ni à froid, et possédant les qualités des deux variétés précédentes, mais à un degré moins élevé ; on l'emploie surtout à faire les pointes de Paris et le gros fil de fer.

Les fers rouverains se divisent également en deux catégories :

Les *fers métis* ou fers cassant à chaud doivent cette propriété à une certaine proportion de soufre ou d'arsenic ; ils présentent une cassure plus foncée et plus terne que les autres fers ; lorsqu'ils sont nerveux, leur nerf est plus gros que celui des fers forts et terne, et leurs fibres, mises à nu par la rupture, sont criquées ou fendues dans le sens transversal ; enfin le nerf est coupé en lames au lieu de présenter, comme les fers forts, une cassure crochue et hérissée d'aspérités. 0,0003 de soufre rendent le fer insoudable.

Les *fers tendres ou fers cassant à froid* doivent cette propriété à du phosphore ; leur cassure est à grains plats, blancs et brillants, unie et sans arrachements Ils sont ordinairement très lamelleux. Ils se travaillent bien à chaud et sont ordinairement débités en verge de fenderie pour la fabrication des clous.

Les *fers brûlés* cassent également à froid ; il ne s'y trouve plus de carbone, mais ils renferment beaucoup de silicium. Leur cassure est lamelleuse, blanche, légèrement bleuâtre, brillante et éminemment cristalline. Les lames sont plus grandes et plus anguleuses que celles du fer tendre.

Enfin il existe des fers rouverains qui sont à la fois cassants à froid et brisants à chaud ; ils ne peuvent presque être d'aucun usage.

Avant d'acheter ou de recevoir les fers, dans le commerce, on leur fait subir certains essais ayant pour but de reconnaître la qualité du métal ; on soumet en outre les fers finis à d'autres essais qui servent à mettre à nu les défauts de fabrication, mais ces derniers essais variant à l'infini selon la nature même des fers et l'usage auquel on les destine, nous ne parlerons ici que des essais généraux qui s'appliquent à tous les fers sans exception. Ceux-ci s'opèrent à chaud et à froid ainsi qu'il suit :

On chauffe au rouge-clair, dans une forge de maréchal, la barre à essayer, on la replie sur elle-même à cette température, et dès qu'elle est arrivée au rouge-brun on la plie de nouveau. On laisse alors refroidir la barre, et, après l'avoir entaillée à froid au moyen d'une tranche, si les dimensions ou la nature du fer l'exigent, on la plie jusqu'à la rupture ou jusqu'à réunion des deux parties du coude, ce qui, dans tous les cas, met à découvert la texture du métal. Les essais à chaud précités montrent si le fer est cassant au rouge-clair, au rouge-brun ou à ces deux températures, ou s'il résiste à l'une et à l'autre. Les essais à froid, indiquent si le fer est fort, tendre ou métis. Le fer tendre casse net ; la cisaille le brise, mais ne le coupe pas ; il craque sous cet outil. La cassure à froid peut indiquer, jusqu'à un certain point, si le fer est cassant à chaud ; le nerf de ce dernier présente des solutions de continuité perpendiculairement à sa direction. Les faisceaux de ce nerf forment pour ainsi dire des lames, ce qui ne s'observe pas dans les fers bons à chaud. Les fers forts résistent à la rupture à froid. Leur cassure est généralement fibreuse, et leur qualité est d'autant meilleure que leur nerf est plus blanc, plus long, plus fin et plus uniforme ; la cisaille les coupe comme une substance molle, sans

les rompre. Le fer dit brûlé se comporte de la même manière sous la cisaille, à l'opposé du fer tendre, auquel du reste il ressemble beaucoup.

Chaque maître de forges est dans l'usage de mettre sa marque sur les fers qu'il livre au commerce. Les marques les plus estimées sont les marques de Suède (L), (O O) et (J B), et la marque russe (C C M D), qui sont presque exclusivement achetées par les fabricants d'acier de cémentation.

Les fers du commerce renferment au plus 1/2 p. 100 de carbone ; au-delà, ce sont des fers fortement aciéreux, et lorsqu'il en renferment 1 à 2 p. 100, ils constituent l'ACIER, composé remarquable dont nous avons fait le sujet d'un article particulier.

Lorsque la proportion du carbone varie de 2 à 5 p. 100, il en résulte une nouvelle combinaison, connue sous le nom de *fonte*, fer fondu, fer cru, fer coulé (*angl.* cast iron, *all.* roheisen) qui présente des caractères essentiellement différents de ceux du fer. Le carbone qu'elle renferme est tantôt entièrement à l'état de combinaison, les fontes sont alors blanches, tantôt il s'est séparé en partie lors du refroidissement de la masse dans laquelle il se trouve disséminé à l'état de graphite, ce sont les fontes grises ; ces dernières passent du gris-clair au gris-noir. Enfin les fontes présentent, dans certains cas, des mélanges de parties blanches et de parties grises qui forment des espèces de taches sur le fond : ce sont les fontes truitées.

On distingue les fontes en *fontes de moulage* et en *fontes d'affinage* :

Les *fontes de moulage* sont d'un gris souvent très foncé (fontes noires) ; celles au charbon de bois, moins foncées et à grain fin, sont ordinairement employées en première fusion ; celles au coke sont d'un gris-noir à gros grains, et ne sont guère employées qu'en seconde fusion ; elles sont d'autant meilleures pour cet usage que le grain en est plus gros et la couleur plus foncée ; les impuretés qu'elles renferment ne permettent pas de les employer en première fusion au moulage d'objets délicats ou de résistance ; l'excès de carbone non combiné qu'elles renferment les rend d'ailleurs tout à fait aptes au travail en seconde fusion (voyez FONDERIE DE FER). Elles renferment toutes une forte proportion de silicium, et c'est à la présence de ce corps, qui possède une puissance de saturation plus grande que le carbone, qu'on attribue la séparation de ce dernier, à l'état de graphite, dans les fontes grises et noires.

Les *fontes d'affinage* sont grises, truitées ou blanches ; elles contiennent beaucoup moins de silicium que les précédentes, ce qui les rend beaucoup plus faciles à affiner, le silicium étant même plus difficile à séparer du fer que le carbone. Les fontes blanches se divisent elles-mêmes en deux classes : les fontes blanches à grandes lames, et les fontes blanches sublamellaires ou grenues et ordinairement caverneuses. La première espèce doit ordinairement ses propriétés à la présence d'une certaine proportion de manganèse, et est exclusivement employée à la fabrication de l'acier de forge ; cependant la présence du soufre peut aussi rendre les fontes blanches lamelleuses. Les fontes blanches sublamellaires le doivent souvent à du manganèse et sont alors employée à la fabrication de l'acier de forge. Les fontes blanches grenues sont ordinairement le produit d'un dérangement du fourneau, et dans ce cas elles donnent de très mauvais fer, ou bien elles résultent d'une surcharge en minerai. Ainsi, il existe beaucoup de fourneaux où l'on produit, suivant les besoins de l'usine, de la fonte grise de moulage ou de la fonte blanche d'affinage, en diminuant ou augmentant la charge en minerai.

Selon Roy, la fonte se dilate de 1/90 de 0° à 100° ; sa densité varie de 7,00 pour la fonte noire à 7,70 pour la fonte blanche la plus dense. La fonte est encore plus fusible que l'acier ; elle se dilate en se solidifiant, la fonte grise plus que la blanche, et elle se contracte ensuite, de sorte que le retrait définitif est d'environ 1/96 dans chaque dimension ; c'est cette précieuse propriété qui permet aux fontes de moulage de reproduire, avec une extrême netteté, les détails et les ornements les plus délicats des moules.

La fonte blanche est plus fusible que la fonte grise, mais elle reste toujours à l'état de fusion pâteuse, tandis que la fonte grise acquiert une grande fluidité.

Les fontes grises sont, comme nous l'avons dit, caractérisées par la présence du silicium en quantité notable, 1 à 4 p. 100 ; elles sont peu dures, se laissent forer et limer d'autant plus aisément que leur couleur est plus foncée, et s'aplatissent sensiblement sous le marteau avant de se rompre. Selon que la fonte présente ces caractères à un degré plus ou moins élevé, on dit qu'elle est plus ou moins *douce*. En général le soufre blanchit les fontes, ou au moins affaiblit leur teinte, les gueuses sont aussi criblées de soufflures à la surface ; ces fontes sont donc peu propres au moulage, et donnent à l'affinage des fers rouverains. Le phosphore diminue la ténacité des fontes, mais il rend celles-ci très fluides et préférables à toutes autres, sous le rapport du fini des pièces, au moulage des objets d'art, qui n'exigent pas, comme les pièces de machines, une grande résistance ; à l'affinage elles donnent du fer tendre cassant à froid ; aussi toutes les usines à fer, qui emploient des minerais phosphorés, marchent presque exclusivement en fonte de moulerie de première fusion, pour munitions de guerre, ornements en fonte, etc.

Les fontes blanches sont très dures et rayent le verre, mais elles sont très aigres et se laissent pulvériser. Il n'y a que la fonte blanche lamelleuse manganésée dont les caractères extérieurs ne changent pas par l'effet d'une solidification et d'un refroidissement très lent ; toutes les autres fontes blanches perdent, dans ce cas, leur éclat, et prennent une teinte grise plus ou moins prononcée. Réciproquement, en soumettant la fonte grise à un refroidissement brusque, ou la blanchit notablement. Ainsi, par exemple, on convertit souvent des fontes d'affinage, naturellement d'un gris clair, en fontes blanches sublamellaires ou grenues en les coulant *en coquille*, c'est-à-dire dans un moule métallique qui, étant bon conducteur du calorique, détermine une prompte solidification, que l'on précipite encore en jetant une assez grande quantité d'eau sur la coulée. On est dans l'habitude, en Allemagne, dans la plupart des hauts-fourneaux au charbon de bois, lorsque la fonte est trop graphiteuse pour le moulage en première fusion ou trop grise pour l'affinage (ce dernier cas est beaucoup plus rare que le précédent), d'arrêter le vent un peu avant la coulée, et d'introduire dans le creuset, par l'ouverture de la tuyère, une faible quantité de minerai de fer que l'on brasse avec la fonte, et qui, en se réduisant, brûle l'excès de carbone qu'elle renferme. Ce travail est assez long, très fatigant, et cause des arrêts qui, en diminuant la production journalière, augmentent les frais de l'usine ; aussi n'est-il pas à recommander, et il vaut beaucoup mieux augmenter la charge en minerai, en raison de la nature des produits que l'on veut obtenir, et faire varier, s'il est nécessaire, la composition du lit de fusion, de manière à obtenir des laitiers plus fusibles.

La ténacité des fontes est environ le quart de celle du fer forgé et le huitième de celle de l'acier trempé et en partie recuit ; mais leur résistance à l'écrasement est beaucoup plus considérable : elle est double pour la fonte grise et triple pour la fonte blanchie par un refroidissement brusque.

Le fer s'allie à la plupart des métaux, mais la plupart de ces alliages n'ont aucun emploi dans les arts ;

introduit cependant en petite quantité dans nombre d'alliages, il pourrait leur communiquer de précieuses qualités; presque toujours on a été arrêté par les difficultés de la fabrication, et des recherches dirigées avec soin et persévérance dans cette voie donneraient certainement des résultats d'une haute utilité (voyez ALLIAGES, BOUCHES A FEU, DAMAS, ÉTAMAGE).

Le fer forme avec l'oxygène quatre combinaisons qui sont aisément réduites, à l'aide de la chaleur, par l'hydrogène, le charbon, le soufre, et en général par toutes les matières combustibles.

Le *protoxyde de fer* est une base trop forte et en même temps trop avide d'oxygène pour qu'il puisse exister isolément; on ne connaît donc pas ses propriétés physiques. Son hydrate est blanc et s'altère spontanément au contact de l'air; il décompose l'eau lentement à la température ordinaire, et rapidement à l'aide de la chaleur. Les alcalis et les terres alcalines le précipitent de ses dissolutions; il est soluble dans l'ammoniaque. Le protoxyde de fer se compose de :

Fer.	0,7723	$Fe\,O$
Oxygène.	0,2277	

Le *peroxyde de fer* est opaque, d'un rouge-violacé en masse, et d'un rouge vif lorsqu'il a été porphyrisé; sa couleur est d'autant plus foncée et tire d'autant plus sur le violet qu'il a été plus fortement calciné; il n'est pas magnétique; il est infusible. Son hydrate est jaune-brun; il perd aisément son eau par la calcination.

Le peroxyde de fer fortement calciné ne se dissout facilement que dans les acides sulfurique concentrés et hydro-chlorique bouillants. L'hydrate natif se dissout en outre assez facilement dans l'acide oxalique bouillant; l'hydrate précipité est soluble dans tous les acides.

Le peroxyde de fer est une base faible isomorphe avec l'alumine; il se compose de :

Fer.	0,6934	$Fe^2\,O^3$
Oxygène.	0,3066	

On l'obtient très pur en calcinant au rouge du nitrate de fer.

L'*oxyde magnétique* est d'un noir pur, opaque; sa poussière est noire; il est éminemment magnétique et même très souvent magnéti-polaire. Il se fond sans se décomposer. On l'obtient en faisant passer de la vapeur d'eau sur du fer métallique chauffé au rouge. Il n'est attaquable que par les acides forts; les acides sulfurique et hydro-chlorique le transforment en un mélange de sels de protoxyde et de peroxyde, l'eau régale en sel de peroxyde.

En prenant deux parties égales d'un sel de protoxyde de fer, le sulfate vert par exemple, dissolvant l'une dans l'eau bouillante et faisant bouillir l'autre avec un mélange d'acides nitrique et sulfurique, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de vapeurs rutilantes, mélangeant alors les deux dissolutions et saturant par de l'ammoniaque, il se forme un précipité noir qui conserve sa couleur à l'air et qui est très magnétique; sa poussière est brune; il est susceptible de former des sels cristallisés que l'on doit regarder comme des sels doubles analogues aux aluns. Cet hydrate perd toute son eau par calcination, sans passer à un état d'oxydation plus élevé.

L'oxyde magnétique est composé de :

Fer. . . .	0,7178	$Fe^3\,O^4 = Fe\,O + Fe^2\,O^3$
Oxygène.	0,2822	

L'*acide ferrique* n'a pas encore été isolé. En fondant ensemble de l'oxyde de fer et du nitre, on obtient un ferrate de potasse, qui se décompose spontanément au contact de l'eau et même peu à peu dans l'air en donnant lieu à un dégagement d'oxygène tandis que le fer se sépare à l'état du peroxyde. Selon M. Frémy, qui a découvert cet acide, il est composé de :

Fer.	0,5312	$Fe\,O^3$.
Oxygène.	0,4688	

Enfin quelques auteurs regardent comme un oxyde particulier, qu'ils désignent sous le nom d'*oxyde des battitures*, la couche d'oxyde qui se forme à la surface du fer métallique, lorsqu'on chauffe ce dernier au contact de l'air; mais nous ne pouvons partager cette opinion, parce que ce produit n'offre pas une composition homogène dans toutes ses parties, et que la proportion d'oxygène qu'il renferme va sans cesse en augmentant, de la surface intérieure qui était en contact immédiat avec le fer métallique à la surface extérieure. Il est noir, luisant, un peu métalloïde, à structure cristalline ou grenue, très magnétique et fusible à une haute température. Il renferme moyennement 27 p. 100 d'oxygène.

Les *sels de protoxyde de fer* solubles sont d'un vert-pâle; leurs dissolutions un peu étendues sont sensiblement incolores; elles sont précipitées en vert sale par les alcalis et leurs carbonates; le précipité est soluble dans l'ammoniaque et les bi-carbonates; le carbonate de chaux ne les trouble pas, même à chaud. Les phosphates et arséniates alcalins les précipitent en blanc, et le précipité verdit à l'air; les oxalates les précipitent en jaune-serin; les sulfures alcalins en noir; le prussiate rouge de potasse en bleu; et le prussiate jaune en blanc, le précipité bleuit rapidement au contact de l'air. Les succinates et benzoates solubles ainsi que l'hydrogène sulfuré ne les troublent pas. Elles précipitent, à l'état métallique, l'or de sa dissolution dans l'eau régale, en passant à l'état de sels de peroxyde. Lorsqu'on traite par l'acide nitrique une dissolution d'un sel de protoxyde de fer, la liqueur reste noire tant qu'il y reste du protoxyde, parce qu'elle retient en dissolution le *bi-oxyde* d'AZOTE qui se forme; mais elle devient limpide dès que le fer est entièrement peroxydé.

Les *sels de peroxyde* ont généralement une réaction acide; les sels solubles sont bruns ou jaunes. Les alcalis, l'ammoniaque et leurs carbonates, et un grand nombre d'oxydes métalliques, en précipitent tout le fer à l'état d'hydrate de peroxyde hydraté d'un brun-jaunâtre. Il en est de même du carbonate de chaux, même à froid. Les phosphates et arséniates les précipitent en blanc-jaunâtre; les sulfures alcalins en noir; le prussiate jaune de potasse en bleu-intense; les succinates et benzoates, en brun, lorsqu'ils sont neutres; ils ne sont pas précipités par les oxalates et le prussiate rouge. L'hydrogène sulfuré les décolore et les ramène à l'état de sels de protoxyde, et il y a dépôt de soufre. L'acide sulfureux les réduit également au bout d'un certain temps à froid et presque instantanément à 100°. Lorsqu'on y ajoute une substance organique soluble dans l'eau et susceptible de se décomposer entièrement par l'action d'une chaleur élevée, on ne peut plus en précipiter le fer que par les sulfures alcalins et le prussiate jaune.

Les *ferrates* se décomposent spontanément au contact de l'eau en donnant lieu à un dégagement d'oxygène et à un dépôt de peroxyde de fer.

Les principaux sels de fer sont les suivants :

Le *proto-sulfure*, d'un jaune de bronze très sombre, très fragile, magnétique, indécomposable par la chaleur seule et fusible au rouge. Il s'effleurit à l'air humide et se change en sulfate de protoxyde. Il est facilement décomposé par le grillage. Les acides sulfurique et hydro-chlorique étendus le dissolvent avec dégagement d'hydrogène sulfuré pur, sans dépôt de soufre. Il se combine aisément par voie sèche avec les sulfures alcalins et les autres sulfures indécomposables par la chaleur. On le prépare aisément en projetant du fer dans du soufre fondu, ou en jetant du soufre sur du fer

chauffé au rouge, puis chauffant jusqu'au blanc pour chasser l'excès de soufre. Il correspond au protoxyde et se compose de :

Fer.	0,6277	FeS.
Soufre.	0,3723	

Il se produit très fréquemment dans les opérations métallurgiques, il constitue ce que l'on appelle *mattes ferrugineuses*, et il se trouve en proportion plus ou moins considérable dans toutes les autres *mattes*.

Le *persulfure de fer* est un bi-sulfure qui contient :

Fer.	0,4574	FeS^2.
Soufre. . . .	0,5426	

Il est très abondant dans la nature; il s'y rencontre également combiné avec du protosulfure, à l'état de *pyrite magnétique*. (Voyez aux *Minerais : pyrites*).

Le *sulfate de protoxyde de fer* ou *vitriol vert*, est un sel soluble et cristallisable, très employé surtout pour le chaulage des blés, la désinfection des fosses d'aisances, la purification du gaz d'éclairage, etc. Nous reviendrons sur sa préparation et ses propriétés à l'article ALUN. En le torréfiant légèrement, on le convertit en sulfate sesqui-basique de peroxyde de fer, dont on extrait par distillation de l'*acide* SULFURIQUE *fumant* dit *de nordhausen*.

Le *protochlorure* anhydre est à peine coloré en masse, fusible et volatil au rouge; il s'obtient en faisant passer de l'acide hydro-chlorique gazeux et sec sur du fer métallique chauffé au rouge, ou en chauffant en vases clos un mélange d'oxyde de fer et de sel ammoniac. Il est déliquescent ; sa dissolution que l'on peut préparer directement, donne par la concentration et le refroidissement des cristaux hydratés d'un vert-pâle, qui se décomposent par l'action de la chaleur. Le sel anhydre est composé de :

Fer.	0,434	$FeCl^2$.
Chlore. . . .	0,566	

Le *perchlorure de fer* est d'un brun-rouge métalloïde très déliquescent et plus volatil encore que le protochlorure. Il correspond au peroxyde de fer et se compose de :

Fer.	0,340	Fe^2Cl^6.
Chlore. . . .	0,660	

Son hydrate est décomposé par l'action de la chaleur.

On ne connaît aucun moyen pour préparer le *carbonate de fer anhydre*, mais il se rencontre en abondance dans la nature. Quand on verse un carbonate alcalin dans une dissolution de protoxyde de fer, il se fait un précipité blanc qui verdit promptement, et jaunit ensuite à l'air en absorbant de l'oxygène. Ce précipité blanc est soluble dans le sel ammoniac. Quand le précipité est devenu tout à fait brun-jaune, on lui donne le nom de *safran de mars apéritif*. C'est alors, d'après M. Soubeiran, un mélange d'hydrate et de carbonate de peroxyde de fer, dans lequel la proportion du carbonate devient de plus en plus faible.

L'*oxalate de protoxyde de fer* est pulvérulent, d'un très beau jaune-serin, inaltérable à l'air, insoluble dans l'eau, mais légèrement soluble dans l'acide oxalique, avec lequel il forme un sel acide cristallisable en grains verts.

L'*oxalate de peroxyde* est très soluble dans l'eau et l'alcool ; les dissolutions étendues sont jaunes et concentrées, d'un vert-bouteille foncé ; il forme avec l'oxalate d'ammoniaque un sel double soluble que l'on peut obtenir en beaux cristaux vert-pomme.

L'*acétate de peroxyde* est rouge, incristallisable, employé dans la teinture. On le remplace presque toujours par le *pyro-lignite de fer* ou *bouillon noir*, dont nous avons décrit la préparation à l'article *acide* ACÉTIQUE.

Voir, pour les *prussiates jaune* et *rouge*, et le BLEU DE PRUSSE, à ce dernier mot.

Minerais de fer.

Parmi les nombreux minéraux dont le fer est l'élément essentiel, les principaux sont :

Le *fer météorique* qui constitue les aérolithes, et se compose essentiellement de fer métallique, souvent en partie oxydé, renfermant un peu de nickel et quelquefois du cobalt et du chrôme.

Le *peroxyde de fer anhydre* très abondant dans la nature et se présentant sous l'un des quatre états suivants :

1° Le *fer oligiste*, en cristaux, quelquefois considérables, dérivant d'un rhomboèdre très voisin du cube, d'un noir métallique très brillant et souvent irisés. La forme de ces cristaux est souvent celle de grandes tables hexagonales ; leur poussière est rouge ; leur densité est de 5,00 à 5,20. Son gisement le plus remarquable est à l'île d'Elbe (voyez MINES) ;

2° Le *fer micacé* ne diffère du précédent qu'en ce que les cristaux sont très petits et sous la forme de paillettes hexagonales ;

3° L'*hématite rouge* se présente en masses mamelonnées fibreuses, très dures, d'un rouge sombre, souvent métalloïde à la surface ; cette variété est fréquemment mélangée d'oxyde de manganèse, et devient alors d'un rouge-brun presque noir ;

4° Le *fer oxydé rouge compacte, granulaire*, ou *terreux*, qui forme des masses compactes, sans éclat, à cassure grenue ou terreuse, ou en grains accolés, sphériques ou aplatis, à cassure souvent fibreuse ; leur poussière est rouge.

Pur, le peroxyde de fer anhydre renferme 69,34 p. 100 de fer métallique.

Le *peroxyde de fer hydraté* est encore plus répandu que le peroxyde anhydre ; il est brun ; sa poussière est d'un brun tirant sur le jaune ; sa densité est de 3,9 ; il perd son eau par calcination et devient rouge. Pur, il contient 59,15 p. 100 de fer métallique. Les principales variétés sont :

L'*hématite brune*, en masses mamelonnées, à cassure fibreuse brune, et souvent noire, par un mélange de peroxyde de manganèse hydraté terreux.

Le *fer oxydé hydraté en roche*, compacte ou terreux, en fragments irréguliers, d'un brun tirant plus ou moins sur le jaune. Ordinairement de très bonne qualité. Comme variété, nous citerons le *minerai des prairies*, qui renferme constamment une certaine quantité de phosphate de fer, lequel lui donne souvent une teinte bleuâtre passant à l'olivâtre au contact prolongé de l'air ; c'est un mauvais minerai qui donne du fer tendre, et n'est guère employé que pour la fabrication des fontes de moulage de première fusion.

Le *fer oxydé hydraté granulaire*, qui constitue la plus grande partie des minerais de France, et se divise : 1° en *minerai oolithique*, appartenant à la formation oolithique, où il se trouve en couches, composées de petits grains réunis par un ciment calcaire ou ferrugineux ; ce minerai n'est jamais riche et donne presque toujours de mauvaise fonte, parce qu'il contient ordinairement de l'acide phosphorique ; 2° en *minerai en grains* plus ou moins gros, quelquefois agglutinés par une pâte ferrugineuse à peu près de même composition, mais le plus souvent enveloppés d'argile, dont il est facile de les séparer par le débourbage ; ce minerai est ordinairement de très bonne qualité, et se trouve remplissant des poches ou des crevasses dans les terrains tertiaires ou les terrains d'alluvion.

Les argiles colorées par du peroxyde de fer anhydre ou hydraté, en proportion trop faible pour constituer un véritable minerai de fer, portent le nom d'*ocre rouge* ou d'*ocre jaune* (voir ARGILE).

L'oxyde de fer magnétique ou *fer oxydulé* forme souvent des couches extrêmement épaisses, ou des amas considérables, dans les terrains anciens. Pur, il est d'un noir grisâtre, un peu métalloïde; sa poussière est d'un gris foncé sans mélange de rouge; il est magnétique et très souvent magnéti-polaire; il constitue alors l'aimant naturel. Il se trouve cristallisé ou en masses grenues et lamellaires; il cristallise en octaèdre régulier. Sa densité est de 5,10. Pur, il renferme 71,8 p. 100 de fer métallique. Il contient fréquemment une proportion variable de titane oxydé.

On distingue deux variétés de *carbonates de fer* : le fer carbonaté spathique et le fer carbonaté des houillères.

Le *fer carbonaté spathique* ne se rencontre que dans les terrains primitifs et de transition; quand il est pur, il est d'un blanc un peu blond et nacré; mais il prend souvent une teinte jaunâtre ou brune plus ou moins foncée, par suite d'un commencement de décomposition. Il cristallise en rhomboèdres de 107°, et se présente ordinairement en masses lamellaires; sa densité varie de 3 à 3,8. Il renferme toujours une certaine proportion de carbonate de manganèse ou de magnésie, et quelquefois aussi du carbonate de chaux. Pur, il renfermerait 47,47 p. 100 de fer métallique. Il est facilement soluble dans les acides; il raie la chaux carbonatée, et est rayé par l'arragonite (modification isomérique de la chaux carbonatée, qui jouit de propriétés physiques différentes).

Le carbonate de fer se décompose complétement à la chaleur blanche; il se dégage un mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, et le résidu contient à la fois du peroxyde de fer et de l'oxyde magnétique. Il se décompose lentement à l'air, et même dans l'intérieur des filons; il brunit d'abord, et il finit par se transformer en un mélange de peroxyde et d'hydrate de peroxyde sans changer de forme. Il paraît que, lors de cette décomposition, le carbonate de magnésie passe à l'état de bi-carbonate soluble, qui est entraîné par les eaux. Les fers spathiques arrivés au dernier point de leur décomposition spontanée portent le nom de *mines douces*, et sont alors très recherchés, parce que ce sont des minerais très riches et d'excellente qualité.

Le *fer carbonaté des houillières* ou *fer carbonaté lithoïde* se trouve principalement dans le terrain houiller. Tantôt il y forme des couches minces et bien réglées : il est alors presque toujours pauvre; tantôt il se trouve disséminé en rognons arrondis de toutes grosseurs dans la houille et les argiles qui l'accompagnent. Ces rognons sont fort riches; leur centre est souvent occupé par de la houille, de la chaux carbonatée laminaire ou des pyrites. Ce minéral est d'un gris plus ou moins foncé pouvant aller jusqu'au noir; sa cassure est compacte, quelquefois grenue ou oolithique. Il contient ordinairement du carbonate de chaux, de magnésie et de manganèse, mais en proportion beaucoup moindre que le fer spathique. Il est intimement pénétré d'argile bitumineuse et même de houille. Il contient presque toujours une certaine quantité de phosphate de chaux ou de fer, et il est mêlé mécaniquement de pyrites de fer, quelquefois de galène et de blende. C'est presque le seul minerai exploité en Angleterre, et c'est à son abondance sur les lieux mêmes où s'exploite la houille, que ce pays doit le développement immense qu'y a pris la fabrication du fer.

La *chamoisite* est un hydro-silicate de fer compacte, d'un gris foncé verdâtre, à cassure inégale, quelquefois grenue et presque terreuse, assez dure et très fortement magnétique. Elle fait gelée avec les acides. Sa densité est de 3 à 3,4; elle contient 46,7 p. 100 de fer métallique. On la trouve, dans le Valais, en couches peu étendues, mais épaisses, dans un calcaire coquiller grisâtre; on l'exploite pour les usines du pays et elle produit d'excellent fer.

Pyrites. Les combinaisons du fer avec le soufre portent le nom de pyrites. On en distingue trois espèces : la pyrite jaune, la pyrite blanche et la pyrite magnétique.

La *pyrite jaune* est très abondamment répandue dans la nature; elle est d'un jaune de laiton métallique. Ordinairement cristallisée en cubes ou en masses globulaires rayonnées. Sa densité est de 4,83. Elle fait feu au briquet. Calcinée, elle donne du soufre. Elle est inattaquable par l'acide hydro-chlorique. C'est un bisulfure de fer $Fe S^2$.

La *pyrite blanche* a exactement la même composition que la pyrite jaune, mais elle en diffère totalement par ses formes cristallines qui dérivent d'un prisme rhomboïdal droit dont l'angle est de 106°. Sa densité est de 4,75. Elle est d'un jaune beaucoup plus pâle que la précédente; elle se trouve dans les mêmes gisements, mais elle y est moins abondante; elle est plus rarement cristallisée, et forme plutôt des boules et des rognons dans les argiles et marnes des terrains à lignites. Elle s'effleurit aisément à l'air et se convertit en sulfate, propriété qui est utilisée en grand pour la fabrication du sulfate de fer et de l'alun; il suffit de laisser les lignites terreux et les schistes pyriteux s'effleurir à l'air, de les lessiver, et de faire cristalliser, en ajoutant toutefois des sels de potasse lorsqu'il s'agit d'obtenir de l'alun.

La *pyrite magnétique* est d'un jaune de bronze foncé, à cassure inégale et attirable à l'aimant; sa densité est de 4,5 à 4,6; elle cristallise en prismes hexagones réguliers. Elle se trouve dans les terrains primitifs et de transition, et est beaucoup plus rare que les précédentes. C'est un mélange de bisulfure et de protosulfure de fer représenté par la formule $Fe S^2 + 6 Fe S$.

L'altération des pyrites, dans les mines, donne lieu à du sulfate neutre de protoxyde et à plusieurs sous-sulfates de peroxyde qui n'ont d'intérêt que pour les minéralogistes.

Le *fer phosphaté* est toujours à l'état d'hydrate d'un gris clair ou incolore, mais il bleuit promptement au contact de l'air. Il ne se rencontre jamais en grandes masses; mais il se trouve souvent mélangé en petite quantité dans un grand nombre de minerais, qui donnent alors du fer cassant à froid.

Le *mispickel* est un arsénio-sulfure d'un gris-blanc métallique à cassure grenue que l'on trouve dans les terrains anciens. Sa densité est de 5,6. Au chalumeau, sur le charbon, il dégage une fumée épaisse d'arsenic et se fond en une boule qui offre l'apparence de la pyrite magnétique.

Les *arséniates de fer* sont assez rares, ordinairement cristallisés, d'un vert plus ou moins foncé, et donnent au chalumeau les mêmes réactions que le mispickel.

Préparation mécanique des minerais de fer. Les seuls minerais qui soient employés pour la fabrication du fer, sont les divers oxydes et les carbonates. Les minerais de fer oxydé magnétique, de fer oxydé rouge et de fer oxydé hydraté en roche sont ordinairement fondus tels qu'ils arrivent de la mine, après avoir été concassés en morceaux sous les pilons d'un bocard ou à l'aide d'un marteau à main. Les minerais en grains sont exposés à l'air pendant quelque temps pour permettre à l'argile qui les enveloppe de se déliter, ainsi que les pyrites qu'ils peuvent renfermer et qui se transforment en sulfates solubles, puis lavés, soit dans des espèces de paniers à claire-voie suspendus à une perche élastique, que l'on remplit de minerai et que l'on fait osciller dans l'eau qui entraîne les parties argileuses, soit dans des *patouillets*, machines très simples que la simple inspection du dessin que nous donnerons à l'article MÉTALLURGIE fera mieux comprendre que la description que nous pourrions en donner ici; enfin on soumet les fers carbonatés spathique et lithoïde et quelquefois les minerais de fer oxydé hydraté à un grillage ou plutôt à une

calcination, qui a pour but d'étonner les gangues et de chasser les matières volatiles qu'ils renferment tels que l'eau, l'acide carbonique, les matières bitumineuses, etc. Cette opération s'exécute soit en tas à l'air libre, soit le plus souvent dans des fours intermittents ou continus qui ont la plus grande analogie avec les fours employés pour la cuisson de la chaux. Il faut que la température soit peu élevée et ne dépasse pas le rouge; sans cela l'oxyde de fer réagirait sur les gangues et formerait avec elles des scories fusibles. Il convient, après le grillage, de laisser les minerais exposés en tas à l'air libre, pendant plusieurs mois et même plus s'il est possible; les pyrites sont ramenées, par la calcination, à l'état de protosulfure qui s'effleurit et qui est entraîné par les eaux pluviales, de sorte que la qualité du minerai s'améliore en proportion du temps qu'il est resté exposé à l'air.

En France, sur 1000^{k} de minerai traités dans l'ensemble des usines à fer de ce pays, il y en a 170^{k} de minerai brut, 740^{k} de minerai lavé et 90^{k} de minerai grillé; en Angleterre, au contraire, où la presque totalité du minerai est du *fer carbonaté lithoïde*, la proportion du minerai grillé est de 960^{k} sur 1000^{k}.

Teneur des minerais de fer. En Angleterre, la teneur moyenne des minerais grillés est de 40 p. 100 de fer métallique; en France, celle des minerais lavés est de 36 p. 100.

Prix de revient des minerais de fer. En Angleterre, ce prix varie avec celui de la fonte, de 1^{f}, 50 à 2^{f}, 50 les 100^{k}. En France, il est moyennement de 1^{f}, 32 rendu aux usines; dans ce prix, l'exploitation proprement dite entre pour 0^{f}, 37, le lavage pour 0^{f}, 33, le grillage pour 0^{f}, 02 et les transports pour 0^{f}, 59.

Essai des matières ferrugineuses. On fait les essais de fer à la plus haute température que l'on puisse produire dans les fourneaux d'essai, en chauffant les matières à essayer avec un flux convenable, dans un creuset en terre nu, ou mieux dans un *creuset brasqué* (voyez CREUSETS). Lorsqu'on opère dans des creusets nus, il faut nécessairement ajouter au mélange une certaine quantité de charbon pour réduire l'oxyde de fer, et il faut en ajouter un excès parce que l'air qui pénètre dans les creusets en brûle une partie; mais, si l'on en met trop, il peut arriver que l'excédant non brûlé porte obstacle à la réunion de la fonte en un seul culot. Dans les creusets brasqués, la présence même de la brasque dispense d'ajouter du charbon au mélange; elle permet de recueillir et de peser avec exactitude le culot entier, parce que d'un côté il ne contracte aucune adhérence avec le charbon, et que de l'autre aucune substance étrangère ne s'introduit dans la scorie, qui ne se compose par conséquent que des gangues ou matières mélangées avec de l'oxyde de fer et des parties fixes du flux ou fondant ajouté. D'ailleurs les creusets brasqués résistent mieux que les creusets nus, parce que la brasque soutient les parois au moment où elles se ramollissent. On doit donc préférer, pour les essais de fer, l'emploi des creusets brasqués.

Après que la matière ferrugineuse a été pilée et tamisée, on en prend un certain poids que l'on mélange exactement, sur une feuille de papier verni, avec un poids déterminé du flux convenable. On introduit avec précaution le tout dans le creuset; on y tasse légèrement la matière, et on fait tomber au fond, à l'aide d'une barbe de plume, les particules qui ont pu s'attacher aux parois; on remplit enfin le creuset de brasque tassée; on le lute sur un fromage, on y adapte un couvercle, et on le place dans le fourneau d'essai. Ce dernier est, soit une forge à tuyères, comme la *forge de selfstræm* (voyez DOCIMASIE), soit un fourneau à vent de même forme que ceux employés pour la fabrication de l'acier fondu mais de dimensions beaucoup moindres.

L'essai terminé, on retire les creusets du feu, on les laisse refroidir, et on les casse pour en retirer le culot qui n'a aucune adhérence pour la brasque. On le pèse entier; puis, en frappant légèrement dessus, on en détache aisément le culot de fonte; mais comme la scorie, même lorsqu'elle est parfaitement fondue, présente presque toujours à sa surface une quantité variable de grenailles de fonte, on la concasse grossièrement, on trie les morceaux qui ne renferment pas de grenailles, on réduit le reste en poudre, et en promenant un barreau aimanté dans cette poudre, on en extrait tous les grains de fonte, que l'on réunit au culot métallique; on pèse ce dernier, et en en retranchant le poids du culot total, on a, par différence, le poids exact de la scorie.

Dans le procès-verbal d'essai qu'il convient toujours de rédiger, il faut noter avec soin l'aspect du culot total, et décrire séparément les caractères de la scorie et de la fonte, parce que cela donne des indices sur la nature des substances contenues dans la matière ferrugineuse soumise à l'essai. On doit examiner si la scorie est compacte ou bulleuse; vitreuse, émaillée ou pierreuse; transparente, translucide ou opaque; si elle présente des indices de cristallisation; quelle est sa couleur par réflexion ou par réfraction dans les éclats minces, ou si elle présente des nuances qui indiquent qu'elle n'est pas homogène; un enduit métallique d'un rouge de cuivre, recouvrant la scorie, indique la présence du titane dans le minerai. Quant à la fonte, il faut la casser pour reconnaître sa ténacité et pour examiner son grain : cela est souvent très difficile; mais on y parvient néanmoins toujours, en enveloppant le culot dans une feuille de tôle mince ou de fer-blanc, le plaçant sur une enclume et frappant dessus à grands coups de marteau. Les fontes de bonne qualité s'aplatissent toujours un peu avant de se rompre; elles sont d'un gris plus ou moins clair et à grains fins ou moyens. Les mauvaises fontes se cassent facilement et sans changer de forme; il y en a même que l'on peut pulvériser; elles sont cristallines à la surface, blanches, lamelleuses, et souvent remplies de cavités remplies de cristaux; les fontes manganésées, qui présentent également une partie de ces caractères, donnent ordinairement une scorie tirant sur le jaune ou l'améthiste.

Avant de faire l'essai comme il vient d'être dit, il convient, pour arriver à une connaissance aussi exacte que possible de la matière à essayer, de la soumettre à quelques opérations très simples que nous allons décrire. On calcine et on grille un poids connu de minerai pour chasser l'eau, l'acide carbonique, les matières bitumineuses, et ramener le fer à l'état de peroxyde lorsqu'il n'est pas à l'état de silicate. On traite, par l'acide acétique ou l'acide nitrique faible et à froid, les minerais à gangue calcaire, pour dissoudre les carbonates de chaux et de magnésie par différence, en pesant le résidu de l'attaque après dessiccation. On traite ensuite par l'acide hydro-chlorique bouillant, ou mieux encore par l'eau régale, qui laisse les matières insolubles dans les acides, ordinairement du quarz ou de l'argile que l'on pèse; on remarquera que l'acide hydrochlorique attaque presque toujours plus ou moins les argiles. Lorsque les matières à essayer renferment du fer titané, on les traite par l'acide sulfurique concentré, qui ne laisse que les gangues pierreuses.

Ces essais préliminaires permettent de déterminer la nature et la proportion du fondant qu'il convient d'ajouter dans l'essai par voie sèche. Ordinairement on a le choix entre divers fondants; mais si l'on veut vérifier l'exactitude de l'essai et se rapprocher autant que possible des procédés industriels, il est indispensable d'employer un flux fixe, ou qui contienne une proportion rigoureusement déterminable de substances volatiles,

FER.

que l'on détermine avec soin en le calcinant fortement à part.

Soient maintenant : A, le poids de la matière ferrugineuse non calcinée ou *crue;* B, le poids de la même matière calcinée; C, le poids total des fondants crus ajoutés; D, le poids des mêmes fondants calcinés; le poids des matières insolubles dans l'acide hydro-chlorique ou sulfurique; R, le poids des matières fixes, solubles dans l'acide acétique, poids que l'on calcule aisément lorsqu'on connaît la perte qu'éprouve par calcination la matière ferrugineuse crue, et le poids du résidu du traitement de cette matière par l'acide acétique; M, le poids du culot de fonte et des grenailles; S, le poids de la scorie; et O, la perte de poids dans l'essai, qui représente la quantité d'oxygène dégagée par la réduction. On disposera ces quantités de la manière suivante, indiquée par M. Berthier dans son excellent Traité des essais par la voie sèche :

On a soumis à l'essai,

A minerai cru = minerai calciné. . . . . B
On a ajouté C fondants crus = matières fixes. . D

Total des matières fixes. . . B+D

On a obtenu. . . . . Fonte — M, Scorie — S } Total. M+S

Perte. O

Fondants ajoutés. . . . . D
Matières vitrifiables. . . . . S—D

Matières insolubles dans l'acide hydro-chlorique. . . . . T

Matières solubles dans l'acide hydro-chlorique. . . . . S—D—T
Matières solubles dans l'acide acétique. . . . . R
Matières insolubles dans l'acide acétique et solubles dans l'acide hydro-chlorique. . . . . S—D—T—R

Lorsque le fer contenu dans la matière à essayer est à un degré connu d'oxydation, et que cette matière ne renferme qu'une faible quantité d'oxyde de manganèse, la quantité d'oxygène O doit correspondre à très peu près à la quantité de fonte M, et si cela a lieu, on est assuré que l'essai doit être exact. Lorsque cette perte O a été déterminée avec soin, elle fait connaître très approximativement la teneur en fer, quand bien même, par suite d'une chaleur trop faible ou trop peu prolongée, ou de l'emploi de flux non appropriés, l'essai n'aurait pas fondu ou n'aurait qu'imparfaitement fondu. Les essais se font ordinairement sur 10 à 20 grammes de minerai.

Pour mieux faire comprendre ce qui précède, nous prendrons un exemple particulier, pris dans les minerais les plus abondants, les hydrates à gangue argileuse :

Fer oxydé hydraté compacte d'Ernée (Mayenne). Il perd par calcination 0,106 d'eau, et laisse après l'attaque par l'acide hydro-chlorique 0,066 de quarz et d'argile :

10gr de minerai cru = minerai calciné. 8gr,90
0gr,44 de carbonate de chaux = chaux. . . . 0gr,24
9gr,18

Ont donné. . . . . Fonte 5gr,81, Scorie 0gr,95 } Total. . . 6gr,76

Fondant ajouté. . . . . 0gr,24 — Oxygène 2gr,42

Matières vitrifiables. . . . 0gr,74
Matières insolubles. . . . 0gr,66

Matières solubles. . . . 0gr,05 (c'était de l'alumine).

La fonte était gris clair et assez tenace. La scorie était vitreuse, transparente et couleur de quarz enfumé. La perte en oxygène de 2,42 correspond, à raison de 42 d'oxygène pour 100 de fonte, à 57,6 de fonte; l'essai en a donné 58,1.

Quelle que soit la nature d'une matière ferrugineuse, on peut toujours en déterminer la fusion à l'aide du borax, dont on ajoute de 10 à 30 p. 100, suivant que la matière est plus ou moins riche. Ce mode d'essai est par conséquent commode, et souvent employé lorsqu'on veut seulement déterminer la richesse du minerai; mais le borax étant volatil, on est privé de tout moyen de vérification, et ce flux a en outre l'inconvénient de communiquer à la fonte des caractères différents de ceux qu'elle aurait eus en faisant l'essai avec des flux terreux, tels que ceux employés dans les mines. *Ces derniers flux peuvent se réduire à trois*, le carbonate de chaux, les argiles et le quarz. Leur choix est basé sur la connaissance de la nature et de la proportion approximative des gangues, et on s'arrange toujours de manière à produire une scorie fusible. Sous ce rapport, on peut diviser les matières ferrugineuses à essayer en 5 classes : 1° les matières presque pures, telles que les oxydes compactes et en masse, les battitures, etc., que l'on peut, à la rigueur, essayer sans addition, mais auxquelles il convient cependant d'ajouter un verre terreux fusible par lui-même, tel que celui que l'on obtient avec 3 parties d'argile et 2 parties de carbonate de chaux, afin de faciliter la réunion des grenailles de fonte en un seul culot; 2° les matières à gangue presque exclusivement quarzeuse, certains minerais oxydés, par exemple, auxquelles il faut ajouter environ le poids de cette gangue d'argile alumineuse et 1 fois à 1 fois 1/2 la même quantité de carbonate de chaux; 3° les matières à gangue argileuse ou siliceuse renfermant diverses bases, mais peu ou point de chaux; c'est le cas de la plupart des minerais en grains, des minerais carbonatés, des minerais qui ont pour gangue des roches primitives, des scories d'affinage, etc.; elles fondent très bien avec addition de 2 parties de carbonate de chaux par 3 parties de gangue; 4° les matières calcaires ou alumineuses, renfermant peu ou pas de silice, tels que les minerais oolithiques, les fers spathiques, quelques minerais hydratés alumineux, etc.; lorsque ces matières sont calcaires, on emploie comme fondant de l'argile siliceuse; et lorsqu'elles sont alumineuses, on se sert d'un mélange de quarz ou d'argile et de carbonate de chaux, ou d'argile marneuse, ce qui revient au même; et 5° les matières qui renferment de la silice et diverses bases susceptibles de former un verre terreux fusible, telles que quelques minerais hydratés, la chamoisite, les laitiers des hauts-fourneaux, les scories des forges catalanes et des cubilots, etc... On les essaie sans addition.

Lorsque l'on a un grand nombre d'essais de fer à faire, il peut être plus court, et il est certainement plus exact d'opérer par le procédé suivant, dû à M. Ebelmen : On attaque le minerai par l'acide hydro-chlorique auquel on ajoute un peu d'acide nitrique, si tout le fer n'est pas à l'état de peroxyde, on évapore à sec, on reprend par de l'acide hydro-chlorique étendu d'eau et on filtre; les gangues terreuses, quarz et argile restent sur le filtre; on étend d'eau la liqueur filtrée après l'avoir introduite dans un flacon assez grand, on la maintient à 40 ou 50°, et on y fait arriver de l'acide sulfureux, au moyen d'une dissolution concentrée à froid de cet acide préparée d'avance et contenue dans une fiole sous laquelle on place quelques charbons; le col de cette fiole est fermé par un bouchon que traverse un tube recourbé qui conduit le gaz acide sulfureux dans la dissolution hydro-chlorique; aussitôt que cette dernière, auparavant d'un beau jaune, est entièrement décolorée, par suite de la réduction du perchlorure de fer à l'état de protochlorure, on arrête le dégagement

gazeux, et l'on fait bouillir la dissolution pour chasser l'excès d'acide sulfureux jusqu'à ce que toute odeur de ce gaz ait complétement disparu. Il reste dans la liqueur de l'acide sulfurique dû à l'oxydation de l'acide sulfureux qui a effectué la réduction du perchlorure de fer en protochlorure; on dose cet acide en ajoutant du chlorure de baryum, qui le précipite à l'état de sulfate que l'on recueille sur un filtre, que l'on calcine et que l'on pèse; ce poids, multiplié par 0,465 ou par 0,670, donne celui du fer métallique ou du peroxyde de fer contenu dans la matière essayée; le manganèse et l'alumine ne donnent qu'une seule série de sels, leur présence n'affecte nullement l'exactitude des résultats obtenus.

Disons maintenant quelques mots sur l'analyse des fers, fontes et aciers. on les laisse digérer avec du brôme ou de l'eau et de l'iode en excès, tout le fer se dissout, et il reste le carbone et le silicium à l'état de silice; on lave le résidu, on le dessèche, on le pèse, on le grille pour brûler le carbone on le pèse de nouveau, et on a ainsi la silice et, par suite, le silicium, et, par différence, le carbone total. On traite une autre partie du métal par l'acide hydro-chlorique, le carbone combiné se dégage à l'état d'hydrogène carboné, et le résidu que l'on traite comme le précédent contient de la silice et le carbone à l'état de graphite, non combiné, dont la présence constitue les fontes grises et noires. On a, par différence, la quantité de carbone qui entre dans la fonte à l'état de combinaison.

TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE.

Dans les premiers temps, on extrayait directement le fer de ses minerais en une seule opération. Cette méthode, encore usitée dans les Pyrénées et la Corse, ne peut être appliquée qu'à certaines variétés de minerais riches et d'une nature particulière. Voy. FORGES CATALANES. Plus tard, on fondit les minerais riches à gangue fusible, dans des fourneaux de 3 à 4^{m} de hauteur, à poitrine fermée, pour former une loupe de dimensions voulues, par un petit mur en briques que l'on démolissait à chaque opération, pour enlever la loupe de fer en partie affiné produite; on terminait l'affinage en refondant le fer de loupe avec des battitures et des scories riches de l'affinage même dans un bas foyer, puis portant la nouvelle loupe sous le marteau. Cette dernière méthode, qui n'est plus usitée que dans quelques usines de la Thuringe, y est même actuellement presque abandonnée et remplacée par l'emploi de petits hauts fourneaux de 7 à 8^{m} de hauteur, à poitrine formée, qui donnent des fontes manganésées, qui sont ensuite affinées pour le fer par la méthode allemande, ou pour ACIER. (Voy. ACIER).

Depuis longtemps on fond les minerais de fer pour séparer les matières terreuses à l'état de *laitiers*, et en retirer de la fonte que l'on soumet ensuite à l'affinage pour la transformer en fer. Cette méthode, qui a l'avantage de s'appliquer à tous les minerais de fer, présente une grande économie de main-d'œuvre, ainsi que de combustible dans la plupart des cas. Traitons donc de la fabrication de la fonte.

FABRICATION DE LA FONTE.

Nous envisagerons successivement dans la fabrication de la fonte :

1° Le matériel;
2° Le personnel;
3° Les matières premières;
4° La nature des produits;
5° La conduite des hauts-fourneaux;
6° La théorie de l'opération;
7° Les conditions économiques de la fabrication;
Et 8° Les divers perfectionnements introduits dans ces dernières années dans la fabrication de la fonte.

MATÉRIEL. *Hauts-fourneaux.* Avant d'entrer dans quelques détails sur la construction des hauts-fourneaux, il est indispensable de faire connaître le nom de leurs diverses parties, ce que nous ferons à l'aide des fig. 835 et 836 : D, est le gueulard par lequel on jette le minerai et le combustible dans le fourneau; le vide intérieur de ce dernier est formé par deux troncs de cônes renversés C D, B C, la *cuve* et les *étalages*, réunis par leur plus grande base, suivant une conférence C qui porte le nom de *centre*. L'*ouvrage* est la portion du vide intérieur qui s'étend depuis les tuyères T jusqu'à la naissance des étalages B; cependant, on comprend aussi quelquefois sous ce nom toute la partie du fourneau comprise entre la sole A et les étalages B; le *creuset* est la partie du fourneau placée au-dessous des tuyères; la partie extérieure du creuset *c* (fig. 836) porte le nom d'avant-creuset. L'avant-creuset est fermé par un petit mur incliné recouvert d'une plate de fonte ou *dame d*, par-dessus laquelle s'écoulent les laitiers; la face opposée à la dame porte le nom de *rustine*. Le recouvrement ménagé sur la partie du creuset qui s'avance hors du fourneau s'appelle la *fausse tympe a*; il est soutenu et protégé à l'endroit où s'échappe la flamme par deux pièces de fonte, la *tympe* et le *tacret b*. On introduit le vent dans l'intérieur du fourneau, au moyen d'une ou plusieurs ouvertures T, T, qui portent le nom de *tuyères*; on donne le nom de *costières* aux deux faces de l'ouvrage sur lesquelles sont placées les tuyères; dans les fourneaux qui n'ont qu'une seule tuyère, comme c'est le cas d'un grand nombre de fourneaux au charbon de

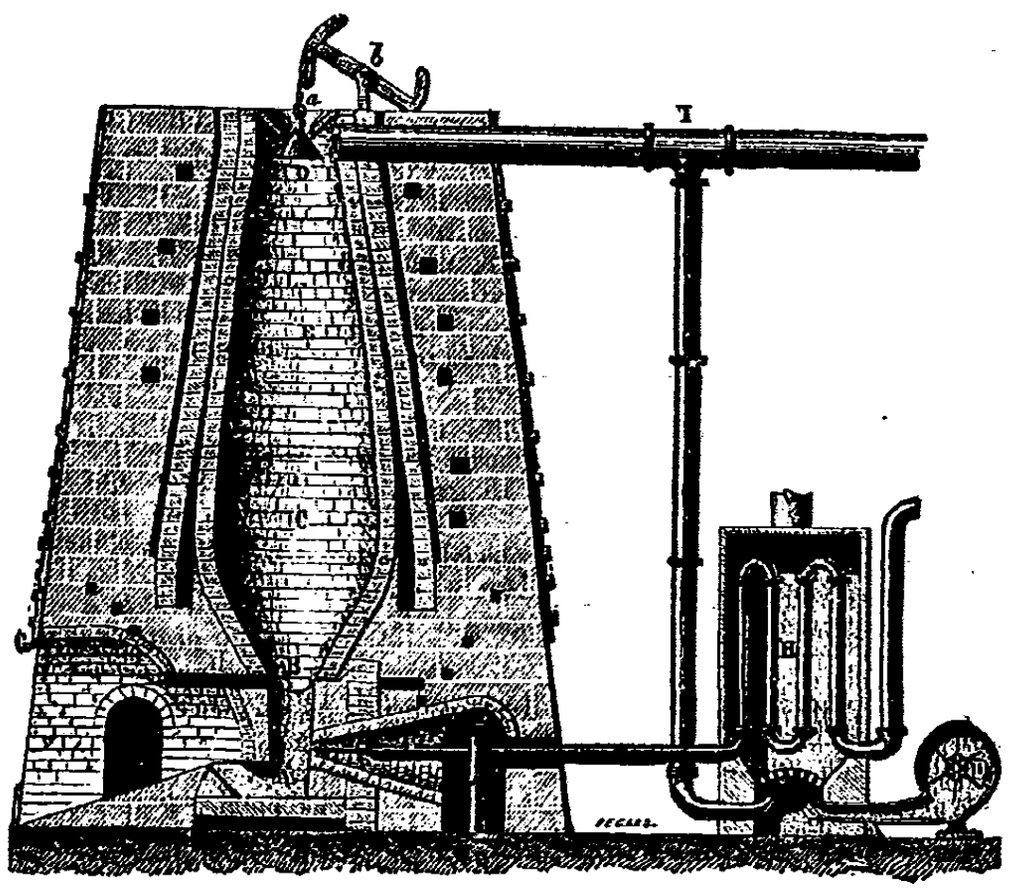


Fig. 835.

bois, on appelle *contrevent* la paroi qui lui fait face. E E, la chemise du vide intérieur se construit avec les matériaux les plus réfractaires que l'on puisse se procurer; on la sépare du massif du fourneau, construit ordinairement en briques communes, par un espace vide que l'on remplit, soit avec du sable assez gros, soit avec du menu bois qui, en se carbonisant, laisse bientôt un résidu de charbon un peu élastique, de manière à ce que la chemise puisse se dilater sous l'action de la chaleur, sans entraîner avec elle le massif, qui, ayant une température rapidement décroissante du centre à la circonférence, ne tarderait pas à se fissurer.

L'emploi d'un courant d'air forcé exigeant une certaine quantité de force motrice, on place autant que possible les hauts fourneaux dans des bas-fonds, afin d'utiliser les cours d'eau; d'un autre côté, on doit toujours placer la sole à 1 ou 2m au-dessus du niveau des plus grandes crues, afin d'être à l'abri des inondations. On donne le plus ordinairement au massif des hauts fourneaux la forme d'un tronc de cône ou celle d'une pyramide quadrangulaire : la première est la plus légère et la plus économique. Le massif est construit, comme nous l'avons dit, en pierres de taille ou en briques communes, et relié par de fortes armatures en fer.

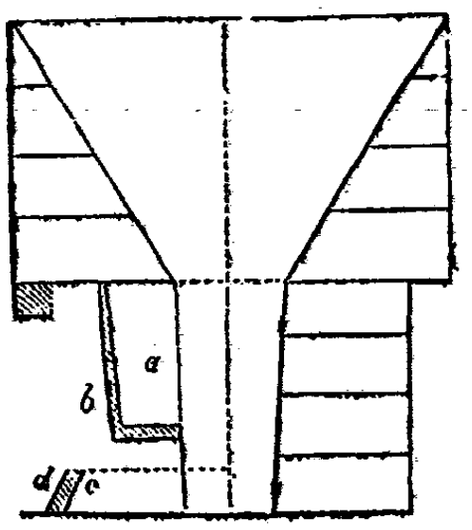


Fig. 836.

On conçoit aisément, en réfléchissant au poids énorme qu'elles ont à supporter, que les *fondations* des hauts-fourneaux doivent être établies de la manière la plus solide, et à l'abri de toute humidité. Elles sont généralement voûtées, ce qui favorise leur assèchement et produit une économie de matériaux; ces canaux servent aussi souvent à loger en partie les conduites d'air, qui doivent être accessibles sur tous les points, pour qu'on puisse vérifier au besoin s'il existe des fuites, et dans ce cas les réparer.

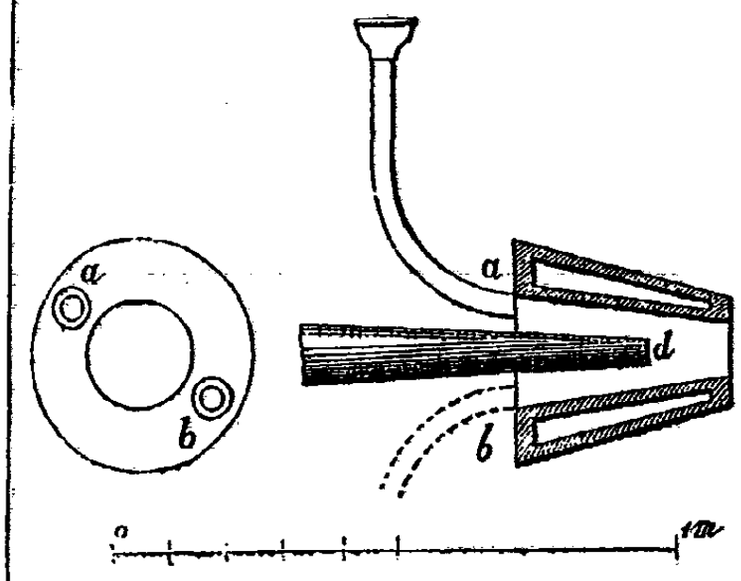
Le devant du fourneau est évidé et forme en se réunissant aux murs latéraux de l'avant-creuset une *embrasure* ou niche terminée par deux angles obtus; la voûte de *l'embrasure de travail* est ordinairement plate et soutenue par une ou plusieurs grosses barres de fonte qu'on nomme *mardres*. Les tuyères et quelquefois la rustine présentent des embrasures analogues.

Il arrive quelquefois que pour obtenir plus de légèreté dans la construction, on supprime toute la partie du massif située au-dessous des étalages et on supporte la partie supérieure sur un rang de colonnes en fonte, comme cela a lieu à Hayanges, ce qui rend en outre les abords du fourneau et par suite le service plus facile.

Le creuset et l'ouvrage ont ordinairement une section rectangulaire, cependant on leur donne quelquefois une forme circulaire; on les construit en pierre de taille ou en briques réfractaires. La cuve a une section circulaire et se construit avec des matériaux réfractaires, ordinairement d'une qualité inférieure à ceux qui forment l'ouvrage. Les étalages sont construits de manière à se raccorder exactement avec la cuve et avec l'ouvrage, tantôt avec des briques réfractaires, tantôt avec un mélange damé de sable et d'argile réfractaire.

Les MACHINES SOUFFLANTES employées dans les usines à fer étant décrites dans un article spécial, nous n'en parlerons pas ici; l'air venant, soit de ces machines, soit d'un régulateur intermédiaire, arrive par des *buses* circulaires de 3 à 8 centim. de diamètre à l'embouchure, dans les *tuyères* en cuivre ou en fonte placées sur les côtières du fourneau, par lesquelles il pénètre dans l'intérieur. Dans les fourneaux soufflés à l'air froid, ces tuyères sont ordinairement simples, mais dans les fourneaux soufflés à l'air chaud, elles seraient très promptement détériorées si on n'y faisait constamment passer un filet d'eau pour les rafraîchir. Les fig. 838 et 839 montrent la disposition et la construction d'une

838. 839.



tuyère de ce genre; l'eau arrive par le tuyau *a* et s'écoule par le tuyau *b*; *d*, est la buse de la machine soufflante.

On marche quelquefois à tuyère fermée, c'est-à-dire en lutant la buse contre les parois de la tuyère, afin d'éviter les pertes d'air qui ont toujours lieu avec les tuyères ouvertes, mais cette disposition est moins commode pour le travail.

Les hauts-fourneaux au charbon de bois ont 1 ou 2 tuyères; ceux au coke en ont toujours au moins 2 et souvent 3 et plus.

Les dimensions des hauts-fourneaux dépendent du volume d'air qu'on y lance à la fois, de la nature du minerai et de celle du combustible, de la quantité et de la qualité de la fonte que l'on veut obtenir. Il est difficile de donner à ce sujet des règles théoriques, et on ne peut que se baser sur les faits qui nous sont indiqués par l'expérience.

La hauteur des hauts-fourneaux au charbon de bois est de 8 à 12m; celle des hauts-fourneaux au coke est de 12 à 15m et même au-delà. En parlant de la théorie des hauts-fourneaux, nous indiquerons l'influence de la forme de chacune des parties qui la composent; ici nous ne rappellerons que quelques données pratiques.

La hauteur de l'ouvrage varie de 1/6 à 1/8 de la hauteur totale du fourneau : elle doit être d'autant plus grande que les *minerais sont plus réfractaires et que* l'on veut obtenir de la fonte plus grise; on la diminue au contraire pour la fabrication des fontes d'affinage et le traitement de minerais facilement fusibles; la largeur de l'ouvrage; c'est-à-dire le côté du carré équivalent à la section au niveau des tuyères, varie depuis 0m,50 pour les plus petits fourneaux au charbon de bois jus-

qu'à 1m,20 et même 1m,50 pour les plus grands fourneaux au coke.

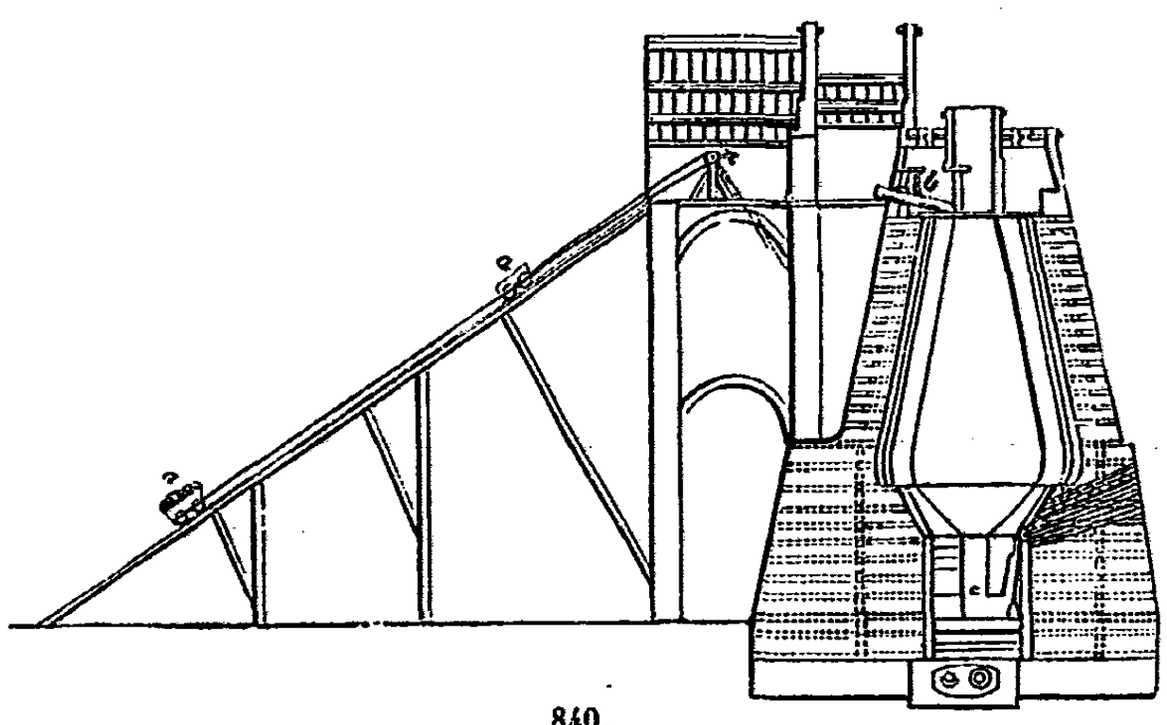
Les ouvrages sont toujours évasés par le haut pour faciliter la descente des charges, et leur largeur à la naissance des étalages doit être habituellement de 1/4 à 1/3 plus grande qu'au niveau des tuyères.

Le creuset a la même largeur que l'ouvrage; sa hauteur limitée par la position des tuyères est un peu plus faible que sa largeur; sa longueur, y compris l'avant-creuset, est de 3 fois à 3 fois 1/2 sa largeur.

L'inclinaison des étalages est ordinairement de 45° à 55°, mais elle doit varier par les mêmes raisons que l'ouvrage. Dans quelques pays, en Styrie et en Carinthie, par exemple, où l'on traite des minerais riches et très fusibles, on a supprimé complétement l'ouvrage, en augmentant seulement la hauteur et l'inclinaison des étalages; la descente des charges a lieu très rapidement et la production de ces fourneaux est considérable.

La hauteur du ventre au-dessus de la sole varie de 1/5 à 1/3 de la hauteur totale : elle est plus grande pour les fourneaux au coke que pour ceux au charbon de bois, et augmente à mesure que les minerais à traiter sont plus réfractaires; le diamètre au ventre varie de 1/4 à 1/6 de la hauteur totale. Le raccordement entre la cuve et les étalages se fait quelquefois par une partie cylindrique. La hauteur totale de la cuve varie des 2/3 aux 4/5 de la hauteur totale; le diamètre au gueulard varie de 1/3 aux 2/3 du diamètre au ventre; l'emploi de l'air chaud, ou celui du coke comme combustible, permettent d'augmenter les dimensions relatives du gueulard et il existe même en Angleterre quelques fourneaux au coke dont la cuve est entièrement cylindrique. Les gueulards des hauts fourneaux sont souvent recouverts de cheminées qui s'appuient sur le massif, comme l'indique la fig. 835 et dans lesquelles on ménage des portes de chargement D.

Disposition des usines à fer. On dispose ordinairement les usines à fer de manière à ce que les matières premières et les divers produits aient le moindre transport possible à subir. Ainsi dans les pays accidentés on adosse toujours les hauts-fourneaux à une colline de manière à ce que le combustible et le minerai puissent arriver de plein pied jusqu'au gueulard; dans les pays de plaine où cette condition ne peut être remplie, on élève les charges au niveau de la plate-forme du gueulard, soit à l'aide de plans inclinés comme l'indique la fig. 840,



840.

soit à l'aide de BALANCES D'EAU, soit de toute autre manière.

PERSONNEL. Il y a deux catégories d'ouvriers spécialement attachés au service des hauts-fourneaux, ceux au gueulard qui chargent le lit de fusion et le combustible et ceux au creuset qui font écouler les laitiers et la fonte. Il faut en moyenne pour un fourneau produisant 1800 à 2000k de fonte par jour, 3 ouvriers au gueulard et 2 au creuset par 24 heures, et pour une production de 10,000k de fonte par jour, 10 ouvriers au gueulard et 4 au creuset par 24 heures.

On paie souvent ces ouvriers à la journée, et quelquefois, ce qui est bien préférable, à tant par quintal métrique de fonte obtenue.

MATIÈRES PREMIÈRES. *Minerais et fondants*. Les fondants que l'on ajoute pour déterminer la fusion des gangues portent le nom de *castine* quand ils sont calcaires et d'*herbue* quand ils sont argileux. On mélange toujours autant que possible diverses sortes de minerais de manière à obtenir des gangues fusibles avec la moindre addition possible de fondants. Pour la même raison on emploie souvent comme fondants des argiles ou des calcaires ferrugineux qui, seuls, seraient trop pauvres pour pouvoir être fondus.

Combustibles. Les combustibles le plus employés sont le charbon de bois et le coke; cependant, dans quelques localités où le transport du combustible est presque nul, on remplace en partie le charbon de bois par du bois vert ou desséché, et on emploie, au lieu de coke, la houille crue, lorsqu'elle est sèche et qu'elle ne donnerait qu'un coke fritté; l'emploi du bois vert ou desséché, après avoir été beaucoup prôné, tend plutôt à décroître; mais celui de la houille sèche se répand de jour en jour.

PRODUITS. Les produits des hauts-fourneaux sont la *fonte* dont nous avons déjà parlé, et les *laitiers*. Les laitiers sont des verres terreux provenant de la combinaison des gangues des minerais avec les parties fixes des fondants ajoutés. Lorsque le *lit de fusion*, ou mélange des minerais et des fondants de diverses natures est fait dans des proportions convenables, les laitiers ne retiennent qu'une quantité de fer tout à fait insignifiante. Ce sont des silicates terreux. Ces silicates étant d'autant plus fusibles qu'ils renferment un plus grand nombre de bases, on conçoit, par exemple, qu'un minerai siliceux exigera un fondant renfermant à la fois un mélange de chaux et d'alumine comme une marne calcaire, tandis qu'un minerai argileux fondra parfaitement avec du calcaire pur; un minerai siliceux et du calcaire pur formeraient du silicate de chaux, qui ne deviendrait suffisamment fusible qu'en dissolvant une quantité notable d'oxyde de fer pour former un silicate double.

Les laitiers des fourneaux au charbon de bois doivent être plus fusibles que ceux des fourneaux au coke, parce que la température est moins élevée dans les premiers que dans les derniers. Ce sont les silicates dans lesquels il y a 1 1/2 à 2 fois autant d'oxygène dans la silice que dans la somme des bases. Les laitiers au coke sont plus basiques, et il s'y trouve 1 à 1 1/2 autant d'oxygène dans la silice que dans la somme des bases. Voici du reste deux compositions de

laitiers se rapportant, l'une au charbon de bois, l'autre au coke, et bien fusibles :

	Laitier au charbon de bois.	Laitier au coke.
Silice. . . .	50	50
Chaux. . . .	25 à 30	40 à 60
Alumine. . .	15 à 20	20 à 25

Lorsque le minerai est manganésifère, les laitiers peuvent être beaucoup plus chargés en silice que nous venons de l'indiquer, parce que l'oxyde de manganèse est un fondant bien plus énergique que les oxydes terreux.

Les laitiers sont tantôt vitreux, tantôt pierreux; l'aspect qu'ils prennent dépend surtout de la rapidité plus ou moins grande du refroidissement; lorsqu'il est lent, ils deviennent en général opaques et prennent un aspect pierreux. Ils présentent alors quelquefois des cristaux bien déterminables. Ils sont fréquemment remplis de boursouflures, et quelquefois, lorsqu'on les a solidifiés brusquement par une projection d'eau froide, ils sont légers et poreux comme de la pierre ponce; dans ce cas, ils paraissent à peu près blancs, mais si on les refond au chalumeau ou de toute autre manière, on voit qu'ils ne doivent cette apparence qu'à leur extrême division.

Les laitiers ont des couleurs très variées, tantôt unies, tantôt zonées et quelquefois d'un très bel effet; on vient d'utiliser en France cette propriété, pour fabriquer avec des laitiers refondus des objets d'ornement de très belle apparence.

Quoique l'aspect et la nature des laitiers varient d'un fourneau à l'autre, on ne doit pas moins les observer avec soin dans chaque fourneau, car les changements de couleurs ou de fusibilité des laitiers sont le signe le plus certain auquel on puisse reconnaître les dérangements survenus dans l'allure du fourneau, les chutes de minerai, etc....

CONDUITE DE L'OPÉRATION. *Mise en feu.* Avant de mettre un haut fourneau en activité, on doit commencer par le sécher. Si tout le fourneau vient d'être construit à neuf, le séchage exige les plus grands soins. Après avoir nettoyé le creuset qui n'est pas encore fermé par la dame, on commence par faire à l'entrée de l'avant-creuset, avec des fagots ou de la tourbe, un feu doux qu'on entretient pendant plusieurs jours; dans les fourneaux au coke, on active le séchage en allumant du feu dans quatre cheminées destinées à l'assèchement du massif et pratiquées aux quatre coins dans son intérieur. On forme ensuite, à l'aide de plusieurs ringards appuyés par une extrémité contre la rustine et soutenus en dehors du fourneau par un bloc de fonte, une grille sur laquelle on brûle pendant quelques jours du bois sec ou de la houille. Quand on est sûr que la dessiccation est assez avancée, on retire la grille formée par les ringards, on jette sur la sole quelques charbons incandescents, et on remplit immédiatement de charbon frais toute la capacité du fourneau. On ferme alors toutes les issues par lesquelles l'air pourrait provoquer une combustion trop rapide, et on laisse le feu se propager lentement. Lorsque la masse commence à s'affaisser au gueulard, on y jette encore, s'il est nécessaire, quelques mesures de charbon; autrement on charge immédiatement des laitiers bien fusibles, et souvent une petite quantité du lit de fusion. On ouvre alors l'avant-creuset et on fait pendant quelques jours de nouvelles grilles, afin d'activer la combustion. Chaque grille dure environ une heure; on laisse écouler entre les premières un assez long intervalle, et on accélère les dernières quand le fourneau est assez chaud. Il arrive souvent que l'on ne fait pas ces grilles, et que l'on se contente d'ouvrir l'avant-creuset, lorsqu'on ne charge que des laitiers très fusibles. Au lieu d'employer une grille intérieure pour le séchage du fourneau, il est plus commode d'établir une sorte de four à réverbère provisoire, à grille extérieure, et dont la voûte vient s'abaisser sous la tympe. Pour ménager les parties des côtières et de la fausse tympe soumises au contact de la flamme, on les garnit de briques réfractaires posées de champ sans aucun mortier. On charge sur la grille du four, soit du bois, soit de la houille; ce qui procure, dans la plupart des cas, une économie de combustible notable.

Si le fourneau qu'on met en feu a déjà servi, et si la cheminée réfractaire a été seule reconstruite, la dessiccation s'opère beaucoup plus rapidement.

Dès qu'on s'aperçoit, par l'écoulement des laitiers aux tuyères, que les premières charges de minerais vont arriver, on s'empresse de préparer la dame, ordinairement en sable damé recouvert, à l'intérieur, d'une plaque de fonte blanche par-dessus laquelle s'écoulent les laitiers. Les tuyères sont à la hauteur de la tympe, et la dame est ordinairement en contre-bas de 5 à 10 centimètres.

La dame préparée, on retire la plaque de fonte intérieure placée pour soutenir, pendant le damage, le sable dont on fait alors sécher la surface, en attirant sur le devant quelques charbons enflammés; on a soin de garnir tout l'intérieur de l'avant-creuset d'une couche de fraisil humide, dont l'effet est d'empêcher la première fonte qui arrive d'adhérer au sable, lequel n'est pas encore suffisamment échauffé. Enfin, il ne reste plus, avant de donner le vent, qu'à remplir le creuset et l'avant-creuset de quelques mesures ou *rasses* de charbon, que l'on serre fortement sous la tympe, pour ne pas laisser à la flamme un passage trop facile. A partir de ce moment, on augmente progressivement la charge en minerai, en laissant la charge en charbon *constante*, jusqu'à ce que l'on ait atteint l'état normal du fourneau et la qualité de fonte désirée. Dans les premiers jours de roulement, on ne doit couler que lorsque le creuset est entièrement plein; c'est le meilleur moyen de l'échauffer. Les premières coulées donnent presque toujours des fontes épaisses, noires, qu'on met de côté pour le moulage en seconde fusion, quand il y a un cubilot dans l'usine.

La charge en charbon doit se baser plutôt sur le diamètre du gueulard que sur les autres dimensions du fourneau; son volume doit être tel qu'elle présente une épaisseur suffisante pour que le minerai éprouve une certaine difficulté à se tamiser à travers le charbon. Lorsque cette épaisseur est trop faible, surtout pour les minerais en grains, il en résulte des chutes de minerais et des dérangements dans l'allure du fourneau. On charge d'abord le combustible, puis par dessus le minerai et la castine séparément ou préalablement mélangés.

Enlèvement des laitiers et *coulée.* Dans la plupart des fourneaux au charbon de bois, on a soin de recouvrir les laitiers, dans l'avant-creuset, de quelques pelletées de fraisil, de telle sorte qu'ils y soient encore assez fluides pour s'écouler naturellement par dessus la dame. On moule quelquefois ces laitiers en briques pour les constructions communes. Dans quelques fourneaux au bois, lorsqu'on ne prend pas la précaution que nous venons d'indiquer ou lorsque le dosage du lit de fusion n'est pas convenable, et dans la plupart des fourneaux au coke, les laitiers restent visqueux; il faut alors nettoyer fréquemment l'avant-creuset à l'aide de longs ringards en fer et hâler les laitiers au moyen d'une pelle et d'un crochet en fer, travail très pénible. Les laitiers visqueux ainsi que ceux que l'on retire immédiatement avant la coulée, renferment souvent des grenailles de fonte que l'on en retire par le bocardage. Peu de temps avant la coulée, le fondeur attire avec son ringard tout le laitier dans l'avant-creuset, puis quelques instants après il arrête le vent, et après avoir

nettoyé les côtières avec son ringard, il enlève à l'aide d'une sorte de râble le charbon et le laitier qui surnagent dans l'avant-creuset ; dès que le bain de fonte est à découvert, il place sous la tympe un tampon d'argile, de laitier dur, ou une plaque de fonte garnie de terre bien séchée, pour empêcher le contenu du fourneau de passer en partie dans l'avant-creuset. On perce alors à l'un des angles inférieurs de la dame, avec un ringard pointu, sur la tête duquel on frappe à grands coups de marteau, un trou par lequel la fonte s'écoule et que l'on rebouche ensuite avec un tampon d'argile. On coule la fonte sur le sol de l'usine, soit en une seule gueuse, soit en un grand nombre de petits gueusets plats suivant le mode d'affinage qu'on doit lui faire subir. Quelquefois on la coule en coquille, c'est-à-dire dans une rigole en fonte, et on jette dessus de l'eau pour la refroidir brusquement, ce qui la blanchit et la rend plus facile à affiner. Dans quelques usines, on coule les fontes sulfureuses venant d'un travail au coke ou à la houille et sortant du fourneau, dans des moules en fonte enduits d'une couche de chaux. Cette couche, épaisse de quelques millimètres et qui se sèche bientôt à l'air, est appliquée avec une brosse trempée dans une bouillie calcaire. Les lingotières, dont le vide a la forme et les dimensions des gueusets ordinaires, sont placées sur le sol de l'usine et reçoivent la fonte d'une maîtresse gueuse creusée dans le sable ; la coulée se fait comme à l'ordinaire. Les avantages que présente ce procédé sont les suivants :

1° La couche calcaire en contact avec la fonte absorbe une très grande partie du soufre que renferme celle-ci, comme le démontre l'analyse.

2° Ce mode de moulage diminue les déchets de la fonte dans les opérations subséquentes qu'on lui fait subir. — Ce qui se comprend, parce que les gueuses coulées dans le sable en retiennent toujours une certaine quantité à leur surface qui donne lieu à des crasses ou des scories lorsqu'on la refond au fourneau à réverbère ou au cubilot, si elle est destinée au moulage de seconde fusion, et absorbent toujours une certaine quantité de silicium par leur contact, à une température élevée, avec la silice, ce qui en rend l'affinage bien plus difficile, si c'est une fonte d'affinage.

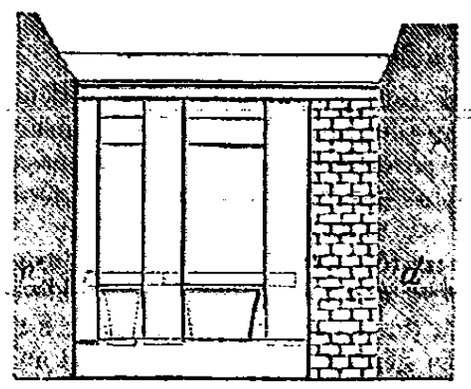
Quand on travaille en fonte de moulage, la coulée se fait d'une manière différente : le charbon et les laitiers étant enlevés et le tampon ou *bouchage* mis en place sous la tympe, les ouvriers viennent tour à tour puiser la fonte dans l'avant-creuset, avec des poches ou cuillères en fer garnies à l'intérieur comme à l'extérieur d'un enduit composé d'un mélange de terre argileuse et de crottin de cheval. Quand l'ouvrage est vidé, le fondeur, avec l'aide d'un autre ouvrier, retire le bouchage et ramène les matières dans l'avant-creuset qu'il achève de remplir avec un mélange de braise et de laitier bien serré sous la tympe.

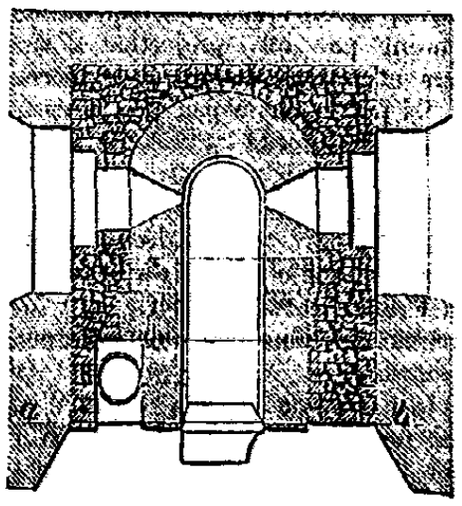
Ce mode de coulée, le plus anciennement employé dans les fourneaux roulant en fonte de moulage, a l'avantage de ne pas refroidir la fonte, mais il offre l'inconvénient : 1° de donner lieu à une perte de minerai et de charbon ; 2° de refroidir l'avant-creuset ; 3° de diminuer la production journalière par suite de l'arrêt forcé de la machine soufflante pendant la coulée, arrêt qui dure au moins une demi-heure, et quelquefois jusqu'à deux heures ; et 4° d'occasionner des descentes brusques et irrégulières des charges, lorsqu'on donne de nouveau le vent ; 5° de ne pouvoir couler que peu de fois par jour et de subordonner le travail des mouleurs à celui du haut-fourneau.

Pour remédier à cet inconvénient, on imagina vers 1828, à Mulapane, d'établir à gauche de l'avant-creuset fig. 841 et 842 (le trou de percée étant à droite), un creuset auxiliaire de forme circulaire, séparé du premier, soit par une paroi en briques réfractaires, soit

par un mur d'une seule pièce en grès réfractaire qu'il est plus facile de remplacer en cas d'usure, et communiquant avec lui par un canal de fond qui permet à la fonte, mais non aux laitiers, de passer de l'avant-creuset dans le creuset puisard. On ne donne que 15 à 20 centimètres d'épaisseur à la paroi de séparation ; lorsqu'elle est usée on fait la percée comme à l'ordinaire, on enlève cette paroi, et on la remplace par une paroi en grès réfractaire, préalablement chauffée au rouge vif.

841.



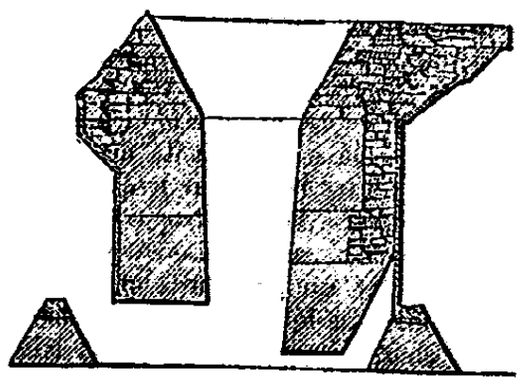


842.

Cette disposition permet de puiser de la fonte à chaque instant, sans être obligé d'arrêter le vent, et de reverser l'excès de fonte dans le creuset, sans craindre qu'une partie notable en soit retenue dans les laitiers, sous forme de grenailles, comme il arrive dans le cas d'un creuset ordinaire.

Il est essentiel de ne laisser pénétrer la fonte dans le creuset puisard que quatre à cinq semaines après la mise en feu du fourneau, et de le chauffer sans cesse, pendant ce temps, avec un feu de charbon. Pour former le canal de communication, on emploie un tampon de fraisil et d'un peu de terre : il faut aussi laisser constamment un peu de fonte dans le creuset afin qu'il ne se refroidisse pas trop.

On place quelquefois le creuset-puisard sur la rustine comme un creuset ordinaire, avec cette seule différence, que la pierre de tympe du creuset-puisard (fig. 843), se prolonge jusqu'à 0m,45 de la sole, de



843.

manière à n'y admettre que la fonte, qui n'est pas sujette à blanchir pourvu qu'elle soit couverte par une couche de fraisil. L'avant-creuset ne sert plus alors qu'à l'écoulement des laitiers et se trouve derrière le fourneau, tandis que le creuset-puisard est tourné du côté de la halle de fonderie.

On emploie également dans un certain nombre de fourneaux roulant en fonte de moulage la *coulée à la percée*, qui permet de couler sans arrêter le vent et mériterait de se répandre davantage. La dame est remplacée par une plaque transversale fixée aux mureaux par quatre forts boulons et percée en son milieu d'un trou rectangulaire d'environ 0m,25 de haut sur 0m,15 de large. On garnit de sable damé argileux réfractaire la partie qui regarde dans le fourneau, et on remplit l'ouverture avec de la terre de bouchage. Une petite plaque portant trois petits trous de 0m,02 à 0m,03 de diamètre placés sur une même verticale, vient, en s'ajustant sur la traverse au moyen de quatre goujons à clavettes, fermer l'ouverture rectangulaire dans laquelle elle s'emboîte par un rebord saillant : cette plaque est dite *plaque de gentilhomme*. Au moment de la coulée, le fondeur perce successivement les trois trous, en commençant par celui du haut, et les ouvriers se présentent tour à tour pour recevoir la fonte dans leurs poches. Après chaque coulée, on retire momentanément la plaque de gentilhomme, et l'on répare le bouchage en enlevant les laitiers et la fonte qui restent dans les trous, où il est nécessaire de rapporter du sable.

Les jets de moulerie de première fusion sont rechargés dans le fourneau ainsi que les grenailles de fonte provenant du bocardage des laitiers, avec le minerai, sans exiger une addition dans la charge en combustible.

Engorgements, réparations, suspension de travail, mise hors feu. Lorsqu'il se forme des dépôts ou des engorgements dans l'intérieur d'un fourneau, il faut élever la température intérieure, ce qui se fait, soit en diminuant les charges, soit en y lançant de l'air chaud s'il était soufflé à l'air froid, et si l'on peut disposer d'un appareil à cet effet ; c'est dans ce but que beaucoup de fourneaux marchant à l'air froid sont munis d'*appareils Cabrol* ; on cherche aussi quelquefois à dissoudre ces dépôts en ajoutant des fondants convenables, soit par le gueulard, soit par la tuyère.

Lorsqu'il y a lieu de réparer une des parois de l'ouvrage ou du creuset on arrête le vent après la coulée, et on soutient les matières dans le fourneau en faisant une grille au-dessus de la paroi que l'on veut réparer ; on la détruit alors et on la remplace le plus rapidement possible ; cette opération devient très compliquée, si la paroi est située au-dessus du niveau des tuyères ; dans tous les cas, elle est beaucoup plus facile dans les fourneaux dont le massif est soutenu jusqu'à une certaine hauteur par des colonnes.

Lorsque par des causes quelconques on se trouve forcé de chômer pendant quelques jours (huit à dix au plus), on bouche le gueulard et les tuyères, après avoir fait la coulée, puis on remplit l'avant-creuset de charbon par-dessus lequel on damo une couche de fraisil. Lorsque le chômage doit durer plus longtemps, il faut ne charger que du combustible jusqu'à ce que la dernière charge de minerai soit arrivée dans le creuset, on ferme alors toutes les ouvertures comme ci-dessus et on ajoute toutes les semaines un peu de combustible au gueulard pour remplacer celui qui s'est consumé par les infiltrations d'air ; nous avons vu, pendant la grande sécheresse de 1842, un fourneau qui est resté ainsi en suspension de travail plus de trois mois, faute d'eau motrice.

Pour les petits fourneaux au charbon de bois, la durée de la campagne est limitée par le temps où l'on a de l'eau motrice en quantité suffisante, elle est ordinairement de neuf mois, dans le cas contraire elle peut aller à deux ou trois ans et même plus. Les fourneaux au coke dont la soufflerie est généralement alimentée par une machine à vapeur, fournissent des campagnes de plusieurs années ; on en a vu marchant huit à dix ans de suite et même plus.

La dégradation des parois intérieures, et notamment l'élargissement de l'ouvrage, les engorgements, le manque de matières premières, de combustible ou de force motrice, les crues d'eau, peuvent obliger à mettre le fourneau hors feu. Pour cela, on réduit peu à peu la quantité de minerai, on ajoute des fondants très fusibles pour dissoudre autant que possible les dépôts, on laisse les charges s'affaisser dans le fourneau ; lorsque celles-ci sont presque au niveau des tuyères, on nettoie le creuset, on enlève la dame et les tuyères et on laisse refroidir. On peut accélérer le refroidissement en continuant à donner le vent pendant quelque temps.

Allures diverses. Lorsqu'un fourneau marche à tuyères brillantes, qu'il produit de la fonte grise ou noire, on dit que son allure est chaude. Les laitiers sont visqueux et la température très élevée, ce qui permet d'ajouter beaucoup plus de chaux que dans toute autre allure, et d'effectuer par conséquent une séparation du soufre plus complète.

Lorsque la tuyère est obscure et suivie d'un nez ou canal formé par du laitier répandu, l'allure est froide ; on obtient des fontes blanches d'affinage contenant plus de soufre et moins de silicium que celles provenant d'une allure chaude. Le dosage du lit de fusion doit être tel, qu'on obtienne des laitiers très fusibles ; ceux-ci renferment souvent une quantité d'oxyde de fer très notable. C'est dans cette classe que viennent se ranger les fourneaux sans ouvrage, employés en Styrie et en Carinthie.

L'allure froide étant difficile à garder, la plupart des fourneaux marchant en fonte d'affinage se tiennent dans une allure intermédiaire. Cette allure est nettement déterminée pour les minerais spathiques manganésifères, par la production des fontes blanches lamellaires à grandes lames, passant insensiblement aux fontes blanches sublamellaires rayonnées ou fibreuses.

Du vent. La pression de l'air est très variable ; elle est de 3 à 4 centim. de mercure dans les petits fourneaux au charbon de bois, et s'élève jusqu'à 8 et 11 centim. de mercure dans les plus grands fourneaux au coke.

THÉORIE DE LA FABRICATION DE LA FONTE. Dès 1836, M. Le Play, actuellement professeur de minéralogie à l'école des mines, se basant sur les réactions connues de l'air, de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, en présence du charbon et des oxydes de fer à une température élevée, donna une théorie fort ingénieuse de la réduction des minerais dans les fourneaux à tuyères, théorie qui lui permit d'expliquer d'une manière très plausible les phénomènes qui se passent dans le traitement des minerais de fer au haut-fourneau. Plus récemment M. Ebelmen, ayant été chargé par M. le sous-secrétaire des travaux publics de faire l'analyse des divers produits gazeux des foyers métallurgiques, a été conduit à examiner de nouveau ce sujet, et s'est trouvé à même, en s'appuyant sur les données que lui ont fournies ses expériences, de compléter et de modifier en partie les idées théoriques précédemment émises par M. Le Play. Les mémoires de ces ingénieurs distingués nous permettront de donner une théorie assez nette des hauts-fourneaux, en renvoyant pour plus de détails le lecteur aux mémoires précités, qui sont insérés dans les *Annales des mines*, 3e et 4e séries.

Occupons-nous d'abord des fourneaux au charbon de bois. L'air arrivant dans le fourneau se convertit rapidement d'abord en acide carbonique, puis, à mesure qu'il s'élève, en oxyde de carbone, par suite de la présence d'un excès de charbon porté à une température élevée. La partie du fourneau comprise entre le niveau des tuyères et celui où la totalité de l'air se trouve brûlée, constitue la zone de fusion, qui n'a qu'une faible étendue, et où la température est extrêmement élevée par suite du grand dégagement de chaleur, dû à la

transformation de l'oxygène de l'air en acide carbonique ; ce dernier, en dissolvant du carbone et en se transformant en oxyde de carbone à mesure qu'il s'élève, donne lieu à une absorption de chaleur qui passe à l'état latent et la température diminue. A partir d'une certaine hauteur, le courant gazeux, composé d'azote, d'oxyde de carbone et d'une petite quantité d'hydrogène, opère la réduction des minerais de fer qui marchent en sens contraire ; cette réduction a lieu avec formation correspondante d'acide carbonique, sans effet calorifique sensible, de sorte que la température du courant gazeux continue à diminuer par suite de l'échauffement progressif des matières qu'il rencontre ; enfin dans les parties supérieures de la cuve, où il est trop refroidi pour effectuer cette réduction, il détermine la distillation des parties volatiles du charbon et du minerai. Ainsi donc nous trouvons dans un haut-fourneau, en partant du gueulard, quatre zones bien distinctes dans lesquelles la température va en croissant, et qui sont : 1° la *zone de distillation*, où s'opère l'expulsion des matières volatiles du combustible et du minerai ; 2° la *zone de réduction*, où s'opère la réduction du minerai ; 3° la *zone de carburation*, où s'opère la carburation du fer métallique réduit et son passage à l'état de fonte, soit par l'action carburante seule de l'oxyde de carbone, comme l'admet M. Le Play, soit par la cémentation au contact du charbon comme le présument d'autres métallurgistes (1) ; et 4° la *zone de fusion*, où s'opère la fusion de la fonte et celles de gangues terreuses et des fondants qui se séparent à l'état de laitiers. Dans les fourneaux au charbon de bois, la limite entre la zone de réduction et de carburation est à très peu près au ventre, et la zone de fusion est toujours comprise dans l'ouvrage. Ces faits une fois posés nous permettront de vérifier les règles données par l'expérience pour le profil à donner aux hauts-fourneaux, en partant de la considération de leur forme générale et de ce fait, que la production de la fonte grise exige plus de chaleur que celle de la fonte blanche.

Dans l'ouvrage le courant d'air lancé horizontalement par la tuyère pénètre jusqu'au contrevent, et s'élève ensuite verticalement en occupant toute la largeur de l'appareil. Pour obtenir des fontes grises, et pour traiter des minerais réfractaires, on établira des ouvrages rétrécis et élevés ; pour des minerais facilement fusibles et des fontes d'affinage qui ne réclament pas une température aussi élevée, on emploiera des ouvrages larges et peu élevés.

Le haut-fourneau s'élargit très rapidement du sommet de l'ouvrage jusqu'au ventre, ce qui peut porter à croire que l'action du courant gazeux sur le minerai n'est pas essentielle pour produire les modifications chimiques qu'il subit dans cette partie du fourneau. Il est évident que le courant en sortant de l'ouvrage tend à s'élever à peu près verticalement, et ne se répartit pas d'une manière uniforme à travers la masse des matières contenues dans les étalages ; c'est dans cette région que s'opère la carburation du fer. D'un autre côté, le minerai étant plus lourd que le combustible tend à gagner l'axe du fourneau, et se trouve néanmoins toujours soumis à l'action du courant gazeux. A cet égard, nous rappellerons un fait qui nous paraît concluant : le directeur de l'usine d'Holaubkau, en Bohême, fit remplir son fourneau, lors de la mise en feu, avec du charbon de bois de chêne, puis pendant tout le reste de la campagne qui dura près de deux ans, il n'employa que du charbon de bois résineux, les seuls bois que fournissent les coupes où s'alimente l'usine. Lors de la mise hors feu les angles du ventre étaient encore remplis de charbon de bois de chêne, ce qui prouve que le minerai n'avait pas pénétré dans cette partie, car il y aurait consommé du charbon, soit que la carburation eût eu lieu par cémentation, soit qu'elle eût eu lieu par la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique, lequel aurait dissous de nouveau du charbon pour passer à l'état d'oxyde de carbone. Le charbon resté aux angles du ventre sert donc surtout à y concentrer la chaleur nécessaire. Le plus ou moins d'inclinaison que l'on donne aux étalages tend à augmenter ou à diminuer la rapidité de la descente des charges, et par conséquent on leur donnera une faible inclinaison pour des minerais réfractaires et des fontes grises, et une plus forte pente pour des minerais facilement fusibles et des fontes de forge ; on va même en Styrie et en Carinthie, où l'on traite pour fontes d'affinage des minerais très fusibles, jusqu'à supprimer complétement les étalages et à employer des ouvrages élevés et assez larges qui se raccordent immédiatement avec la cuve.

La forme du vide intérieur de la cuve prouve, au contraire, que le contact des gaz avec les minerais est indispensable à leur réduction ; en effet, la majeure partie du courant s'échappant du fourneau en suivant les parois de la cuve, il faut pour les atteindre, après avoir traversé à peu près verticalement les étalages, que le courant diverge du centre et se répartisse d'une manière sensiblement uniforme à travers le lit de fusion. L'expérience démontre que la réduction a lieu dans cette zone par la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique, sans dépense en combustible et sans effet calorifique, et que l'acide carbonique produit ne se change plus en oxyde de carbone au contact du charbon, ce qui prouve que la température du courant gazeux dans cette partie du fourneau, quoique assez élevée pour produire la réduction de l'oxyde de fer, ne l'est plus assez pour déterminer la dissolution du carbone dans l'oxyde de carbone. Mais, lorsque le minerai arrive, par suite d'une descente trop rapide, incomplétement réduit dans les étalages, il se combine avec la silice, et la réduction ultérieure du produit ne s'opère qu'avec consommation de charbon et absorption de chaleur latente par la transformation du carbone en oxyde de carbone. Ce sont ces deux dernières circonstances qui rendent compte de l'économie de combustible que présentent les grands fourneaux sur les petits, qui, en général, ne sont avantageux que pour fondre des minerais très fusibles et très faciles à réduire par cémentation, destinés à la fabrication des fontes d'affinage.

Les mêmes phénomènes que nous venons de décrire se présentent également dans les fourneaux au coke, avec cette différence que l'échauffement des matières s'opérant toujours au moyen de la chaleur sensible que conserve le courant gazeux ascendant après les transformations successives de l'oxygène de l'air en acide carbonique et en oxyde de carbone, comme la masse de gaz qui traverse le haut-fourneau est à peu près proportionnelle au combustible introduit, la température sera d'autant plus élevée que l'on consommera plus de carbone pour fondre une partie de minerai ; or, les fourneaux au coke dépensant environ deux fois plus de combustible que les fourneaux au charbon de bois pour

(1) Nous pensons avec M. Le Play que la carburation du fer métallique peut s'opérer par l'oxyde seul, et comme preuve de ce que nous avançons, nous rappellerons qu'on fabrique actuellement à Zlatoust, dans l'Oural, de l'acier fondu comparable aux meilleurs aciers anglais, en jetant dans les creusets de fusion, chauffés dans des fourneaux à vent alimentés au charbon de bois, des rognures de tôle, et laissant les creusets découverts. Le fer se carbure par la réaction des gaz combustibles qui l'entourent et fond ; dès qu'il est entièrement fondu, on recouvre les creusets, on les laisse encore quelque temps dans le feu pour que l'acier formé acquère l'homogénéité désirable, puis on les retire et on coule l'acier en lingots comme à l'ordinaire. Comme d'après les expériences de M. Ebelmen, les gaz provenant de la combustion ou de la distillation des charbons de bois ne renferment point d'hydrogène carboné, on ne peut faire autrement que de reconnaître que, dans le cas dont il s'agit, la carburation est due à l'oxyde de carbone.

la même quantité de minerai, la température sera toujours plus élevée dans une tranche quelconque du premier fourneau que dans la tranche correspondante du second. Il en résulte que dans les fourneaux au coke la réduction commence très près du gueulard presque aussitôt après l'introduction du minerai dans le fourneau, et qu'elle se termine à peu près au milieu de la cuve, tandis que cette limite se trouve très près du ventre dans les fourneaux au bois.

Il est facile maintenant d'expliquer pourquoi, dans les fourneaux au coke, la consommation en combustible est moyennement deux fois plus considérable que dans ceux au charbon de bois, en s'appuyant sur ces faits que 1° le charbon de bois est susceptible, toutes choses égales d'ailleurs, de transformer l'acide carbonique en oxyde de carbone plus rapidement que le coke, probablement à cause de sa porosité. Il en résulte que la *zone qui correspond à la zone de fusion* et que nous pourrions appeler aussi *zone oxydante*, parce qu'il y existe de l'oxygène libre et de l'acide carbonique, a toujours une étendue notablement plus grande dans les fourneaux au coke que dans ceux au charbon de bois; 2° la fonte ou fer carburé, en traversant la zone oxydante, s'oxyde en partie; lorsque la combustion a lieu aux dépens de l'oxygène libre, il se produit un dégagement de chaleur considérable; lorsqu'elle a lieu par la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone, il n'en résulte aucun effet calorifique sensible. Ainsi donc, plus il y aura de fer oxydé devant la tuyère, plus la température de la colonne gazeuse ascendante sera élevée après la transformation complète de l'acide carbonique en oxyde de carbone. Il est évident aussi que la proportion d'oxyde de carbone, contenue dans les gaz, sera en raison inverse de la quantité d'oxyde de fer formée, puisque l'acide carbonique décomposé par le fer ne donne qu'un volume égal au sien d'oxyde de carbone, tandis qu'il double de volume lorsqu'il passe à l'état d'oxyde de carbone en dissolvant du carbone. D'un autre côté, l'oxyde de fer formé se trouvant dans les laitiers à l'état de silicate, il y a nécessairement réaction entre cet oxyde et le carbone de la fonte ou les fragments de charbon mêlés avec le laitier, et l'expérience montre que cette *réaction produit de* l'oxyde de carbone dont la formation est accompagnée d'une absorption considérable de chaleur qui passe à l'état latent.

Ces principes, une fois posés, nous paraissent pouvoir expliquer, comme l'a fait M. Ebelmen, les différences du roulement des fourneaux au coke et au charbon de bois, et les principales variations qu'on observe dans l'allure des hauts-fourneaux :

Il est évident que l'oxydation, devant la tuyère du fer réduit dans la partie supérieure du fourneau, sera toujours, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus considérable, que la proportion du fer, par rapport au charbon, sera plus grande dans le lit de fusion. Si maintenant nous considérons deux combustibles, comme le coke et le charbon de bois, qui agissent avec une rapidité différente sur l'air et sur l'acide carbonique, et avec lesquels l'étendue de la zone oxydante est différente, il est bien évident qu'il faudra augmenter la masse du charbon le moins combustible, par rapport à celle du minerai, afin que l'oxydation du fer ne soit pas plus considérable dans un cas que dans l'autre; aussi l'expérience a-t-elle prouvé qu'il fallait en moyenne deux fois plus de coke que de charbon de bois pour produire, dans le haut-fourneau, le même poids de la même nature de fonte.

On explique de la même manière les différences de consommation d'un même fourneau, employant toujours le même combustible, suivant qu'on veut produire des qualités différentes de fonte; ainsi l'on sait que l'on consomme beaucoup plus de charbon pour avoir des fontes grises que pour produire des fontes blanches.

La température des gaz au gueulard d'un fourneau marchant en fonte grise, est à peu près le même que dans le roulement normal en fonte blanche, d'où l'on conclut nécessairement que, puisque la consommation en combustible est plus considérable dans le roulement en fonte grise que dans celui en fonte blanche, il faut nécessairement que la température du courant gazeux, après la formation de l'oxyde de carbone, soit plus élevée dans ce dernier cas que dans le premier, et cette circonstance ne peut s'expliquer que par la combustion devant la tuyère d'une certaine quantité de fer qui passe dans le laitier et blanchit la fonte.

Les fontes blanches se produisent assez souvent, dans les hauts-fourneaux marchant en fonte grise, par l'effet d'un dérangement dans l'allure du fourneau. Quand ce dérangement est de longue durée, on reconnaît que la chaleur monte au gueulard; en même temps les fontes deviennent blanches, et les laitiers se chargent d'une grande quantité d'oxyde de fer, de sorte que le rendement en fonte est très faible. Cette élévation considérable dans la température de la cuve et le refroidissement très sensible que l'on remarque dans la température du creuset, s'explique facilement par les considérations que nous avons développées plus haut.

Un dérangement de peu de durée, comme une chute de minerai pendant quelques heures, ne produit pas sensiblement le transport de la chaleur au gueulard en raison de la masse des matières contenues dans le fourneau. Le seul symptôme de dérangement consiste dans la production des fontes blanches et des laitiers ferreux; mais quand on utilise les gaz des hauts-fourneaux pour alimenter des fours à réverbère, on s'aperçoit immédiatement du moindre dérangement survenu dans l'allure du fourneau, par l'abaissement qui se produit dans la température du four; cela tient à ce que la proportion d'oxyde de carbone contenue dans les gaz devient, comme nous l'avons vu, d'autant plus faible, que la quantité de fer brûlé devant la tuyère se trouve plus considérable.

CONDITIONS ÉCONOMIQUES DE LA FABRICATION DE LA FONTE EN FRANCE. Pour une usine ayant un seul *haut-fourneau au charbon de bois* produisant 3,000 kil. de fonte par jour, et roulant dix mois l'année, on y lancera 44 kil. d'air par minute sous une pression de 4 centim. de mercure. Le prix de revient des 100 kil. de fonte d'affinage pourra s'établir comme suit :

Frais spéciaux.

Minerai, 300^{k} à 1^{f},32^{c} les 100^{k}. .	3^{f},96^{c}	
Castine, 80^{k} à 0^{f},29^{c} les 100^{k}. . .	0^{f},16^{c}	
Charbon, 110^{k} à 7^{f},00^{c} les 100^{k}. .	7^{f},70^{c}	
Main-d'œuvre.	0^{f},45^{c}	
	12^{f},27^{c}	12^{f},27^{c}

Frais généraux.

Cours d'eau, direction, intérêts du capital à 5 p 100, et du fond de roulement à 6 p. 100, contributions et frais divers.	2^{f},73^{c}	2^{f},73^{c}
Prix de revient des 100^{k} de fonte.		15^{f},00^{c}

Lorsque les usines sont plus considérables le prix ci-dessus peut descendre jusqu'à 11 fr. Les usines marchant en fonte de moulage dépensent notablement plus de charbon, ce qui élève le prix de la fonte, qui, non compris les frais de moulage, revient de 15 à 18 fr. *les 100 kil.*

Dans les usines au coke le prix de revient de la fonte est beaucoup moins élevé, par suite d'une plus grande production, qui diminue les frais généraux dans une proportion considérable et du bas prix du coke, qui revient à 1 fr. 25 c. les 100 kil.; de sorte que le prix de

revient de la fonte au coke d'affinage descend jusqu'à 9 et même 7 fr. dans quelques usines. Celle de moulage revient de 10 à 15 fr. On consomme de 150 à 200 kil. de coke par 100 kil. de fonte d'affinage, et 200 à 300 kil. de coke pour 100 kil. de fonte de moulage de seconde fusion.

INNOVATIONS ET PERFECTIONNEMENTS INTRODUITS DEPUIS PEU D'ANNÉES DANS LA FABRICATION DE LA FONTE. *Emploi de l'air chaud.* Avant de décrire les divers appareils employés pour chauffer l'air, parlons d'abord des effets de l'air chaud dont l'emploi est dû à Neilson de Glascow, qui l'introduisit en 1831 dans les usines d'Ecosse. Il est évident que si l'on élève à une certaine température l'air sortant de la machine soufflante avant de la lancer dans le fourneau, la température du courant gazeux en sera d'autant plus élevée. D'un autre côté la combustion du charbon ayant lieu d'une manière beaucoup plus rapide, la zone oxydante se trouvera considérablement réduite et par conséquent la combustion du fer devant la tuyère diminuera dans la même proportion. Enfin si nous supposons qu'on lance la même quantité d'air dans les deux cas, et que l'on augmente la charge en minerai, à l'air chaud, de manière à ce que la température du courant gazeux soit la même, après la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone, qu'à l'air froid, le refroidissement pour un même volume de gaz augmentera avec la charge en minerai, de telle sorte qu'il y aura dans toute la partie supérieure du fourneau moins de chaleur à l'air chaud qu'à l'air froid, tandis que la combustion de l'air s'opérant devant les tuyères dans un espace plus resserré, la température y sera plus élevée.

On comprend donc que, quand même l'appareil à air chaud reçoit sa chaleur d'un foyer particulier, il y a économie sous le rapport du combustible à chauffer l'air. Les fontes blanches deviennent grises et même noires si l'on ne change pas le dosage des charges, parce que la température s'élève devant les tuyères et que la quantité de fer brûlé y diminue; cette économie est surtout considérable pour les fourneaux au coke à cause de l'étendue de la zone oxydante à l'air froid; on doit donc augmenter la charge en minerai jusqu'à ce que l'on soit arrivé à produire la qualité de fonte voulue; la température étant plus élevée dans le creuset, les laitiers deviennent plus fluides et on peut augmenter de beaucoup la proportion de castine si les minerais sont argileux, et diminuer celle d'herbue si les minerais sont calcaires, de manière à obtenir des laitiers plus basiques qui dépouillent mieux la fonte du soufre qu'elle renferme. Si au contraire les minerais sont exempts de soufre et si l'on travaille au charbon de bois, on pourra sans inconvénient diminuer notablement la proportion du fondant. Ces diverses propriétés ont fait adopter presque généralement l'emploi de l'air chaud dans les usines qui marchent en fonte de moulage. Les fontes à l'air chaud sont plus chargées en silicium que les fontes à l'air froid, conséquence naturelle d'une plus forte chaleur dans le creuset et par suite plus difficiles à affiner; aussi ne les emploie-t-on que pour les minerais réfractaires et non pour les minerais oxydés en grains très fusibles. Néanmoins beaucoup d'usines roulant en fonte d'affinage à l'air froid, sont pourvues d'appareils à air chaud dont on ne se sert que dans le cas des engorgements ou de tout autre dérangement, lorsque le creuset se refroidit et que la chaleur monte au gueulard, pour ramener le fourneau à son allure normale; c'est en effet le meilleur remède que l'on connaisse dans ce cas.

En résumé l'économie produite sur le combustible a été de 10 à 15 p. 100 dans les fourneaux au charbon de bois qui roulaient auparavant d'une manière économique, tandis que dans ceux qui consommaient beaucoup de combustible par suite de quelques vices dans la composition des charges ou la construction même des fourneaux, elle s'est élevée jusqu'à 30 et 40 p. 100. Généralement cette augmentation a été plus sensible pour les fourneaux au coke ou à la houille roulant en fonte de moulage que pour tous les autres.

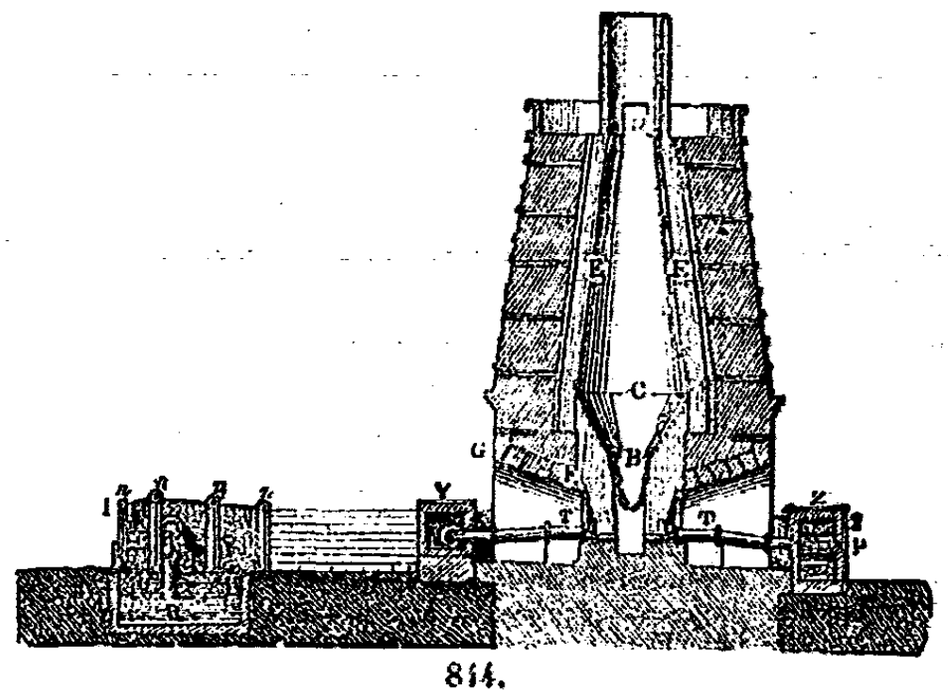
La dilatation de l'air augmentant sa vitesse dans les tuyaux de conduite, il est nécessaire, pour ne pas augmenter la pression et l'effort de la machine soufflante, d'augmenter le diamètre de ces conduites et surtout celui des buses; sans cela la quantité d'air qui arriverait dans le fourneau serait moindre, et quoiqu'il y eût une plus faible consommation en combustible la production journalière pourrait diminuer; tandis que s'il arrive dans les deux cas la même quantité d'air dans le fourneau, la production augmentera, et par conséquent il en résultera une économie notable sur les frais généraux rapportés aux 100^{k} de fonte.

Quant à la température à laquelle il faut chauffer l'air, elle dépend de la nature du combustible et de celle des minerais, des propriétés de la fonte que l'on veut obtenir, etc.; en Ecosse, on a été jusqu'à 350° pour des fourneaux alimentés avec du combustible minéral sans trouver aucune limite supérieure à laquelle on dût s'arrêter; à Kœnigshutte (Haute-Silésie), on n'a pu dépasser la température de 100° sans altérer notablement la qualité de la fonte; les fourneaux au charbon de bois présentent des anomalies semblables, cependant on peut dire que la température de l'air lancé dans les fourneaux alimentés au coke ou à la houille, doit être généralement plus forte que pour les fourneaux au charbon de bois.

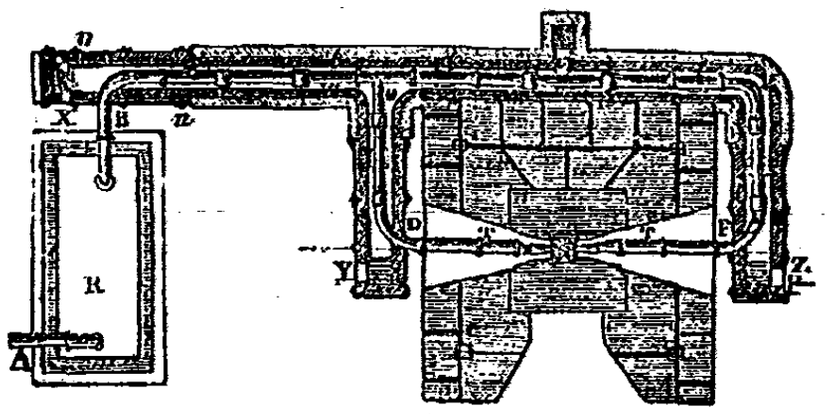
Disons maintenant quelques mots sur la disposition des appareils à chauffer l'air. Dans les fourneaux au coke ils sont presque exclusivement desservis par un foyer particulier où l'on brûle du combustible de qualité inférieure; dans les fourneaux au charbon de bois ils sont chauffés soit au moyen des flammes du gueulard, soit au moyen de gaz pris à un niveau inférieur et brûlés par un courant d'air chaud. Les gaz des fourneaux au coke ayant, comme le démontrent les recherches de M. Ébelmen, un pouvoir calorifique plus considérable que celui que possèdent les gaz des fourneaux au charbon de bois, il est certain que l'on réussira parfaitement à échauffer l'air qui doit alimenter les buses à tel degré qu'on le voudra, sans qu'il en résulte le moindre inconvénient pour l'allure du fourneau, en faisant un peu au-dessous de la plate-forme du gueulard une prise de gaz que l'on brûlerait au moyen d'un courant d'air.

L'appareil le plus employé en Angleterre est représenté dans les figures 844 à 849. La fig. 844 est une coupe verticale du fourneau et de l'appareil; la fig. 845 en est le plan: l'air arrive de la soufflerie par le tuyau A, dans le régulateur R, et de là se rend dans le tuyau B, de 0^{m},40 de diamètre intérieur, qui se divise en C en deux branches CD, C E F, de 0^{m},25 de diamètre intérieur, qui alimentent respectivement les deux tuyères T, T; ces tuyaux sont placés dans des carneaux en briques moyennement réfractaires chauffés par trois grilles X, Y, Z; H, est une cheminée d'appel commune aux trois grilles. La fig. 846 représente, à une échelle triple, le carneau alimenté par la grille X. Les tuyaux sont assemblés par bouts de 1^{m},50 partie au moyen de brides, partie à emboîtement, comme l'indiquent les fig. 847 et 848, afin qu'ils puissent céder à l'action de la dilatation, et sont soutenus sur des rouleaux G (fig. 849), fixés sur des plaques en fonte S, placées sur la sole des carneaux. On consomme généralement dans ces appareils de 30 à 40^{k} de houille pour chauffer à 200 à 300° l'air nécessaire à la production de 100^{k} de fonte de moulage.

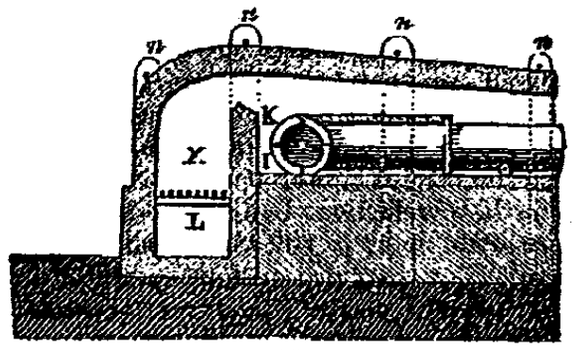
On trouve économie sous le rapport de la simplicité des appareils et sous celui de la consommation en com-



814.

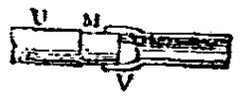


845.

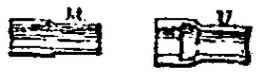


846.

849.



847.

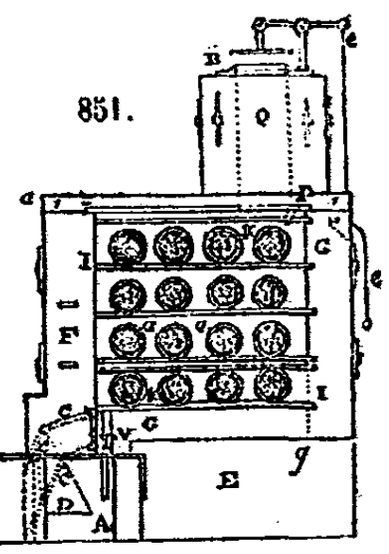


848.

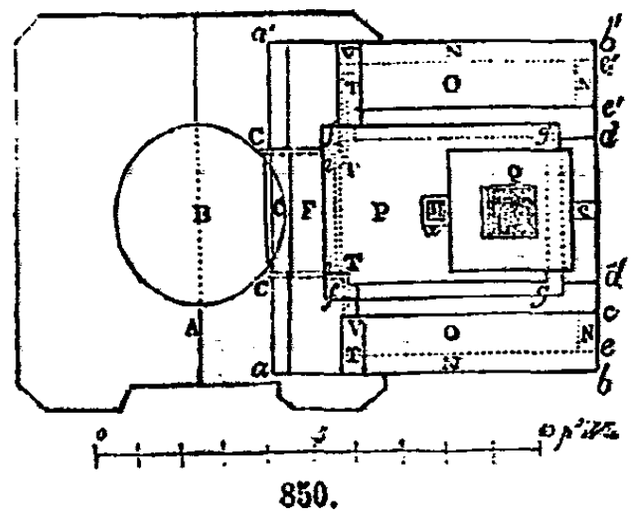
bustible nécessaire pour échauffer l'air, surtout à une température élevée, à remplacer l'appareil ci-dessus par l'appareil *Cabrol*. Cet appareil, fort ingénieux, consiste dans un foyer placé dans une caisse ou chambre en fonte, communiquant par le bas au régulateur de la soufflerie, et par le haut au porte-vent. L'air fourni par la machine traverse ce foyer incandescent, et s'y décompose en partie, en s'échauffant plus ou moins, suivant la rapidité de son passage, la surface de la grille et la quantité de combustible qui s'y trouve accumulée; immédiatement après il entre dans le fourneau. Le foyer est garni intérieurement, ainsi que le porte-vent, de briques réfractaires séparées de l'enveloppe en fonte par du charbon pulvérisé, de manière à éviter les déperditions de chaleur. Le foyer et sa caisse sont renfermés dans une caisse en fonte plus grande, disposée de manière à ce que l'ouvrier chargé du service de l'appareil puisse y pénétrer à volonté, soit pour jeter le combustible sur la grille, soit pour la dégager des cendres qui peuvent l'obstruer. Des dispositions fort ingénieuses permettent de faire ce service sans arrêter la soufflerie, et l'ouvrier qui en est chargé ne souffre nullement ni de la chaleur, ni de la pression de l'air au milieu duquel il se trouve. Cet appareil ne consomme

que 20 à 25 kil. de houille par 100 kil. de fonte, pour élever l'air à la température de 300 à 400°. L'appareil pour les fourneaux alimentés au charbon de bois est beaucoup plus petit; il n'a qu'une caisse servant de foyer; l'ouvrier n'y pénètre pas, il jette le bois ou le charbon de bois par en haut, au moyen d'une trémie à double tiroir; la cendre se vide à chaque coulée, lorsque la soufflerie est arrêtée. Cet appareil peu coûteux, et que l'on peut mettre en activité en moins d'une demi-heure, est surtout employé dans les hauts-fourneaux qui marchent habituellement à l'air froid, et qui n'emploient l'air chaud que dans le cas d'un dérangement dans l'allure du fourneau, qui se manifeste par le blanchiment de la fonte, l'obscurcissement de la tuyère qu'il faut dégager à chaque instant, le refroidissement du creuset et le transport de la chaleur au gueulard.

Les appareils chauffés au moyen des flammes perdues du gueulard, ou d'une prise de gaz faite dans la cuve du haut-fourneau, sont placés, soit au niveau même du gueulard, soit sur le sol de l'usine. Comme exemple des premiers, nous donnerons la description de l'appareil de ce genre le plus employé, et établi dès 1832, par M. Faber du Faur, à l'usine de Wasseralfingen; les figures 850 et 851 en représentent le plan et



851.



850.

la coupe. A, est la partie supérieure de la cuve; B, le gueulard; C, une doublure en fonte formant le revête-

ment de l'embrasure destinée au passage de la partie de la flamme du gueulard qui est employée au chauffage du vent; D, l'aile de la pièce C, servant à la fixer au gueulard; E, est la sole du four à chauffer l'air; F, G, murs du four H, renfermant les tuyaux en fonte K, dans lesquels circule l'air arrivant de la soufflerie; une partie de la flamme du gueulard pénètre dans le four par l'embrasure C et s'échappe par la cheminée Q; les tuyaux K sont soutenus par des plaques en fonte, et réunis deux à deux par des tuyaux courbes en fonte s'adaptant sur les brides M et situés entre les murs G et N, dont l'intervalle est rempli de débris de briques et autres matières peu conductrices de la chaleur; ces coudes sont souvent placés à l'air libre; P, est une plaque en fonte recouverte d'une faible épaisseur de maçonnerie et formant le haut du four; R, est une plaque en fonte terminant la cheminée; S, le registre de la cheminée; T, sont des portes ou coulisses servant à régler la grandeur de l'ouverture C; V, les ouvertures latérales par lesquelles les coulisses T entrent dans le four; ces ouvertures sont plus larges que les coulisses, en sorte qu'il reste un espace de $0^m,05$ environ de largeur, par lequel l'air pénètre dans le four, afin d'opérer la combustion des gaz du gueulard, ce qui augmente considérablement la chaleur dans le four; W, est l'ouverture supérieure du four et X les portes postérieures; on balaie de temps à autre les tuyaux par les portes W et X, pour enlever les poussières qui s'y déposent et que l'on retire ensuite par la porte Y. L'air arrive de la soufflerie dans l'un des tuyaux inférieurs et sort par l'un des tuyaux supérieurs pour se rendre aux tuyères; les tuyaux de conduite d'air chaud sont habillés de manière à éviter autant que possible toute déperdition de chaleur. Le mastic dont on se sert pour faire les joints se compose de limaille de fer pétrie avec tout juste autant d'argile grasse et réfractaire qu'il en faut pour donner du liant à la pâte.

Les appareils placés sur le sol de l'usine sont de beaucoup préférables à ceux placés sur la plate-forme du gueulard où l'espace manque et qui ont l'inconvénient d'exiger une plus grande quantité de force motrice pour faire mouvoir la soufflerie, par suite du plus grand développement des tuyaux de conduite, aussi leur donne-t-on maintenant la préférence. On fait une prise de gaz dans le haut-fourneau, soit au moyen de une ou plusieurs ouvertures pratiquées sur les parois de la cuve, soit au moyen d'une trémie cylindrique ou conique, procédé qui a été appliqué pour la première fois, au commencement de 1836, dans les usines de Rommershausen et de Veckerhagen (Hesse électorale). Cette trémie est en fonte, de 2^m environ de hauteur, et forme la partie supérieure du gueulard; les parois de la cuve s'élargissent depuis le niveau du gueulard jusqu'un peu au-dessous de la trémie, de manière à former un espace annulaire où se rassemble une partie des gaz qui s'échappent du fourneau, et où l'on fait une prise par un canal en briques ménagé dans le massif du fourneau et se raccordant avec un tuyau en fonte qui amène les gaz sur le sol de l'usine. On brûle ces gaz soit avec un courant d'air chaud et forcé, soit avec un appel d'air froid.

Lorsqu'on emploie un courant d'air forcé, on se sert d'un fourneau à réverbère disposé comme celui qui sert pour le *puddlage au gaz* (voir plus loin le même article), avec cette différence que la voûte est plate et très surbaissée, et la sole de forme rectangulaire; l'air froid arrive par un tuyau carré placé transversalement près du rampant et sort chaud par un tuyau semblable, parallèle et de même forme, communiquant avec le premier par deux ou plusieurs tuyaux droits placés suivant la longueur du four; les gaz combustibles arrivent en arrière de l'autel et y sont brûlés par de l'air lancé par quatre tuyères et préalablement échauffé par son passage à travers 4 ou 6 tuyaux disposés en travers dans la cheminée du four lui-même.

Parmi les appareils où l'on brûle les gaz à l'aide d'air froid, le plus simple, sans contredit, consiste en deux tuyaux concentriques en fonte d'un grand diamètre et placés verticalement; on fait arriver les gaz combustibles à la partie inférieure du tuyau intérieur qui sert de cheminée, et où on les brûle par un courant d'air naturel dont on règle l'arrivée au moyen d'un registre. L'air arrive froid, de la machine soufflante, à la partie supérieure de l'espace annulaire compris entre les deux tuyaux, et s'échappe chaud à la partie inférieure pour se rendre aux tuyères.

Emploi partiel ou exclusif du bois vert, desséché ou torréfié. Les essais faits dans cette direction, en employant un mélange de bois vert ou de bois desséché et de charbon de bois, ont donné lieu, il est vrai, à une économie notable de combustible; mais l'économie en argent a été beaucoup plus faible, et même n'existe que là où le transport du bois, des coupes à l'usine, est presque nul; d'ailleurs, il faut employer de l'air chauffé à une température d'autant plus élevée que les charges renferment une proportion plus considérable de bois; cette proportion, du reste, ne peut dépasser, sans danger, 0,45 pour le bois vert, et 0,60 pour le bois desséché. On peut, au contraire, remplacer entièrement, dans les fourneaux marchant à l'air chaud, le charbon de bois par du *charbon roux*, ou bois torréfié par le procédé *Echement* (voyez CARBONISATION). Le nombre des usines qui emploient le bois vert ou desséché diminue chaque année, tandis que l'usage du charbon roux tend à prendre plus d'extension. On dessèche ordinairement le bois dans des caisses rectangulaires chauffées au moyen des flammes perdues du gueulard; pour le charbon roux, une bonne disposition à adopter dans certains cas, consiste à chauffer le vent dans un appareil placé sur le sol de l'usine, au moyen d'une prise de gaz faite sur la cuve par une trémie placée comme nous l'avons dit, et à déterminer l'appel des gaz dans l'appareil par un ventilateur aspirant placé à la suite, qui les conduirait ensuite par un canal sous la meule à torréfier; la torréfaction se ferait donc ainsi sans dépense aucune de combustible, pour chauffer l'air destiné à opérer la torréfaction. Cette disposition procurerait une économie de 10 p. 100 sur le combustible; mais elle pourrait n'en produire aucune en argent, si la distance de la coupe à l'usine était un peu considérable; il est d'ailleurs facile, connaissant cette distance et le prix des transports, de déterminer le degré de dessiccation, de torréfaction ou de carbonisation qu'il sera le plus avantageux de faire subir au combustible. En outre, il est à remarquer qu'il est difficile d'obtenir une allure du fourneau aussi régulière avec du bois vert ou desséché qu'avec du bois torréfié ou du charbon de bois.

Emploi de l'anthracite ou de la houille. L'anthracite est très difficile à employer dans les hauts-fourneaux, parce qu'il se délite et tombe en petits fragments par l'action de la chaleur; cependant on est parvenu, en Angleterre et en Amérique, à l'utiliser pour la fabrication de la fonte, en le brûlant avec de l'air dont la pression soit au moins double de celle qu'exige l'emploi du coke, c'est-à-dire de $0^m,15$ à $0^m,20$ de mercure et même plus.

Les houilles sèches et dures, peu collantes, peuvent être très facilement utilisées à l'état cru, sans même qu'il soit nécessaire d'employer de l'air chaud. Les houilles grasses et collantes doivent d'abord être converties en coke.

Emploi de la tourbe. On a essayé, dans quelques localités, de remplacer le bois et le charbon de bois par de la tourbe crue ou carbonisée; la quantité considérable de cendres souvent pyriteuses que donne presque

toujours la tourbe crue et surtout carbonisée, l'altération qui en résulte dans les qualités de la fonte, ont empêché, dans presque toutes les localités, de donner suite à ces essais.

Utilisation des flammes perdues du gueulard et du gaz des hauts-fourneaux. On a principalement employé les flammes perdues du gueulard à chauffer le vent, à cuire de la pierre à chaux et des briques, à griller le minerai, et enfin à chauffer des chaudières à vapeur destinées à fournir la force motrice nécessaire au service de l'usine. Les gaz combustibles, pris dans la cuve par des ouvertures placées à une distance variable au-dessous du niveau du gueulard, sont brûlés avec de l'air et employés aux mêmes usages que les flammes perdues du gueulard, et en outre au mazéage et au puddlage de la fonte, ainsi qu'au réchauffage du fer; opérations qui exigent, surtout la dernière, les températures les plus élevées que l'on produise dans les ateliers métallurgiques. Nous reviendrons, du reste, sur ce sujet en parlant de la fabrication du fer.

TRANSFORMATION DE LA FONTE EN FER FORGÉ.

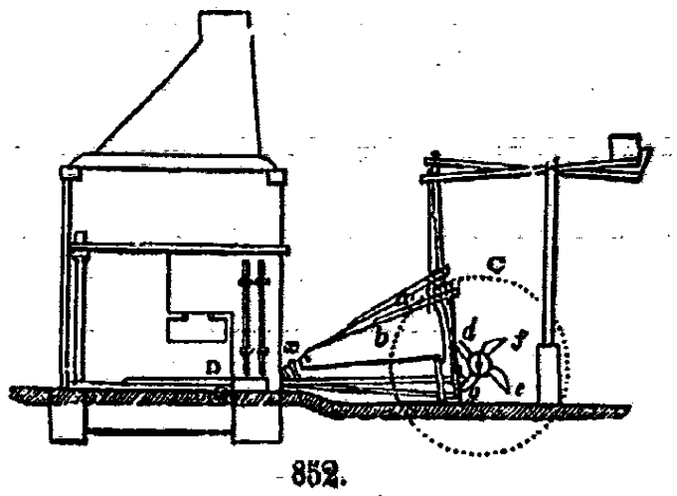
Les diverses méthodes que l'on suit pour affiner la fonte, c'est-à-dire pour la transformer en fer forgé, se divisent en deux grandes classes essentiellement distinctes sous tous les rapports, d'après la nature des appareils qu'ils emploient : d'une part, l'ancienne méthode usitée sur le continent, où l'affinage de la fonte se fait au charbon de bois dans de bas foyers à tuyères, et où l'étirage du fer affiné brut s'exécute au marteau; d'autre part, la méthode anglaise, inventée à la fin du siècle dernier en Angleterre, et dont l'usage se répand chaque jour de plus en plus sur le continent; méthode où l'affinage de la fonte se fait dans des fours à réverbère, et où l'étirage du fer affiné s'opère au moyen d'appareils particuliers qui portent le nom de laminoirs.

Nous allons étudier successivement ces deux groupes de fabrications, en commençant par le plus ancien, qui est encore actuellement le plus répandu en France.

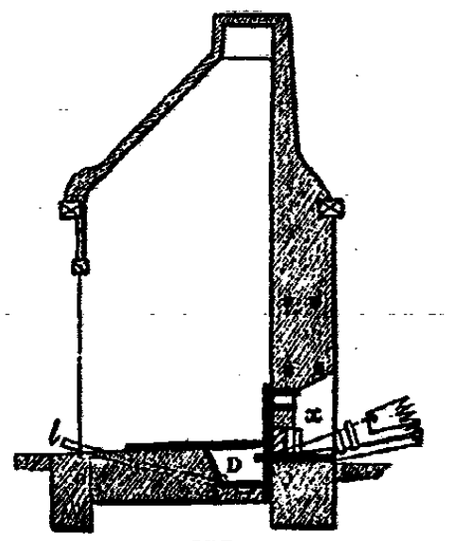
Méthodes d'affinage dans des bas foyers à tuyères, dans lesquelles on ne fait pas subir à la fonte de blanchiment préalable.

Ces méthodes se distinguent en deux classes : celles où le réchauffage et l'étirage des matières se font dans le même foyer; ce sont les méthodes *comtoise*, *champenoise*, *bourguignonne et allemande*, qui ne diffèrent guère que d'après la nature de la fonte à affiner, et la méthode *wallone* où le réchauffage du fer en mastiaux se fait dans un foyer particulier; méthode qui disparaît chaque jour, parce qu'elle donne lieu à une plus forte consommation en combustible.

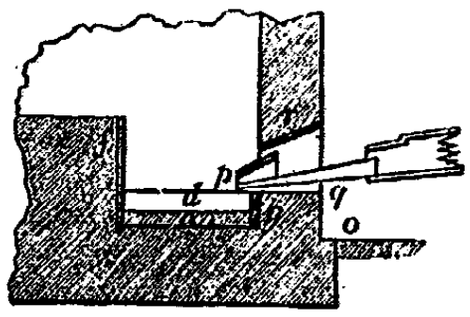
Foyer. La fig. 852 donne l'élévation d'une ancienne forge allemande, la fig. 853 en est la coupe, et les fig. 854, 855 et 856 donnent à une échelle plus grande le plan et deux coupes du foyer; ce foyer se compose essentiellement d'un creuset D (fig. 852 et 853) muni d'une tuyère x, alimentée par deux soufflets pyramidaux en bois a, b, ou tout autre machine soufflante, mus par les cames d, e, f, g, montées sur l'arbre de la roue hydraulique C; l, est une rigole par laquelle on fait arriver au besoin de l'eau sous la plaque de fond pour la rafraîchir. Le creuset est surmonté d'une cheminée assez haute. L'espace compris entre le mur et les piliers de cette cheminée est de 2m,00 à 2m,30 sur 1m,60 à 1m,00, et forme une aire plane ordinairement élevée de 0m,33 au-dessus du sol. Le creuset, ménagé à l'un des angles de la hotte, se compose de cinq plaques de fonte, et reçoit le vent du côté contigu au mur. La plaque ou taque g, qui supporte la tuyère p, s'appelle *warme;* celle f, qui lui est opposée, *contrevent;* celle du devant, percée de deux trous par lesquels on fait écouler les scories, *chio* ou *laiterol;* celle de derrière, *baire* ou



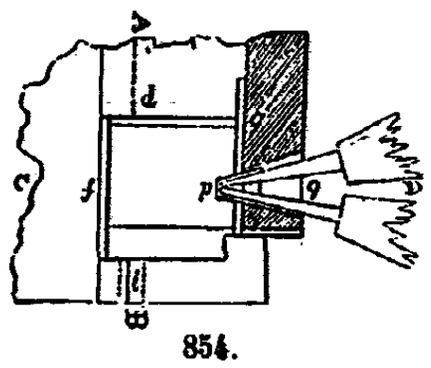
852.



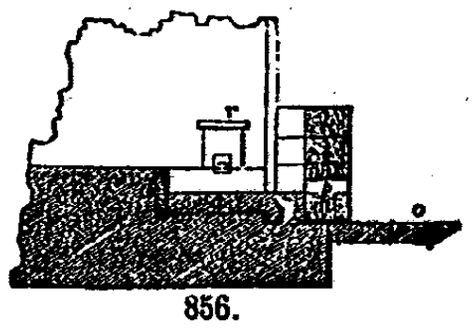
853.



855.



854.



856.

rustine, et celle du fond, *sole*. Toutes ces taques ont 0m,06 d'épaisseur, à l'exception de celle de *chio* qui

n'a que 0m,03 ; elles durent plusieurs mois, le fond seul doit être changé tous les 8 ou 15 jours.

On déverse quelquefois la rustine en dehors de 0m,05 pour pouvoir sortir plus facilement la loupe; le chio est toujours d'aplomb; le contrevent est tantôt placé verticalement, tantôt déversé légèrement en dehors ou en dedans ; la warme est verticale pour les fontes blanches et truitées et déversée vers l'intérieur du feu pour les fontes grises. La largeur et la longueur du creuset varient entre des limites très grandes, et leurs dimensions ont peu d'importance ; il n'en est pas de même de la profondeur du feu mesurée au-dessous de l'œil de la tuyère et de l'inclinaison de celle-ci. Jusqu'à une certaine limite, la profondeur du feu doit être d'autant plus grande que les fontes sont plus grises et plus difficiles à affiner. On emploie dans les feux d'affinerie, une ou deux tuyères en cuivre rouge, quelquefois en fonte ; elles sont très plates, ce qui assure leur stabilité et permet au vent de s'étendre en nappe ; leur œil, quand il n'y a qu'une tuyère, est de 40mm sur 27mm, et quand il y en a deux, de 23mm sur 24mm, ou de 40mm sur 10mm. Une inclinaison de 7 à 8° produit la plus haute température dans la région supérieure du foyer où se trouve la gueuse, et convient, par conséquent, pour les fontes grises ou noires qui fondent difficilement, mais qui, une fois fondues, deviennent très liquides, afin que le métal puisse fondre et tomber goutte à goutte dans le bain de scories, ce qui favorise beaucoup sa décarburation. Pour les fontes blanches, truitées ou grises ordinaires qui fondent à une température peu élevée, mais qui prennent peu de liquidité et se figent promptement, on doit donner à la tuyère une inclinaison plus faible ou plus grande que celle de 7 à 8°, suivant qu'elles sont plus ou moins exemptes de matières nuisibles. Pour les fontes grises, on adopte généralement les inclinaisons de 6 à 7° et de 8 à 10° ; pour les fontes blanches et truitées, on peut choisir entre 3 et 4° et 10 à 11°. Par ce moyen, les fontes blanches et truitées fondent, non pas par gouttes comme les fontes grises et noires, mais bien par petites écailles, ce qui est nécessaire pour que la fonte soit en partie préservée de l'action oxydante des scories et ne se décarbure pas trop durant son parcours de la gueuse au fond du creuset. Si d'ailleurs la fonte est impure, ce qui nécessite un plongement de 10 à 11°, la chaleur concentrée dans la région inférieure du creuset fait que la matière ferreuse, rassemblée après la fusion dans cette partie du feu, reste à l'état pâteux pendant tout le temps nécessaire à l'oxydation complète des matières étrangères.

On donne à la tuyère une légère saillie sur la warme, afin de ménager cette taque et de rapprocher ou d'éloigner le maximum de température de la partie du creuset où se trouve la gueuse, suivant que la fonte est plus ou moins difficile à affiner. On donne quelquefois à la tuyère une légère déclinaison vers le chio, dans le but de retarder l'affinage et de favoriser l'écoulement des scories et la circulation du vent, parce que le fraisil, fréquemment arrosé d'eau dans cette partie du foyer, obstrue souvent le passage de l'air.

Nous rappellerons, d'après l'excellent Mémoire de M. Thirria (*Annales des Mines*, 3e série, tome XVIII), les dimensions et les principales circonstances du roulement des feux employés dans la Franche-Comté, en Champagne et en Bourgogne :

MONTAGE DU FEU.	FEU A UNE TUYÈRE.		
	Comtois.	Champenois.	Bourguignon.
	m. c.	m. c.	m. c.
Longueur intérieure du feu prise au niveau du dessus de la face de chio.	0,73	0,70	0,74
Longueur intérieure du feu prise au niveau du dessus de la face de chio.	0,51	0,54	0,47
Profondeur comptée sur la warme au-dessous de la tuyère.	0,21	0,18	0,17
Hauteur de la warme à l'angle de la haire.	0,16	0,12	0,11
Hauteur de la warme à l'angle du chio.	0,22	0,19	0,14
Inclinaison de la warme vers l'intérieur du feu.	0,009	0,018	0,013
Inclinaison du fond vers le contrevent, comptée sur la haire.	0,027	0,034	0,016
Inclinaison du fond vers le chio, comptée sur la warme.	0,013	0,023	0,027
Hauteur du contrevent à l'angle de la haire.	0,62	0,51	0,46
Hauteur de la haire à l'angle de la warme.	0,32	0,30	0,31
Distance du fond à la plaque de dessus le chio, prise à l'angle de la warme.	0,32	0,24	0,20
Warmage ou avancement de la tuyère dans le feu.	0,067	0,088	0,067
Plongement de la tuyère.	7° 1/4	3°	2° 1/2
OEil de la tuyère.	0,040 sur 0,027	0,040 sur 0,027	0,033 sur 0,029
Distance du centre de l'œil de la tuyère à la haire.	0,27	0,28	0,38
Distance du centre de l'œil de la tuyère au chio.	0,46	0,42	0,36
Diamètre de l'œil de chaque buse.	0,025	0,034	0,033
Distance de l'extrémité de la buse de derrière à l'œil de la tuyère.	0,067	0,055	0,067
Distance de l'extrémité de la buse de devant à l'œil de la tuyère.	0,067	0,074	0,067
Distance du fond au premier trou de chio.	0,16	0,15	0,13
Distance de son centre à la warme.	0,15	0,13	0,13
Distance du fond au deuxième trou de chio.	0,19	0,17	0,15
Distance de son centre à la warme.	0,18	0,17	0,17
Diamètre de chacun des trous de chio.	0,027	0,027	0,027

CONSOMMATIONS ET PRODUITS.	FEU A UNE TUYÈRE.		
	Comtois.	Champenois.	Bourguignon.
Pression moyenne de l'air aux buses, exprimée en centimètres de mercure.	3,5	3,0	2,7
Volume moyen de l'air lancé par minute, sous la pression atmosphérique, en mètres cubes. . . .	3,99	3,20	3,16
Durée de l'affinage, en minutes.	135	90	40
Quantité de fonte consommée pendant l'affinage, en kilogr.	88	66	32
Quantité de charbon de bois consommée pendant l'affinage, en mètres cubes.	0,455	0,376	0,352
Poids moyen du fer forgé donné par la loupe de chaque opération, en kilogr.	65	48	23
Production mensuelle en fer forgé de divers échantillons, en kilogr.	47,000	49,000	21,000
Fonte aux 100^{k} de fer marchand, en kilogr. . .	135	138	140
Charbon de bois aux 100^{k} de fer marchand, en mèt. cub.	0,700	0,685	0,634

Marteaux. Les marteaux employés dans les feux d'affinerie sont à soulèvement latéral ou à bascule : les premiers servent au cinglage des loupes et à l'étirage du fer en gros échantillons, et les autres, dits *martinets* ou *makas*, à l'étirage du petit fer.

Parlons d'abord des marteaux à soulèvement. Leurs têtes se font généralement en fonte, et on durcit leur panne à la coulée, en disposant dans le moule une pièce de fonte très épaissee sur la partie correspondante à cette face, de telle sorte, qu'elle se trouve, en un mot, coulée en coquille.

Les *manches* et les *rabats* se font en bois de hêtre, de frêne ou de charme de premier choix. Le point par où les cames soulèvent le manche est protégé par une large patte en fer dite *braye*. L'extrémité du manche est emmanchée dans une bague à tourillons, appelée *bogue* ou *hurasse*, qui contient l'axe de rotation du marteau. L'*enclume* est en fonte, la table doit avoir été dressée après la coulée; on la place sur plusieurs pièces de bois de fort équarrissage, plantées verticalement dans le sol et maintenues par des cadres entourés de maçonnerie; ce système, dit *stock*, ne peut être solidaire avec la fondation des autres parties du système. Souvent on encastre l'enclume dans une grosse pièce de fonte ou *chabotte*, qui repose sur le stock ; dans tous les cas, on doit donner à l'enclume un poids au moins triple de celui du marteau pour qu'elle puisse amortir les chocs. La table de l'enclume et la panne du marteau doivent bien coïncider dans toute leur étendue. L'axe longitudinal de l'une de ses surfaces, au lieu d'être parallèle à l'arbre des cames, est tourné en dehors, afin que les cames ne puissent pas saisir les barres. et afin que les longues barres ne soient pas arrêtées par les supports du rabat. L'*ordon* ou charpente d'un marteau à soulèvement, se compose : 1° de deux montants ou jambes qui reçoivent les tourillons de la hurasse ; 2° de deux colonnes placées de file derrière l'intervalle des jambes et recevant le rabat ; 3° d'une fondation qui assure la solidité de tout le système. Actuellement on confectionne en fonte les jambes de la hurasse et les supports du rabat.

Le poids des marteaux à soulèvement que l'on emploie ordinairement varie de 200 à 400^{k}; leur *levée*, qui est généralement en raison inverse de leur poids, est comprise entre 0^{m},80 et 0^{m},55, et le nombre de coups qu'ils battent par minute varie de 90 à 120.

La *force motrice* dépensée pour le service d'un marteau s'obtient en kilogrammètres, au moyen de la formule $2x = 0{,}05 \cdot p \cdot n \cdot c$, dans laquelle p, désigne le poids de la tête du marteau augmenté de celui des cales et de celui de la partie du manche qui pèse sur la tête, quantités additionnelles que l'on peut estimer aux 2/5 du poids de la tête ; n, le nombre de coups par minute ; et c la levée. Soit, par exemple, un marteau dont la tête pèse 300^{k} et pour lequel $n = 100$ et $c = 0^{m},60$, on aura $x = 630$ kil. mèt. $= 8{,}4$ chev. vap. (à 75 kil. mèt. par chev. vap.). On a supposé dans l'établissement de la formule précitée que les frottements de toute nature et l'action du rabat absorbent à peu près la moitié du travail utile et que le moteur rend 50 pour 100 de la force réellement dépensée en eau et en vapeur.

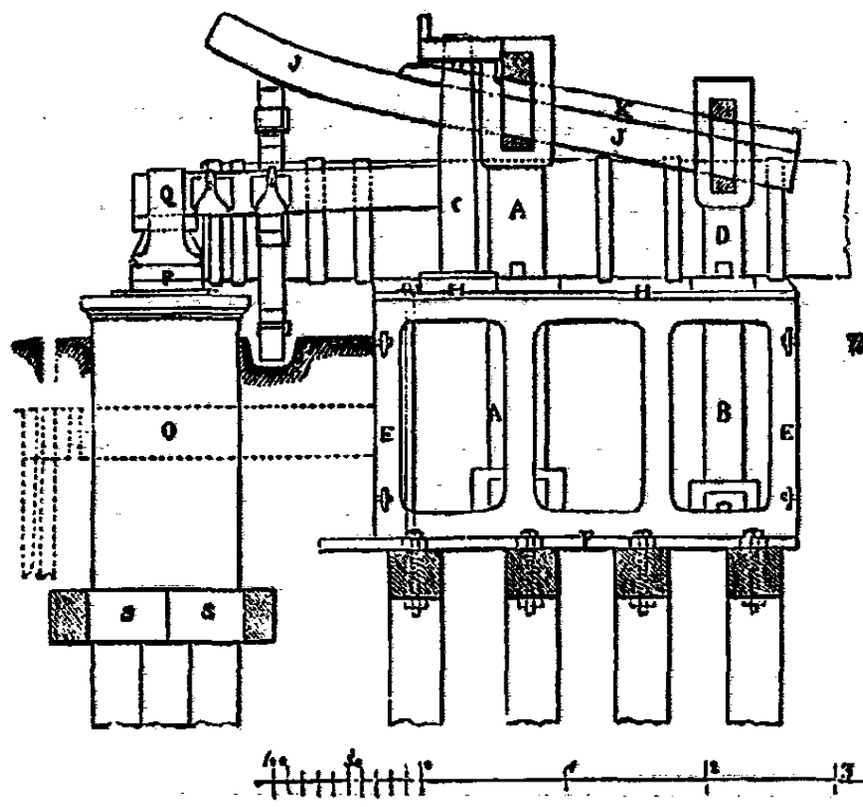
Les fig. 857 et 858 représentent un marteau à soulèvement avec ordon en fonte, d'après le modèle adopté en dernier lieu dans les usines de la Silésie. (*Extrait de la Métallurgie du fer de Karsten*, tome V.)

Les deux colonnes de fonte A et B, ainsi que les deux jambes C et D de l'ordon, sont maintenues solidement par une caisse en fonte enterrée et fixée sur les sommiers en bois, dont chacun s'emboîte avec deux forts pilotis, comme l'indique le dessin. La caisse en fonte se compose d'une plaque de fond F, d'un cadre rectangulaire dont les côtés sont E et G, et d'un chapeau H. Q, tête du marteau; L, hurasse dont les tourillons tournent dans des coussinets fixés aux jambes C, D; J, rabat et sa couverture K, calés à l'aide de coins en bois, et servant à limiter la levée du marteau ; M, arbre moteur en chêne portant un collier sur lequel sont montées cinq cames en fonte; le palier qui soutient le tourillon qui termine cet arbre repose sur un madrier en chêne soutenu par le sommier N, qui à son tour se trouve fixé sur des pilotis. Enfin le stock O en bois de chêne qui porte l'enclume P, dont la panne, parallèle à celle du marteau Q, forme un angle aigu avec l'axe de l'arbre des cames, repose sur deux sommiers bien reliés entre eux et fixés sur cinq pilotis ; il porte à la partie supérieure une plaque en fonte qui l'emboîte, et dans laquelle se trouve une ouverture octogone pour recevoir la chabotte de même forme.

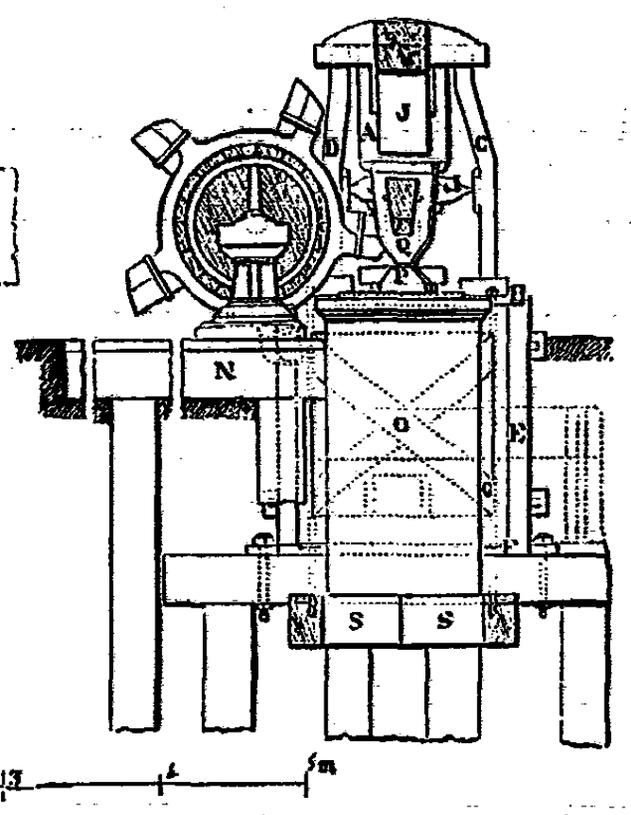
Le poids de la tête des *martinets* varie de 50 à 250 kil. ; la volée est de 0^{m}, 50 à 0^{m},60 pour les martinets les plus forts; de 0^{m},35 à 0^{m},45 pour les moyens; et de 0^{m},25 à 0^{m},30 pour les plus petits; le nombre de coups par minute varie de 140 à 300, les plus faibles battant le plus vite. L'enclume porte souvent une *étampe* forgée, à laquelle on donne la forme de l'échantillon que l'on veut obtenir; dans ce cas, la tête du marteau porte une étampe semblable.

Les ordons des martinets ne se composent, pour ainsi

dire, que de deux montants en bois ou en fonte assemblés dans des semelles, et consolidés par des moises ou traverses. On doit pouvoir y fixer solidement des crapaudines et pouvoir les changer avec facilité. Les fondations peuvent être établies comme celles du marteau à soulèvement que nous venons de décrire. Le manche porte à l'arrière une forte frette en fer munie d'une *touche* sur laquelle viennent agir les cames; la partie inférieure de la frette est renforcée et vient buter contre le *tas*, ce qui limite l'étendue de la levée.

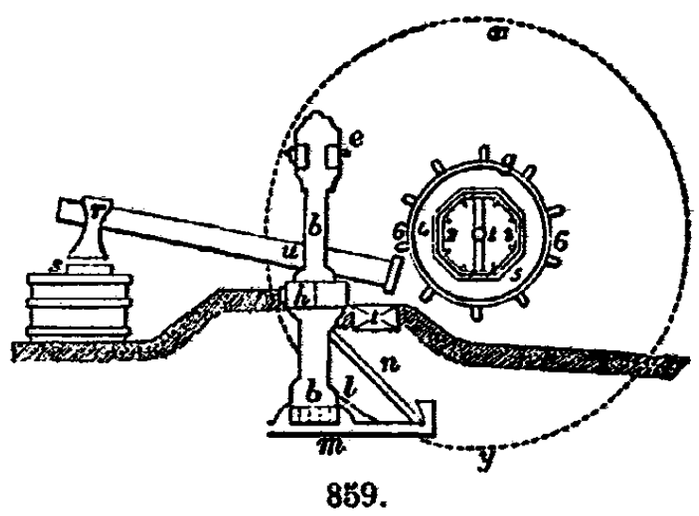


857.



858.

La fig. 859 est l'élévation du martinet habituellement employé dans les forges allemandes : *1*, axe de rotation de la roue hydraulique motrice *x y*, sur lequel est monté le collier 2 3, de l'arbre des cames 4 5 6; *h*, *l*, *m*, *n*, fondations supportant les jambes *b* du marteau, qui sont réunies à la partie supérieure par les traverses *e*; *u*, manche, et *r*, tête du marteau; *s*, enclume; *t*, tas destiné à limiter la levée du marteau et formé par l'extrémité d'une solive en bois élastique.



859.

Méthode comtoise.

Un feu comtois est desservi par six ouvriers travaillant en deux postes, qui se relèvent après l'affinage de quatre loupes, lequel dure environ 8 heures. Les trois ouvriers dont se compose un poste sont deux forgerons et un valet, dit *goujat*. Un manœuvre, dit *releveur de charbon*, transporte le charbon de la halle dans la forge. Un des quatre forgerons a le nom d'*affineur*, et monte le feu; un autre, dit *marteleur*, soigne le marteau, mais le plus souvent le marteleur est en même temps affineur. Les deux forgerons de service font tour à tour une loupe et forgent toujours le fer qu'ils ont obtenu. En France, l'affineur et le marteleur reçoivent ordinairement 10 fr. par mois en sus du prix de fabrication, réglé à forfait, à raison de 16 fr. par 1,000^k de gros fer, et de 18 fr. par 1,000^k de petit fer. Comme un feu comtois produit par mois 18,000^k de gros fer ou 16,000^k de petit fer, l'affineur et le marteleur gagnent chacun 80 à 85 fr. par mois, et les deux autres forgerons 70 à 75 fr.; les goujats sont payés au mois et gagnent 18 à 20 fr.; il en est de même du releveur de charbon qui gagne habituellement 30 fr. par mois. En Belgique et en Allemagne, le salaire des ouvriers est notablement moindre.

Conduite de l'affinage. — Chargement. Dès que la dernière loupe est sortie du feu, on met *avant*, c'est-à-dire qu'on avance dans le feu la gueuse placée sur un rouleau et disposée perpendiculairement à la tuyère. Il doit y avoir un espace de 0^m,03 à 0^m,04 entre la gueuse et le contrevent, pour que le vent puisse agir le mieux possible sur la fonte tout en s'élevant dans le dessus du feu; il faut, en outre, que le dessous de la gueuse se trouve à 0^m,10 ou 0^m,12 au-dessus de la nappe formée par le vent, et que son extrémité soit éloignée au moins de 0^m,30 de la face du chio. Dans cette position, la fonte fond goutte par goutte, ce qui est nécessaire pour le succès de l'opération; car si on faisait *fondre la gueuse par écailles*, comme dans le traitement des fontes blanches et truitées (1), en l'exposant plus directement au vent, l'affinage serait plus long et plus difficile; c'est seulement quand la fonte est noire et graphiteuse, qu'on place la gueuse au milieu du feu pour la faire fondre plus facilement; mais on ne le fait qu'après le chauffage des massiaux.

La gueuse convenablement placée, on met par dessus, du côté du contrevent, des *sornes* ou scories riches de l'opération précédente mélangées de battitures et scories très riches ou *embrecelats*, on remplit le foyer de charbon, on couvre celui ci d'une ou deux pelletées d'embrecelats, puis on donne le vent. Les scories riches, qui fondent promptement, sont destinées à former le lit de sorne, sur lequel la matière ferreuse provenant

(1) On n'affine ordinairement, par la méthode comtoise, que des fontes grises.

de la fusion de la gueuse doit reposer immédiatement pendant toute la durée de cette partie de l'opération, ainsi que le bain de scories pauvres qui doit la recouvrir pour la préserver de l'action directe du vent. On règle la quantité de ces additions de manière à ne conserver que la portion de scories riches nécessaire pour l'affinage, *car un feu comtois qui roule bien doit consommer* toutes les scories riches qu'il produit.

Fusion. Pendant que la fonte nécessaire à la formation d'une loupe se liquéfie et que le marteleur et le goujat procèdent au cinglage et à l'étirage de la loupe précédente, le forgeron chargé de la conduite de l'affinage, n'a autre chose à faire qu'à régler le vent au moyen d'un registre placé au dessus des buses; entretenir le feu de charbon de manière à ce qu'il forme toujours bien la voûte, sans se crever, suivant l'expression des ouvriers; déboucher l'un des deux trous du chio, pour donner écoulement aux scories surabondantes, savoir : le trou inférieur, quand les scories entrent facilement en fusion, et le trou supérieur, quand il a fallu plus de temps pour les liquéfier ; placer sur le feu de l'embrecelat pour remplacer les scories pauvres qui se sont écoulées par le chio ; commander au goujat d'avancer la gueuse dans le feu toutes les fois que cela est nécessaire; dégager avec une tige de fer la tuyère lorsque les scories l'obstruent; retourner de temps à autre les pièces qui chauffent; projeter dans le creuset soit un peu de sable quarzeux, soit un peu d'argile, si les scories ne sont pas assez abondantes, ce qu'on reconnaît à ce que le feu donne des étincelles claires, ou si elles ne sont pas suffisamment liquides; sonder le feu de temps en temps avec un ringard, pour reconnaître la nature des scories et celle de la matière ferreuse; enfin, arroser le devant du feu, pour se garantir d'une trop grande chaleur, et pour empêcher que le fraisil ne soit emporté par le vent. Le chargement et la fusion de la fonte durent 1 heure 25 minutes environ.

Travail. Aussitôt que la dernière pièce à forger est retirée du feu, le forgeron fait retirer la gueuse par le goujat de manière à l'empêcher de fondre, et alors commence la seconde partie de l'affinage qu'on nomme le *travail*, parce qu'elle est réellement pénible pour le forgeron. Son premier soin est de ramener au-dessus de la masse ferreuse les sornes ou scories endurcies qui se trouvent entre elle et le fond du foyer; à cet effet, il les soulève avec le ringard, en les plaçant dans les angles et le long des bords du chio ; puis il les tire sur cette plaque avec un crochet en fer, et il en sépare les parties ferreuses qui y sont adhérentes pour les reporter vers le feu. Cette première manœuvre se nomme le *désornage*, et dure environ 5 minutes.

Après le désornage, le forgeron procède au *soulèvement* proprement dit, qui consiste à soulever avec le ringard la masse ferreuse au-dessus du niveau de la tuyère, pour en exposer les différentes parties à l'action décarburante du vent. Lorsque le fer à demi-affiné est redescendu sur la plaque du fond, sur lequel il repose immédiatement depuis le désornage, le forgeron le perce avec son ringard pour reconnaître quelles sont les parties qui ont encore besoin d'être exposées au vent. Celles dont la couleur est rouge et qui n'adhèrent que faiblement au ringard doivent être soumises de nouveau à l'action décarburante de l'air, tandis que les parties ferreuses d'une couleur blanche qui s'attachent fortement au ringard, et dont il ne peut dégager cet outil qu'en frappant dessus avec son marteau, doivent être abritées du vent et placées, à cet effet, soit contre la haire, soit contre le contrevent. Le forgeron, du reste, favorise l'épuration du métal, en jetant, à plusieurs reprises, dans le feu, de l'embrecelat et des dés dits *sifflet* qui s'étaient attachés au ringard. Le feu est peu garni de charbon pendant cette seconde partie de l'affinage; la masse ferreuse est presque toujours à découvert, et le vent, qui est lancé avec toute son intensité, forme à la surface du foyer des gerbes brillantes, composées de parcelles de scories en fusion et de charbon incandescent. Le soulèvement dure moyennement 25'.

L'affinage se termine par l'*avalage*, opération qui *consiste à réunir avec le ringard les parties ferreuses*, et à en former une boule au centre du foyer. A cet effet, après avoir diminué le volume du vent, le forgeron écarte, avec le ringard, les sornes et le fraisil qui peuvent gêner l'agglomération des parties ferreuses; puis il forme la loupe, en les réunissant successivement à un noyau situé vers le milieu de la plaque du fond. On achève l'opération en jetant sur la loupe une pelletée d'embrecelat, dans le but de la refroidir et de lui faire prendre une consistance convenable pour la sortir du feu. Cela fait, les deux forgerons retirent la loupe, d'abord en la soulevant avec des ringards, puis en la tirant avec des crochets sur la plaque de chio.

Affinage par attachement. Dans beaucoup d'usines, surtout en Allemagne, on ne sort pas tout le fer en une seule fois, mais par parties : on profite du moment où la matière entre pour la dernière fois en fusion pâteuse, pour retirer du foyer les parties du métal qui sont complétement affinées, tandis que l'opération se continue comme à l'ordinaire à l'égard du reste de la masse. A cet effet, l'affineur promène son ringard au-dessous du gâteau soulevé, en le maintenant à peu près dans un plan horizontal passant par la tuyère, et en le faisant tourner sur lui-même, il y attache des parties ferreuses ; il retire l'outil, le plonge dans l'eau pour refroidir le fer, et recommence la même manœuvre jusqu'à ce qu'il ait formé un petit lopin de 8 à 10 kilogr. que l'on porte de suite au marteau pour l'étirer. Ce travail connu sous le nom d'*affinage par attachement*, peut durer jusqu'à ce que toute la masse soit descendue au fond du creuset; il procure une économie de temps et de charbon, et le fer qui en résulte est toujours d'une qualité supérieure, sans que les parties qui restent dans le creuset pour former la loupe, se trouvent détériorées; il serait à désirer que ce procédé prît en France une plus grande extension.

Forgeage. La loupe étant retirée du feu et déposée sur le sol de l'usine, le goujat la frappe à coups de masse aux deux points opposés qui doivent former les extrémités de la *pièce* ou du *massiau principal*, puis on la laisse refroidir quelques instants pour qu'elle ne se désunisse pas sous le marteau, on la cingle, et on la coupe avec le *hacheron* en deux *massiaux* qui ont 0m,30 à 0m,35 de côté en carré. L'un de ces massiaux est placé dans le feu entre la gueuse et la tuyère, de manière que son extrémité plonge dans le bain de scories qui recouvre la matière ferreuse, sans atteindre celle-ci, dont le contact produirait une cémentation qui rendrait le fer cassant (1). L'autre massiau est posé sur la tuyère et recouvert de charbon. Dès que le premier massiau est hors du feu, on le remplace par le deuxième. On forge le premier massiau sur la moitié de sa longueur en une barre de l'échantillon qu'on veut avoir, et qui se termine par un bout de dimensions un peu plus fortes qu'on nomme *bordon* ou bout de barre. Ce premier forgeage du massiau est appelé la mise en *maquette*, et on donne à sa partie non forgée le nom de tête de maquette. Quand la mise en maquette est achevée, on plonge dans une auge remplie d'eau la barre et le bout de la barre, jusqu'à ce qu'ils soient assez refroidis pour

(1) La seule partie du foyer où la température puisse être portée au blanc soudant, est celle où l'on place la pièce qu'on se propose de forger *immédiatement*. Elle se trouve à 0m,10 ou 0m,12 de l'extrémité de la tuyère, et l'on retourne plusieurs fois la pièce afin d'y faire arriver successivement toutes les parties qui doivent être chauffées au blanc soudant.

qu'on puisse les saisir; on introduit alors la tête de maquette dans le feu en l'appuyant sur la tuyère. Le deuxième massiau ayant atteint la température du blanc soudant, on le remplace par la tête de maquette du premier massiau; et quand il a été converti à son tour en barre, bout de barre et tête de maquette, on fait refroidir dans l'eau la partie forgée, et on place la deuxième tête de maquette au-dessus de la tuyère, jusqu'à ce qu'on ait retiré du feu la première. Celle-ci, après une chaude suffisante, est passée au marteau et forgée en barre et bout de barre. On place ensuite le bout de barre dans le feu, à côté de la tête de maquette du deuxième massiau, qui, après une chaude suffisante, est étirée de même en barre et bout de barre. Ces forgeages terminés, il ne reste plus qu'à étirer les quatre bouts de barre.

Conduite du vent. La quantité de vent lancée dans le feu va en augmentant jusqu'à la période du soulèvement; elle diminue ensuite constamment jusqu'à la fin de l'opération.

Consommations et déchets. Nous les avons donnés dans le tableau p. 21.

Modifications à apporter aux dispositions ordinaires pour l'affinage des fontes autres que les fontes grises. Pour l'affinage des *fontes noires* : 1° on donne au vent une inclinaison de 7 à 8°; on fait warmer les tuyères de 0m,10 au lieu de 0m,08 à 0m,09, et on fait pencher le warme un peu plus qu'à l'ordinaire vers l'intérieur du feu; 3° lorsqu'il y a deux tuyères, on place celle de derrière 0m,03 à 0m,04 plus près de la haire, tant pour élever la température dans la partie postérieure du feu où se trouve la gueuse, que pour rendre plus facile le soulèvement de la masse ferreuse; 4° on augmente la profondeur du feu en la portant à 0m,23; 5° on a soin d'ajouter une plus forte proportion de scories riches; 6° on augmente le volume du vent, surtout lors du soulèvement de la matière ferreuse que l'on expose davantage et plus longtemps à l'action du vent.

Pour l'affinage des fontes *blanches* et *truitées* : 1° on donne au vent une inclinaison moindre ou plus grande que celle de 7 à 8°, en la réduisant à 3 ou 4°, ou en la portant à 10 ou 11°; 2° la warme est placée bien verticalement, et on fait seulement avancer les tuyères dans le feu de 0m,05 à 0m,06; 3° lorsqu'il y a deux tuyères on rapproche la tuyère de devant de 0m,03 à 0m,04 du chio, pour abaisser la température dans la partie postérieure du foyer où se trouve la gueuse; 4° on diminue la profondeur du feu, prise au-dessous de l'œil de la tuyère, en la réduisant à 0m,17; 5° on incline le fond un peu moins vers le contrevent; 6° on ajoute moins de scories riches; 7° enfin, on diminue l'intensité du vent à toutes les époques de l'affinage, et on expose moins longtemps, lors du soulèvement, la matière ferreuse à l'action décarburante du vent.

Méthode allemande.

Dans cette méthode, la fonte à affiner arrive ordinairement des hauts-fourneaux en plaques minces que l'on casse en fragments et que l'on charge sur le contrevent avec un mélange de scories riches et de battitures. Quand l'étirage de la loupe précédente, qui dure de 2 à 3 heures, est terminé, on enlève les charbons du foyer, et on continue à donner le vent, 20 à 30 minutes, pour refroidir le bain. On fait alors écouler complétement les scories; la masse ferreuse, quoique peu affinée, prend alors par le refroidissement une consistance pâteuse, et est ordinairement soulevée à trois reprises différentes. Dans le premier soulèvement, la masse se divise en morceaux que l'ouvrier ramène les uns après les autres devant la tuyère pour les faire fondre de nouveau, et dont il favorise l'affinage de manière à ce qu'en redescendant au fond du creuset, ils se prennent en une masse qu'il puisse soulever sans qu'elle se divise en morceaux. Cette masse portée devant la tuyère entre en fusion pâteuse et redescend au fond du creuset. On la soulève alors de nouveau, en l'appuyant contre le contrevent et, après avoir ramené les charbons embrasés au milieu du feu, on la renverse par dessus, on la recouvre de combustible frais et on la porte à la plus haute température possible. L'opération se termine par l'avalage, quand la masse est redescendue au fond du creuset : on enlève souvent une partie du fer par attachement.

La quantité de fonte qu'on traite en une opération varie de 100 à 150k; la loupe transformée sous le marteau en parallélipipède grossier, est ordinairement divisée en cinq lopins que l'on forge dans l'opération suivante. La durée d'une opération est de cinq à neuf heures, ce qui tient en partie au poids trop faible des marteaux, qui prolonge de beaucoup la durée du forgeage.

Dans l'affinage des fontes sulfureuses et phosphoreuses, on ajoute dans toutes les périodes de l'opération une certaine quantité de chaux carbonatée en poudre, dont la proportion varie de 2 à 10 p. 100 du poids de la fonte. Cette addition favorise la production d'un fer nerveux et l'élimination du phosphore et du soufre.

Méthode champenoise.

L'affinage champenois diffère de l'affinage comtois, sous plusieurs rapports que nous allons indiquer : 1° La gueuse, au lieu d'avoir son extrémité dans le foyer, à 0m,30 au plus de la face du chio, doit en être éloignée de 0m,05 à 0m,06 seulement, pour que, mieux exposée à l'action du vent, elle fonde par écailles et non goutte à goutte, la fusion par gouttes favorisant trop la décarburation de la fonte; 2° le forgeron détache à plusieurs reprises de la gueuse, pendant la fusion, par un coup de ringard, son extrémité amincie, dans le but de retarder la décarburation de la matière ferreuse; 4° les diverses parties de l'affinage, et surtout le soulèvement, sont menées plus rapidement; 4° on n'ajoute pas de loupe, mais seulement 3 à 4 kil. de battitures par loupe, au lieu de 8 à 10 kil. nécessaires dans l'affinage comtois; 5° au lieu de diviser la loupe en deux massiaux, lorsqu'elle est cinglée, on n'en fait qu'une seule pièce qu'on nomme *renard*, et qui est forgée en barre, bout de barre et tête de maquette; on chauffe ensuite le bout de barre que l'on étire en barre; la tête de maquette n'est chauffée et étirée que dans l'opération suivante, de sorte qu'on chauffe au commencement de chaque opération du fer provenant des deux opérations précédentes; le déchet est un peu plus grand et la consommation en combustible un peu plus faible que dans un feu comtois (voir le tableau donné plus haut).

Pour l'affinage des fontes grises et noires on change le montage du fer champenois de manière à se rapprocher des dispositions du feu comtois, tandis que pour celui des fontes tout à fait blanches, au contraire, on diminue l'inclinaison de la tuyère, son avancement dans le feu et sa distance à la haire, la profondeur du feu, l'inclinaison du feu vers le contrevent, et l'intensité du vent à toutes les époques de l'affinage, enfin, on n'ajoute que peu ou point de scories riches.

Méthode bourguignonne.

L'affinage bourguignon diffère essentiellement des affinages comtois et champenois en ce qu'il ne comprend que deux périodes distinctes, *la fusion* et *l'avalage*. On affine surtout par ce procédé des fontes blanches.

Comme il n'y a pas de soulèvement, il est nécessaire que la fonte se décarbure en majeure partie dans le trajet qu'elle fait en tombant de la gueuse au fond du creuset; en conséquence, elle doit fondre par gouttes comme dans l'affinage comtois et non par écailles, comme les

fontes truitées soumises à l'affinage champenois; à cet effet on approche la gueuse à 0m,24 ou 0m26 de la face de chio; en outre, on ne casse pas ou au moins on ne casse que rarement avec le ringard le bout de la gueuse, pour la faire tomber dans le creuset au milieu de la matière ferreuse. On ne jette non plus jamais dans le feu, pendant l'opération, des morceaux de sorne, des scories riches ou des battitures. Il faut remarquer d'ailleurs que l'affinage produit une très petite quantité de sorne, que le forgeron retire du feu, quand la loupe en a été extraite, et qu'il place sur la gueuse, avec une pelletée de battitures, pour que le tout, en fondant, forme le bain qui doit garantir la matière ferreuse de l'action du vent.

Dans la méthode bourguignonne, la gueuse est placée au milieu du feu, quand on forge en maquette le massiau donné par la loupe. Dans cette position qu'elle occupe pendant les 8 à 10 minutes nécessaires pour le forgeage des bouts de barre, elle fond plus rapidement que quand elle se trouvait près du contrevent, et la fonte qui s'en détache produit, pour le moins, autant de matière ferreuse que celle qui est tombée dans le foyer pendant les 20 à 25 minutes écoulées depuis le commencement de l'opération.

Une autre différence consiste à ce que l'on étire chaque fois, dans le feu bourguignon, du fer provenant de trois affinages successifs, savoir : la tête de maquette du renard ou massiau obtenu avec la loupe de l'avant-dernière opération, le massiau donné par la loupe de l'opération précédente, et le bout de barre provenant de la loupe faite avant celle qui a donné la tête de maquette.

Le déchet sur la fonte est plus fort et la consommation en combustible moindre dans un feu bourguignon que dans un feu comtois ou champenois (voir le tableau p. 21.

Pour affiner dans les feux bourguignons des fontes autres que les fontes blanches, on rapproche le montage du feu de celui des feux champenois ou comtois, on augmente l'intensité du vent et on ajoute des scories riches pendant les diverses périodes de l'affinage, dans une proportion d'autant plus grande que la fonte est plus grise.

Théorie de l'affinage dans les feux d'affinerie.

Les analyses de M. Ebelmen ont montré que, arrivé près du contrevent, le courant gazeux avait une action oxydante nulle ou du moins très peu énergique, la décarburation de la fonte s'opère donc seulement, pendant la première période de l'affinage par sa réaction sur les scories basiques qui remplissent le creuset, et dont l'action, par conséquent, est d'autant plus énergique que la profondeur du feu est plus grande; cette réaction est évidemment plus vive lorsqu'on fait fondre la fonte en gouttes, au lieu de la faire fondre en écailles comme dans la méthode champenoise. Dans cette première période, l'affinage s'opérant par l'oxygène d'une partie du protoxyde de fer renfermé dans les scories, il n'y a pas oxydation d'une partie du fer contenu dans la fonte, et par conséquent pas d'autre déchet que celui dû au départ du carbone, du silicium, etc., déchet qui serait plus que compensé par le fer réduit. D'un autre côté, les scories basiques sont réduites à la surface du bain par le contact du charbon, et ramenées graduellement, par l'une et l'autre cause, à l'état de silicate neutre dit *scories crues*, beaucoup plus pauvres et plus fluides, que l'on fait écouler par les trous du chio.

Dans la deuxième période de l'affinage, la masse ferreuse à demi-affinée, sorte d'éponge métallique imbibée de scories crues, est soumise directement à l'action oxydante du vent, et c'est là sans doute l'origine du déchet considérable que subit la fonte. Une partie du carbone restant encore dans la fonte se brûle directement par l'oxygène de l'air avec une quantité de fer correspondante, et l'oxydation du fer détermine une grande élévation de température qui produit de nouveau la fusion du métal. Les scories crues qui imprégnaient le fer sont changées en scories très basiques, et cette circonstance, jointe à l'élévation de température produite par l'oxydation du fer, augmente leur action décarburante.

Dans les feux bourguignons où l'on traite des fontes très faciles à affiner, on ne fait pas de soulèvement, mais on produit un effet analogue, quoique moins énergique, en fondant une partie de la gueuse à une faible distance de la tuyère, de manière à ce que le vent exerce sur elle, pendant cette partie de la fusion, une action décarburante.

Perfectionnements introduits dans les méthodes d'affinage précédentes. — Emploi de l'air chaud. L'air chaud est employé avec avantage dans les feux d'affinerie, surtout pour l'affinage des fontes à l'air chaud; il diminue de 10 à 16 p. 100 la consommation en combustible, et de 3 à 7 p. 100 celle de la fonte, en augmentant de 8 à 10 p. 100 la production en fer dans un temps donné. La température à laquelle on chauffe l'air doit être en rapport tant avec la nature des fontes à traiter qu'avec celle des combustibles que l'on emploie, et le montage du feu doit être modifié comme nous l'indiquerons plus loin.

Dans les feux d'affinerie qui marchent au charbon de bois, et où l'on traite des fontes obtenues au charbon de bois et à l'air froid, la température la plus convenable est de 80 à 120° pour les feux comtois et allemands, de 130 à 150° pour les feux champenois, et de 160 à 180° pour les feux bourguignons; ces limites peuvent être élevées de 40 à 50° pour les mêmes feux traitants des fontes obtenues au charbon de bois et à l'air chaud; pour l'affinage des fontes produites à l'air chaud avec un mélange de charbon de bois et de bois vert ou desséché, il faut agir à peu près comme pour les fontes obtenues au charbon de bois et à l'air froid; enfin, la température pour chaque feu doit être élevée progressivement, à mesure qu'on y porte une proportion plus considérable de bois desséché ou vert, de telle sorte qu'elle doit être de 260° pour des feux roulant uniquement au bois desséché, et qu'elle doit s'élever à 360°, lorsque l'affinage se fait au bois vert seul.

Lorsque la température de l'air chaud n'excède pas les limites qui viennent d'être indiquées, suivant la nature des fontes soumises à l'affinage, et qu'on opère d'ailleurs dans le montage du feu les changements convenables, les produits obtenus sont d'aussi bonne qualité que ceux qui proviennent de l'affinage à l'air froid.

Les modifications qu'il convient d'apporter dans le montage des feux roulant à l'air chaud et au charbon de bois consistent à diminuer leur profondeur, ainsi que l'inclinaison de la tuyère, et à augmenter l'orifice des buses proportionnellement à la température de l'air lancé.

On échauffe ordinairement l'air dans un système de tuyaux placés, soit directement au-dessus du feu, soit dans la cheminée d'un four à réchauffer alimenté par les flammes perdues du feu d'affinerie.

Emploi du bois vert ou desséché, seul ou mélangé de charbon de bois. Lorsqu'on fait usage du bois vert ou desséché, il est nécessaire d'employer, comme nous l'avons dit plus haut, de l'air chauffé à une température élevée. Ordinairement on n'emploie que du charbon de bois seul ou mélangé de très peu de bois vert ou desséché, pendant la fusion de la fonte et le forgeage de la loupe; lorsqu'on ne consomme pendant toute la durée de l'affinage que du bois vert ou desséché, il faut, comme dans la méthode wallonne, réchauffer le fer dans un foyer séparé, habituellement alimenté à la houille. Quoique ces divers procédés procurent une économie

notable sur le combustible végétal, ils n'ont pas été généralement adoptés, parce qu'on a trouvé que les fers obtenus avaient une contexture très variable, d'où il résultait que la fabrication n'avait pas cette uniformité qui est si importante pour des produits de bonne qualité, et à laquelle on parvient facilement dans les feux d'affinerie alimentés avec du charbon de bois.

Emploi des feux voûtés. Un perfectionnement introduit maintenant presque partout en France, est l'emploi des *feux voûtés;* ces feux sont enveloppés au moyen de trois grandes plaques de fonte placées régulièrement du côté du chio, du contrevent et de la haire; le quatrième côté étant toujours fermé par la paroi de la hotte que traversent les tuyères. Ces plaques sont percées toutes les trois d'ouvertures convenables pour le travail, et sont reliées à une hauteur de 1m,30 à 1m,50 par une voûte en briques surmontée d'une petite cheminée. Afin de favoriser l'aspiration des vapeurs qui résultent du fréquent arrosage de la plaque de travail, et qui pourraient incommoder les ouvriers, on crée une espèce de cheminée d'appel, en laissant un vide de 0m,10 de largeur entre la face intérieure de la hotte et la paroi extérieure de la plaque de devant. Les feux couverts produisent une économie de 15 à 20 pour 100 sur le combustible.

Utilisation des gaz perdus. La composition des gaz qui s'échappent des foyers d'affinage, prouve qu'ils ont encore un pouvoir calorifique qui est au moins les 0,90 de celui que le combustible consommé était susceptible de produire; aussi conçoit-on que l'on puisse en tirer un parti avantageux. On les emploie ordinairement pour le réchauffage du petit fer, la production de la vapeur d'eau, la dessiccation du bois, l'échauffement de l'air, etc.; on obtient ainsi moyennement dans un feu comtois, un effet égal à celui que produit un fourneau ordinaire dans lequel on brûlerait 30 kil. de houille de première qualité, ce qui correspond à une force de 7 à 8 chevaux-vapeur. Les feux suivis de fourneaux peuvent être montés pour le travail en gueuses ou pour l'affinage de fontes en saumons; dans ce dernier cas, on ménage, entre le feu d'affinerie et le four à réverbère, une aire sur laquelle on porte préalablement la fonte au rouge. Cet échauffement préalable accélère la fusion de la fonte à un tel point, que l'on doit se borner à réchauffer les plus grosses pièces dans le feu et achever le forgeage au moyen des fours à flammes perdues, qui donnent toujours une température suffisante pour l'étirage subséquent.

Les divers procédés à suivre pour utiliser la chaleur que renferment les gaz des foyers d'affinerie, ou au moins des procédés tout à fait analogues ayant été décrits avec détails ou devant l'être dans le courant de cet article, nous nous contenterons de faire remarquer, quant aux dimensions des fours à réverbère employés pour le réchauffage du fer, que leur sole a ordinairement de 1m,60 à 2 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur; que la hauteur moyenne de la voûte au-dessus de la sole est de 0m,25 à 0m,33; que l'introduction des gaz et de l'air nécessaire à la combustion, appelés naturellement par l'ouverture de travail, a lieu sur toute la largeur du four et sur une hauteur de 0m,16 environ; qu'on divise ordinairement la sole en deux ou trois compartiments, qui forment autant de fours à température graduée; et enfin, qu'on donne à la cheminée placée à la suite du four une hauteur de 10 à 12 mètres, et une section de 0m,40 sur 0m,20.

Dès 1843, nous avons vu à Kilianshütte (grand duché de Hesse) brûler les gaz d'un feu d'affinerie, qui alimentaient un four à réverbère pour fer de tirerie, avec de l'air chaud et forcé, arrivant par neuf trous pratiqués dans un tuyau de fonte placé en travers, dans le raccordement des voûtes du foyer et du four. Plus récemment on est parvenu à Montblainville, en France, à employer ces gaz pour le puddlage de la fonte, en alimentant le feu d'affinerie avec un mélange de charbon de bois et d'une très forte proportion de bois torréfié ou desséché. Les dispositions adoptées ne diffèrent, du reste, en rien de celles usitées dans le *puddlage au gaz* (voyez plus loin).

Méthodes d'affinage dans des bas foyers, à tuyères, où l'on fait subir d'abord à la fonte une préparation particulière.

On peut préparer la fonte à l'affinage par le *blanchiment*, le *mazéage* et le *grillage*. La première et la dernière opération n'ont d'autre but que d'accélérer l'affinage ultérieur; la seconde sert en outre à améliorer la qualité du fer.

Le *blanchiment* s'opère, soit en coulant la fonte, au sortir du haut-fourneau, en plaques minces, dans des lingotières en fonte, et en l'arrosant avec de l'eau tandis qu'elle est encore rouge, soit en la faisant arriver dans un trou creusé dans le sol, l'y arrosant, et la retirant à mesure qu'elle se solidifie à la surface, en plaques minces ou *blettes* du poids de 10 à 12 kil.

Le *mazéage* a pour objet, tant de blanchir la fonte, que de lui enlever une partie du silicium et du phosphore qu'elle peut renfermer. On peut l'opérer dans les hauts-fourneaux mêmes, lorsque ceux-ci sont très petits, comme dans l'Eiffel, par exemple: à cet effet, on soumet la fonte réunie dans le creuset à l'action du vent, pendant une ou deux heures avant la coulée, en inclinant la tuyère du fourneau vers le bas; mais ordinairement le mazéage se fait, soit dans des foyers analogues au foyer d'affinerie et alimentés avec du charbon de bois, soit dans des fours à réverbère. On le fait toujours suivre d'un blanchiment au moyen d'un refroidissement brusque; nous conseillerons de couler toujours la fonte mazée dans des moules en fonte enduits de chaux ou de calcaire, ce qui améliore sa qualité et diminue le déchet à l'affinage.

On soumet au *grillage* les fontes, soit brutes, soit déjà blanchies ou mazées. Le grillage, du reste, ne sert qu'à décarburer la fonte, et agit avec beaucoup plus d'énergie sur la fonte blanche que sur la fonte grise.

Cela posé, il ne nous restera plus que quelques mots à dire sur les principales méthodes d'affinage qui rentrent dans cette section.

Méthode nivernaise.

La fonte, ordinairement grise, est refondue dans un foyer de mazerie au charbon de bois, avec 1/10e en poids environ de scories riches d'affinage; on traite environ 500 kil. de fonte en trois heures. La fonte mazée est coulée sur une aire de brasque humide, et refroidie brusquement par une projection d'eau. L'affinage de la fonte blanche caverneuse obtenue, se fait comme dans la méthode bourguignonne par petites loupes de 30 à 40 kil., et exclusivement par l'action des scories riches. L'affinage est conduit très lentement, ce qui tient en partie à ce que les moyens d'étirage sont trop faibles, et chaque opération dure 3 heures 1/2.

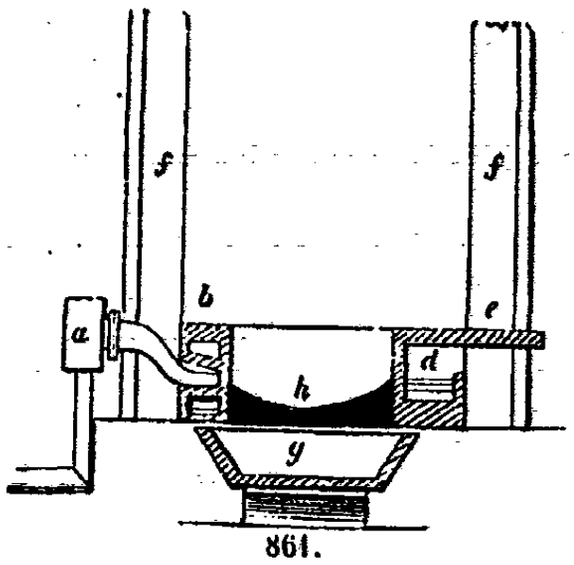
Méthode de Styrie.

En Styrie et en Carinthie on coule ordinairement la fonte, au sortir des hauts-fourneaux, en blettes que l'on grille à l'air libre et que l'on affine comme précédemment; seulement les loupes sont beaucoup plus grosses et pèsent de 70 à 80 kil.

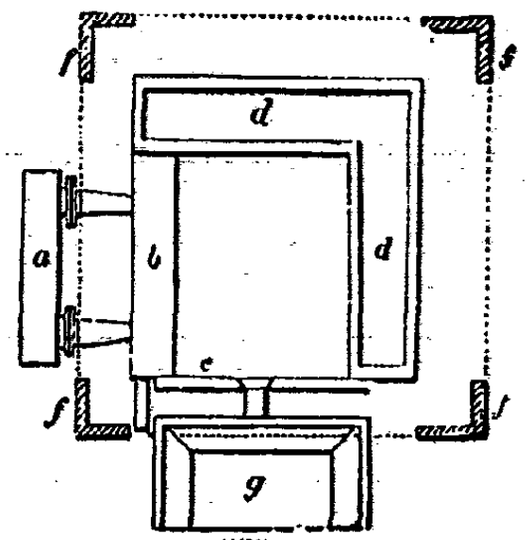
Méthode du sud du pays de Galles.

On traite par cette méthode des fontes au coke, et l'on cherche à obtenir du fer doux et de qualité supérieure pour la fabrication du fer-blanc. A cet effet, on soumet d'abord la fonte à un mazéage dans une finerie au coke (voir page 1557), placée soit isolément, soit de

manière à ce que la fonte mazée puisse couler immédiatement dans le foyer d'affinerie; on affine ensuite le plus rapidement possible la fonte mazée, par le brassage avec des scories riches dans un feu d'affinerie au charbon de bois; on retire le fer à demi affiné, on le réduit sous le marteau en plaquettes de 2 à 3 centimètres d'épaisseur, que l'on jette dans l'eau pour les refroidir; enfin on soumet ces plaquettes réchauffées à la houille, à un corroyage qui se fait d'abord au marteau, puis au laminoir.



861.



860.

Méthodes d'affinage dans des fourneaux à réverbère.

L'affinage de la fonte dans des fourneaux à réverbère fut inventé, dit-on, par deux Anglais, nommés Cort et Parnell, en 1787, et appliqué d'abord aux fontes au coke. Les premiers essais faits sur de la fonte brute laissèrent beaucoup à désirer. Plus tard, on essaya d'imiter l'opération du mazéage, pratiquée depuis longtemps dans beaucoup de forges à l'allemande pour l'affinage des fontes au charbon de bois, c'est-à-dire de refondre la fonte au coke dans des foyers à tuyères semblables aux *feux d'affinerie ordinaires*, puis de la couler en plaques minces, dites *fine-métal*, que l'on soumit à un refroidissement brusque. On affina alors le fine-métal dans des fours à réverbère dits fours à puddler, et le fer défectueux résultant de ce travail fut soumis à des chaudes et à des corroyages réitérés, dans des fours à réchauffer, pour lui donner les qualités voulues par le commerce.

Les perfectionnements introduits depuis quelques années dans la fabrication de la fonte et dans l'opération du puddlage, permettent, dans le plus grand nombre des cas, de se passer du finage, et diminuent le nombre des corroyages nécessaires pour obtenir du fer de bonne qualité. Cependant, on est toujours obligé de recourir au finage pour les fontes très impures qui peuvent se présenter de temps à autre, et lorsque l'on veut obtenir des fers de première qualité.

La rareté toujours croissante du combustible végétal dans l'est de la France, a déterminé la plupart des maîtres de forges à le consacrer exclusivement à la fabrication de la fonte, et à affiner celle-ci dans des fours à réverbère alimentés à la houille. Le réchauffage se fait dans des bas foyers à tuyères, et l'étirage au marteau, ce qui caractérise cette méthode dont nous parlerons dans un article séparé.

Enfin, nous terminerons les méthodes d'affinage au four à réverbère, en parlant des fours chauffés au moyen des combustibles gazeux provenant soit des hauts-fourneaux mêmes, soit de générateurs spéciaux.

Méthode anglaise.

Finage. Le finage ou mazéage des fontes peut s'opérer, soit dans des fours à réverbère, soit dans des foyers à tuyères appelés fineries; ce dernier procédé est le plus généralement employé.

Le finage élimine une grande partie du silicium et du phosphore que renferment les fontes, mais il ne diminue pas la proportion de soufre qu'elles peuvent renfermer; il est utile lorsque les minerais sont siliceux et réfractaires, lorsque le combustible dont on dispose est très chargé de cendres, et lorsqu'on emploie l'air chaud ou un fourneau dont l'ouvrage est élevé et rétréci, circonstances qui favorisent la formation d'une fonte très-siliceuse et impure.

Les fig. 860 et 861 donnent le plan et la coupe d'un fourneau anglais; celle-ci se compose de quatre parties : le creuset, les tuyères, la cheminée et la lingotière.

Le creuset *h* est un espace rectangulaire dont le fond est faiblement incliné de l'arrière à l'avant; les parois sont formées par trois bâches en fonte grise, *d*, *d*, constamment rafraîchies par un courant d'eau froide; le devant du foyer, qui achève le rectangle, est formé par une plaque de fonte *c*, dans le milieu de laquelle on a ménagé, à la partie inférieure, une ouverture pour faire la coulée. Le fond du creuset est formé d'une sole en briques réfractaires recouverte d'une couche de sable pur.

Une finerie a quatre et le plus souvent six tuyères *a*; celles-ci sont composées d'une double enveloppe en tôle forte, dont l'intervalle est traversé par un courant d'eau, afin qu'elles ne se brûlent pas trop promptement; elles sont fixées sur chaque côté du creuset, de manière à ce que chacune d'elles occupe la ligne médiane des deux tuyères opposées.

Chacune des bâches latérales *d*, est recouverte par une plaque de fonte *b*, sur laquelle est fixée une grande plaque de fonte appelée *côtière*; les côtières forment le revêtement intérieur et latéral d'une finerie jusqu'à la naissance de la cheminée. Celle-ci est en briques ordinaires, et supportée par des plaques horizontales en fonte qui reposent sur d'autres plaques verticales très épaisses, *f*, *f*, que l'on nomme *piliers*.

En avant du creuset se trouve une lingotière en fonte *g*, composée de plusieurs parties jointives, et revêtue intérieurement de terre grasse; c'est dans cette lingotière que l'on fait écouler le fine-métal. On l'y laisse se solidifier, puis, lorsqu'il est encore presque rouge, on le plonge dans une bâche à eau placée à la suite de la *lingotière*.

La longueur du creuset est de 1m,25 et sa largeur de 1 mètre, pour six tuyères; sa profondeur varie de 0m,20 à 0m,30, suivant que les fontes sont plus ou moins faciles à affiner. L'inclinaison des tuyères varie de 8 à 25°, suivant que les fontes sont plus ou moins difficiles à affiner; on leur donne une saillie de 0m,10 à 0m,12. L'œil des buses varie de 0m,03 pour les fontes blanches à 0m,04 pour les fontes grises.

Le personnel d'une finerie se compose de deux brigades d'ouvriers qui se relèvent par poste de douze hommes, chaque brigade se compose d'un maître fineur et de son aide; le travail se continue sans interruption pendant une semaine.

Le seul combustible que l'on emploie dans les fineries est du coke.

On charge d'abord un lit de scories riches de puddlage

ou du finage même, au-dessus du coke dont on a rempli le foyer jusqu'au dessus des tuyères, puis 1200 à 1500^{k} de fonte sur les tuyères en remplissant l'intervalle compris avec du coke, puis on donne le vent en maintenant le creuset plein de coke. Lorsque la fonte est fondue, on fait écouler s'il est nécessaire une partie des scories; au bout de 1 heure environ la fusion est complète, et l'on brasse de temps à autre le bain pour renouveler les surfaces. Au bout de 2 heures environ, l'opération approche de sa fin, on reconnaît ce point, soit à la nature des scories qui deviennent très liquides, soit en prenant un essai avec une cuillère en fer, refroidissant le métal avec de l'eau, et le cassant pour apprécier son grain, qui doit être blanc et présenter une structure lamellaire et radiée.

On coule en perçant avec un ringard pointu le tampon d'argile placé au bas de la plaque de devant. Le fine-métal sort le premier, les scories après, et le tout se rend dans la lingotière en fonte dont nous avons parlé. Pendant que les dernières scories coulent du foyer, l'aide fineur verse quelques seaux d'eau dans la lingotière pour étonner les scories et refroidir la coulée, et quand le métal est solidifié on le traîne dans un bassin rempli, puis on le casse en fragments.

Si le métal en coulant dégage peu d'étincelles, on a coulé trop tôt; si au contraire il dégage une foule innombrable d'étincelles faibles, blanches, et formant sur la surface du bain une vapeur blanchâtre assez abondante, l'opération a été poussée trop loin; dans les deux cas il donnera au four à puddler un déchet considérable et un fer de mauvaise qualité. Le finage a été convenablement conduit, lorsque le fine-métal dégage, à sa sortie du foyer, beaucoup d'étincelles assez volumineuses et lancées à une certaine distance sans être accompagnées de flammes; le produit est alors caverneux au quart ou au tiers de son épaisseur.

Le déchet dans les fineries varie de 5 à 18 p. 100; on consomme 35 parties de coke pour 100 parties de fine-métal obtenu. Chaque opération dure de 2 1/2 à 3 heures.

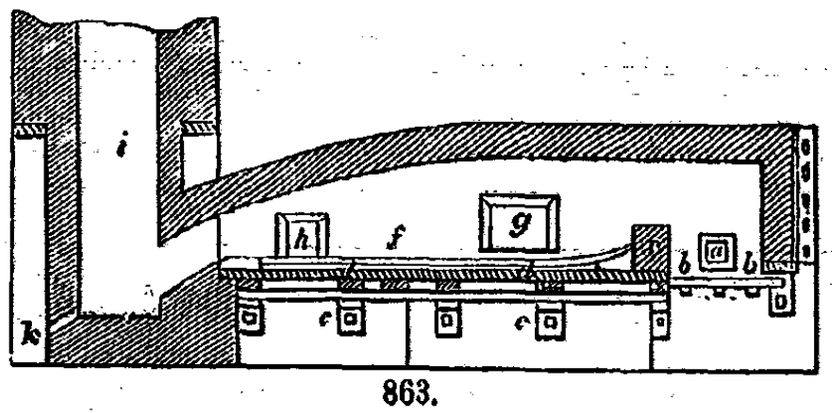
Lorsqu'on opère le finage dans des fours à réverbère, on obtient généralement un déchet moindre; on dispose souvent ces fours de manière à ce que l'on puisse y charger ou y faire arriver la fonte encore liquide sortant du haut-fourneau.

Les fours à réverbère ont deux tuyères placées sur le même côté ou sur deux parois opposées du fourneau, assez fortement plongeantes et dirigées de manière à imprimer au bain un mouvement giratoire plus ou moins rapide. Pour accélérer le finage, on ajoute souvent après la fusion de 2 à 10 p. 100 de minerai de fer pur, ordinairement hydraté, qui diminue en même temps le déchet.

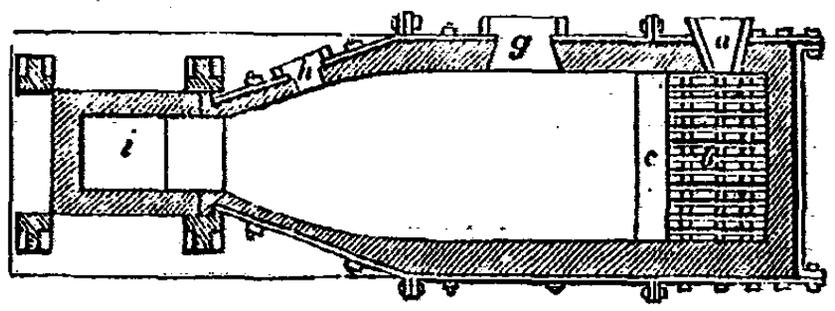
Puddlage. Le puddlage, ou le travail qui s'exécute dans les fours à puddler, est l'affinage proprement dit, c'est-à-dire l'opération par laquelle on convertit le fine-métal ou la fonte en fer ductile. Il consiste, en deux mots, à faire fondre la fonte sur la sole du four, et à la brasser avec des scories riches, des battitures, etc., au contact de la flamme, jusqu'à ce qu'elle ait à peu près perdu tout son carbone. On forme alors avec le fer affiné des balles d'environ 40^{k} appelées *loupes*, que l'on soumet à des corroyages réitérés pour les transformer en fer marchand.

Les fours à puddler sont de deux sortes, les *fours pleins* et les *fours à air* ou *fours bouillants;* dans les premiers l'enceinte de la sole est massive; dans les seconds, d'invention plus récente, il règne autour de la sole un canal vide qui livre passage à un courant d'air et permet de rafraîchir les parois exposées au contact du métal et de la plus forte chaleur : ce sont du reste ceux dont l'usage est actuellement le plus répandu.

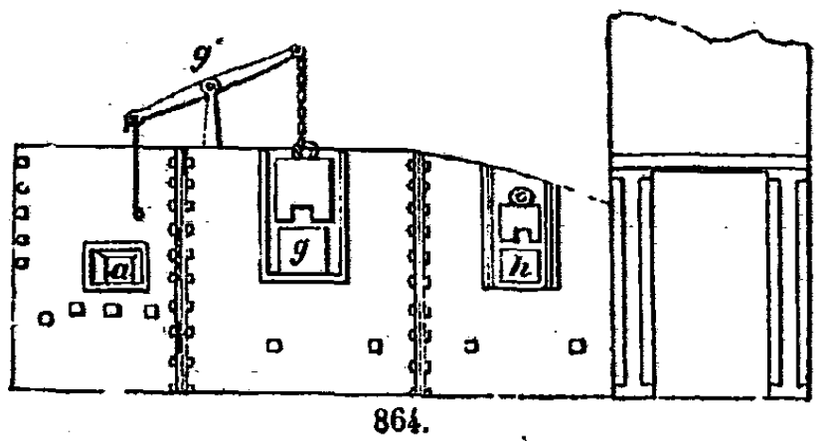
Les fig. 862, 863 et 864, donnent le plan, la coupe et l'élévation d'un four à puddler à parois pleines; *a*,



863.

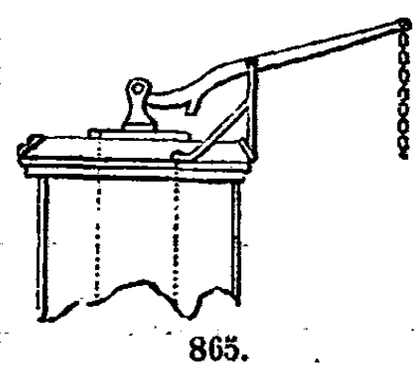


864.



864.

est la porte par laquelle on charge le combustible sur la grille *b*; *d*, *d*, les plaques en fonte qui forment le fond de la sole et sont soutenues sur des pièces en fonte *e*, *e*, encastrées par leurs extrémités dans les taques latérales du four; *f*, est la sole en sable ou en scories; *g*, l'embrasure de travail, dont on manœuvre la porte à l'aide d'une chaîne et d'un levier fixé sur la potence *g'*; au milieu de cette porte est pratiqué un trou de 0^{m},12 de côté qui permet de brasser la fonte au moyen de ringards, sans ouvrir la porte, et que l'on peut également fermer au moyen d'une petite plaque de fonte; *h*, porte par laquelle on charge d'abord la fonte près du rampant pour lui faire subir un échauffement préalable; *i*, cheminée munie d'un registre, comme l'indique la figure 865, servant à régler le tirage; *k*, trou de floss par lequel s'écoulent les scories.



865.

Les cheminées peuvent servir à un seul four ou être communes à plusieurs fours. La cheminée d'un four isolé est à double paroi; l'intérieure, qui sert au passage de la flamme, est construite en briques réfractaires, l'extérieure en briques ordinaires, et ces deux parties sont séparées par un espace vide, dans lequel on fait circuler de l'air pour rafraîchir la paroi intérieure. La cheminée exigeant rarement des réparations, tandis

que le four doit être souvent réparé, il est nécessaire de rendre ces deux parties indépendantes l'une de l'autre; la même observation s'applique aux deux parois de la cheminée; enfin, il faut diminuer autant que possible le poids de la construction. Pour satisfaire à ces conditions, on soutient la maçonnerie extérieure de la cheminée, en bas, par des piliers et des marâtres en fonte, et on l'allége en la formant de deux étages, l'un d'une brique et l'autre d'une demi-brique, et en réservant dans l'étage inférieur, sur deux faces opposées, des embrasures qui servent en outre à réparer la gaine en briques réfractaires. Quant à cette dernière, on l'appuie de distance en distance contre la maçonnerie extérieure par des voûtes qui permettent de la réparer à différentes hauteurs, sans la détruire au-dessus de l'endroit où l'on travaille. Le tout doit être fortifié par un système d'ancrage convenable.

Il arrive souvent que l'on accole les fours à puddler par deux ou par quatre, et qu'on leur donne alors une cheminée commune; dans ce cas, lorsque deux courants de gaz arrivent dans la même cheminée par deux ouvertures opposées, il est nécessaire de placer une cloison à l'endroit où les deux courants viennent se rencontrer, pour qu'ils se recourbent en frappant la cloison et ne se confondent qu'au moment où ils ont pris la même direction.

Dans les fours à air, les deux autels sont creux; les parois latérales sont également creuses et formées du côté du four par des plaques de fonte; le courant d'air qui s'établit dans les canaux ainsi formés, lorsqu'on chauffe le four, rafraîchit ces plaques et les empêche de fondre. Cependant, il faut veiller à ce que la fonte que l'on traite dans le four n'arrive pas en contact avec les plaques latérales; on y parvient en garnissant l'enceinte qui doit renfermer la fonte de pierres calcaires, que l'on maintient dans leur position avec des scories liquéfiées.

Dans les fours à air on économise des briques, et les réparations sont moins fréquentes que dans les fours pleins; mais ces fours sont plus froids et exigent du combustible de meilleure qualité et en quantité plus considérable; d'un autre côté, l'emploi de la pierre calcaire, qui ne peut avoir lieu que dans les fours à air, exerce sur la qualité du fer que l'on affine une influence d'autant plus avantageuse que le combustible dont on se sert est plus sulfureux, et que la fonte est plus impure.

L'autel d'un four à puddler doit être réparé tous les quinze jours; les parois de la sole et le rampant tous les deux et demi à trois mois; et la voûte et le bas de la cheminée, au bout de huit à neuf mois.

Voici les dimensions d'un four à puddler ordinaire : la grille est carrée et a 1m,10 de côté; il y a 13 barreaux de 0m,05 de côté, placés à 0m,55 en contre-bas du grand autel; celui-ci à 0m,25 de large et est à 0m,33 au-dessus de la sole; le petit autel, près du rampant, est à la même hauteur que le grand autel et a 0m,21 de largeur; le seuil de la porte de travail est au niveau des autels; la sole a de 1m,80 à 2m,00 de long, 1m,10 de large près du grand autel, 0m,48 près du petit autel, et 1m,75 vis-à-vis la porte de travail; la hauteur à la clef de la voûte est de 0m,30 au-dessus des autels; le fond du rampant est incliné d'environ 45° à l'horizon, et sa largeur est de 0m,33; la hauteur totale de la cheminée est de 12 à 15m, et sa section intérieure est carrée et de 0m,45 de côté.

Le prix d'un four à puddler tel que nous venons de le décrire, avec cheminée particulière, est de 3,500 à 4,000 fr.

Le personnel d'un four à puddler se compose de quatre ouvriers, deux puddleurs et deux aides, qui se relèvent deux par deux par poste de douze heures.

La sole du four se fait en sable ou en scories. Les soles en sable sont assez rarement employées, et ne peuvent servir que pour les fours pleins. Les scories que l'on emploie pour les soles varient suivant la nature des fontes à affiner. Pour les fontes blanches, on emploie des scories de puddlage; pour les fontes grises, il faut une sole plus réfractaire que l'on prépare avec de vieilles soles concassées, des crasses du marteau, ou des scories de feux d'affinerie au charbon de bois. Dans tous les cas on réduit les scories en menus fragments, dont on forme sur la plaque de sole une couche d'environ 0m,08 d'épaisseur; on donne alors un fort coup de feu, et lorsque les scories sont entrées en fusion pâteuse, ce qui exige plusieurs heures de feu, on égalise leur surface avec une palette rouge; la sole ainsi égalisée ne doit plus avoir, après cette opération, qu'une épaisseur de 0m,03 à 0m,05, suivant qu'on veut affiner de la fonte blanche ou de la fonte grise.

On puddle sur une sole en scories, soit par bouillonnement, soit à l'eau, procédés que nous allons décrire succinctement.

Puddlage par bouillonnement. Le four étant chauffé au rouge blanc, on y introduit 230 kil. de fonte avec 25 p. 100 de battitures. Le chargement opéré on ferme la porte, on la cale solidement, et on la lute aussi hermétiquement que possible; elle reste ainsi fermée jusqu'au moment où l'on veut retirer les loupes. Le registre de la cheminée est complétement levé. Quand la fusion commence à avoir lieu, c'est-à-dire quand le métal se désagrége et perd sa consistance, on baisse le registre et l'on remue sans rien ajouter, jusqu'à ce que les scories couvrent la fonte. On ouvre alors entièrement le registre, puis on brasse et on retourne le métal à tour de bras, à droite et à gauche, jusqu'à ce que le fer ait pris nature. Dans cette période les scories se gonflent, et le bouillonnement devient tellement vif que le four qui, auparavant, paraissait presque vide, se remplit jusqu'au dessus de la porte, et il devient quelquefois impossible au puddleur d'empêcher qu'une partie des scories ne s'échappe par dessus le seuil de celle-ci. A mesure que le fer s'affine, le bouillonnement diminue et les scories s'affaissent. Quand le fer a pris nature, c'est-à-dire quand il a perdu sa liquidité, qu'il est devenu grumeleux et d'un blanc éclatant, on le retourne pour présenter successivement toutes ses parties au courant d'air, puis on le découpe pour faire blanchir les parties noires ou mal affinées qui peuvent s'y trouver, après quoi on forme les balles comme il sera indiqué plus loin. Les balles achevées, on les porte sous le marteau, en commençant par celle qui a été formée la première. L'opération terminée, on fait écouler les scories par un trou placé au-dessous du seuil de la porte, avant de faire une nouvelle charge.

On suit quelquefois dans l'affinage par bouillonnement une seconde méthode, qui ne diffère de la précédente que parce que l'on emploie 50 p. 100 de battitures, et qu'on laisse le registre constamment ouvert. L'affinage est un peu plus rapide, mais, d'après quelques maîtres de forges, le fer perd en qualité.

Passons maintenant au *ballage* ou formation des balles : aussitôt que le fer commence à prendre nature, l'ouvrier le pousse, par portions, avec un ringard près de l'un ou l'autre autel, puis au moyen d'un autre ringard, dit *rabot*, dont l'une des extrémités est aplatie et repliée en équerre, il nettoie le côté libre de la sole, en amenant à la surface de l'amas le fer qui peut encore rester sur le côté; il répète ensuite cette manœuvre, jusqu'à ce que le fer se prenne en morceaux isolés qui résistent à la pression du ringard. Lorsque l'affinage en est à ce point, l'ouvrier partage la masse de fer en 4, 5 ou 6 morceaux, suivant qu'il veut former 4, 5 ou 6 balles. S'il y a un plus grand nombre de morceaux, il en réunit plusieurs ensemble en les pressant avec son rabot; dans cette opération, il doit avoir soin de bien

faire blanchir les morceaux à l'endroit de leur réunion, en les exposant au point où se développe la plus forte chaleur. A mesure que l'ouvrier *dégrossit* ainsi les balles, il les range près du grand autel ; il nettoie ensuite le côté libre de la sole avec le rabot, et s'il s'y trouve des morceaux de fer épars, à demi-affinés, il les attire vers la porte, où ils ne tardent pas à perdre leur carbone ; ces morceaux servent à compléter les balles trop faibles. Quand ce travail est achevé, l'ouvrier prend la balle qu'il avait mise la dernière de côté, l'amène avec le rabot près de la porte, la serre un peu, la met à la grosseur convenable, soit à l'aide des morceaux épais dont nous venons de parler, soit en en coupant un morceau avec un ringard, puis il la repousse du côté libre de la sole ; il fait faire ainsi un tour de sole à toutes les balles, et il termine ce travail par le nettoyage de la place devenue libre. Dans cet état, les balles sont dites *ébauchées ;* pour les *finir*, l'affineur prend la balle qu'il a ébauchée en dernier lieu, il la serre et l'arrondit avec le rabot et il la pousse du côté libre de la sole, puis il traite successivement de même toutes les autres balles ; immédiatement après on peut les cingler en commençant par celle qui a été finie la première, ou bien on les laisse encore pendant quelques minutes près de l'autel et loin de la porte, en fermant le registre qui était resté constamment levé pendant tout le ballage. On doit s'abstenir de jeter du combustible récent dans le foyer, et même de piquer la grille aussi longtemps que les balles ne sont pas encore ébauchées ; car alors ces balles se trouvent dans un état de porosité et de division extrêmes, les fuliginosités qui se développent au moment où l'on fait le feu les rendraient difficiles à souder.

Un autre moyen de former les balles consiste à prendre avec le rabot un noyau de métal et à la rouler sur la sole ; il ramasse ainsi les fragments les plus affinés du fer qui recouvre la sole ; lorsque la balle est assez grosse, on la roule près du grand autel ; les autres balles se font de la même manière. Ce procédé paraît devoir mériter la préférence.

En résumé, dans l'affinage par bouillonnement, on fait dix à onze fournées lorsqu'on traite de la fonte grise, douze à treize en fonte blanche, et quinze à seize avec du fine-métal ; le déchet est de 7 à 9 p. 100. On consomme environ 400 kil. de houille par 100 kil. de fer ébauché ; enfin on se sert presque toujours de fours à air, ce qui leur a aussi fait donner le nom de fours bouillants.

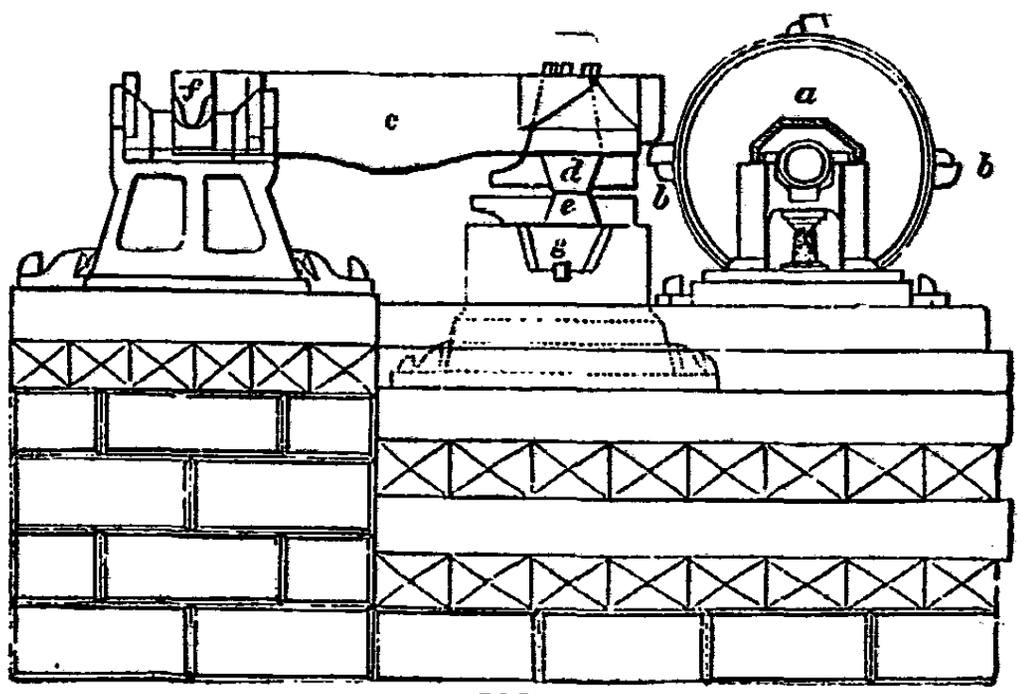
Puddlage à l'eau. C'est la méthode de puddlage la plus ancienne, où on n'emploie que des fours pleins. On charge la fonte sans scories. Dès qu'elle commence à rougir, on la remue souvent en frappant dessus pour la briser ; quand elle est en morceaux de la grosseur d'une noix et près de fondre, on baisse le registre, puis on jette de l'eau sur les parties qui menacent d'entrer en fusion. Au lieu d'eau seulement, on se sert quelquefois d'eau avec de la limaille, ou de la tournure de fonte ou de fer ; on poursuit cette manœuvre, en continuant à briser la fonte et à la retourner à droite et à gauche, jusqu'à ce que la fonte soit à l'état pulvérulent ; on ouvre alors un peu le registre et on ramène le feu ; on remue la fonte, qui ne doit jamais devenir liquide, et on continue ainsi jusqu'à ce que le fer ait pris nature, en augmentant le feu de plus en plus jusqu'à la fin. On emploie environ 100 litres d'eau par fournée ; on ne peut faire que huit fournées en fonte grise et dix en fonte blanche par vingt-quatre heures ; le déchet sur la fonte est de 14 à 15 p. 100. L'eau que l'on ajoute favorise l'élimination du soufre, et par conséquent le fer devient meilleur à chaud que dans l'affinage par bouillonnement, mais il convient moins bien pour les objets qui, comme les rails, doivent présenter une grande résistance à froid.

On modifie maintenant souvent la méthode précédente, en donnant un bon coup de feu après le chargement de la fonte, pour la mettre en fusion ; lorsqu'elle est à peu près liquéfiée, on baisse le registre et on jette peu à peu sur la sole une grande quantité d'eau, jusqu'à ce que la fonte soit arrivée à l'état pulvérulent. On lève alors peu à peu le registre et on augmente graduellement la chaleur jusqu'à ce que le fer ait pris nature. Après quoi on forme les balles. On emploie environ 20 litres d'eau par fournée. Les résultats sont les mêmes que par la première méthode à l'eau, seulement le déchet est moindre et ne s'élève que de 10 à 13 p. 100.

Puddlage sur sole en sable. On ne peut puddler sur sable qu'avec des fours pleins, et d'après l'ancienne méthode à eau, la nécessité de conserver la sole exige que la fonte reste à l'état pulvérulent, et n'entre pas en fusion ; on ne peut du reste traiter par ce procédé que de bonnes fontes blanches au charbon de bois ou du fine-métal. On ne passe que neuf charges par 24 heures, le travail est beaucoup plus difficile et le déchet est de 15 à 25 p. 100.

Corroyage du fer puddlé. On cingle les balles, soit sous un marteau, soit sous un *squeezer*, puis on les passe immédiatement entre les cylindres ébaucheurs d'un laminoir.

La fig. 866 donne l'élévation du marteau frontal le plus généralement employé, et des fondations sur lesquelles il repose ; tout le marteau est en fonte ; *a* est la bague à cames montée sur l'arbre moteur et portant quatre cames *b*, *b*, qui viennent soulever le marteau *c*, par l'une de ses extrémités dite *front ; f*, sont les tourillons autour desquels tourne le marteau ; *d*, est la panne du marteau et *e* la table de l'enclume encastrée dans la chabotte *g*. La panne du marteau est formée de 3 parties : la première sert à cingler les loupes, la seconde à rassembler et à parer le fer, et la troisième est particulièrement destinée à l'étirage ; on leur donne une pente légèrement oblique remontant du côté de l'ouvrier afin de faciliter l'écoulement des scories du



866.

côté opposé. La table de l'enclume est formée de parties exactement semblables à celles du marteau et placées symétriquement. Le poids de la tête du marteau varie de 2000 à 6000^{k}, sa levée de $0^{m},40$ à $0^{m},60$ et le nombre de coups par minute est de 80 à 400. Afin que le marteau ne retombe pas à faux sur l'enclume lorsque *le cinglage est terminé, ce qui les briserait presque à* coup sûr, on saisit le moment où la tête parvient à sa plus grande hauteur, et on place debout, sous l'un des bords antérieurs du marteau, une barre de fer qui porte le nom de *valet* ou *bonhomme;* pour remettre le marteau en activité, il suffit de présenter sous son front une tige de fer : au passage d'une came il est un peu soulevé; on enlève alors le valet et le marteau retombe.

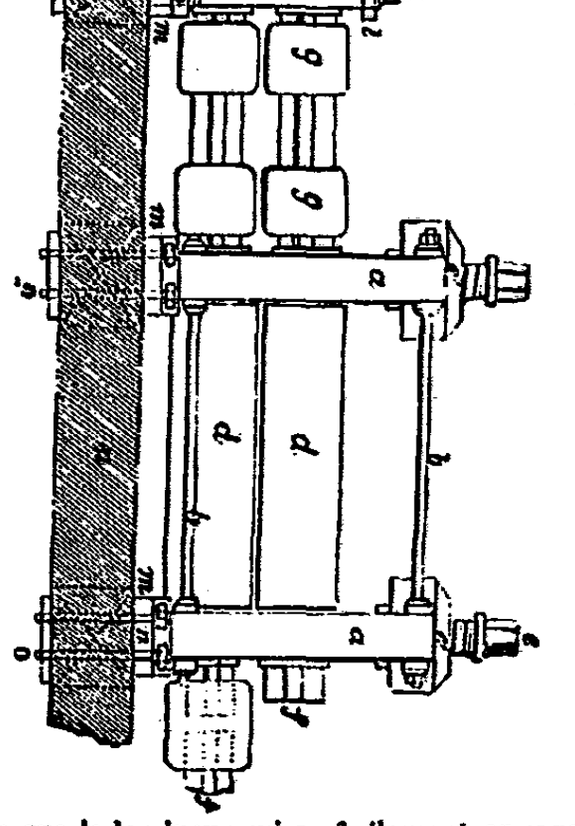
Au lieu d'employer le marteau frontal pour cingler les loupes, on se sert souvent du *squeezer*, aussi connu sous le nom de *presse* et *machine à maquer;* il dépense moins de force, coûte peu, n'exige guère de réparations dispendieuses, et se meut sans bruit, sans choc et sans danger pour ceux qui le desservent. Le squeezer a la même forme que les CISAILLES droites, seulement les mâchoires du squeezer, au lieu d'être formées de lames à angles vifs et se rencontrant par leurs bords, comme dans la cisaille, sont, au contraire, larges et se rapprochent de manière à comprimer les corps interposés, sans les couper. Une seule des mâchoires est mobile et elle offre sur le dessous un évidement dans lequel se fixe, au moyen de boulons à tête perdue, une plaque de fonte munie dans le sens transversal de cannelures destinées à mordre sur la loupe pour l'empêcher de glisser.

Un *train de laminoir* se compose ordinairement de deux *équipages* ou *jeux* de cylindres et des appareils nécessaires pour les mettre en mouvement. Dans chaque équipage, il y a au moins deux cylindres superposés, présentant des rainures ou *cannelures* rondes, carrées, plates ou profilées, selon la forme que l'on veut donner au fer ; ces cylindres ont leurs axes dans un même plan vertical et tournent en sens contraire. Les cylindres *c*, *c*, de chaque équipage (fig. 867), sont soutenus par deux cages *a*, *a*, en fonte, renfermant des coussinets en bronze dans lesquels se meuvent les tourillons. Chaque cage est munie d'une vis de pression en fer *e*, à filets carrés, mobile dans un écrou de bronze et servant à maintenir les cylindres l'un sur l'autre lorsque leur position a été convenablement réglée. Les cages de chaque jeu de cylindre sont reliées entre elles par de forts boulons à clavettes *b;* elles sont calées très solidement sur de grandes plaques de fonte *m*, fixées elles-mêmes, par des boulons *o*, sur une charpente de fondation *n*.

Dans un même train, les cylindres des équipages respectifs communiquent entre eux par des allonges en fonte, sous forme de trèfles comme les extrémités *f* des cylindres, sur lesquelles glissent des manchons présentant un creux de même forme et dont l'épaisseur est réglée, de manière à ce qu'en cas de surcharge extraordinaire de la machine par l'effet des résistances à l'étirage, ils cassent avant tout autre pièce ; on maintient l'écartement de deux manchons voisins, au moyen de tringles en bois couchées dans les cannelures de l'allonge, et liées avec une simple corde.

En tête de chaque équipage de cylindres se trouve un jeu de pignons *h*, *h*, montés dans des cages *i*, *i*, de la même manière que les cylindres, et qui y sont maintenus par les vis de pression *k*, *k*. Dans les équipages à deux cylindres on communique toujours le mouvement au pignon inférieur. Pour pouvoir arrêter le train à volonté, on termine l'arbre de couche qui le conduit par un manchon fixe à griffes ; une allonge à tourillon soutenue par un palier, porte à ses extrémités deux manchons mobiles, l'un à griffes s'embrayant avec le premier, l'autre qui saisit à la fois l'allonge et le trèfle du pignon conduit par l'arbre de couche. L'embraiement et le débraiement s'opèrent au moyen d'un levier à fourche qui passe dans une gorge pratiquée sur le manchon mobile à griffes.

867.



Pour que le lamineur puisse facilement engager les barres dans les cannelures, on place du côté de l'entrée des cylindres et à peu près à la hauteur du fond des cannelures une plaque en tôle forte ou en fonte qu'on nomme *tablier*. A la sortie des cylindres, on met une autre plaque, appelée *plaque de gardes*, ayant pour but de recevoir le fer et de l'empêcher de s'enrouler autour du cylindre inférieur ; à cet effet elle est découpée en languettes, qui ont la même forme que les cannelures respectives et s'y engagent sans frottement. Pour les fers plats, on remplace la plaque de garde par des gardes en fer forgé qui s'appuient sur le fond des cannelures.

Dans le laminage ordinaire, un ouvrier reçoit la

barre à sa sortie, à chaque passage, et la repasse par dessus le cylindre supérieur au lamineur, qui l'engage dans la même cannelure ou dans la cannelure suivante. On facilite souvent cette manœuvre au moyen de leviers à crochets suspendus à des chaînes qui sont attachées aux chappes de poulies courantes à gorge triangulaire et roulant sur des barres de fer horizontales placées des deux côtés du train.

Le fer ne peut recevoir en une seule fois la forme et les dimensions voulues ; il faut le faire passer successivement dans des cannelures de plus en plus petites. Dans la détermination du décroissement des cannelures, il faut avoir égard à la nature du fer, à la forme et à la dimension des trousses, à la force et à la vitesse des cylindres, etc.

Les cannelures des cylindres à fers ronds ou carrés sont creusées par moitié dans les deux cylindres ; pour empêcher dans ce cas tout mouvement latéral des cylindres, on les fait emboîter à leurs extrémités comme ceux pour fers plats. Les cylindres à fers plats se composent de parties saillantes ou *rondelles*, et de *cannelures* qui reçoivent les rondelles ; la compression du fer se fait entre les rondelles du cylindres supérieur ou *mâle*, et les cannelures du cylindre intérieur ou *femelle*.

Le diamètre des cylindres ébaucheurs est de 0^{m},40 à 0^{m},50, et leur vitesse de 30 à 40 tours par minute. Ordinairement on a deux paires de cylindres ébaucheurs, dont l'une, portant des cannelures ogives, sert à dégrossir le métal, et dont l'autre présente des cannelures plates finisseuses. Quelquefois la même paire présente des cannelures ogives et des cannelures plates (voir fig. 867). Voici, en millimètres, la dimension des cannelures d'un train ébaucheur à deux équipages fonctionnant bien :

Dégrossisseur.

Largeurs	190	160	130	110	95	80	70	58
Hauteurs	160	130	110	95	80	70	65	58

Finisseur.

Largeurs	52	54	76	79	81	125	122	118
Hauteurs	32	20	46	30	20	20	30	46

Passons maintenant au cinglage des balles : on retire celles-ci successivement du four à puddler, à l'aide d'un crochet, en commençant par celles qui sont le plus près de l'autel ; on les saisit alors, avec une grande tenaille, et on les traîne sur une plaque en fonte jusqu'au marteau ; on place d'abord, à l'aide de tenailles, la balle sur la table à cingler ; après le premier coup de marteau, le marteleur la retourne, et continuant à la faire battre, en ne la retournant qu'après plusieurs coups, il lui fait prendre la forme d'un prisme à base carrée de 90 à 110^{mm} de côté ; il la place ensuite verticalement entre le manche du marteau et la deuxième enclume, afin de la refouler aux deux bouts ; dans cet état elle porte le nom de pièce et est passée de suite aux cylindres ébaucheurs. La durée moyenne du cinglage d'une loupe au marteau est de 1 à 1 minute 1/2.

Les balles destinées à la fabrication de la tôle sont d'abord soudées à une barre de fer chauffée par un bout au blanc soudant ; cette barre sert ensuite à les manœuvrer ; on les bat d'abord entre les pannes à cingler, puis on les aplatit entre les pannes à parer ; en cet état, elles portent le nom de *brammes*, et on les refoule par bout comme ci-dessus ; on sépare alors la barre de fer avec le *hache-ron*, et on laisse refroidir.

La manœuvre du squeezer est analogue à celle du marteau.

En donnant la description du laminoir nous avons indiqué la manière dont s'effectuait le laminage. Lorsque les barres sont achevées, on les dresse ; on les traîne sur une plaque de fonte dite *banc à dresser*, sur laquelle on les frappe à l'aide de maillets en bois, pendant qu'elles sont encore rouges. On les pèse ordinairement aussitôt qu'elles sont refroidies, les ouvriers étant généralement payés à prix fait par 1,000^{k} de fer ébauché obtenu.

Le fer ainsi obtenu doit encore être soumis à un ou plusieurs corroyages avant d'être amené à l'état de fer marchand susceptible d'être livré au commerce. A cet effet, on le coupe aux cisailles en bouts de barres dont on forme des *trousses* ou *paquets*, qui sont réchauffées et étirées de nouveau au laminoir.

Les fours à réchauffer ont beaucoup de ressemblance avec les fours à puddler, mais comme la température doit y être plus élevée, ils sont toujours pleins. La sole est entièrement formée de sable réfractaire battu sur une grande épaisseur entre quatre murs. Le sable dissout l'oxyde de fer qui se forme à la surface des paquets et forme des scories fluides qui protégent le fer ; cela n'aurait pas lieu avec une sole en scories et le fer se brûlerait. Afin de n'avoir pas une flamme trop oxydante on ne charge la grille qu'une fois par heure environ, après chaque retournement, de manière à former sur les barreaux une couche de combustible de 0^{m},15 à 0^{m},20.

Machine à loupes. Avant de terminer ce qui se rapporte à la fabrication du fer à l'anglaise, j'indiquerai comment l'idée de perfectionnements consistant à remplacer le marteau frontal soulevé par des chocs qui

Fig. 868.

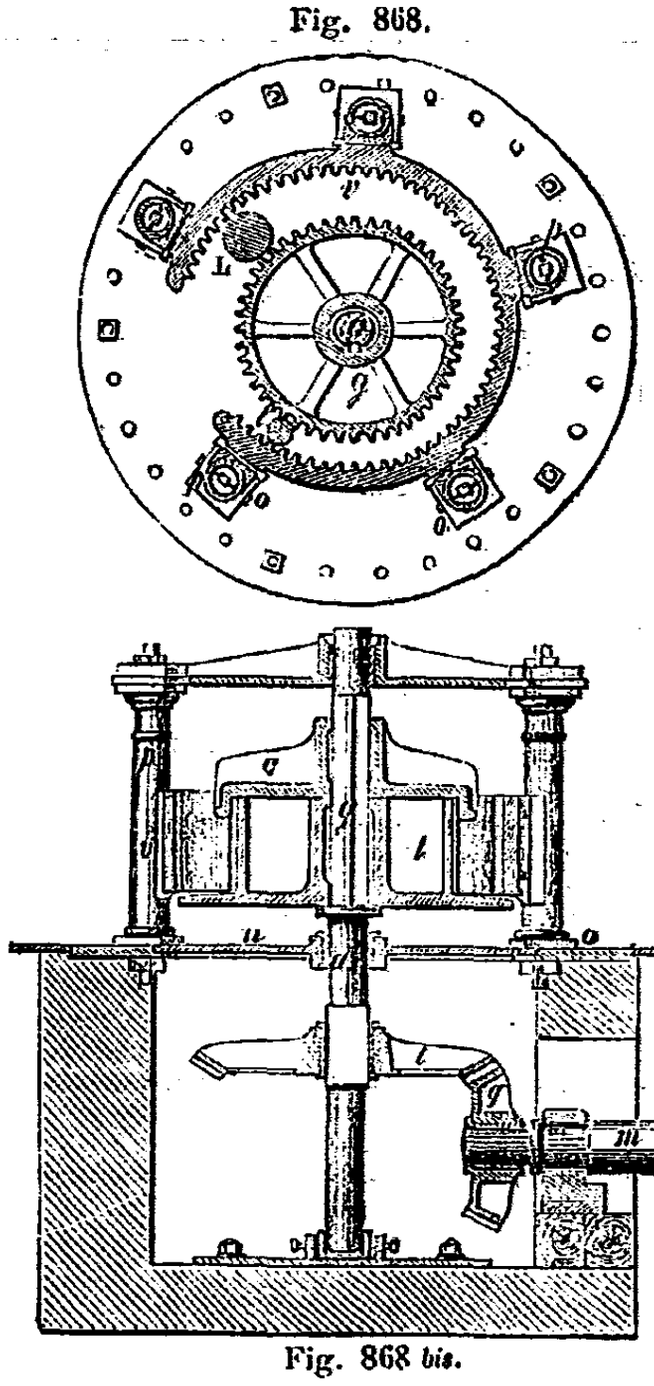


Fig. 868 *bis*.

en font un appareil défectueux, au point de vue de l'économie du travail mécanique, par des appareils

agissant par pression comme le *squeezer*, a conduit à employer dans nombre de forges à l'anglaise, pour le cinglage des loupes, un appareil qui remplace le marteau frontal et le squeezer avec une notable économie de force et de main-d'œuvre, et qui est représenté en coupe horizontale et verticale (fig. 868 et 868 *bis*). Cette machine se compose : d'un tambour *t*, formé d'une seule pièce en fonte et armé extérieurement de dents qui accrochent la loupe; d'un comprimeur mobile *c*, qui se soulève lorsque la loupe est grande et descend, en vertu de son propre poids, lorsqu'elle est moindre; d'une volute fixe *v*, armée intérieurement de dents; de colonnes *p*, *p*, fixées à tenon sur la plaque d'assemblage *o*, *o*, et destinées à s'opposer à tout mouvement latéral de la volute; d'un arbre en fer forgé *a*, mobile dans une douille en fonte fixée sur une plaque solidement boulonnée sur la fondation : cet arbre, qui imprime le mouvement de rotation au tambour *t* et au comprimeur *c*, par le moyen de la clef ou goupille carrée *g*, traverse, un peu au-dessous du tambour, une douille retenue au moyen d'une plaque en fonte *n*, et est maintenu à sa partie supérieure par une plate-forme à cinq bras fixés aux colonnes *p*; d'un engrenage conique *i*, *q*, servant à transmettre le mouvement de l'arbre moteur *m* à l'arbre de la machine à loupes *a*.

Cet appareil fonctionne très-simplement : la loupe présentée en L (fig. 868) est entraînée par le mouvement du tambour *t* et sort en *l*, réduite aux dimensions qu'elle doit avoir pour passer au laminoir. Le cinglage d'une loupe ne dure que 6 secondes environ et un seul appareil peut desservir 50 à 60 fours à puddler.

L'entretien de cet appareil n'est qu'environ le dixième de celui du marteau frontal, et la rapidité avec laquelle il opère procure des pièces plus chaudes, et qui par suite passent plus facilement au laminoir et y donnent de meilleurs produits.

Historique. En terminant l'exposé de la méthode qui a fourni une des bases les plus solides au beau développement de l'industrie anglaise, et bientôt à la prospérité de celle de toutes les nations industrieuses, il y a lieu de consacrer quelques lignes à l'histoire de ce grand progrès industriel.

C'est de 1781 à 1800, lorsque Watt s'occupait de la machine à vapeur qui allait fournir la puissance motrice à l'aide du combustible minéral, qu'on arriva aussi à employer seulement ce dernier pour la partie chimique de la fabrication du fer. Les célèbres ingénieurs Smeaton, Wilkinson, Walter, Henry Cort et Purnell, Roebuck, Bramah, Watt et Boulton eux-mêmes y prirent directement ou indirectement une très-grande part. Elle consiste principalement, dit M. Poncelet, en cherchant à la résumer en quelque mots, dans la substitution de la houille au bois, à l'aide de fours à réverbère; dans la construction de grandes machines soufflantes cylindriques imitées des machines à vapeur; dans l'emploi, pour le cinglage des plus grosses loupes, du marteau *frontal* ou à soulèvement par la tête, qui pesant de 2,000 à 3,000 kilogrammes, produit par son seul poids les effets de ressort des anciens rabats et renvois; enfin, dans le remplacement des anciens marteaux et martinets à pression servant à étirer progressivement, à l'aide du choc, les longues barres de fer, rectangulaires ou arrondies, par des laminoirs en fonte dure, avec cannelures graduées ou décroissantes, pour forger également les loupes et les réduire en barres de diverses formes ou échantillons dans leurs passages successifs au travers des ouvertures ou lunettes formées par celles de ces cannelures qui se correspondent exactement sur chaque couple de cylindres, remplissant la fonction de véritables filières continues, où le tirage direct et longitudinal des barres de fer est supprimé et se trouve remplacé par le simple frottement des cannelures contre ces barres.

C'est de 1783 à 1784 que M. Cort fit la première fois connaître les procédés de puddlage et de laminage, comme le montre le texte des patentes qu'il prit alors.

Il serait difficile, dit M. Fairbain, d'exprimer la grandeur du service que M. Cort a rendu à l'industrie du fer de l'Angleterre. Mais on ne sait peut-être pas assez, ajoute-t-il, que M. Henri Cort a consacré une fortune de plus de 500,000 fr. à perfectionner ses procédés de puddlage et de laminage; qu'on lui a audacieusement dérobé le fruit de ses découvertes dans les bureaux d'un département important du gouvernement et qu'il est mort de misère, victime de l'apathie et de l'égoïsme de son ingrat pays.

On voit que ces travaux, comme ceux de Smeaton, qui dès 1760 avait établi une soufflerie à piston aux forges de Carron, avaient bien préparé le terrain; aussi obtint-on les plus grands résultats dès que la machine à vapeur vint fournir abondamment et en tous lieux la force motrice.

Méthode champenoise.

Dans la méthode champenoise on affine au four à réverbère, sans mazéage préalable, des fontes au charbon de bois. Les fours à puddler que l'on emploie ont ordinairement une seconde sole placée à la suite de la première, comme l'indique la fig. 869, et sur laquelle on échauffe préalablement au rouge vif la fonte avant de l'introduire sur la sole du four à puddler. On utilise souvent la chaleur que conservent les gaz après avoir passé sur la seconde sole pour chauffer une chaudière à vapeur. La fig. 869 représente l'installation d'une chaudière à chauffer à flamme perdue, montée aux forges de Sionne (Vosges) par M. Grouvelle. Un four à puddler produit ainsi une force de 15 chevaux et un four à réchauffer une force de 20 chevaux. Le travail des fours, ou une suspension dans celui de la chaudière, exigeant que l'on puisse au besoin jeter directement la flamme du four dans la cheminée, sans la faire passer d'abord sous la chaudière, on établit au bas de la cheminée deux registres, dont l'un horizontal ferme le passage du four à la cheminée quand on envoie la flamme sous les bouilleurs, et dont l'autre vertical intercepte

Fig. 869.

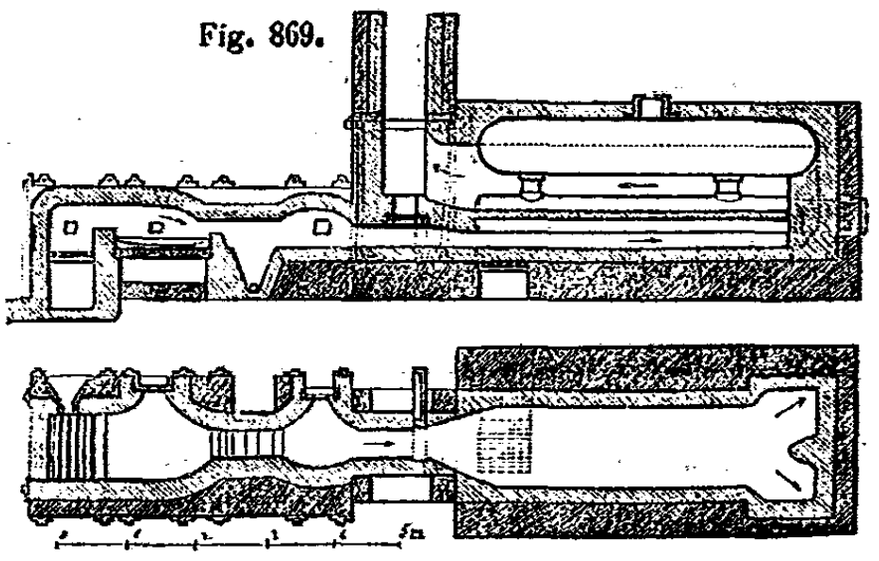


Fig. 869 *bis*.

cette dernière communication, quand on veut envoyer directement la flamme dans la cheminée. Il convient également de placer sous les bouilleurs un foyer additionnel pour pouvoir chauffer à feu nu et se servir en-

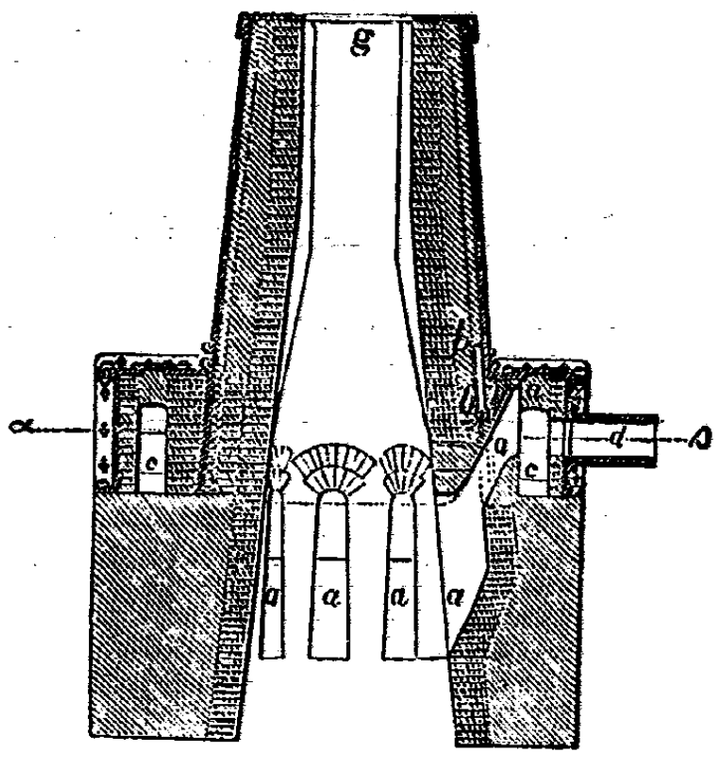
ceore de la machine à vapeur quand le four à réverbère ne marche pas; il suffit de fermer convenablement ce foyer quand on ne s'en sert pas. Ce qui caractérise cette méthode c'est que le fer est cinglé au marteau, puis réchauffé dans un foyer de chaufferie, tout à fait semblable aux feux d'affinerie à l'allemande et alimenté à la houille, et enfin étiré au marteau. On consomme de 50 à 60^{k} de houille par 100^{k} de fer ébauché, et autant pour le réchauffage. Au lieu d'employer de la houille comme combustible, on se sert dans quelques parties de l'Allemagne de bois vert seul ou mélangé de bois desséché, dans les fours à puddler, et de bois fortement desséché, dans les fours à réchauffer. La dessiccation des bois s'opère généralement au moyen des flammes perdues.

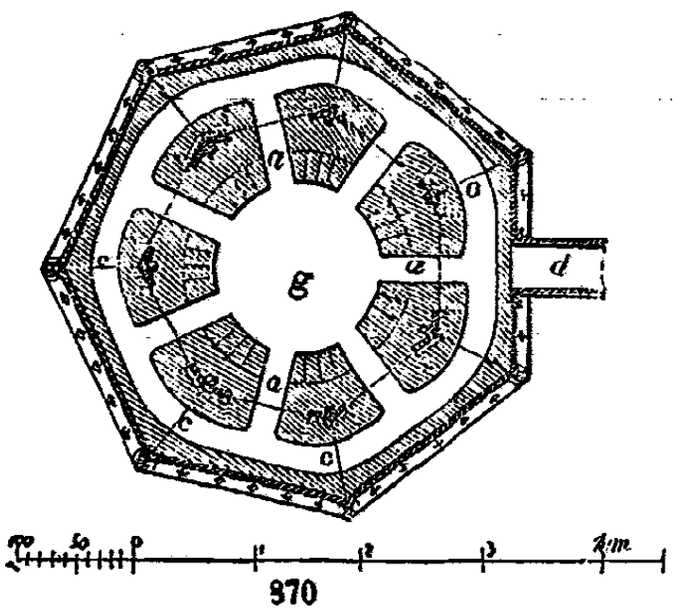
Emploi des fours à gaz.

On peut au lieu de combustibles solides employer, pour l'alimentation des fours à réverbère qui servent au mazéage et au puddlage de la fonte ainsi qu'au réchauffage du fer, des combustibles gazeux provenant d'une prise de gaz dans la cuve d'un haut-fourneau, ou préparés directement à cet effet dans des générateurs particuliers (voir l'art. COMBUSTIBLES).

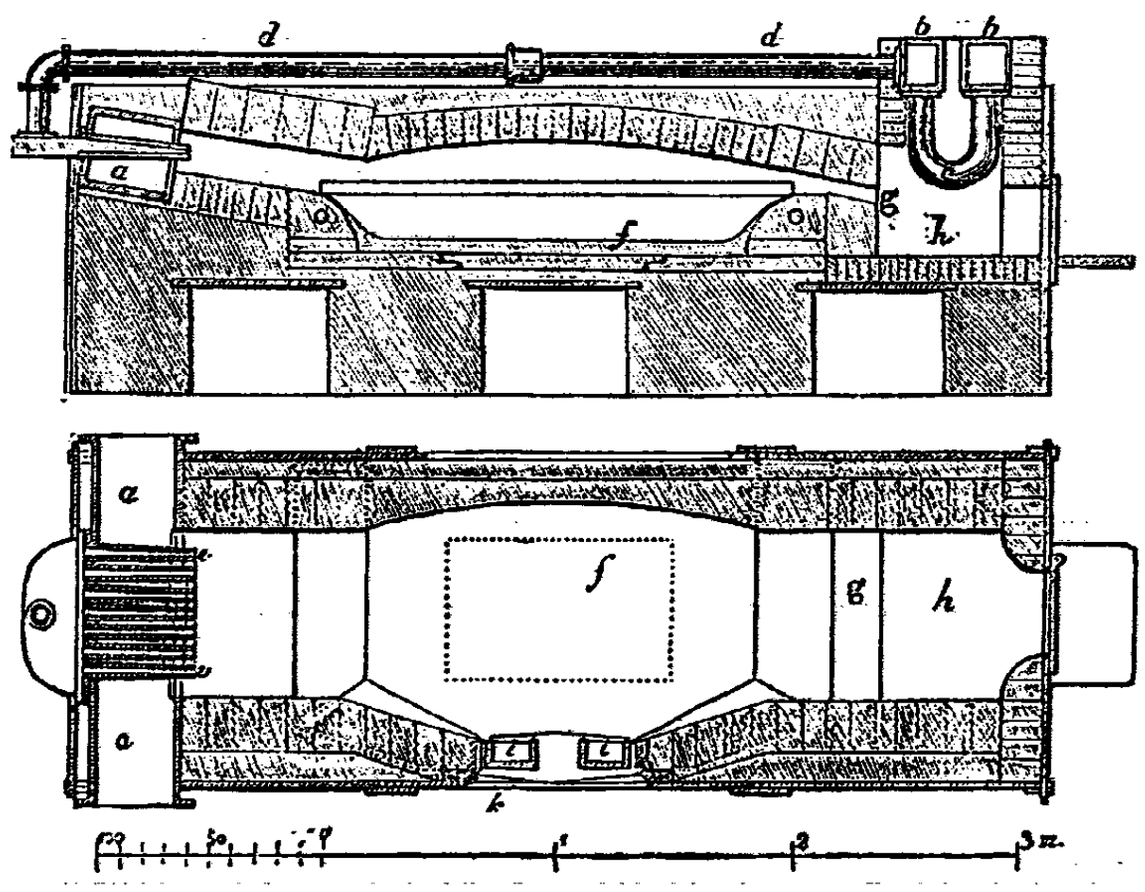
Les fig. 870 et 871 donnent en plan et en coupe la disposition la plus généralement adoptée pour faire une prise de gaz sur la cuve d'un haut-fourneau au charbon de bois : *a*, *a*, sont 7 ouvertures équidistantes pratiquées sur le tour de la cuve *b*, 3 à 4^{m} au-dessous du gueulard *g*, qui conduisent le gaz dans un espace annulaire *c c*, sur lequel vient s'adapter un tuyau en fonte *d d*, par lequel le gaz se rend aux fours à réverbère. Ces fours n'ont qu'une cheminée de 1 à 2^{m}, par laquelle cependant il ne sort ni flamme ni fumée. On prend souvent les gaz, comme nous l'avons indiqué, au moyen d'une trémie. Les fig. 872 et 873 donnent le plan et la coupe d'un four à puddler au gaz établi dans une usine d'Allemagne : *a*, est le conduit par lequel les gaz arrivent en arrière de l'autel du four, et sont ensuite brûlés sur cet autel par un courant d'air qui, venant de l'appareil à chauffer l'air du haut-fourneau où il a acquis une température de 150 à 200°, est chauffé de nouveau jusqu'à 350 ou 400° dans un appareil, placé dans la cheminée du four à gaz, qui se compose de 2 tuyaux carrés *b*, *b*, réunis par un certain nombre de tuyaux courbes *c*, d'où il se rend par le tuyau *d*, dans une botte demi-cylindrique avant de pénétrer dans le four par les 7 tuyères *e*, *e*, *e*. Comme il n'y a presque pas de tirage par la cheminée, la flamme tend à s'échapper en partie par la porte de travail *i i*, ce qui incommoderait les ouvriers, si on ne prenait soin de la refouler dans le four au moyen d'un jet d'air froid, rasant le devant de cette porte, et arrivant par un tuyau *k*, muni d'un robinet que l'on ouvre pendant le travail. *g*, est le rampant qui diffère de celui des fours à puddler

871.





870



872

873.

ordinaires en ce qu'il est beaucoup moins élevé et occupe presque toute la largeur de la sole. Le bas de la cheminée *h*, forme une seconde sole sur laquelle on porte préalablement la fonte au rouge avant de la charger sur la sole du four à puddler. Les conduites de gaz et d'air chaud sont munies de registres qui servent à en régler l'affluence; on juge facilement d'après l'aspect de la flamme qui s'échappe par la porte de travail, s'il y a excès d'air ou de gaz dans le four; une flamme bleuâtre indique la présence d'un excès de gaz non brûlé, tandis qu'une flamme courte et jaunâtre indique un excès d'air. Nous avons vu qu'on peut également alimenter les fours à puddler et à réchauffer, au moyen des gaz combustibles qui s'échappent des foyers d'affinerie.

Les fours à réverbère alimentés avec les gaz des hauts-fourneaux sont refroidis par tous les dérangements qui surviennent dans l'allure de ceux-ci, et contribuent même, lorsque les fourneaux roulent au charbon de bois et ont une faible production journalière, à leur donner une marche irrégulière; cet accident n'est pas à craindre avec les fourneaux au coke dont les gaz sont en plus grande abondance et qui ont d'ailleurs sous le même volume un pouvoir calorifique plus considérable.

Le roulement des fours à gaz est beaucoup plus régulier, lorsqu'on produit les gaz combustibles dans un générateur particulier (voyez COMBUSTIBLES); ils sont alors plus riches en matières combustibles que ceux qui proviennent des hauts-fourneaux; la combustion s'effectuant d'une manière plus complète, il y a économie sur le charbon employé, le chauffage est très facile à régler, et l'on peut employer des combustibles très impurs et terreux qui sans cela n'auraient aucun emploi. On peut d'ailleurs purifier ces gaz, de la même manière que le gaz d'éclairage, avant de les faire arriver dans le four.

Le fer que l'on obtient est de meilleure qualité que dans l'affinage à la houille, et le déchet beaucoup plus faible; il n'est ordinairement que de 2 à 3 p. 100.

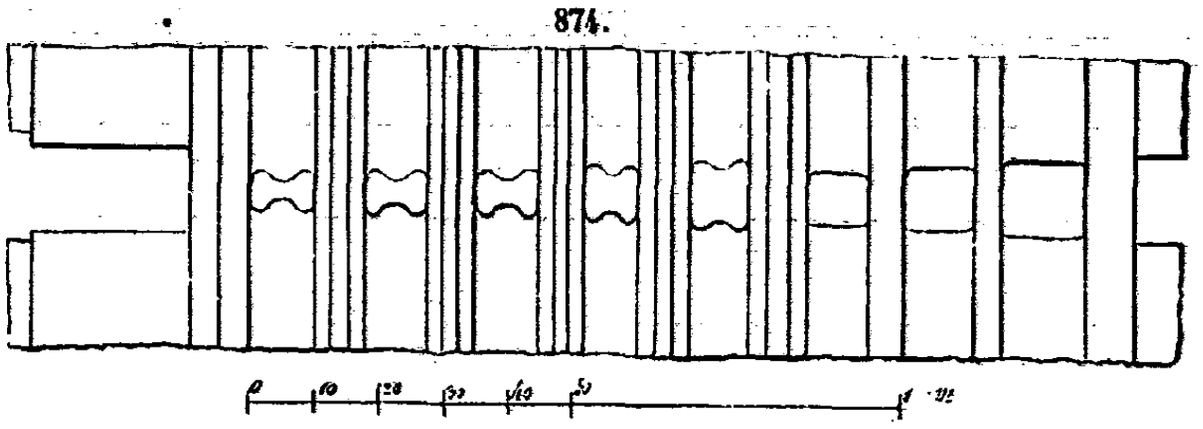
Fabrication des rails.

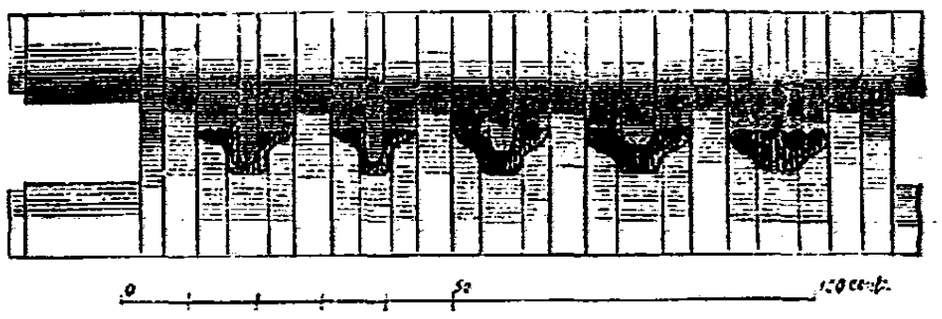
Le fer des rails doit être fort, dur, et très résistant à froid. On forme les paquets pour rails en comptant sur un déchet de 10 p. 100 au four et à l'étirage, et sur une perte de 12,5 p. 100 à la scie, pour les bouts coupés; ils ont 0m,15 sur 0m,18 de section. Ces paquets se font avec du fer ébauché et du fer une fois corroyé, que l'on associe de manière à ce que l'ébauché forme le centre et le corroyé les couvertures supérieures et inférieures du rail. Ces paquets sont chauffés au blanc soudant dans des fours à réchauffer ordinaires, puis soudés et étirés en une seule chaude au laminoir. Il faut pour chaque train à rails six fours à réchauffer dont cinq sont constamment en activité. La durée d'une chaude est de 1 heure 1/2 à 1 heure 3/4.

Le train à rails se compose de trois équipages de cylindres, dont le premier, à partir de la machine motrice, sert à former les barres de corroyé qui entrent dans la composition des paquets; le second est employé à dégrossir les paquets tant pour rails que pour corroyés, et le troisième à finir les rails. Comme on corroie quand on ne fait pas de rails et réciproquement, il n'y a jamais plus de deux équipages de cylindres qui fonctionnent simultanément.

Les cylindres à rails ont 0m, 40 à 0m, 50 de diamètre

874.





875

et font de 60 à 80 tours par minute. La fig. 874 donne le tracé des cannelures successives d'une paire de cylindres pour la fabrication des rails ordinaires usités en France; la fig. 875 donne celui des cannelures pour la fabrication des rails à pont habituellement employés en Amérique.

Les rails manqués sont découpés à la cisaille, tandis qu'ils sont encore chauds, et rentrent dans la fabrication comme fer ébauché; les autres rails sont affranchis avec soin de leurs extrémités, soit à la tranche, soit à la scie, suivant que les sections doivent être biaises ou droites. On emploie le plus souvent les scies. Celles-ci sont circulaires, de 1m, 25 de diamètre, et en fer fort aciéreux à grains. Il y en a deux, parallèles et fixées aux extrémités d'un arbre en fonte qui reçoit un mouvement de rotation autour de son axe à l'aide d'une courroie sans fin; leur distance est égale à la longueur que doit avoir le rail. La courroie sans fin est tendue sur un tambour placé à côté de l'engrenage du train à rails et sur une poulie montée sur l'arbre des scies. Pour que celles-ci ne s'échauffent pas, elles sont constamment rafraîchies par un filet d'eau, et elles tournent dans des auges où l'eau d'arrosage vient se rassembler; on empêche l'eau d'être projetée sur les rails en couvrant chaque scie d'un chapeau en tôle, qui ne laisse de libre que l'endroit où la scie doit entamer les rails. Les scies tournent sur elles-mêmes sans bouger de place, et coupent à la fois les deux extrémités du rail qu'on leur présente encore rouge, et immédiatement après sa sortie des cylindres. En avant des scies se trouve un banc en fonte pour dresser les rails et un banc mobile également en fonte sur lequel on place le rail à terminer. Les scieurs, armés de tenailles, traînent le rail qui vient d'être terminé sur le banc à dresser, le soulèvent par les deux extrémités et le rabattent avec force, sans le lâcher, contre la plaque, pour faire disparaître les grandes courbures qu'il présente; puis, après l'avoir assujetti sur le banc mobile qui présente une saillie ou un creux pour le recevoir, ils achèvent de le

redresser en le battant avec des maillets en bois. L'un des scieurs fait alors avancer graduellement le banc mobile qui porte le rail, de manière à donner prise aux scies; pendant que l'on coupe les bouts, ils sont tenus avec des tenailles par deux ouvriers. Il faut que le rail s'avance bien parallèlement à lui-même; à cet effet, on relie ordinairement le banc mobile à un axe parallèle à l'arbre des scies et de même diamètre, que l'on fait mouvoir au moyen d'un levier, de telle sorte que le rail décrit une partie de surface cylindrique; cet axe est ordinairement souterrain et placé de manière à se trouver dans un plan vertical avec le rail, lors de l'état de repos contre le banc à dresser.

Le rail scié et encore chaud, on achève de le dresser sur toutes ses faces, puis on le pare, opération qui consiste à limer ses extrémités et à enlever les bavures qu'il présente. On le place ensuite sur deux sommiers en fer peu élevés et on le bat à coups de maillets pour qu'il se courbe au milieu jusqu'à terre. La différence de contraction que les rails éprouvent sur leurs deux faces, parce qu'il se trouve plus de matière sur une face que sur l'autre, les force à se redresser naturellement par le refroidissement. Sans cette précaution, ils présenteraient une courbure en sens inverse.

On dresse enfin les rails à froid, soit au marteau, soit à l'aide d'un balancier à vis verticale en tout semblable aux presses à timbrer ordinaires, mais beaucoup plus grand, ce qui est beaucoup plus économique.

On ajuste ensuite les rails en les plaçant un à un sur un banc en bois, en examinant si les bouts sont bien d'équerre, si les rails ont les dimensions voulues, s'ils sont bien droits et dépourvus de bavures, etc., et réparant ces défauts à l'aide de limes, de ciseaux et de marteaux à main; lorsqu'on ne peut y arriver ainsi, on chauffe au rouge les parties défectueuses du rail, dans un foyer sans cheminée, semblable du reste à une forge maréchale, et on les bat au marteau.

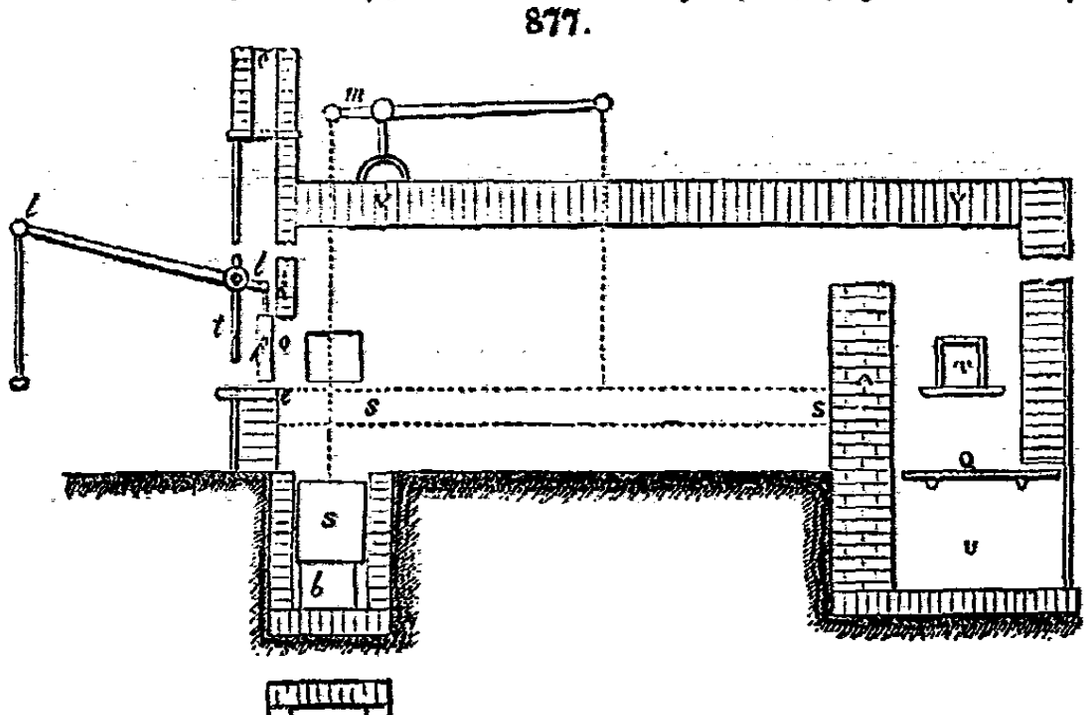
Les rails finis sont pesés; on n'en pèse ordinairement qu'un petit nombre, et, d'après leur poids, on calcule celui des autres de même forme et de mêmes dimensions. Les ouvriers sont payés à prix fait par 1,000^{k} de rails reçus.

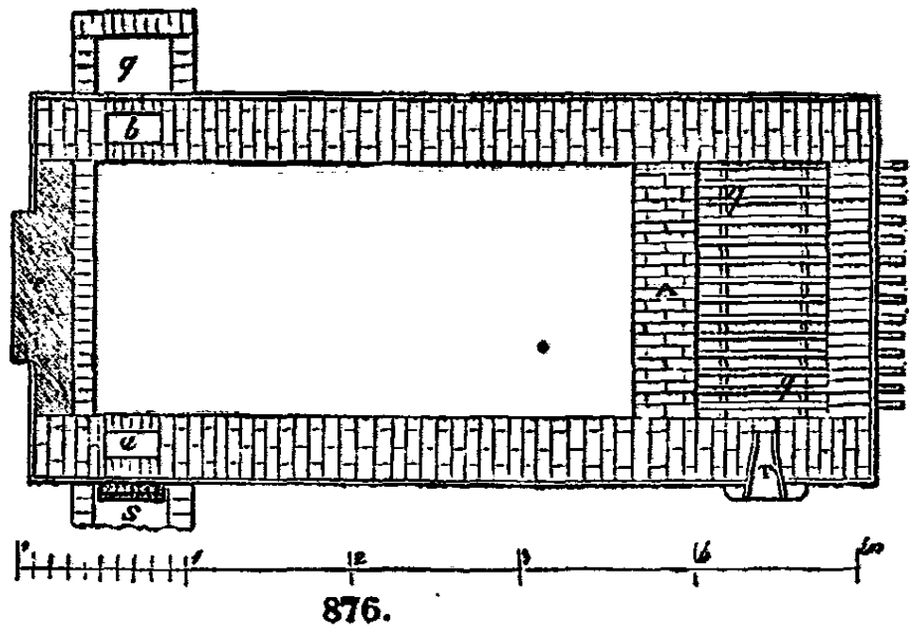
Avant de recevoir les rails, on les éprouve en en prenant quelques-uns au hasard et les soumettant au choc d'un *mouton*; il faut qu'ils résistent à un nombre de coups déterminé, la distance des supports sur lesquels on les pose étant également déterminée. Après cette épreuve, on casse un rail et on examine la cassure; dans les rails les plus soignés et les plus résistants, le fer est grenu à la surface de roulage et très nerveux au centre

FABRICATION DE LA TOLE.

On distingue trois espèces de tôles : les tôles fortes pour chaudières à vapeur, etc., qui ont 6^{mm} et plus

877.





876.

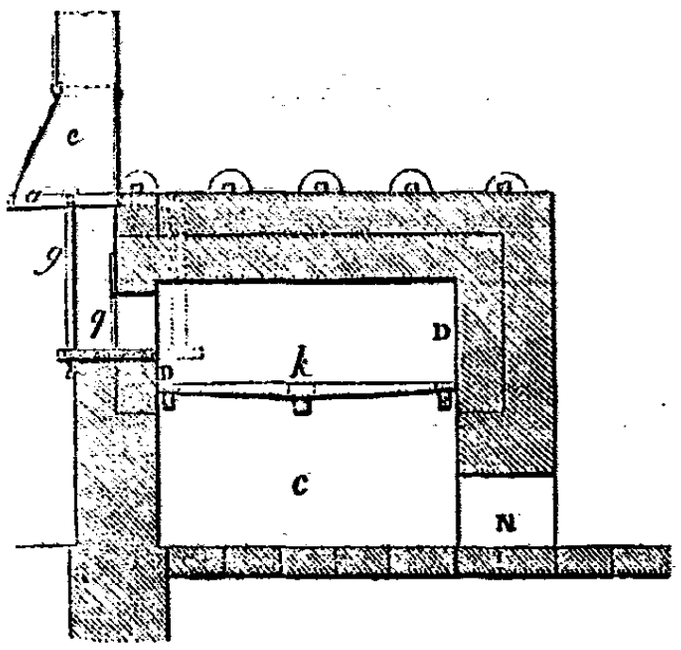
d'épaisseur; les tôles fines, qui ont 4^{mm} 1/2 et moins d'épaisseur; et les tôles moyennes, dont l'épaisseur est comprise entre les deux limites précitées.

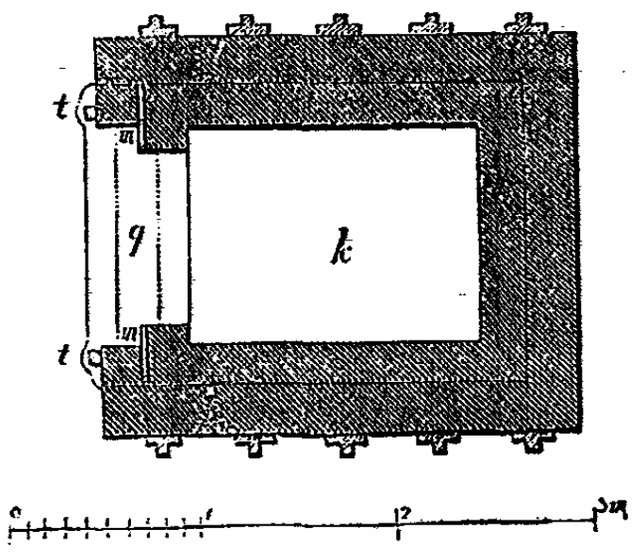
On emploie, pour le réchauffage des paquets et des tôles, des fours à réverbère d'une forme particulière ou des fours dormants. Les fig. 876 et 877 donnent le plan et la coupe d'un four à réverbère pour tôles : Q, grille du four; U, cendrier; T, tisard; A, autel; la sole rectangulaire SS, qui s'élève jusqu'à la hauteur de la porte *p*, se compose de deux assises; l'une de 0^{m},40 d'épaisseur est en débris de briques réfractaires; l'autre, placée au-dessous, est formée de coke et a 0^{m},15 d'épaisseur. On charge le fer immédiatement sur le coke, en l'introduisant par la porte *p*, que l'on manœuvre à l'aide d'un levier qui la tient en équilibre dans toutes les positions; la flamme se rend par les carneaux *a*, *b*, dans le rampant *q*, qui la conduit à une cheminée commune; une hotte c est placée au-devant de la porte *p*, et sert à entraîner la flamme et les étincelles qui peuvent s'échapper par celle-ci lorsqu'on l'ouvre.

Au lieu de fours à réverbère, on emploie quelquefois des fours dits *fours dormants;* qui ont beaucoup de ressemblance avec les fours des boulangers, excepté que la sole y est remplacée par une grille; celle-ci est très spacieuse et recouverte d'une voûte très basse. La cheminée, placée en dehors du four et au-dessus de la porte de travail, permet d'évacuer la flamme et la fumée sans produire de tirage; ils n'ont qu'une porte qui sert non seulement à l'introduction du combustible

dans la chauffe, mais encore à l'enfournement et au défournement du fer : celui-ci se place sur la houille dont la grille est chargée.

878.





879.

Les fig. 878 et 879 donnent le plan et la coupe d'un four dormant : *k*, grille; *c*, cendrier; D, intérieur du four; *e*, hotte en tôle pour évacuer la fumée; *a*, châssis en fer qui supporte la hotte; *g*, tiges qui supportent la hotte; *q*, seuil de la porte; *m*, plaques en fonte servant d'armatures à la porte; N, ouverture pour le nettoyage du cendrier.

A Audincourt en France, et dans plusieurs autres usines, on réchauffe les paquets destinés à la fabrication des tôles fortes dans un four à gaz alimenté par un générateur particulier (fig. 880 et 881) : le générateur à gaz A, déjà décrit à l'article COMBUSTIBLES, a la forme d'un petit haut-fourneau à cuve très large, et reçoit l'air par deux tuyères *t*, *t*; on charge le combustible, ordinairement de la braise menue, par l'ouverture B, qui est fermée pendant l'intervalle de deux charges par une plaque en fonte F. Les gaz arrivent dans le four à réverbère par le conduit C; l'air qui doit les brûler est projeté par la caisse à vent F, en briques réfractaires percées sur le devant de deux rangées de trous, au moyen desquels la combustion des gaz s'achève dans l'espace peu étendu placé immédiatement avant la sole M du four; l'air comburant est préalablement échauffé, avant d'arriver à la caisse F, par son passage à travers les tuyaux D placés dans la cheminée H, et chauffés à flammes perdues. A la suite de la sole M, il y en a une seconde N, sur laquelle on place les largets de fer à souder, tandis que le soudage de la

trousse précédente a lieu sur la première. P et Q sont les portes des deux soles. On porte au rouge blanc les *largets* fabriqués dans des feux comtois, en les passant successivement, d'abord sur la sole N, puis sur la sole M; puis on les soude en deux chaudes sous un gros marteau du poids de 1000 à 1,200 kilogrammes; enfin, on réchauffe les largets soudés dans le même four, à la fin de chaque semaine, et on les passe au laminoir. On soude ainsi des pièces dont le poids varie de 450 à 600 kilogrammes et même plus.

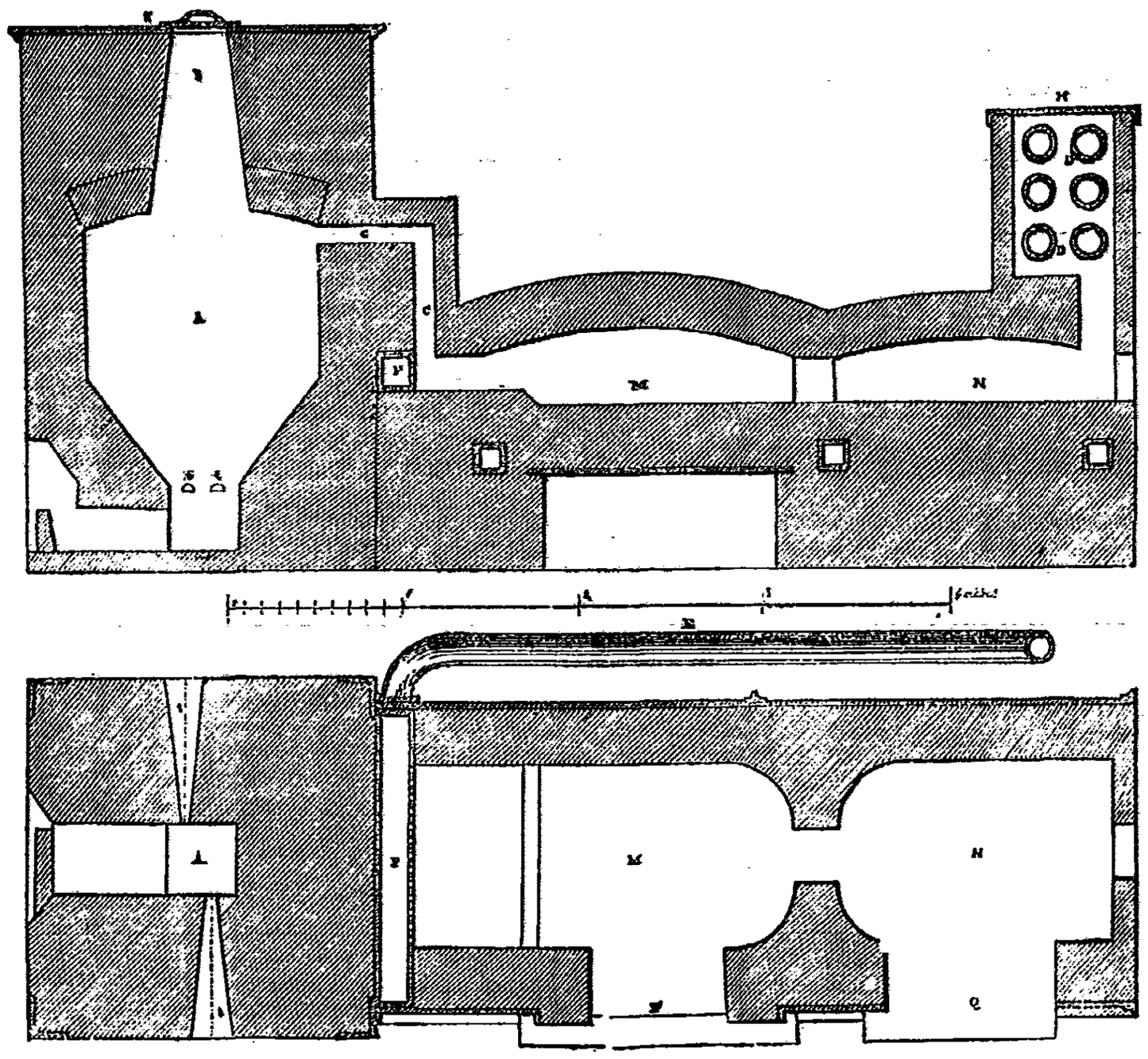
Enfin, dans les forges à l'allemande, on réchauffe souvent la tôle au moyen des flammes perdues du feu d'affinerie.

Dans un train à tôle, il y a ordinairement deux équipages de cylindres servant, l'un pour dégrossir, l'autre pour finir les feuilles. Ces cylindres *d*, *d* (voir fig. 867), sont coulés en coquille, afin de durcir leur surface, puis terminés sur le tour; leur diamètre varie de 0m,40 à 0m,50, et leur longueur doit excéder de 0m,10 à 0m,15 la largeur de la tôle à fabriquer; ils font de 25 à 40 tours par minute, suivant la nature des tôles; indépendamment des deux équipages ci-dessus, le laminoir à tôle comprend un équipage à corroyer, ordinairement réuni sur le même train, comme l'indique la fig. 867. Le laminoir à tôle diffère essentiellement des laminoirs à cylindres cannelés, par ce fait que, dans ces derniers, le fer est réduit graduellement à l'épaisseur voulue, en passant par les diverses cannelures, tandis que, dans les laminoirs à tôle, le cylindre supérieur doit, au contraire, s'écarter plus ou moins du cylindre inférieur, suivant l'épaisseur du métal qu'on lamine, et l'on est obligé de serrer les vis de pression à chaque passage dans les cylindres. Afin d'empêcher que le cylindre supérieur ne retombe de tout son poids sur le cylindre inférieur, après le passage du fer, ce qui pourrait donner lieu à des ruptures, on se sert de bascules qui font presque équilibre au poids du cylindre supérieur et des pièces qui se meuvent avec lui; ces bascules s'adaptent aux cages mêmes des laminoirs, et sont logées dans une fosse derrière le train. L'équipage finisseur, dont les cylindres ne doivent pas s'écarter beaucoup l'un de l'autre, n'a pas besoin de bascules. Celles-ci diminuent la pression du cylindre supérieur sur le fer pendant le laminage, et reportent l'effort qui en résulte sur les tourillons des cylindres et le dessus des cages qui traversent les vis; ce qui oblige à donner à ces pièces des dimensions beaucoup plus considérables. Enfin, les allonges, au moyen desquelles on établit la communication du cylindre supérieur dans l'équipage à bascule avec les pignons du train, doivent être assez grandes, et les manchons d'accouplement doivent offrir assez de jeu, pour que le cylindre supérieur puisse s'élever à divers degrés, suivant l'épaisseur des pièces à laminer.

Dans l'équipage finisseur servant à la fabrication des tôles fines ou moyennes, on rend ordinairement le cylindre supérieur indépendant de la machine, afin qu'il reçoive son mouvement du cylindre inférieur par pression, et qu'il ne puisse prendre une vitesse différente d celle qui anime ce dernier; on lui donne alors 1/2 millimètre de diamètre de plus qu'au cylindre inférieur, afin de prévenir l'enroulement du fer autour de c cylindre. Les équipages ainsi disposés portent le nom d'*équipages à coquille*. On emploie ordinairement, pour la fabrication des tôles fortes et moyennes, des fontes au coke, que l'on affine, comme nous l'avons dit plus haut, et que l'on étire au marteau sous la forme de parallélipipèdes rectangles ou *brammes* de 0m,05 d'épaisseur; on les porte isolément ou par paquets de deux, suivant leurs dimensions, au blanc soudant, et on les transforme, au moyen de l'équipage à corroyer, en *languettes* de 0m,25 de large, 0m,25 d'épaisseur et et 1m 1/2 à 3m de longueur; on découpe ces languettes

en bidons de 0m,70 de longueur, que l'on réunit par quatre pour en former des paquets, qui sont réchauffés et étirés de nouveau en languettes.

880.



881.

Lorsque les feuilles de tôle doivent peser plus de 200k, on découpe les languettes en bidons, d'une longueur déterminée par le poids de la tôle à fabriquer, que l'on réunit par six ou huit en paquet; on chauffe ce paquet au blanc soudant, dans le four à réchauffer du train ébaucheur, on le soude sous le marteau et on le transforme en bramme; on réchauffe ensuite ces brammes et on les réduit en une seule chaude, au moyen des *cylindres unis non en coquilles, en tôle de 10 à 12mm*; si la tôle devait être beaucoup plus mince et n'avoir par exemple qu'une épaisseur de 5 à 7mm, on serait obligé de la réchauffer une ou plusieurs fois dans le four à tôle pour pouvoir continuer le laminage.

Pour les tôles dont la feuille pèse moins de 200k, on coupe les languettes en bidons de longueur convenable, que l'on réunit deux à deux et que l'on porte sur la sole du four à tôle. Lorsque le fer a acquis la température du blanc soudant, on le passe entre les cylindres unis non à coquilles; quelquefois, cependant, on lui fait encore subir auparavant un corroyage intermédiaire : les tôles ainsi obtenues portent le nom de tôles à *deux chaudes*. Enfin on réduit les feuilles à l'épaisseur voulue au moyen de réchauffages et de passages successifs au laminoir. Dès que les tôles en se refroidissant sont arrivées à la chaleur rouge, on les dépouille de la couche d'oxyde qui les recouvre au moyen d'un balai, chaque fois qu'on est sur le point de les engager entre les cylindres unis non à coquille.

Les tôles fines destinées ou non à la fabrication du fer-blanc se fabriquent ordinairement avec des fers de première qualité obtenus dans les forges à l'allemande. Ces fers arrivent de la forge sous la forme de *largets* ou de barres méplates de 0m,20 à 0m,25 de large, 0m,25 d'épaisseur et de 0m,70 à 1m,00 de longueur. Ordinairement chaque larget donne une feuille de tôle, à moins qu'on ne veuille obtenir des feuilles pesant environ 20k, auquel cas on emploie deux largets pour une feuille. *On chauffe les largets au blanc soudant dans le four* à tôle ou dans un four à flammes perdues, puis on les passe dans le deuxième équipage à cylindres du train, en les présentant en travers entre les cylindres, de manière à ce que la longueur des largets forme la largeur des feuilles, et en serrant les vis de pression après chaque passage pour rapprocher les cylindres et amincir de plus en plus les feuilles. On continue ce travail jusqu'à ce que la tôle ait de 0m,10 à 0m,12 d'épaisseur, puis on les amène jusqu'à 3 ou 4mm aux cylindres à coquille. On réunit alors successivement les feuilles en paquets de 2, 4, 6, 8, 10, 12 et tout au plus 16 feuilles, que l'on lamine, aux cylindres à coquille, comme des feuilles isolées, jusqu'à ce que la tôle soit assez fine. Lorsque la tôle ne doit pas avoir plus de 1m,50 de long sur 1m,00 de large, la réduction à 1mm 1/2 d'épaisseur s'opère en une seule chaude; mais lorsqu'on veut obtenir des tôles plus grandes ou plus minces, on est obligé

de réchauffer plusieurs fois dans le four à tôle, parce que les feuilles, en vertu de leur faible épaisseur, se refroidissent promptement. On les porte au rouge peu intense et on les lamine jusqu'à ce qu'elles aient perdu la température lumineuse.

Dans le laminage à une température peu élevée, le fer s'écrouit, devient cassant et perd de sa malléabilité. L'écrouissage est d'autant plus fort que les feuilles se sont plus refroidies entre les cylindres, et, en cet état, la tôle ne pourrait souvent se ployer à angle vif sans casser. Pour rendre au fer sa douceur, on place les feuilles par paquets dans le four à tôle et on les y fait rougir. On les laisse ensuite refroidir lentement et lorsqu'elles ne sont pas bien planes, on profite du moment où elles sont encore rouges pour les dresser avec un maillet de bois sur les dalles en fonte du laminoir. La tôle forte s'écrouit beaucoup moins que la tôle mince, et se recuit ordinairement d'elle-même par la seule chaleur qu'elle conserve après le laminage.

Dès que les feuilles sont refroidies, on leur donne à la cisaille les dimensions voulues.

Les bonnes tôles ont une épaisseur uniforme et une surface parfaitement unie. La tôle fine doit pouvoir être pliée un grand nombre de fois en sens opposé avant qu'elle ne casse.

Pour les tôles fortes et moyennes le déchet est de 30 p. 100 environ, et la consommation en houille de 150^{k} par 100^{k} de tôle ébarbée ; pour les tôles fines obtenues avec des fers au charbon de bois, le déchet est de 6 à 10 p. 100 et on consomme 50^{k} de houille par 100^{k} de tôle ébarbée. L'ébarbage des tôles donne de 15 à 20 p. 100 de rognures.

Fabrication du fer marchand et du petit fer.

Dans les feux d'affinerie on amène immédiatement la loupe à l'état de fer marchand ; dans les forges anglaises et champenoises, la fabrication du fer marchand exige un réchauffage et un corroyage du fer ébauché. Les fers marchands ont de 40 à 70^{mm} de côté ou de diamètre lorsqu'ils sont carrés ou ronds, et de 10 à 40^{mm} d'épaisseur sur une largeur de 50 à 150^{mm} lorsqu'ils sont plats ; au-dessous de ces dimensions ils rentrent dans la catégorie des petits fers. Ces dernières se divisent en deux catégories, selon qu'ils ont été étirés au laminoir. Voici le nom et les dimensions des principales espèces de petits fers :

Fers martinés.

Carillon, fer carré, de 6^{mm} au minimum.
Bandelette, fer plat, de 3^{mm} sur 9^{mm} au maximum.
Verge ronde, fer rond, de 7^{mm} au maximum.
Verge crenelée, de 8^{mm} au maximum.

Fers laminés.

Fer de cercles, fer feuillard, de 1 à 4^{mm} sur 30 à 80^{mm} au maximum.

Rubans, fer plat, de 1/2 à 1^{mm} sur 10 à 30^{mm} au maximum.

Carillon, fer carré, de 4^{mm} à 30^{mm} au maximum.

Bandelette, fer plat, de 2 à 6^{mm} sur 10 à 40^{mm} au maximum.

Verge ronde, n° 23, de 6^{mm} au maximum.

Les petits fers martinés s'étirent sous des martinets ou makas du poids de 50 à 100^{k}, et battant de 200 à 300 coups par minute. Le réchauffage du fer se fait, soit au moyen des flammes perdues des feux d'affinerie, soit dans une sorte de forge maréchale ; il en est de même du petit fer étiré au laminoir dans les forges allemandes.

Le réchauffage des massiaux ou des trousses destinées à la fabrication du petit fer et du fer marchand au laminoir, se fait dans les forges anglaises, dans les fours à réverbère ou les fours dormants, que nous avons décrits fig. 876 à 879 en parlant de la fabrication de la tôle.

Le train de cylindres marchands se compose ordinairement de deux équipages de cylindres, de 0^{m},35 à 0^{m},40 de diamètre et de 0^{m},90 à 1^{m},00 de table, qui font de 65 à 100 tours par minute. Nous ne reviendrons pas ici sur le tracé des cannelures ; nous dirons seulement que pour les cannelures rondes ou carrées, le décroissement des diamètres ou des côtés marche ordinairement par 4^{mm}, depuis 81^{mm}, et au-dessus, jusqu'à 54^{mm} ; par 2^{mm}, depuis 54^{mm} jusqu'à 30^{mm} ; et par 1^{mm}, depuis 30^{mm} jusqu'à 20^{mm}, et au-dessous. Pour la fabrication des fers plats, on fait varier la hauteur des cannelures, soit en leur donnant une largeur constante pour le même échantillon, soit en augmentant légèrement cette largeur depuis la première cannelure jusqu'à la dernière. Dans le premier cas, on donne un peu d'entrée aux cannelures du cylindre femelle ; c'est-à dire qu'on les évase un peu, afin que le fer puisse s'en dégager plus facilement ; cet évasement n'est pas nécessaire dans le second cas. Lorsqu'on fait varier la largeur des cannelures, l'accroissement successif est au plus égal aux 0,09 de l'épaisseur qu'a le fer avant d'y être engagé ; on y passe du fer carré de dimensions moindres que la largeur du fer qu'on veut obtenir, l'étirage marche un peu plus vite, et l'on peut diminuer le nombre des cannelures nécessaires pour arriver à un échantillon donné. Lorsque la largeur des cannelures est constante, le fer plat se fabrique avec du fer carré, dont le côté est égal à la largeur du fer à obtenir.

Dans les équipages à gros fer plat, les cannelures emboîtent les rondelles d'environ 20^{mm}, et le plus grand diamètre du cylindre supérieur dépasse celui du cylindre inférieur d'environ 50^{mm}, c'est-à-dire du double de la hauteur de l'emboîtement ; tous les cylindres à fer plat présentent des dispositions analogues. Ce moyen permet d'obtenir des fers de différentes épaisseurs, avec les mêmes cannelures, en réglant convenablement la hauteur du cylindre mâle.

Les collets qui séparent les cannelures et les rondelles, ont une épaisseur égale ou seulement des 2/3 de celle des cannelures ; elle est d'autant plus grande que celles-ci sont plus profondes. Le décroissement des cannelures est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus faible que le fer est plus écroui et a acquis de plus faibles dimensions.

Le train pour petit fer est composé de deux équipages au moins de cylindres ; ceux-ci ont de 0^{m},12 à 0^{m},25 de diamètre, et font de 150 à 200 tours par minute ; leur vitesse de rotation est d'autant plus grande que leur diamètre est moindre.

La nécessité d'accélérer le travail, afin de pouvoir étirer le fer en une seule chaude, a fait adopter pour les laminoirs à petit fer des jeux à trois cylindres. Dans ces laminoirs, le lamineur, après avoir reçu la barre, l'engage entre les deux cylindres supérieurs ; le rattrapeur, placé derrière le train, la reçoit, et l'engage à son tour entre les deux cylindres inférieurs, au lieu de la rendre au lamineur, en la passant par dessus le cylindre supérieur, comme dans le laminage à deux cylindres. Cette disposition, fort avantageuse aussi longtemps que les barres n'ont encore que de faibles dimensions, est au contraire embarrassante et dangereuse pour les ouvriers, du moment où les barres ont acquis une certaine longueur ; aussi n'est-elle guère employée que dans l'équipage dégrossissant du train, et les équipages finisseurs sont à deux cylindres ; ceux-ci sont souvent à coquille comme ceux servant à la fabrication de la tôle.

Dans les équipages à trois cylindres, pour fers ronds et carrés, on donne au cylindre supérieur un diamètre un peu plus grand qu'au cylindre du milieu, et on rend celui-ci un peu plus fort que le cylindre inférieur, afin d'empêcher l'enroulement du fer. Pour la même raison, dans la fabrication des fers plats, on dispose le cylindre

du milieu, qui reçoit directement son mouvement de l'arbre de couche, de manière à ce qu'il soit femelle par rapport à celui du dessus et mâle par rapport à celui du dessous.

On supprime souvent les cannelures finisseuses de divers échantillons, sur les cylindres à fer marchand ou à petit fer, et on les remplace par une partie cylindrique plus large que la barre, au moyen de laquelle on l'aplatit encore de 2mm environ ; cette large cannelure, appelée *potassoir*, ne s'emploie que pour les fers de moins de 8mm d'épaisseur.

Lorsqu'on fabrique du fer feuillard, on n'emploie qu'un équipage à deux cylindres unis à coquille de 0m,20 de diamètre. Afin de donner au feuillard une surface plus lisse, on en détache la couche d'oxyde avant de l'engager entre les cylindres au moyen de deux couteaux mobiles ou raclettes placés du côté de l'entrée.

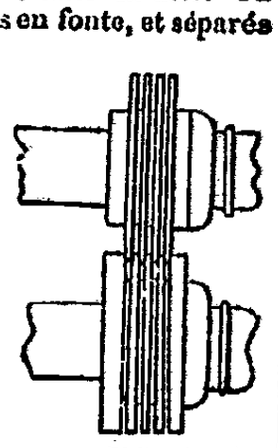
On fait ordinairement faire un quart de tour aux barres après chaque passage dans les cannelures respectives du dégrossisseur ; on opère de même entre les cylindres finisseurs, si le fer est rond ou carré, mais on les retourne sens dessus dessous après chaque passage, si on lamine du fer plat. Arrivé à la dernière cannelure des finisseurs, dans laquelle il les passe au moins deux fois, le lamineur vérifie leurs dimensions avec soin.

Fabrication du fer fendu.

Lorsqu'on veut fabriquer avec économie des fers carrés ou plats dont les formes n'ont pas besoin d'une entière perfection, on se sert de machines appelées *fenderies*.

Un train de fenderie se compose de deux équipages, dont l'un, appelé *espatard*, sert de dégrossisseur, et l'autre constitue la fenderie proprement dite. L'espatard est tantôt un équipage à cylindres unis, mais beaucoup moins longs que ceux du train à tôle, et tantôt est remplacé par un équipage ordinaire à fer plat marchand, muni d'une large cannelure qui fait fonctions d'espatard. Dans le premier cas, les languettes que l'on veut découper doivent avoir à peu près la largeur et l'épaisseur nécessaires pour la fente en arrivant au train ; dans le second, il arrive à l'état de paquets que l'on amène aux dimensions voulues entre les cylindres du dégrossisseur. On place ordinairement le train de fenderie à la suite du gros train marchand.

La fenderie (fig. 882) se compose de deux systèmes de *taillants* ou couteaux circulaires, faits en acier ou en fer aciéré, montés sur des arbres en fonte, et séparés par des disques ou *rondelles* de même épaisseur, mais d'un plus petit diamètre, qui les maintiennent à une distance égale à la largeur des verges que l'on veut fabriquer, et dont l'ensemble porte le nom de trousse. Chaque trousse est appuyée d'un côté contre une rondelle d'épaulement, faisant corps avec son arbre, et elle est recouverte du côté opposé par une rondelle mobile ou *garde* ; tout l'ensemble du système est traversé par quatre boulons d'assemblage qui en forment un tout invariable.



882.

Les trousses sont disposées l'une au dessus de l'autre, de manière à ce que les taillants de l'une correspondent aux entre-deux de l'autre, et remplissent parfaitement les intervalles laissés par ces pièces. Les taillants doivent se pénétrer au plus de 10 à 15mm ; en les engageant davantage, on augmente l'angle qu'ils forment à leur jonction et le fer est saisi moins facilement.

Pour empêcher les verges de s'enrouler autour des trousses de fenderie, on place entre les taillants des lames droites en fer aciéré sur le côté, dites *vergettes*, portées par des pièces à lunettes enfilées dans les colonnes de la cage de la fenderie ; ces vergettes ont en outre pour but de faire sortir les verges en ligne droite et de les rassembler en faisceaux, afin que le fer soit exactement dirigé sur les taillants et soit fendu avec le moins de perte possible, on place du côté de l'entrée des guides, qui ont entre eux un écartement plus grand de 4 à 5mm seulement que l'épaisseur des trousses ; ces guides sont adaptés aux *tirans* en fer qui séparent et maintiennent les *porte-vergettes*.

Les taillants doivent être bien plans, d'égale épaisseur, et, autant que possible, tournés sur leur pourtour, pour être égaux en diamètre et avoir des arêtes plus vives. On les chauffe au rouge-cerise pour les tremper et on les recuit jusqu'au bleu léger. Le diamètre des taillants supérieurs et inférieurs est le même ; il peut varier de 0m,27 à 0m,40 ; mais il ne change jamais dans la même machine. Il est avantageux d'employer de grandes dimensions parce que le fer sort plus droit et le travail marche avec plus de célérité ; mais les grands taillants sont difficiles à confectionner, exigent beaucoup de force motrice et sont sujets à se voiler. Les rondelles ou entre-deux ont un diamètre moindre de 0m,12 à 0m,15 que celui des taillants. L'épaisseur des taillants et entre-deux d'une paire de trousses est la même et égale à la largeur du fer fendu que l'on veut obtenir. Toutes les trousses doivent avoir la même largeur, 80mm par exemple, afin qu'on ne soit pas obligé d'employer des cylindres plats différents pour les divers échantillons sous lesquels on veut débiter le fer dans la fenderie.

Le nombre des taillants d'un équipage est toujours impair ; l'arbre supérieur en porte ordinairement un nombre pair ; par suite, le nombre des brins fournis par une barre est aussi impair, et égal à la somme des taillants des deux trousses, moins deux. Le nombre des taillants dont se composent les trousses dépend des dimensions des verges à fabriquer ; il est d'autant plus grand que ces fers doivent avoir moins de largeur ; ainsi les lames de 5 à 9mm, 11 à 14mm, 14 à 16mm, 16 à 22mm et de 22 à 27mm, peuvent se faire respectivement à 13 ou 11, 9, 7, 5 et 3 brins.

La vitesse des trousses de fenderie varie de 50 à 80 tours par minute ; on doit constamment arroser les trousses par une abondante injection d'eau froide, pour qu'elles ne se détrempent pas trop vite, et, de plus, on doit encore les graisser avec du suif placé par morceaux sur les portes-vergettes de devant, afin que les taillants glissent sans effort les uns sur les autres.

Les verges de fenderie dont la largeur est égale ou inférieure à 7mm, se font en une seule chaude ; tous les autres fers fendus se fabriquent en deux chaudes ; on aplatit d'abord le fer entre les espatards et on le passe immédiatement après entre les trousses, qui le découpent en tringles.

Le fer fendu est surtout employé pour les besoins de la clouterie.

Fabrication du fer de rubans.

Dans les grandes usines on obtient beaucoup de déchets de fer, tels que débris de fer fendu, rognures de tôle, bout de rails trop petits pour entrer dans la composition des paquets, etc., dont il importe de tirer parti à l'usine même. Quelquefois aussi, on établit, près des grandes villes, des usines particulières, pour le traitement des vieilles ferrailles. A cet effet, on forme avec ces débris des masses ou fagots que l'on chauffe dans des fours à réchauffer ordinaires et que l'on traite ensuite, comme les balles des fours à puddler, au marteau et aux cylindres ébaucheurs ; le déchet à l'ébauchage est de 10 à 12 p. 100. Ce fer ébauché donne, par le corroyage, un fer de qualité supérieure ; du reste, la

qualité de ce fer doit varier avec celle des débris ou *riblons* dont on a formé les masses. C'est ainsi que des fers à cheval, de vieux clous, etc., donnent un fer de meilleure qualité que les bouts de rails et d'autres fers de gros échantillons. Le fer de riblons porte aussi le nom de fer de masse, fer de mitraille, etc.

Conditions de vitesse auxquelles doivent satisfaire les machines ouvrières d'un laminoir; force motrice absorbée et travail effectué par ces machines.

De toutes les machines d'un laminoir, il n'y a que le marteau pour lequel il soit possible de calculer la force motrice nécessaire. Les trains, les cisailles et le squeezer, prennent au moteur des forces qui varient avec les résistances à vaincre. Celles-ci surpassent souvent la puissance du moteur et exigent que le volant cède une portion de sa force vive.

Les forces indiquées dans ce paragraphe sont celles que fournit le moteur et non celles qui sont réellement employées pour le travail. On suppose que chaque machine ouvrière travaille au moyen d'un moteur particulier et que les cylindres ont les diamètres que nous avons indiqués.

Pour 10 à 12 fours à puddler il faut un *marteau frontal* du poids de 4000 à 5000^{k} donnant 70 à 75 coups par minute, et exigeant une force de 12 à 15 chevaux.

Un *squeezer* faisant 80 à 90 oscillations par minute exécutera le même travail que le marteau frontal ci-dessus, et consommera une force de 8 à 10 chevaux.

On ne tient pas compte de la force dépensée par les *cisailles* qui est très faible; une seule cisaille peut suffire pour une fabrication de 4000^{kg} d'ébauché par semaine.

Un *train ébaucheur* à deux équipages faisant 30 à 40 tours par minute et desservant 10 à 12 fours à puddler, exige une force de 20 chevaux.

On peut admettre qu'il faut une force de 40 chevaux pour faire fonctionner un marteau, un squeezer et un train ébaucheur.

Un *train à rails* composé de deux équipages dont les cylindres font 50 à 70 tours par minute, doit être desservi par une machine de 40 à 45 chevaux. La fabrication de ce train peut s'élever, par 24 heures, de 14000 à 18000^{k} de rails, suivant que ceux-ci sont plus ou moins légers.

La vitesse des *laminoirs à tôle* varie, avec la nature des échantillons, depuis 25 tours jusqu'à 40; la puissance motrice nécessaire à un train de deux équipages varie entre 30 et 50 chevaux, suivant que les tôles sont plus ou moins minces. Un pareil train peut fournir, en travail continu, de 550 à 600^{kg} de tôles fines et jusqu'à 1800^{kg} de grosses tôles par mois.

La vitesse des *trousses de fenderie* varie de 50 à 80 tours par minute. On peut estimer à 8 ou 10 chevaux la puissance absorbée par la cage de fenderie. En travail continu de jour et de nuit, une fenderie pourvue d'un espatard produit par semaine 400^{kg} de verges de 5 à 6^{mm}, et 660^{kg} de verges de 9 à 13^{mm}.

La force motrice absorbée par un *petit train* varie avec la vitesse et le nombre des cylindres de 10 à 20 chevaux. Dans ce derniers cas on fabrique aisément 50 à 60^{kg} de verge ronde n° 23 par 24 heures.

Prix de revient des fers fabriqués par la méthode anglaise.

Nous prendrons pour exemple une grande forge située près de mines de houille, et à laquelle la fonte brute revient à 9 fr. 50 c. les 400^{k}, ce qui est le cas de plusieurs usines en France, et nous donnerons, en partant de cette base, le prix de revient du fer ébauché, du fer corroyé, des rails, modèle ordinaire, pesant 34^{k},72 par mètre courant, et du fer fondu communs.

Fer ébauché

110^{k} de fonte à 9 fr. 50 c. les 100^{k}.	10^{f},25
125^{k} de houille à 1 fr. 10 c. les 100^{k}.	1^{f},38
Main d'œuvre.	1^{f},46
Frais généraux et frais divers.	1^{f},62
Prix de revient des 100^{k} de fer ébauché.	14^{f},94

Fer corroyé.

68^{k} de fer ébauché à 14 fr. 94 les 100^{k}.	10^{f},14
29^{k} de bout de rails à 17 fr. les 100^{k}.	4^{f},93
15^{k} de mitraille à 15 fr. les 100^{k}.	2^{f},25
63^{k} de houille à 1 fr. 10 c. les 100^{k}.	0^{f},69
Main-d'œuvre.	0^{f},69
Frais divers.	0^{f},69
Prix de revient des 100^{k} de fer corroyé.	18^{f},09

Rails bruts.

63^{k} de fer ébauché à 14 fr. 94 c. les 100^{k}.	9^{f},39
62^{k} de fer corroyé à 18 fr. 79 c. les 100^{k}.	11^{f},65
55^{k} de charbon à 1 fr. 10 c. les 100^{k}.	0^{f},64
Main d'œuvre.	0^{f},56
Frais divers.	0^{f},04
Produit, 112^{k} 1/2 de fer h.	22^{f},25
A déduire 12^{k} 1/2 pour bouts, à 17 f. les 100^{k}.	2^{f},12
Prix de revient des 100^{k} de rails bruts.	20^{f},13

Rails finis.

102^{k} de rails bruts à 20 fr. 13 c. les 100^{k}.	20^{f},53
Charbon.	0^{f},05
Ajustage et frais divers.	0^{f},50
Total.	21^{f},08
A déduire, 1^{k},90 de mitraille à 15 fr. les 100^{k}.	0^{f},28
Prix de revient des 100^{k} de rails finis.	20^{f},80

Fer fondu.

117^{k},5 de fer ébauché à 14 fr. 91 c. les 100^{k}.	17^{f},52
75^{k} de charbon à 1 fr. 10 c. les 100^{k}.	0^{f},82
Main d'œuvre.	1^{f},27
Frais généraux et frais divers.	1^{f},79
Total.	21^{f},40
A déduire, 4^{k} de mitraille 15 fr. les 100^{k}.	0^{f},60
Prix de revient des 100^{k} de fer fondu.	20^{f},80

Fabrication de fil de fer.

On donne le nom de *tréfileries* aux ateliers dans lesquels le fil de fer est réduit en fils plus ou moins minces par l'étirage à froid au moyen de la *filière*.

Le fer destiné à la tréfilerie doit être facile à travailler à chaud, afin de se prêter à un amincissement suffisant par l'action du laminoir; fort et doux à froid, afin de subir sans difficulté l'étirage à la filière; et plutôt dur que mou à cause de la texture nerveuse qu'il prend par le travail; le fer trop mou étant sujet à des solutions de continuité dans le sens de la longueur du fil, par suite de la séparation des fibres produites par l'étirage. On n'emploie que des fers provenant de bonnes fontes au bois, et les meilleures qualités de fil se fabriquent toujours avec des fontes affinées au charbon de bois. Le fer puddlé peut être filé sans difficulté en numéros ordinaires, mais les fils qu'il donne sont plus durs, plus roides et moins souples que ceux fabriqués avec du fer affiné dans des forges à l'allemande. Du reste, le fer puddlé s'emploie de préférence pour le fil destiné à la fabrication des pointes de Paris, à cause de sa dureté et de son prix moins élevé.

Le numéros des fils se détermine au moyen d'une *jauge* ou disque d'acier sur le pourtour duquel on a fait des entailles rectangulaires qui sont désignées par des numéros : un fil de fer appartient à un numéro quand il peut entrer dans l'entaille qui lui correspond. Les

deux jauges principales du commerce, sont les jauges anglaise et française. La *jauge anglaise* contient 27 numéros dont le 0 correspond à un diamètre de 8mm et le numéro 26 à 1/2mm. Le n° 1 de cette jauge a 7mm de diamètre et le n° 2, 6mm 1/2. Dans la *jauge française* les numéros et les diamètres des fils vont en croissant depuis le n° 0 jusqu'au n° 24 ; au-dessous du 0 ou *passe-perle*, la jauge contient des numéros qui croissent depuis le n° 8 jusqu'au n° 30, mais qui correspondent à des diamètres décroissants. Le n° 24 français au-dessus du passe-perle égale le n° 2 anglais et le n° 1 français aussi au-dessus du passe-perle égale le n° 22 anglais ; le n° 30 au-dessous du passe-perle correspond au fil le plus fin que l'on puisse obtenir avec le meilleur fer et qui s'emploie pour cordes de piano, fines toiles métalliques, etc.

La filière est une plaque d'acier percée d'une suite de trous placés en échiquier (voir BANC-A-TIRER) et dont les diamètres vont en décroissant. Les trous de la filière sont coniques, et l'on fait entrer le fil par le grand côté du cône. Pour que le trou de sortie conserve sa rondeur, de laquelle dépend la forme du fil, il est nécessaire que la plaque d'acier employée soit très dure. L'angle du cône doit être très aigu, afin que la compression du métal et sa réduction au diamètre voulu soient mieux ménagées. Il faut, pour la même raison, que les diamètres des trous ne décroissent pas trop rapidement. On perce la filière, à chaud, avec des poinçons coniques, dont chacun peut servir pour 4 à 5 trous de diamètres différents. Les filières employées pour les numéros fins, à partir du n° 15 de la filière anglaise, se font seulement en acier fondu et ont 12mm au plus d'épaisseur ; pour les autres fils, on se sert d'une plaque d'acier sauvage, ou acier de forge extrêmement dur, soudée à une plaque de fer ; l'épaisseur de ces filières est d'environ 25mm.

Comme la longueur du fil s'accroît par le passage dans la filière, on l'enroule sur des cylindres auxquels on donne un mouvement de rotation qui produit la traction nécessaire à l'étirage. Pour les fils inférieurs au n° 15 de la jauge anglaise, on emploie un tambour horizontal. On enroule les fils plus fins autour de bobines verticales ayant la forme de cônes très aigus ; chaque bobine est assujettie sur un axe vertical qui traverse la table de travail et qui donne le mouvement. Avant de passer le fil à la filière, on l'amène au laminoir à un diamètre de 8mm au plus et qui descend quelquefois jusqu'à 3 et 4mm ; dans ce dernier cas, on le reçoit sur des bobines à la sortie du laminoir.

Afin de diminuer le frottement qui a lieu pendant la traction, on graisse le fil ou le trou, ou bien, ce qui est préférable, on applique sur la filière une pelote de graisse formée d'un mélange de suif et d'onguent noir, à travers laquelle passe le fil qu'il s'agit de filer ; par ce moyen on refroidit l'ouverture conique, en même temps qu'on facilite le passage du fil.

La vitesse de tirage doit être uniforme et réglée d'après la nature du fer, la destination et le diamètre du fil. Le fer puddlé exige une vitesse moindre que le fer affiné au charbon de bois. On augmente la vitesse en raison du nombre de passages à la filière.

Quand une botte de fil est faite, on la jette sur un *dévidoir* de forme conique pour la passer de nouveau dans la filière. Le dévidoir est placé en avant de la filière sur la table de travail.

Pour attirer le fil appointé, du trou de la filière sur le tambour ou sur la bobine, on emploie des tenailles qui s'ouvrent d'elles-mêmes lorsqu'elles avancent vers la filière, et qui, en se retirant, prennent et serrent fortement le fil qu'elles doivent filer. La bobine ou le tambour est entaillé pour recevoir la tenaille, qui, après avoir saisi le fil, recule, puis, quand la bobine a fait 1/4 de tour, s'applique dans l'entaille de cette dernière, après quoi l'enroulement commence.

Le nombre de trous par lesquels on fait passer le fil pour l'amener à un numéro donné dépend de la qualité du fer, de la force mécanique dont on dispose et du degré de finesse que doit avoir le fil fini. Lorsqu'on dégrossit, on saute ordinairement un trou de la filière à chaque passage, et, en général, ce n'est que pour les 4 à 5 dernières passes, destinées à finir et à parer le fil, que l'on suit l'ordre des numéros observé dans la filière.

Le fil s'écrouit et devient moins ductile après son passage à travers une série de trous ; on le recuit alors au rouge-brun pour le ramener à son état primitif. Le recuit se fait soit dans une espèce de four à réverbère chauffé par les flammes perdues du feu d'affinerie, soit à feu nu au milieu d'un tas conique de menu charbon ou fraisil auquel on met le feu, soit, le plus souvent, en vase clos, dans des marmites annulaires en fonte. Le nombre de recuits que l'on fait subir au fil, dépend de la nature plus ou moins ductile du fer et du diamètre auquel le fil est parvenu. Les gros numéros exigent des recuits beaucoup plus fréquents que les autres. On recuit toujours le fil avant de l'engager dans le premier trou de la filière.

Le recuit donne toujours lieu à la formation d'une couche d'oxyde plus ou moins épaisse, dont on débarrasse le fil par le *décapage*. Sans cela, l'oxyde formé, en se détachant pendant l'étirage, corroderait la filière et changerait la forme des trous, ou au moins produirait des raies ou des stries nuisibles à l'apparence et à la qualité du fil. Le décapage se fait au moyen de l'acide sulfurique, étendu ordinairement d'environ 240 fois son poids d'eau. Il faut employer un acide plus fort pour les fils recuits à feu nu que pour ceux recuits en vases clos. Après le décapage, on laisse les fils s'égoutter pendant quelques heures avant de les repasser à la filière. On ne décape pas à chaque recuit surtout pour les gros numéros.

On estime qu'une tréfilerie ayant 8 bobines ou tambours en activité exige une chute d'eau d'une force de 20 chevaux.

Statistique.

De toutes les industries métallurgiques celle du fer est sans contredit de beaucoup la plus importante. Nous en donnerons une idée, en rappelant qu'actuellement, en France, la fabrication de la fonte, du fer et de l'acier et de leurs élaborations principales, occupe plus de 50,000 ouvriers et crée une valeur de plus de 150,000,000 de francs, non compris l'exploitation des forêts et des mines de houille qui alimentent les usines à fer.

D'après le dernier résumé statistique publié par l'administration, il y avait, en France, en 1846 :

Fabrication de la fonte et du fer.

	Actifs.	Inactifs.	Total.
Hauts-fourneaux.	474	153	627
Forges catalanes et corses pour la fabrication directe du fer.	100	23	123
Foyers de mazerie au charbon de bois.	5	»	5
Fineries au coke.	16	5	21
Feux d'affinerie au charbon de bois.	705	368	1073
Fours à puddler.	456	139	595
Foyers de chaufferie	108	70	178
Fours à réverbère de chaufferie. . .	239	67	306

Fabrication du petit fer.

Foyers de chaufferie.	111	84	195
Fours à réverbère de chaufferie. . .	179	79	258

Fabrication de la fonte moulée de deuxième fusion.

Cubilots.	471	55	526
Fours à réverbère.	61	18	79

Fabrication de l'acier de forge.

	Actifs.	Inactifs.	Total.
Foyers de mazerie.	11	5	17
Feux d'affinerie.	56	22	78
Fabrication de l'acier de cémentation.			
Fours de cémentation.	51	11	62
Fabrication de l'acier fondu.			
Fours de fusion.	184	»	184
Étirage de l'acier			
Foyers de chaufferie.	18	56	74
Fours de chaufferie.	90	2	92

Nous terminerons en indiquant la production actuelle en fer de l'Europe, et remarquant que celle de la fonte est à celle du fer environ comme 3 : 2; la plus grande partie est transformée en fer forgé et 1/6e à 1/4, selon les localités en fonte moulée. Cette production est de 21,963,900 quintaux métriques qui se répartissent ainsi qu'il suit :

Angleterre (1850).	12,000,000q.m.
France (1846)..	3,601,900
Russie (moyenne de 1835 à 1838).	1,027,000
Suède (1844).	900,000
Autriche.	900,000
Prusse.	850,000
Hartz.	600,000
Hollande et Belgique.	800,000
Ile d'Elbe et Italie.	280,000
Piémont.	200,000
Espagne.	180,000
Norwége.	150,000
Danemarck.	135,000
Bavière.	130,000
Saxe.	80,000
Pologne	75,000
Suisse.	30,000
Savoie.	25,000
Total.	21,963,900q.m.

Bibliographie. Les principaux ouvrages à consulter, publiés sur la fabrication de la fonte et du fer sont : le voyage métallurgique en Angleterre de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, et les métallurgies du fer de Karsten, Walter et Leblanc, Flachat, Barrault et Petiet, et surtout pour la transformation de la fonte en fer forgé l'excellent ouvrage de M. Valérius. P. DEBETTE.

FER BATTU ÉTAMÉ (USTENSILES EN). L'emploi du cuivre pour la fabrication des casseroles, chaudrons, et autres vases destinés à la préparation des aliments, entraîne avec lui, dans certains cas, une foule d'inconvénients fort graves. Le prix du cuivre est d'ailleurs trop élevé pour les classes pauvres. La fonte, qui remplace le cuivre dans beaucoup de ménages, est lourde, cassante et d'un usage incommode; elle a l'inconvénient capital de noircir les aliments, et de leur communiquer un aspect et une saveur désagréables qui la fait rejeter de tous les ménages aisés. Le fer-blanc, dans un petit nombre de cas, peut, il est vrai, remplacer le cuivre; mais il est trop faible pour être solidement rivé et agrafé; il ne peut, à cause des soudures, supporter l'action continue du feu. Son manque de consistance, résultant de son peu d'épaisseur, le rend également impropre à être employé pour quantité d'ustensiles qui exigent une certaine solidité.

Quant à l'étain, son prix élevé, son poids énorme, son extrême malléabilité, qui ne lui permet pas de recevoir le moindre choc sans se déformer, ont limité ses usages. Reste le zinc. Chacun sait que ses combinaisons salines sont des poisons violents. L'emploi de ce métal est donc restreint.

Le fer battu étamé offre quelques-uns des avantages du cuivre, et s'étend à tous les ustensiles pour lesquels on avait recours aux matières ci-dessus mentionnées. La fabrication des ustensiles en fer battu remplace, pour les besoins de la cuisine et du ménage, la chaudronnerie, la ferblanterie, la fonderie, la poterie d'étain. Le fer battu jouit d'une grande solidité, et la modicité de son prix le met à la portée de toutes les classes. Il se fabrique par l'emboutissage à froid. La condition essentielle, pour la réussite de l'opération, est d'employer du fer d'une grande malléabilité et d'une qualité parfaite.

On emboutit le fer sur une série de matrices, se rapprochant graduellement de la forme de l'objet que l'on veut avoir. Les molécules du fer subissent un écartement successif. On soumet à l'action d'un puissant balancier à vis, dans le genre de ceux qui servent au monnayage, le fer en feuilles placé sur ces différentes matrices. On a trouvé un grand avantage à remplacer par la presse hydraulique le balancier, dont l'emploi est souvent dangereux pour les hommes qui le manœuvrent. On peut obtenir par ce procédé des ustensiles de toutes formes et de toutes dimensions, même la marmite de campagne et la gamelle pour la troupe, quoique ces pièces soient à angles aigus, et cela d'une seule pièce, sans soudure ni solution de continuité, ce qui procure une grande économie et une solidité à toute épreuve.

L'étamage se fait au moyen de bains d'étain recouverts de chlorure de zinc liquéfié par la chaleur et portés à une haute température; ce qui le rend, dit-on, plus solide et plus durable. Nous devons observer cependant que l'étain s'étend en couche plus égale, d'une manière plus uniforme, sur le cuivre que sur le fer. Les autres parties de la fabrication, telles que le montage, l'agrafage, sont absolument les mêmes que celles mises en usage pour les ustensiles de même espèce, en cuivre, en fer-blanc, etc.

La fabrication du fer battu ne date guère en France que d'une trentaine d'années; c'est une industrie nouvelle, dont l'importance augmente chaque jour. La consommation française du fer battu étamé peut être représentée par le chiffre de 1,500,000 fr. au moins.

Il s'en exporte en Amérique, en Italie, en Suisse, en Belgique; mais la cause qui s'oppose à l'accroissement de nos débouchés à l'étranger tient au prix élevé du fer en France, ce qui nous oblige à vendre nos produits bien plus cher que ceux de même nature qui se fabriquent en Allemagne. Il est vrai que ces derniers, fabriqués au marteau par les procédés à chaud, sont mal établis, lourds et de formes disgracieuses; mais le bon marché les fait préférer aux produits provenant de nos usines de Franche-Comté, où cette fabrication est montée sur la plus grande échelle. La qualité de nos tôles au bois peut faire ici une heureuse compensation au prix plus élevé de la matière première. D'ingénieuses machines sont venues s'adjoindre à de nombreuses collections de matrices pour assurer la prospérité de cette industrie pleine d'avenir. Celle pour faire les joncs, pour retourner les bords coupants, par l'action de plans inclinés successifs, et les remplacer par des parties rondes, constitue une élégante application des procédés d'emboutissage.

FER-BLANC. Voyez ÉTAMAGE.

FER GALVANISÉ. Voyez ÉTAMAGE.

FERMENTATION. Les phénomènes de fermentation, c'est-à-dire la transformation toute spéciale des substances du règne organique auxquelles on a donné ce nom, exigent ordinairement pour se produire : le contact de l'air, une température de 20 à 30° centigr., la présence de l'eau, enfin le concours constant d'une petite proportion de matière organisée neutre, qui constitue le ferment, et celui de la matière, qui éprouve la fermentation.

L'action spéciale des ferments engendre d'autres effets que les décompositions ordinaires, qui résultent des affinités chimiques; les savants l'expliquent de deux différentes manières.

D'après M. Liebig, la fermentation des corps es excitée par d'autres corps qui se trouvent eux-mêmes dans un état d'altération, et la cause des transformations qui en résultent, doit se chercher dans la destruction de l'état de repos, par suite de laquelle les molécules mises en mouvement obéissent à leurs attractions mutuelles ou à des attractions nouvelles; car, ajoute ce chimiste célèbre, ce mouvement mécanique suffit déjà pour amener dans beaucoup de corps un changement de forme et d'état, à plus forte raison un corps qui se trouve dans un état de décomposition ou de combinaison devra-t-il pouvoir communiquer à d'autres corps le même mouvement ou la même activité.

Dans les corps exempts d'azote, parmi les causes d'altération qui les sollicitent, la plus essentielle se trouve dans la grande affinité de leur carbone pour l'oxygène, affinité qui a pour conséquence la formation de produits extrêmement simples et inaltérables.

Dans les matières azotées qui renferment toujours du carbone, outre cette cause d'altération, il en existe une autre due à l'affinité de l'azote qu'elles contiennent, pour l'hydrogène; aussi ces matières se décomposent-elles bien plus facilement que celles qui ne contiennent pas d'azote.

Ainsi, dans les matières azotées, deux corps s'emparent des éléments de l'eau, deux affinités opposées s'y trouvent en activité et s'y renforcent réciproquement. Il en résulte que les combinaisons qui contiennent de l'azote, renferment, par suite de la tension de leurs éléments, une cause de perturbation qui agit aussitôt que ces combinaisons rencontrent en même temps de l'hydrogène et de l'oxygène. On conçoit, d'après cela, que toutes les parties azotées de l'organisation végétale ou animale tombent d'elles-mêmes en putréfaction, en présence de l'eau et à une température plus élevée que la température ordinaire. Les substances exemptes d'azote n'ont pas la même propriété, elles manquent de cette prédisposition naturelle qui est propre aux molécules azotées complexes.

Les substances renfermant de l'azote peuvent donc seules provoquer la fermentation des substances organiques. On comprendrait, d'après cela, que la levure, qui est une matiere azotée, n'agirait comme ferment qu'en vertu de son altération. Les expériences de M. Colin, qui tendent à prouver que la levure doit sa propriété fermentescible à l'altération de sa partie soluble, viendraient à l'appui de cette supposition.

Le gluten, la légumine, le sang, etc., provoquent comme la levure la fermentation de l'eau sucrée, lorsqu'elles tombent en fermentation.

M. Liebig admet que toutes ces matières qui fermentent d'elles-mêmes au contact de l'eau et de l'air, reportent sur d'autres corps l'état de décomposition dans lequel elles se trouvent, et se comportent de la même manière que l'eau oxygénée en contact avec l'oxyde d'argent.

Or, nous savons que le bi-oxyde d'hydrogène, dans ce cas, perd la moitié de son oxygène, tandis que l'oxyde d'argent est lui-même réduit à l'état métallique, réduction qu'on ne peut expliquer qu'en admettant qu'elle est l'effet du contact de l'oxyde d'argent avec l'eau oxygénée, corps qui se trouve lui-même dans un état de décomposition. D'après le même chimiste, la levure et tous les ferments proviendraient de l'altération du gluten ou de toute autre matière azotée analogue, lequel gluten, en présence de l'eau et de l'air, entre à chaque instant dans une nouvelle période de décomposition. C'est dans ce dernier état qu'il acquiert la faculté de provoquer la fermentation dans un liquide sucré; mais si ce liquide renferme lui-même du gluten ou des substances albuminoïdes, comme c'est le cas pour le moût de bière, par exemple, la décomposition des éléments du sucre a pour conséquence une nouvelle production de levure par l'altération de ce gluten. Le mouvement continuel des globules qui forment les ferments, pendant la fermentation, serait dû à la perturbation de l'équilibre des molécules du ferment, et ce mouvement se communiquerait également aux éléments des corps en contact.

M. Liebig serait en outre porté à considérer le gluten soluble comme une combinaison hydrogénée semblable à l'acide hydro-indigotique (voyez TEINTURE), comme ce dernier, exposée à l'oxygène de l'air, elle perdrait une certaine partie de son hydrogène ou bien s'oxyderait en se transformant ainsi en ferment insoluble; du moins le dépôt de lie, dans les vins et les bières que l'on conserve, dépôt se formant seulement au contact de l'air, semble prouver que l'oxygène est la cause de la formation des produits insolubles. (Voy. BIÈRE.)

Outre la théorie de M. Liebig pour expliquer la fermentation, on en a proposé dans ces derniers temps une autre qui semble plus généralement adoptée. Les recherches microscopiques sur les matières animales et *végétales en fermentation, ont fait admettre dans cette* nouvelle théorie, que la cause de cette altération en apparence spontanée était due à la formation de certains végétaux ou animalcules microscopiques; cette assertion s'appuie d'ailleurs sur la grande similitude qui existe entre l'action des ferments et le rôle joué par tous les animaux et par toutes les parties des plantes qui ne sont pas vertes, similitude qui s'explique de la manière suivante. Les animaux, par l'accomplissement régulier des actes de leur vie, détruisent les matières organiques complexes que les végétaux tendent sans cesse à créer sous l'influence de la lumière, et ils les font rentrer dans les composés habituels de la nature minérale, en même temps qu'ils utilisent pour eux les forces qui maintenaient ces matières à l'état de combinaison. Ainsi agissent les fermentations; elles dédoublent les matières organiques complexes, pour les ramener aussi à des formes plus simples appartenant au règne inorganique.

Le ferment jouerait donc le même rôle que tous les animaux; comme eux il a besoin pour vivre et se développer d'une nourriture semblable à la leur, comme eux encore, il détruit en les simplifiant les productions végétales.

Tantôt le ferment n'existe qu'en germe dans les matières organisées; tantôt il est déjà formé, mais pendant la fermentation il perd sa qualité de ferment; tantôt, au contraire, non seulement il existe et agit, mais encore il se développe jusqu'à sextupler de poids.

L'étude de la fermentation alcoolique peut donner une juste idée de l'action peu connue du ferment; nous y trouverons dans cette étude un exemple des trois états sous lesquels se présente le ferment dans les phénomènes de la fermentation.

Ainsi, dans les raisins, le ferment est à l'état de germe, la fermentation n'attend que le concours de l'air pour se produire spontanément. Dans la décomposition du sucre liquide par la levure de bière, le ferment disparaît faute d'une matière azotée pour l'alimenter, son action est incomplète. Enfin, dans la fabrication de la bière, la fermentation est complète, car non seulement la levure décompose le sucre, mais en même temps elle se développe aux dépens de la matière albumineuse de l'orge et produit un volume sept fois plus considérable où toutes ses propriétés se rencontrent. Telles sont les trois phases de la vie du ferment.

D'après les expériences et les recherches microscopiques de MM. Cagniard-Latour et Turpin, la levure de bière, examinée avant la fermentation, est formée en entier de globules de 1/100e de millimètre de diamètre,

dont le pourtour semble souvent garni de petits appendices que ces savants regardent comme de véritables bourgeons annexés aux cellules mères. Aussitôt que la fermentation commence, les petits corps ovoïdes qui forment la levure s'agitent dans tous les sens, et si la substance est mêlée de matières azotées, le ferment augmente de volume, les appendices latéraux des globules se développent rapidement et semblent se détacher pour vivre isolément à leur tour et produire d'autres bourgeons; ce phénomène de multiplication par dédoublement paraît bien difficile à constater par expérience, néanmoins, s'il était démontré, il faudrait bien admettre, comme l'a dit M. Dumas, que la fermentation constitue de véritables actes vitaux, et que la reproduction du ferment est la même que celle du règne végétal.

L'existence d'un être vivant démontrée par là serait confirmée par la remarque que dans toute fermentation complète excitée dans une matière non azotée, impropre à la nutrition, la levure perd ses propriétés, et que, si on ajoute au contraire de l'albumine au mélange, le développement du ferment marche aussitôt.

Ainsi, par une nourriture convenable le ferment donne naissance à du ferment; c'est ce qui explique la fermentation générale manifestée dans du jus de raisin non altéré, quand on y ajoute du moût en fermentation.

Nous croyons devoir donner ici l'opinion de M. Liebig sur cette nouvelle théorie; nous citons textuellement :

« Dans la théorie qui admet que la fermentation est due à la formation de certains végétaux ou animalcules microscopiques, les particules de levure seraient des espèces de champignons dont les germes ou les semences pénétreraient de l'atmosphère dans le liquide fermentescible, ils s'y développeraient aux dépens des substances azotées, de manière à devenir de véritables champignons; par le contact de ceux-ci, dans l'état de développement, avec les particules sucrées, celles-ci se décomposeraient en acide carbonique et en alcool; ce qui, en vérité, signifie tout simplement que l'acte de cette végétation trouble l'équilibre des attractions élémentaires du sucre et en détermine la métamorphose.

« M. Gay-Lussac a prouvé par ses expériences que le jus de raisin exprimé sur du mercure à l'abri de l'air, n'entre pas en fermentation, et que ce phénomène s'établit au contraire au bout de quelques heures dès que l'air a de l'accès. Il a démontré en outre que la fermentation s'établit immédiatement si l'on fait arriver de l'oxygène au dessus de jus, et qu'il s'absorbe de ce gaz 1/120e du volume de l'acide carbonique développé pendant la fermentation. Or, comme on ne peut guère supposer la présence de germes de champignons dans le chlorate de potasse ou le manganèse, d'où l'on extrait le gaz oxygène, il n'est pas rationnel non plus d'attribuer la décomposition à des végétaux en développement.

« Enfin, M. Gay-Lussac a encore fait voir que le jus entre aussi en fermentation si l'on y introduit les pôles d'une pile galvanique, c'est-à-dire dans des circonstances où aucune substance n'y peut arriver du dehors.

« La théorie qui explique la fermentation par le développement de certains végétaux, est donc obligée d'admettre que des êtres vivants peuvent se produire sans la présence d'un germe ou d'une semence, ce qui est tout à fait contraire aux expériences qu'on possède sur les conditions nécessaires au développement des plantes. »

Plus loin l'illustre professeur de Giessen ajoute :

« Ce serait chose singulière, merveilleuse, que de voir, pendant les actes de décomposition qui constituent la fermentation, naître des matières organisées et des

parties d'organes des substances d'une structure cristalline, des substances douées d'une forme géométrique. Nous savons, au contraire, qu'avant de se résoudre complétement en combinaisons inorganiques, un corps passe par une série de métamorphoses qui ne lui font perdre ses formes qu'insensiblement. »

La fermentation alcoolique la mieux étudiée semble s'accorder assez bien avec la notion d'une réaction chimique simple, comme l'admettait M. Liebig. En effet, le fait chimique qui y prédomine est la conversion du sucre en alcool et en acide carbonique.

L'équivalent du sucre de raisin desséché dans le vide à 130° étant représenté par $C^{12}\ H^{12}\ O^{12}$, la réaction dont nous avons parlé peut se représenter par l'équation suivante :

$$C^{12}\ H^{24}\ O^{12} = 4\ CO^2 + 2\ C^4\ H^{12}\ O^2.$$

Et en représentant par des nombres :

$$2250 = 1100 + 1150.$$

D'où l'on peut déduire que 100 parties de sucre de raisin doivent donner 51,2 parties d'alcool et 48,8 d'acide carbonique. Si le sucre de raisin était hydraté, les deux équivalents d'eau qu'il renfermerait alors deviendraient libres.

Les recherches de M. Pasteur sont enfin venues décider la question en faveur des idées opposées à celles de M. Liebig, et faire prévaloir la théorie physiologique.

Reprenant la fermentation alcoolique et ne s'arrêtant pas devant une équation chimique entre les éléments du sucre et ceux de l'alcool et de l'acide carbonique, équation qui, à cause de sa simplicité même, avait été généralement considérée comme définitive, M. Pasteur s'est demandé si l'équation dont nous parlons, quelque simple qu'elle soit en apparence, est réellement l'expression des faits; si elle est démontrée de manière qu'on soit autorisé à s'en servir pour déterminer, comme on l'avait fait si souvent, la quantité de sucre contenue dans un liquide d'après les quantités d'alcool et d'acide carbonique produites par ce liquide en fermentation? Se livrant à des recherches plus précises, il a découvert la glycérine et l'acide succinique parmi les produits de la fermentation spiritueuse.

Mais l'étude de cette fermentation est-elle complète, dit M. Chevreul, après que l'analyse immédiate a été si heureusement appliquée à ses produits? M. Pasteur ne l'a pas pensé. M. Cagniard de Latour avait fait la belle observation que la levûre, considérée comme ferment du sucre, semble augmenter en végétant à la manière d'une plante, lorsqu'elle est dans l'eau sucrée. M. Pasteur vérifie cette observation, comme l'avaient fait déjà Turpin, Schwann et Kutsing, et bientôt il lui donne une extension qu'on était loin de soupçonner. D'où vient cette levûre, déjà vivante quand M. Cagniard de Latour l'observa? M. Pasteur répond, d'une *spore* ou graine d'une mucédinée. Cette spore peut être dans les matières albuminoïdes qu'on a appelées *ferments*, quand elles ont acquis, dit-on, la faculté d'exciter la fermentation dans l'eau sucrée, après avoir subi l'influence du gaz oxygène, ou bien cette spore peut se trouver en suspension dans l'atmosphère par suite d'une impulsion qu'elle a reçue d'une cause quelconque. Dès que la spore a perdu le mouvement qui la suspendait dans l'air, elle tombe; et là où la spore rencontre une nourriture appropriée, elle donne naissance à des globules de levûre, et si cette levûre a le contact de l'eau sucrée et de phosphates terreux, la fermentation spiritueuse s'établit, et la levûre s'accroît et se multiplie aux dépens de la matière ambiante. Non-seulement le sucre produit de l'alcool, de l'acide carbonique, de la glycérine, de l'acide succinique, mais il cède à la levûre les élé-

ments nécessaires à la production du ligneux et d'une matière grasse.

La levûre n'est donc pas une matière morte : c'est, comme l'a vu M. Cagniard de Latour, un corps vivant dont le développement vital, suivant M. Pasteur, a pour effet la fermentation spiritueuse; ou, en d'autres termes, celle-ci est un phénomène chimique essentiellement subordonné à une action vitale.

M. Pasteur attribue la cause première de diverses fermentations à diverses espèces de plantes mycodermiques et même à diverses espèces d'animaux infusoires. D'après lui, si l'air a été reconnu pour être indispensable au début d'une fermentation, ce n'est point par son oxygène qu'il agit, mais bien par les spores de ces plantes ou les œufs d'infusoires qu'il répand dans la liqueur susceptible de fermenter.

Pour saisir ces spores, ces œufs dans l'air, M. Pasteur fait passer de l'air atmosphérique dans un tube de verre contenant du coton-poudre. Si cet air tient en suspension des spores, des œufs, il les abandonne au coton-poudre, dans lequel il se filtre. Puis, en soumettant celui-ci à l'action de l'éther alcoolique, M. Pasteur dissout le coton-poudre, et le résidu, examiné au microscope, présente des corps organisés qui ont bien la propriété de développer la fermentation. Car si, au lieu de coton-poudre, on s'est servi de filaments d'amiante, en secouant ceux-ci dans des liquides susceptibles de fermenter, la fermentation s'établit si celle-ci est possible sous l'influence des spores ou œufs recueillis par l'ingénieux procédé que nous rappelons.

Quelle conséquence M. Pasteur tire-t-il de ces faits? C'est que, du moment où l'on prouve que les matières albuminoïdes privées de la vie et soumises au contact du gaz oxygène n'ont pas la faculté d'exciter la fermentation des matières qui en sont susceptibles, et que les véritables ferments sont des corps vivants, il faut nécessairement reconnaître que les spores ou les œufs de ces corps vivants se trouvent dans les matières albuminoïdes ou bien ont été déposés par l'air dans les liquides fermentescibles. En adoptant l'opinion contraire, ce serait reconnaître l'existence des générations spontanées, que l'ensemble de ses travaux tend à infirmer.

C'est en poursuivant ces travaux que M. Pasteur a découvert plusieurs végétaux mycodermiques et des animaux infusoires constituant chacun un ferment spécial. Par exemple, il a reconnu que le ferment qui convertit le sucre, la mannite et l'acide lactique en acide butyrique est un animalcule infusoire, et, faits bien dignes d'être signalés, *cet infusoire vit sans gaz oxygène libre;* et il y a plus : *soumis dans le liquide où il vit à un courant de ce gaz, il périt*, tandis qu'il continue à vivre dans la même circonstance s'il est soumis à un courant de gaz acide carbonique.

Passons en revue les principales fermentations. On les classe comme suit :

Alcoolique;	Pectique;
Glucosique;	Benzoïque;
Visqueuse;	Sinapisique;
Lactique;	Digestive;
Acétique;	Ammoniacale;
Gallique;	Putride.

La *fermentation glucosique* est celle qui a principalement pour effet la conversion de l'amidon et de la dextrine en sucre de raisin, sur lequel s'exerce la fermentation alcoolique; son action se manifeste surtout au moment où la diastase réagit sur l'amidon.

La diastase n'est pas le seul ferment qui puisse produire la fermentation saccharine : le gluten peut la déterminer également, surtout si la température est de 50° ou 60°, ce qui tendrait à faire croire que la diastase n'est qu'une simple modification du gluten, qui s'opère sous l'influence de l'air.

On a donné le nom de *fermentation visqueuse* à la modification spontanée que les vins blancs subissent quelquefois, et qui leur fait prendre l'aspect glaireux du blanc d'œuf. Cette maladie des vins, connue généralement sous le nom de *graisse*, se retrouve aussi dans les sirops et dans les infusions de tan.

M. Desfosses est parvenu à produire la fermentation visqueuse en faisant bouillir de la levûre avec de l'eau, puis en ajoutant à ce mélange filtré du sucre, de manière à *lui faire marquer* 6° à 8° au *pèse-sirop*. Si on expose ce liquide dans un endroit chaud, il s'épaissit et devient visqueux en dégageant de l'hydrogène et de l'acide carbonique.

M. Péligot a remarqué que, pendant la fermentation visqueuse, il se développe dans le liquide des globules d'un ferment très-analogue à la levûre de bière. Ce ferment peut exciter la fermentation visqueuse dans les solutions sucrées auxquelles on l'ajoute, si l'on a soin d'élever suffisamment la température de la masse.

L'eau bouillante enlève au gluten une matière qui peut aussi produire la même fermentation.

Les acides sulfurique, sulfureux et hydro-chlorique, l'alun et le tannin empêchent la fermentation visqueuse en précipitant son ferment.

Les vins rouges doivent au tannin qu'ils ont emprunté à la rafle des grappes de raisins, avec laquelle ils ont été longtemps en contact, la propriété de ne point subir cette fâcheuse altération. Les vins blancs préparés dans d'autres conditions manquent de tannin, et par cela même sont sujets à la graisse; mais si on leur fournit cette matière, on précipite le ferment et on les empêche ainsi de subir la fermentation visqueuse.

Toutes les substances végétales neutres ayant la même composition que l'acide lactique ou qui n'en diffèrent que par quelques atomes d'eau peuvent subir la *fermentation lactique*. Le ferment qui agit dans ce cas peut être fourni par toutes les matières organisées neutres, animales ou végétales, lorsqu'elles ont été modifiées par le contact de l'air.

Les corps qui peuvent le plus facilement se convertir en acide lactique par la fermentation sont : la glucose, le sucre de canne, la dextrine et la lactose, qui tous ne diffèrent de l'acide lactique que par un peu plus ou un peu moins d'eau qui leur est prise ou rendue par la fermentation.

Tous les agents qui arrêtent la fermentation alcoolique agissent de même sur la fermentation lactique.

Parmi les ferments qui la déterminent le plus facilement se trouve la diastase, mais la diastase transformée en un nouveau ferment par une exposition de quelques jours à un air humide. Le caséum se convertit aussi en ferment lactique au contact de l'air. Ce phénomène se présente surtout dans le lait abandonné à lui-même et qui se coagule en s'aigrissant. Le coagulum est composé de caséum et de beurre; le petit-lait renferme du sucre de lait et des sels. La coagulation du caséum a été produite par l'acide lactique, lequel a pris naissance par l'action exercée par le caséum lui-même sur le sucre de lait. Ainsi, au contact de l'air, le caséum devient ferment et transforme le sucre de lait en acide lactique, qui à son tour coagule le caséum, lequel entraîne le beurre en se précipitant et cesse alors d'agir, et la fermentation lactique s'arrête. Si on sature l'acide lactique formé, le caséum se redissout et les phénomènes recommenceront dans le même ordre.

Les membranes de l'estomac de divers animaux, ou des morceaux de leur vessie fraîche et lavée, peuvent aussi donner naissance à la formation de l'acide lactique.

La fermentation acétique se produit dans la fabrication du vinaigre. Dans l'acétification, les liqueurs alcoo-

liques employées, par la déshydrogénation de leur alcool, donnent naissance à un corps nommé aldéhyde dont la formule est $C^4 H^8 O^2$, celle de l'alcool étant $C^4 H^{10} O^2$. A son tour l'aldéhyde s'oxyde à l'air pour produire de l'acide acétique $C^4 H^8 O^4$. (Voy. ACÉTIQUE.)

Tous les chimistes reconnaissent que l'acétification se produit sous l'influence d'un ferment spécial qui prend naissance pendant la formation du vinaigre; en outre, la présence de l'air est indispensable à la fermentation acétique. Il est digne de remarque que le résultat de l'acétification est tout à fait l'opposé de celui des fermentations en général. Effectivement la fermentation a toujours pour objet la destruction des matières organiques complexes pour les ramener à des formes plus simples; la fermentation acétique produit au contraire l'union de deux corps, l'aldéhyde et l'oxygène : c'est une véritable combustion qui nécessite, comme on le comprend, la présence de matières poreuses qui divisent les liquides et augmentent les surfaces de contact avec l'air. Une température autre que celle de 20° ou 30° arrête l'acétification.

La fermentation lactique exige, pour se produire, des matières amylacées ou sucrées, mais le concours continu de l'air n'est pas nécessaire; une fois commencée, elle peut s'en passer; elle ne fait pas non plus intervenir l'alcool. Dans la fermentation acétique, au contraire, la présence de l'alcool tout formé est aussi indispensable que celle de l'air.

Le vin, la bière, le cidre et en général toutes les matières alcooliques peuvent servir à la fabrication du vinaigre; mais si la matière employée est trop riche en alcool il faut l'étendre d'eau pour que l'opération marche bien. (Voyez ACÉTIFICATION).

La fermentation gallique produit le changement qui s'opère quand la noix de galle pilée est exposée en pâte au contact de l'air : le tannin passe à l'état d'acide gallique par l'action du ferment renfermé dans la noix de galle. Ce ferment peut produire également la fermentation alcoolique dans un liquide sucré. D'un autre côté la viande, le sang, le caséum peuvent aussi convertir le tannin en acide gallique, mais seulement au bout de quelques semaines de contact à l'abri de l'air; la levûre de bière opère cette transformation plus lentement encore. Toutes ces observations ont fait admettre l'existence de la fermentation gallique.

Fermentation pectique. Lorsqu'on met une dissolution de pectine transparente et fluide en contact avec de l'albumine végétale extraite du suc des fruits, la masse s'épaissit au bout de quelques heures, devient gélatineuse et finit par se contracter considérablement; la pectine a été ainsi transformée en une substance insoluble dans l'eau, mais soluble dans les alcalis; c'est de l'acide pectique. Ce changement isomérique, éprouvé par la pectine sous l'influence de l'albumine végétale, paraît analogue aux phénomènes qui se passent dans les fermentations; c'est ce qui a fait admettre une *fermentation pectique*.

La fermentation benzoïque transforme une matière neutre azotée et cristallisée, n'agissant pas sur l'économie animale et existant dans les amandes amères, en produits nouveaux parmi lesquels se trouvent l'hydrure de benzoïle et l'acide hydro-cyanique, qui forment ensemble l'essence des amandes amères.

Cette fermentation se produit toutes les fois qu'on délaye avec de l'eau le tourteau des amandes amères; une odeur d'acide prussique indique le commencement de la décomposition.

La matière qui agit comme ferment a été appelée synaptase par M. Robiquet; celle qui subit la fermentation est l'amygdaline.

La synaptase a la plus grande analogie avec l'albumine; elle n'agit pas sur l'amidon, tandis qu'en présence de l'amygdaline elle la transforme en produits nouveaux; la réaction a lieu à froid aussi bien qu'à chaud.

L'amygdaline qui existe dans le son des amandes amères a la composition suivante; $Az^2 C^{40} H^{54} O^{22}$, hydratée elle renferme en outre 6 atomes d'eau. La synaptase n'a pas été analysée, on sait seulement que c'est une matière azotée.

Nous ne donnerons ni le moyen de préparer ces deux corps, ni leur manière de se comporter avec les divers réactifs; nous ne parlerons pas non plus de l'acide amygdalique qui dérive de l'amygdaline : cette étude regarde beaucoup plus les traités de chimie théorique qu'un ouvrage de science appliquée.

Dans la *fermentation sinapisique* la farine de moutarde est transformée en une huile essentielle.

Le principe particulier contenu dans la moutarde noire qui détermine constamment la production d'une huile volatile a reçu le nom de myrosine. La moutarde blanche ne donne jamais d'huile volatile, mais elle fournit un principe âcre quand on la fait digérer dans l'eau froide. Traitée par l'alcool à 38°, elle fournit par l'évaporation une substance cristalline appelée sinapisine; c'est cette matière qui, sous l'influence de la myrosine, donne naissance au principe âcre dont nous avons parlé.

La production de l'huile essentielle fournie par la fermentation de la moutarde noire est accompagnée, comme toutes les fermentations, d'une formation de globules ayant l'aspect de ceux de la levûre de bière : ils sont seulement plus petits.

Fermentation digestive. La digestion a été considérée dans ces derniers temps comme une véritable fermentation.

Le suc gastrique renferme le ferment qui produit cette *fermentation digestive*. La substance qui, dans le suc gastrique, produit l'action d'un ferment a été appelée pepsine par M. Schwan.

M. Vogel fils a isolé cette matière, que l'estomac des porcs fournit en abondance.

Ajoutée à l'acide hydro-chlorique étendu, la pepsine a la propriété de dissoudre, à 28° centigr., la viande cuite, et cela sans diminuer de poids et sans changer de nature; cette matière agirait donc sur les aliments par sa seule présence, en les disposant à la solubilité; son action serait la même que celle de la diastase dans la transformation de l'amidon en sucre de raisin.

M. Deschamps, de son côté, s'est assuré que la présure est propre à l'estomac de tous les animaux, et qu'elle est essentielle à la digestion; il a appelé chymosine la partie active de la présure.

D'après d'autres expériences dues à MM. Dumas et Cahours, la présure, ajoutée à la dose de quelques gouttes dans un mélange de 10,000 parties d'eau et de 6 p. d'acide hydro-chlorique, rend ce liquide apte à dissoudre la fibrine en quelques heures.

L'acide hydro-chlorique seul agirait en formant une gelée consistante insoluble. Comme Proust a trouvé dans le suc gastrique de l'acide hydro-chlorique libre, on peut dire que dans cette matière il y a deux agents; l'acide qui ramollit et gonfle les matières azotées qui se trouvent dans les aliments; la pepsine ou la chymosine qui en détermine la liquéfaction.

Sous le nom de *fermentation de l'urée*, M. Dumas désigne la conversion de l'urée en carbonate d'ammoniaque, sous l'influence de l'eau, d'un ferment et d'une température favorable.

L'urée, en se transformant en carbonate d'ammoniaque, fixe 2 atomes d'eau. En représentant ce corps par $C^2 H^8 Az^4 O^2$, la formule qui explique ce phénomène est la suivante :

$$C^2 H^8 Az^4 O^2 + 2 H^2O = 2 (CO^2, Az^2 H^6.)$$

FERMENTATION.

C'est sa conversion en carbonate d'ammoniaque qui rend l'urée propre à l'alimentation des végétaux. Cette conversion se fait par l'action de la matière muqueuse de l'urine, qui joue le rôle de ferment. La levûre de bière n'agit pas sur l'urée pure, même à la longue; ajoutée à l'urine elle provoque sa fermentation. Le résidu blanc qui se dépose dans les vases où l'on recueille les urines est le plus énergique de tous les ferments qui peuvent décomposer l'urine.

La fermentation putride des matières animales ou végétales donne pour produits ultimes, après diverses transformations, de l'acide carbonique, de l'ammoniaque et de l'eau.

Pour que les matières animales et végétales puissent entrer en putréfaction, il faut le contact de l'air, celui de l'eau et la température nécessaire aux fermentations proprement dites, car, à 0° et au-dessous, à 400° et au-dessus toute putréfaction cesse.

D'après M. Liebig, l'eau dans la fermentation putride ne servirait pas seulement de milieu pour favoriser le mouvement des molécules, mais elle agirait en outre en vertu de l'affinité de ses éléments pour ceux de la substance organique. Le contact d'une matière en putréfaction excite rapidement la putréfaction générale des substances animales auxquelles on l'ajoute.

Une substance organique se conserve, si on lui enlève son eau, ou si on la met à l'abri du contact de l'air. Les sels avides d'eau, les matières qui, comme la créosote, l'alcool, le tannin, le sublimé corrosif, etc., peuvent coaguler l'albumine empêchent également la putréfaction des substances animales. La plupart des acides, le charbon et le chlore agissent de la même manière. (Voyez l'article CONSERVATION DES SUBSTANCES VÉGÉTALES ET ANIMALES.)

Le plus souvent, au moment où la putréfaction commence, des myriades d'animalcules microscopiques se montrent, et semblent naître aux dépens de la matière qui se désagrége. A ces animalcules en succèdent d'autres qui font à leur tour place à de nouvelles générations, de telle manière que la décomposition finale est le résultat d'un grand nombre de reproductions successives.

Ces animalcules ne peuvent être, d'après M. Liebig, la cause de toutes ces transformations, puisque eux-mêmes, après leur mort, éprouvent les mêmes décompositions par lesquelles ils se résolvent en définitive en eau, en acide carbonique et en ammoniaque.

M. Pasteur a montré que ce n'était pas là un fait accidentel et qu'il y avait dans cette production incessante d'animaux une grande loi naturelle d'une grande importance.

L'observation la plus vulgaire a montré de tout temps, dit-il, que les matières animales et végétales exposées après la mort au contact de l'air, ou enfouies dans la terre, disparaissent à la suite de transformations diverses. La fermentation, la putréfaction et la combustion lente sont les trois phénomènes naturels qui concourent à l'accomplissement de ce grand fait de destruction de la matière organisée, condition nécessaire de la perpétuité de la vie à la surface du globe. Dans mes travaux, j'ai indiqué avec précision quelles étaient, suivant moi, les vraies causes des fermentations, et j'ai annoncé le principal résultat des recherches que je poursuis sur la putréfaction proprement dite. Partout la vie, se manifestant chez les productions organisées les plus infimes, m'apparaît comme l'une des conditions essentielles de ces phénomènes, mais la vie avec une manière d'être inconnue jusqu'à ce jour, c'est-à-dire sans consommation d'air ou de gaz oxygène libre. La matière morte qui fermente ou qui se putréfie ne cède donc pas, uniquement du moins, à des forces d'un ordre purement physique ou chimique. Il faut bannir de la science cet ensemble de vues préconçues qui consistaient à admettre que toute une classe de matières organiques, les matières plastiques azotées, peuvent acquérir, par l'influence hypothétique d'une oxydation directe, une force occulte, caractérisée par un mouvement intestin, prêt à se communiquer à des substances organiques prétendues peu stables. Les combustions lentes dont les matières organiques mortes sont le siége, lorsqu'elles sont exposées au contact de l'air, ont également, dans la plupart des cas, une étroite liaison avec la présence des êtres les plus inférieurs. On arrive ainsi à cette conséquence générale, que la vie préside au travail de la mort dans toutes ses phases; et que les trois termes dont je parlais tout à l'heure, de ce retour perpétuel à l'air de l'atmosphère et au règne minéral des principes que les végétaux et les animaux en ont empruntés, sont des actes corrélatifs du développement et de la multiplication d'êtres organisés. L'exposition de quelques expériences et analyses suffira pour faire comprendre les faits et les conséquences qu'on en doit tirer.

Les expériences de M. Pasteur consistent essentiellement à abandonner pendant un temps plus ou moins long, au contact de l'air privé des germes des organismes les plus inférieurs, des matières organiques réputées très-altérables et d'une combustion lente facile, telles que l'urine, le lait, la sciure de bois humide, les matières albuminoïdes. Non-seulement, dans ces conditions, ces matières ne se putréfient pas et ne fermentent pas, ce qui est déjà un fait acquis à la science par les recherches antérieures de M. Pasteur, mais en outre ces matières n'éprouvent qu'une oxydation directe insignifiante. Après plusieurs années d'exposition à une température de 25 à 30°, l'oxygène des vases n'est pas encore consommé entièrement, et souvent c'est à peine s'il en a disparu quelques centièmes.

Puis M. Pasteur répète les mêmes essais dans les mêmes conditions, mais sous l'influence du développement des germes des mucédinées et des plus petits infusoires; et dans l'espace de quelques jours tout l'oxygène a disparu, il a été remplacé par de l'acide carbonique. Ces petits êtres sont donc les agents principaux de la combustion lente des matières organiques animales et végétales. L'énergie de leur action est quelquefois extraordinaire, témoin l'exemple saisissant de la combustion de l'alcool par les mycodermes, que M. Pasteur a fait connaître et sur le développement desquels il fait reposer son procédé d'acétification. Les principes immédiats des corps vivants seraient donc en quelque sorte indestructibles, si l'on supprimait de l'ensemble des êtres que Dieu a créés les plus petits, les plus inutiles en apparence. Et la vie deviendrait alors impossible, parce que le retour à l'atmosphère et au règne minéral de tout ce qui a cessé de vivre serait tout à coup suspendu. Dans une seconde partie de son travail, M. Pasteur reproduit les expériences précédentes dans des conditions toutes nouvelles. Il a réussi à mettre au contact de l'air pur, privé de ces poussières, des liquides très-putrescibles, notamment le sang et l'urine, à l'état même où ces liquides existent dans le corps des animaux, sans les modifier par la cuisson. Ces liquides se conservent sans altération, et leur combustion lente est également à peine sensible.

La question de la fermentation se trouve, depuis les travaux de M. Pasteur, entièrement confondue avec celle des générations spontanées, une des plus difficiles que puisse se proposer la physiologie, puisque les expériences basées sur l'emploi du microscope portent sur des faits qui échappent le plus souvent à nos moyens d'observation.

M Payen a donné le nom de gasterase à la matière azotée qui dissout les aliments, matière qu'il est parvenu à isoler.

La fermentation des corps gras consiste dans la séparation des acides gras et de la base qui, réunis, forment les graisses. Dans ce dédoublement, les acides gras s'hydratent, ainsi que la base, qui est convertie en alcool glycérique ou glycérine. Cette fixation d'eau constitue toute la fermentation. Une fois séparés de leur base, les acides gras ne peuvent plus se recombiner avec elle; ce phénomène est donc tout à fait en dehors des réactions ordinaires que présente la chimie.

Dans la fermentation des graines, les mêmes phénomènes qui ont lieu pour les autres fermentations se reproduisent. Le concours d'une matière albuminoïde, celui de l'eau, celui de l'air, et une température variant de 15 à 30°, sont indispensables. F***.

FERMOIR. Cette dénomination s'applique à un grand nombre d'outils différents. On dit qu'un outil est un fermoir ou est aiguisé en fermoir, lorsque le tranchant est formé par la réunion de deux biseaux ; ces biseaux sont plats ou ronds : dans ce dernier cas, le fermoir est dit à *nez rond*. Le fermoir est en général un outil dégrossisseur.

FERNAMBOUC. Voyez BOIS DE TEINTURE.

FEU GRISOU. Voyez MINES.

FEUTRE. Voyez CHAPEAUX et LAINE.

FEUTRES VERNIS. Le feutre pénétré d'une quantité suffisante d'huile siccative sert à la confection de plusieurs produits importants, et surtout à celle de visières de casquettes et de chapeaux, dont l'imperméabilité et la durée rendent l'usage très utile pour les hommes exposés journellement par leur travail à l'intempérie des saisons.

Les feutres ne sont point préparés exprès pour ce genre de travail; on les obtient par les procédés indiqués à l'article CHAPEAUX, seulement on se sert de matières plus grossières. L'huile siccative est préparée, comme nous l'indiquerons à l'article HUILES, en employant pour 100 parties d'huile en poids, 2 p. de céruse, 2 p. de litharge, et autant de terre d'ombre.

Le feutre pour chapeaux étant placé sur la forme, on l'imprègne d'huile siccative, et, après l'avoir desséché à l'étuve, on le doucit au tour avec la ponce, en le plaçant sur un moule en bois ; on réitère cette opération six fois, puis on le vernit au moyen d'une brosse en queue de morue.

Les visières sont préparées un peu différemment. Un morceau de tissu étant étendu sur une table, on l'imprègne de colle de farine et on le porte à l'étuve ; on le coupe ensuite de la forme voulue, puis on le pénètre d'huile siccative et l'on ponce, en réitérant l'opération à trois reprises ; on place ensuite la visière dans un moule, où elle est fortement comprimée au moyen d'une presse; le moule est chauffé de manière à pouvoir recevoir successivement jusqu'à vingt visières.

Pour nettoyer un chapeau sali par la boue ou la poussière, il suffit de le laver, de le bien essuyer, et de le frotter avec un peu d'huile.

FIBRINE (*angl.* fibrine, *all.* thierischer faserstoff). La fibrine constitue la majeure partie des muscles des animaux, elle existe dans le chyle, le sang, etc., et l'on peut la considérer comme la plus abondante des parties constituantes de tout être du règne animal. On la prépare facilement, en agitant et battant avec une poignée de verges du sang récemment obtenu; la fibrine s'attache alors aux baguettes sous forme de longs filaments rougeâtres, que l'on décolore en les malaxant entre les mains sous un filet d'eau chaude; enfin, on la dépouille des corps gras qui pourraient y adhérer, en la faisant digérer avec de l'alcool ou de l'éther.

La fibrine ainsi obtenue est solide, blanche, flexible et légèrement élastique, insipide, inodore, plus dense que l'eau dont elle renferme les 4/5 de son poids, et tout à fait neutre aux réactifs. Desséchée, elle devient jaunâtre, demi-transparente, roide et cassante; trempée de nouveau dans l'eau, elle reprend sa mollesse et sa flexibilité. La fibrine renferme pour 100 : 52,78 de carbone, 6,96 d'hydrogène, 23,48 d'oxygène et 16,78 d'azote; et en outre, d'après M. Mulder, 0,36 p. 100 de soufre et 0,33 p. 100 de phosphore.

FIEL DE BOEUF. Le fiel de bœuf purifié possède des qualités qui doivent le rendre précieux dans les arts et dans l'industrie. Il est employé avantageusement pour le dégraissage et le nettoyage des étoffes (voyez DÉGRAISSAGE). Il se combine très facilement avec toutes les couleurs de la peinture, leur donne plus de ténacité, les fixe fortement, et les rend plus coulantes; mais on lui reproche aussi de *salir* certaines couleurs brillantes et vives, et de répandre une odeur désagréable et nauséabonde, lorsqu'il est employé à l'état naturel et en excès.

Le fiel de bœuf se trouve contenu en grande partie dans une espèce de poche membraneuse ; en général il est d'un jaune-verdâtre et parfois d'un vert foncé; il est très amer et un peu sucré en même temps ; d'une faible odeur nauséabonde particulière; il convertit les couleurs de tournesol et de violette en jaune-rougeâtre, effet qui semble principalement dû à sa couleur; son poids spécifique est de 1,026 à 6° ; sa consistance varie; le plus souvent elle est sirupeuse; quelquefois elle est très limpide, et d'autres fois elle est troublée par une matière jaune qu'on trouve dans la bile de presque tous les animaux, et qu'on peut en séparer au moyen de l'eau. Le fiel, abandonné à lui-même dans un vase ouvert, se putréfie peu à peu et dépose un peu de matière vert-jaunâtre; le mucus seul qu'il contient se décompose alors en partie; aussi la fermentation n'est point active, et l'odeur qu'il répand n'est point fétide; on prétend qu'elle finit par avoir quelque analogie avec celle du musc; le fiel s'unit en toute proportion avec l'eau et l'alcool; traité par un acide, il donne un précipité composé d'une matière animale jaune et d'un peu de résine; cet effet est beaucoup plus sensible avec l'acide sulfurique; la potasse et la soude, loin de troubler le fiel, le rendent plus transparent et en diminuent l'état visqueux.

Une des propriétés remarquables du fiel, c'est de dissoudre la plupart des matières grasses; cet effet est dû sans doute à la soude qu'il contient et au composé ternaire de picromel, de résine et de soude ; c'est pour cela que les dégraisseurs lui donnent la préférence, même sur le savon, pour dégraisser les étoffes de laine.

800 parties sont composées à peu près de :

Eau.	700
Picromel.	69
Matière résineuse.	15
Matière jaune, terme moyen. .	4
Soude.	4
Phosphate de soude.	2
Chlorures de sodium et de potassium.	3,5
Sulfate de soude.	0,8
Phosphate de chaux et peut-être de magnésie.	4,2

« Lorsque l'on a beaucoup de fiel de bœuf et qu'on n'en a pas l'emploi, on peut le faire évaporer au bain-marie en consistance d'extrait, dans une bassine d'argent pour s'en servir au besoin en le dissolvant dans une eau légèrement alcaline. » (*Extrait du Manuel du blanchissage*, par Julia de Fontenelle, tom. II, p. 96.)

Manière de purifier le fiel de bœuf concentré. Cette manière de purifier le fiel de bœuf concentré a été imaginée par Richard Carthery et publiée dans le journal de

Nicholson (octobre 1814, *Bibliothèque britannique*, tom. XLIX, pag. 85.)

« Prenez du fiel de bœuf au moment où l'on vient de tuer l'animal; après l'avoir laissé reposer dans une bassine pendant une nuit, versez-le dans un vase de terre propre, avec la précaution de ne pas laisser passer les sédiments dans le vase; mettez-le ensuite dans un poêlon plein d'eau bouillante sur le feu au bain-marie, de manière à ce que l'eau ne puisse point entrer dans le pot. Faites bouillir l'eau jusqu'à ce qu'il s'épaississe; puis étendez-le sur un plat devant le feu pour achever l'évaporation, après l'avoir débarrassé autant qu'il est possible de son humidité, mettez-le dans de petits pots que vous recouvrez de papier, attaché de manière à en fermer l'entrée à la poussière. Il conservera ainsi pendant plusieurs années toutes ses propriétés. »

Certains peintres d'aquarelles très en réputation à Paris se bornent mystérieusement à faire bouillir le fiel de bœuf au bain-marie; à l'étendre sur des assiettes en couche mince, et à le faire sécher au soleil pendant un certain temps. Ce procédé est simple et surtout efficace pour purifier une petite quantité de fiel, et le décolorer au point qu'il n'altère plus les couleurs avec lequel il est mêlé, mais on comprend aisément que cette méthode n'est point applicable en grand; il vaut mieux dans ce dernier cas recourir au moyen suivant que l'on doit à M. Tomkins, graveur anglais :

« A une pinte de fiel de bœuf frais, bouilli et écumé, ajoutez 32 grammes d'alun en poudre fine; laissez la liqueur sur le feu jusqu'à ce que la combinaison soit parfaite; lorsqu'elle est refroidie, versez-la dans une bouteille, que vous boucherez légèrement. »

« Prenez ensuite une pareille quantité de fiel de bœuf, bouilli et écumé; ajoutez-y 32 grammes de sel commun, et continuez de le laisser sur le feu jusqu'à ce que le tout soit combiné; après quoi vous le mettrez dans une bouteille qui devra être légèrement bouchée.

« Cette préparation se conservera sans altération et sans dégager de mauvaise odeur, pendant plusieurs années.

« Lorsqu'on l'a laissée pendant trois mois environ dans une chambre où règne une température modérée, elle dépose un sédiment épais et s'éclaircit; alors elle est propre aux usages ordinaires; mais comme elle contient encore beaucoup de matière colorante jaune, faisant virer au vert les couleurs bleues et salissant le carmin, on ne peut pas l'employer pour les couleurs en miniature.

« Pour obvier à cet inconvénient, M. Tomkins recommande de décanter séparément chacune des liqueurs sus mentionnées, après les avoir laissé reposer jusqu'à ce qu'elles soient claires, puis de les mêler ensemble par portions égales. La matière colorante jaune que retient encore le mélange se coagule aussitôt, se précipite, et laisse le fiel de bœuf parfaitement purifié et incolore. Si on le désire, on peut le verser à la fin sur un filtre de papier.

Cette préparation s'éclaircit en vieillissant, elle ne dégage jamais d'odeur désagréable, et ne perd aucune de ses qualités utiles. » (*Extrait du vol. XXXI des transactions de la Société d'encouragement de Londres*)

Propriétés du fiel de bœuf purifié.

Outre les avantages que nous venons d'indiquer, le fiel de bœuf purifié possède celui de se combiner très facilement avec les couleurs, et de leur donner plus de solidité, soit lorsqu'il est mêlé avec elles, soit lorsqu'on le passe sur le papier après que les couleurs ont été appliquées. Il augmente l'éclat et la durée de l'outremer, du carmin, du vert et généralement de toutes les couleurs fines, et contribue à ce qu'elles s'étendent plus facilement sur le papier, l'ivoire, etc.

Combiné avec la gomme arabique, il épaissit les couleurs sans leur communiquer néanmoins un vernis désagréable; il empêche la gomme de se gercer et fixe tellement les couleurs, qu'on peut appliquer dessus d'autres nuances, sans qu'elles se combinent avec les premières.

Mêlé avec du noir de lampe et de l'eau gommée, il donne une couleur qui peut remplacer l'encre de Chine.

Pour préparer cette encre il suffit de faire noircir à la fumée d'une chandelle ordinaire un morceau de terre ou de verre, de recueillir le noir qui s'y est formé, de le mêler d'abord avec de l'eau gommée, et ensuite avec le fiel de bœuf purifié. On obtient par ce moyen une couleur qui n'a pas besoin d'être broyée, qui est d'un beau noir, s'étend très facilement sur le papier et ne peut en être enlevée sans le détruire.

Lorsqu'on passe le fiel de bœuf sur des dessins faits au crayon ou à la plombagine, les traits ne s'effacent plus, et on peut ensuite les enluminer avec des couleurs dans les préparations desquelles il est entré une petite quantité de cette liqueur.

Les peintres en miniature trouveront un grand avantage à l'employer; en le passant sur de l'ivoire, il lui enlève complétement la matière onctueuse dont sa surface était chargée; mêlé avec les couleurs, il les rend propres à s'étendre plus facilement et à pénétrer dans l'ivoire de manière à s'y fixer solidement.

On peut aussi s'en servir pour des transparents. On le passe sur le papier vernis ou huilé qu'on laisse ensuite sécher; les couleurs préparées avec un peu de fiel de bœuf s'y appliquent très également, et résistent à tous les moyens qu'on pourrait employer pour les enlever.

Mais nous le répétons, le fiel doit être très frais, autrement le procédé de M. Tomkins ne réussit pas.

FIEL DE VERRE. Sel salin qui vient surnager le verre dans les pots de verrerie, et qui est alors extrêmement liquide; c'est du sulfate de soude impur.

FIL DE LAINE FLOCHE. On appelle ainsi, dans le commerce de la bonneterie et de la tapisserie à l'aiguille, le fil fait avec de la laine longue, peignée et très-ouverte, soit anglaise, soit mérinos *métis*. Ce fil est composé le plus ordinairement de 3, 4, 5 et 10 brins, légèrement tordus à la filature et réunis ou *doublés*, soit à la Mull-Jenny, soit à l'aide d'une machine appelée *moulin;* de là est venue la dénomination de *fil floche mouliné*. Il ne s'agit ici que d'une petite industrie, mais qui s'adresse à une clientèle distinguée qui réclame des produits d'une grande perfection.

Autrefois, c'est à-dire sous le règne de Louis XIV et de Louis XV, on appelait, dans les fabriques, *fil d'Estain* le fil retors fait avec de la laine de Flandre peignée, qu'on nommait par conséquent *Estain;* ce genre de fil était principalement employé dans la fabrication de la tapisserie des Gobelins, des tapis de la Savonnerie, de la passementerie et de la bonneterie, etc. On ne connaissait point à cette époque le fil de laine floche fait avec de la véritable laine longue anglaise, qui a été fabriqué pour la première fois en France, vers l'année 1826, par M. Wullianny, filateur à Nonancourt.

C'est au mois de mai 1836 que nous avons livré au commerce de Paris les premiers fils floches, faits avec de la laine mérinos métis provenant de Berlin. Plus tard, nous avons employé exclusivement les laines mérinos françaises. Nous avons recherché inutilement pendant deux années (1834 à 1836) un filateur français qui voulût bien entreprendre le filage de cette espèce de laine, la plus propre sans contredit au travail de la tapisserie à l'aiguille, et à la fabrication de la bonneterie de luxe.

Nous avons quelque droit à nous vanter de nos efforts, car s'ils nous ont été onéreux, le temps a prouvé que nous avions vu juste.

Ce n'est que depuis cette époque que les avantages de cette laine ont été reconnus et généralement appréciés par les fabricants de tapisseries.

La laine mérinos-métis fournit un fil soyeux, léger, élastique, floche ou gonflé, et par conséquent susceptible de garnir les mailles du canevas beaucoup mieux sans doute qu'on peut le faire avec la laine anglaise ou dite anglaise, plus lisse, plus rigide, et surtout plus pesante pour une même longueur déterminée.

Cette laine reçoit plus facilement et plus uniment les teintures qui flattent plus agréablement la vue, parce qu'elles ne sont pas luisantes, et qu'elles n'ont pas l'inconvénient de s'affaiblir par la lumière qu'elles réfléchissent.

La tapisserie à l'aiguille, faite avec ces fils de laine teints diversement, présente un aspect plus doux et plus agréable à la vue.

Aujourd'hui, la consommation des fils de *laine mérinos-métis française* qui, au commencement de l'année 1836 était nulle, s'élève au chiffre de plusieurs millions par année. Nous ne comprenons pas, dans le produit des ventes, les fils que quelques marchands de Paris et de la province font venir de Berlin par l'interlope, moyennant une prime d'assurance variable de 20 à 25 p. 100 de la valeur, inférieure aux droits de douanes auxquels sont soumis, à l'entrée en France, les laines poignées étrangères.

La plupart des marchands français vendent toujours les fils mérinos à broder sous la désignation de *fils de Berlin*, afin de vaincre, disent-ils, l'opinion régnante qu'on ne peut produire en France de fils à broder comparables à ceux de Berlin; et, par une bizarrerie singulière, les Berlinois, eux, vendent les plus belles laines à broder sous la dénomination de laine *Zéphyre Ternaux*, du nom de notre illustre compatriote, qui importa, dit-on, à Gotha les premiers *moutons mérinos-métis*, dont la race croisée a produit la belle variété de *laine longue* propre à la broderie. « C'est ainsi, nous disait un Berlinois, que nous honorons un homme qui a été utile à notre pays. »

Nous reconnaissons, cependant, que les véritables laines de Berlin l'emportent sur les laines françaises, non moins par la finesse des fils et la beauté des teintures, résultat d'un mode de filage et de teinture mieux entendu, que par un prix de vente moins élevé.

Le problème consiste donc aujourd'hui à obtenir, avec des laines mérinos-métis françaises, la réunion de toutes les qualités des fils de Berlin, pour satisfaire non seulement aux nécessités du travail de la tapisserie, mais encore aux exigences du consommateur. Mais, il faut le dire franchement, les filateurs et teinturiers français sont encore fort incertains sur le but à atteindre et sur les moyens d'en approcher.

Cherchons à fournir des indications positives sur le meilleur choix de la laine, et sur les phénomènes qui peuvent avoir de l'influence sur la réussite du fil floche. Notre intention cependant n'est pas d'entrer ici dans l'étude et la description des procédés pratiques de la filature; nous nous bornerons à fournir des renseignements exacts ou au moins suffisants pour effectuer, sans peine et sans tâtonnement, un bon et beau fil floche à broder.

Variété et qualité des laines mérinos-métis. Les toisons grasses, courtes, rondes, unies, c'est-à-dire celles qui présentent une surface rase, annoncent la régularité des mèches, la roideur des brins, et plus encore un grand déchet au désuintage, au peignage et à la filature.

Les toisons grasses, courtes ou longues, touffues et noueuses, c'est-à-dire dont les mèches se terminent par des nœuds, sont des indices de brins flexibles, ténus et élastiques, mais qui ne se soutiennent pas après le lavage du suint et des matières étrangères.

FIL DE LAINE FLOCHE.

Les laines, courtes ou longues, fines et crépues, sont trop molles, trop mobiles, trop faciles au feutrage; elles rendent toujours un fil faible et maigre.

Les laines d'agneau et celles *dites de peaux*, abattues avant leur maturité ou leur développement, sont tendres, flexibles, mais elles n'ont pas la ténacité et l'élasticité convenables.

Les laines dites *pelades*, détachées au moyen de la chaux sur les animaux morts dans les fermes ou tués dans les boucheries, sont sèches, dures au toucher, dépourvues de la douceur, du moelleux et de la flexibilité que leur donne le suint, et réussissent mal à la teinture.

Or, pour obtenir le meilleur fil pour la tapisserie, il faut que tous les brins de la laine soient également flexibles, élastiques et nerveux; il faut enfin que tous les brins soient lisses, égaux et parallèles, c'est-à-dire peignés; par conséquent, la laine doit être longue; le cardage, au contraire, rendrait le fil velu et peu résistant.

Choix de la laine. On choisit les laines mérinos-métis dont les brins sont longs, frisés ou ondulés, c'est-à-dire dont les sinuosités sont peu développées et régulières; ces laines fournissent un fil floche, flexible, élastique et nerveux; mais les laines, dont les brins se développent en spirales ou vrilles, et s'enchevêtrent ensemble, produisent un fil serré, crépu et feutré.

Les laines provenant des moutons-métis et qui sont vendues dans le commerce sous la désignation de laines de la Brie, de la Champagne, de Reims, de la Bourgogne, du Soissonnais, etc., sont très propres à la fabrication des fils floches à broder, et beaucoup plus que les laines mérinos de race pure, celles de la Saxe par exemple, qui sont trop molles et trop feutrantes. Cependant il faut choisir préférablement celles détachées à maturité sur les animaux vivants qui ont pris péniblement leur nourriture dans des terrains arides et sablonneux. Ces laines, contenant moins de suint et de matières étrangères exigent des opérations de désuintage moins prolongées et par conséquent moins destructives, et fournissent surtout un déchet moins considérable au peignage et à la filature.

Au reste, l'expérience et la pratique nous ont conduit à reconnaître qu'on peut produire des fils à broder comparables à ceux de Berlin, en employant exclusivement les laines fines françaises; mais nous devons avouer aussi que l'opinion générale des filateurs et des marchands de laines est opposée à la nôtre.

Moyen de reconnaître et d'essayer la qualité de la laine brute ou peignée. On peut apprécier, au besoin, la douceur et le moelleux de la laine par le toucher.

On reconnaît la finesse des brins par la comparaison à l'œil nu, ou même par le micromètre de Daubenton, par le mesureur de laines de Kœhler ou de Boisseau, ou par une filière ordinaire; mais à vrai dire, ces diverses appréciations ne sont ni rigoureuses ni absolues pour éclairer les filateurs et les fabricants qui doivent rechercher les laines légères, flexibles, élastiques et tenaces.

La laine brute qu'on veut éprouver doit être lavée dans une eau savonneuse (eau 100 parties, savon vert 4 à 5 parties), ou mieux dans une eau contenant 2 à 3 p. 100 de sous-carbonate de soude chauffée à la température de 50 à 60 degrés centigrades. Ce lavage a pour but d'enlever les corps gras et étrangers qu'elle contient toujours; puis on la rince à l'eau très claire, sans tordre ni brouiller les filaments qu'on démêle encore quand ils sont secs, avec un peigne ordinaire, afin de les rendre parallèles.

Cela fait, on reconnaît très bien la flexibilité des brins de laine par la faculté qu'ils présentent d'être pliés facilement sous un angle très aigu, et sans être endommagés, c'est-à-dire sans se couper à l'endroit où

ils sont pliés. On frotte et on retord entre les doigts plusieurs filaments qui s'enlacent d'autant plus facilement et plus parfaitement qu'ils sont plus légers, plus fins et plus souples.

Pour juger de l'élasticité d'une laine, il faut en prendre une poignée dans la main, et la presser à plusieurs reprises pour essayer son ressort; ensuite on étend plusieurs brins dans leur longueur, et on voit s'ils reprennent promptement et avec force la première dimension que le frisé leur donne.

Enfin, on essaie la ténacité ou la force d'une laine par la résistance plus ou moins grande qu'opposent, avant de se rompre, plusieurs brins de même finesse et de même croissance tirés par les deux bouts; cette dernière épreuve, toutefois, n'offre qu'un indice de la force normale des brins pris isolément, et n'entre pour rien dans l'examen du fil *complexe* qui peut être plus ou moins résistant, suivant que les brins ou filaments qui les constituent sont plus ou moins fins, nombreux et tordus.

Manière d'apprêter la laine peignée. Lorsque la laine peignée est grasse au toucher, lorsqu'elle n'est pas parfaitement désuintée, ou que l'on a employé une trop grande quantité de corps gras pour faciliter le peignage, et à une trop basse température, il est convenable de la laver dans la dissolution d'eau alcaline tiède dont nous avons déjà parlé. On la rince ensuite dans l'eau claire pour enlever les matières solubles et étrangères; puis on l'essore à l'aide de la machine de Penzold, ou du ventilateur de Lauberau (voyez *machine à* ESSORER), pour en extraire la plus grande partie de l'eau de lavage. Enfin, on la fait sécher à l'air libre et à l'ombre.

Cette préparation préliminaire a pour double effet : 1° d'enlever le corps gras qui attire la poussière, jaunit et tache la laine; 2° de donner à la laine plus d'aptitude à prendre l'eau, plus de facilité à subir les opérations du blanchiment (voyez BLANCHIMENT), de la teinture et des apprêts (voyez TEINTURE).

Cela fait, on expose la laine réduite en lames ou rubans à la cave pendant douze à vingt-quatre heures, ou mieux on l'humecte d'eau en la pressant entre des toiles mouillées, puis on la soumet à l'action d'une presse à vis pendant dix à quinze minutes, dans une caisse en bois fermée, et dans laquelle on introduit un courant de vapeur. On la retire ensuite pour la faire sécher à l'air libre et à l'ombre, ou dans un *séchoir ventilateur*.

La vapeur agit en se condensant par la basse température de la laine, dont les brins prennent ainsi un plus grand degré de souplesse, d'allinité et de cohésion.

De plus, la vapeur tend à conserver d'une manière invariable aux brins de laine la forme, c'est-à-dire la juxta-position, qu'on leur a donnée par la pression. La chaleur ordinaire seule agirait mal sur les poils qui se contracteraient et se contourneraient en différents sens d'autant plus facilement qu'ils seraient plus fins, plus déliés et plus écartés les uns que les autres; c'est là un inconvénient qu'il faut éviter, si l'on veut obtenir facilement un fil lisse, net, régulier, tenace et gonflé.

Au besoin, on bat légèrement la laine nattée mollement, à l'aide d'un battoir en bois qui étend les brins, les étire, les rompt, développe leur frisé, leur flexibilité, leur élasticité, et les dispose par suite à se croiser, à s'enlacer plus facilement par la filature. Mais cette méthode ne doit être employée qu'avec discernement pour préparer les laines longues et grosses.

Enfin on file et on dévide la laine par les procédés ordinaires; cependant, nos propres expériences nous ont conduit à reconnaître qu'on peut obtenir les meilleurs résultats dans la filature, en employant la vapeur agissant librement sur la laine réduite en rubans et chauffant les peignes ou hérissons, etc.

Apprêt des fils de laine écrus. Cet apprêt a été employé pour la première fois, par nous, en 1837, et nous en avons toujours obtenu des résultats satisfaisants.

Au reste, nous avons suivi ou appliqué tout simplement les principes de l'apprêt sur les tissus de laine.

Voici notre manière de procéder : Nous développons plusieurs écheveaux sur deux bâtons ou *tissoirs*, passés dans leur circonférence, et nous les accrochons parallèlement sur un châssis ou *boltoir*. Nous formons ainsi plusieurs couches ou rangs d'écheveaux que nous plaçons les uns au-dessus des autres, entre des toiles légèrement humectées d'eau.

Nous entourons les écheveaux avec une espèce de sac d'étoffe de laine peu serrée, et nous les plaçons dans une cuve fermée, dans laquelle ils sont exposés, pendant 15 à 20 minutes à l'action simultanée de la vapeur sèche et d'une légère pression que l'on augmente graduellement. Cette opération rend les fils plus unis, plus lisses, en applatissant d'une manière invariable les poils ou duvets.

C'est en séchant sous la double action de la chaleur et de la pression que la laine acquiert du lustre, du brillant à l'œil, et une plus value marchande de 25 à 30 p. 100.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que la laine ainsi apprêtée perd quelquefois un peu de sa blancheur; que le fil diminue de longueur et s'étend plus difficilement, parce que les brins éprouvent trop de frottement pour pouvoir glisser les uns sur les autres. Le fil de laine devient, toutefois, plus souple, plus élastique, plus tenace et plus gonflé ou floche.

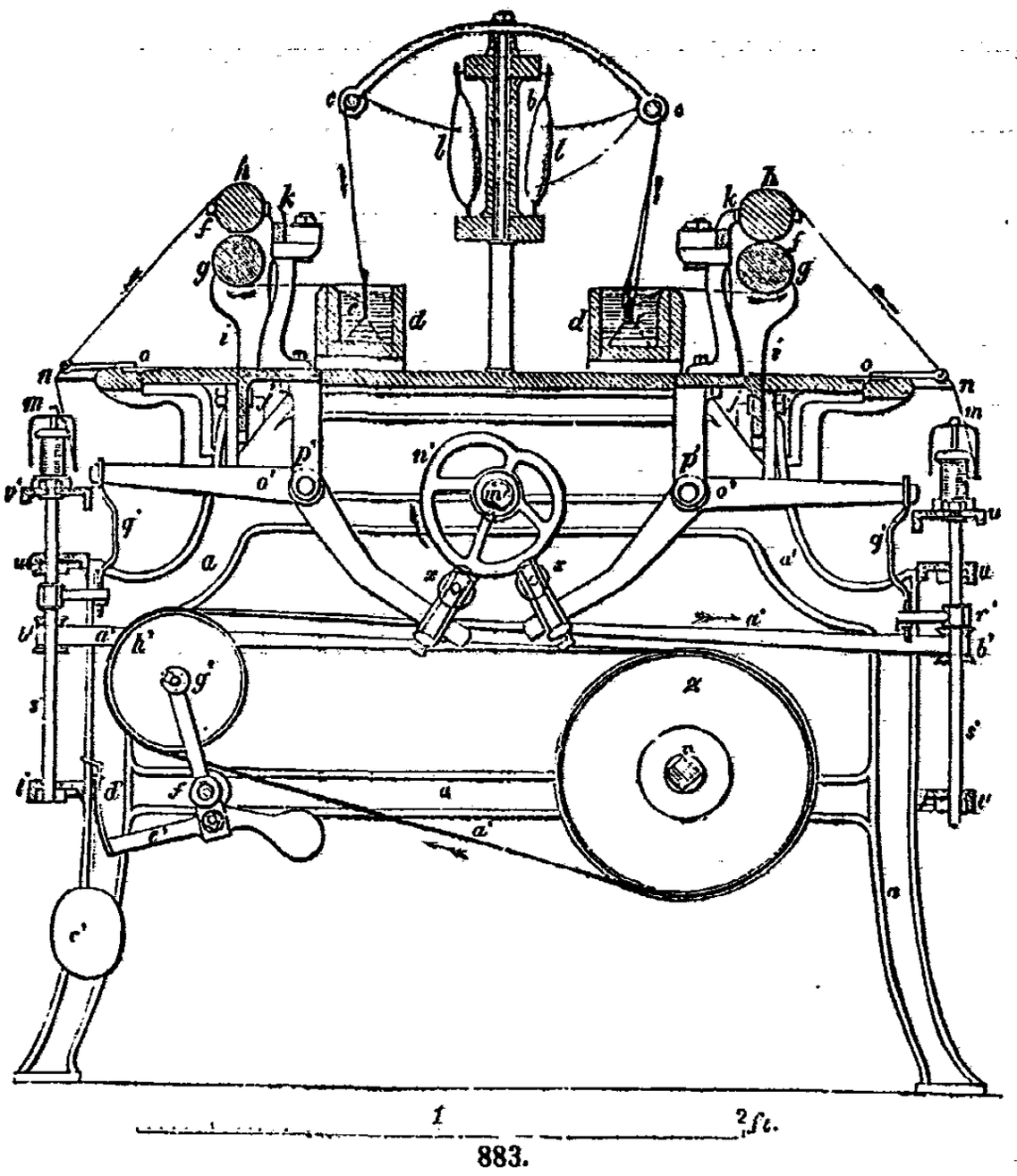
Si l'on veut obtenir des fils écrus encore plus floches et plus ouverts, il suffit de les exposer pendant un temps déterminé à l'action d'un ventilateur, ou d'un courant d'air sec.

Nous ne terminerons pas cet article sans parler d'une fraude qui se pratique journellement dans le commerce des fils de laine. Cette fraude consiste à passer la laine à la vapeur libre, c'est-à-dire à la mouiller, ce qui lui donne momentanément plus de moelleux, plus de douceur au toucher et plus de poids; tous les acheteurs savent cela, cependant les personnes inhabiles ou trop confiantes se laissent prendre tous les jours à cette apparence trompeuse. ROUGET DE LISLE.

FIL D'OR ET D'ARGENT. Nous n'entendons pas parler ici de l'étirage de l'or et de l'argent, qui se fait comme pour les autres métaux, au moyen du banc-à-tirer, mais des fils de soie blanche ou jaune recouverts d'un fil très mince et aplati, d'argent seul ou doré. Le seul soin à prendre en tordant les fils, est de régler la torsion de manière à ce que le fil métallique se roule en hélice sur la soie de manière à la recouvrir complétement.

FIL RETORS. (*ang.* thread, *all.* zwirn). La réunion de plusieurs brins de coton, de laine ou de lin, pour en former par la torsion un seul fil, servant à la couture, à la confection des filets, etc., s'exécute au moyen de la machine représentée en coupe transversale figure 883; *a*, bâti en fonte de la machine; *b*, châssis sur chacun des côtés duquel s'étend une rangée de bobines *l*, *l*, mobiles sur leurs axes et couvertes de fil à tordre; ce fil passe des bobines sur les baguettes de verre *c*, *c*; *d*, *d*, sont de petites cuves allongées en bois doublées de plomb et remplies d'eau, qui servent à mouiller le fil, dans le but de faciliter sa torsion. On mouille toujours le lin, plus rarement le coton et jamais la laine. On réunit les fils qui doivent être tordus ensemble en les forçant à passer à travers des boucles *e*, *e*, pratiquées à l'une des extrémités de fil de métal, et placées comme l'indique la figure. De là les fils passent sur les cylindres étireurs *g*, *h*, dans le sens indiqué par les flèches, puis sur des rouleaux métalliques *n*, *n*, mobiles autour des charnières *o*, *o*, afin de pouvoir faire varier au besoin leur position, et qui les conduisent sur des bro-

ches m, m. Le cylindre g, est en fer ou en laiton, et le cylindre h, en bois de hêtre avec un axe en fer; j, i, k, sont les supports des cylindres; les cylindres g. forment un seul arbre sur chacun des côtés de la machine et reçoivent leur mouvement du moteur, au moyen d'engrenages, tandis qu'il y a autant de



883.

cylindres h, que de broches, et que ces cylindres sont mus par la friction des cylindres inférieurs.

Les bróches ont un mouvement vertical de va-et-vient, et en même temps leurs ailettes reçoivent un mouvement de rotation continu, afin que le fil se répartisse également sur la surface des broches.

L'axe e, qui reçoit le mouvement du moteur, porte de distance en distance des poulies z, qui font mouvoir, au moyen de courroies sans fin, quatre broches à la fois : la courroie a' passe d'abord sur un rouleau de pression h', sur l'axe duquel agit un levier coudé $g'f'e'$, chargé d'un contre-poids c', puis de là elle passe sur les gorges b', montées sur les axes s' des ailettes de deux broches de droite, revient passer sur les gorges b', des axes des ailettes des deux broches de gauche opposées, pour retourner ensuite sur la poulie z, en suivant les directions indiquées par les flèches.

L'extrémité d'un des cylindres g, imprime, au moyen d'engrenages, un mouvement de rotation continu à l'axe m', portant des courbes en cœur n', qui en agissant sur les galets x, x, fixés à l'une des extrémités des leviers o', o', mobiles autour des points p', p', impriment à ces leviers un mouvement de va-et-vient qu'ils transmettent par l'intermédiaire des fourchettes q', q', embrassant les collets r', r', aux axes des broches, qui sont guidés par les pièces t' et u'.

En faisant varier la vitesse de rotation des cylindres g et h, celle des broches demeurant constante, on fait varier à volonté le degré de torsion des brins.

FILETS (*angl.* net, *all.* netz). On sait que les filets qui servent pour la pêche sont faits avec des fils très résistants, qui forment des mailles de grandeur variable suivant les filets; chacune de ces mailles est limitée par des nœuds disposés de manière à résister et à se consolider par la traction.

Dans la fabrication ordinaire à la main, fabrication qui exige l'emploi d'un moule (dont la grosseur est en raison de la grandeur des mailles) et d'une navette autour de laquelle s'enroule le fil, c'est la révolution de ce fil qui constitue la boucle, qui serrée après le passage de la navette forme le nœud.

On voit combien cette fabrication est plus compliquée que celle des tissus, qui ne sont formés comme la toile que par l'entrelacement des fils, et même que les tissus à mailles comme le tulle, le tricot, qui sont formés de mailles non arrêtées par des nœuds, et dont la fabrication à la mécanique paraît être la dernière limite des ressources de la science du mecanicien constructeur.

Un des plus habiles mécaniciens que la France ait possédé, M. Pecqueur, a voulu aller au delà, et après s'être essayé en combinant de charmantes petites machines qui servent à la fabrication des bourses en filets, il a attaqué celle des filets de pêche et y a complétement réussi. Chacun a pu admirer à l'Exposition de 1849 cette belle machine et se convaincre, en la voyant fonctionner, de tout ce qu'elle renferme d'ingénieux. On en jugera encore mieux en étudiant dans le Bulletin de la Société d'encouragement (juillet 1852) les dessins de l'inventeur, auquel cette Société a décerné un grand prix qu'elle avait proposé pour la solution du problème de la fabrication mécanique des filets de pêche.

Dans l'impossibilité de donner ici des figures en assez grand nombre et des explications assez détaillées pour faire apprécier cette machine dans tous ses détails, nous tâcherons seulement d'en donner une idée. Ce qui la rend remarquable, entre bien des dispositions mécaniques très ingénieuses, c'est l'emploi multiplié qui y est fait: d'excentriques pour y imprimer des mouvements dont les lois sont très complexes et de joints brisés pour produire des mouvements de rotation en même temps que des mouvements de translation.

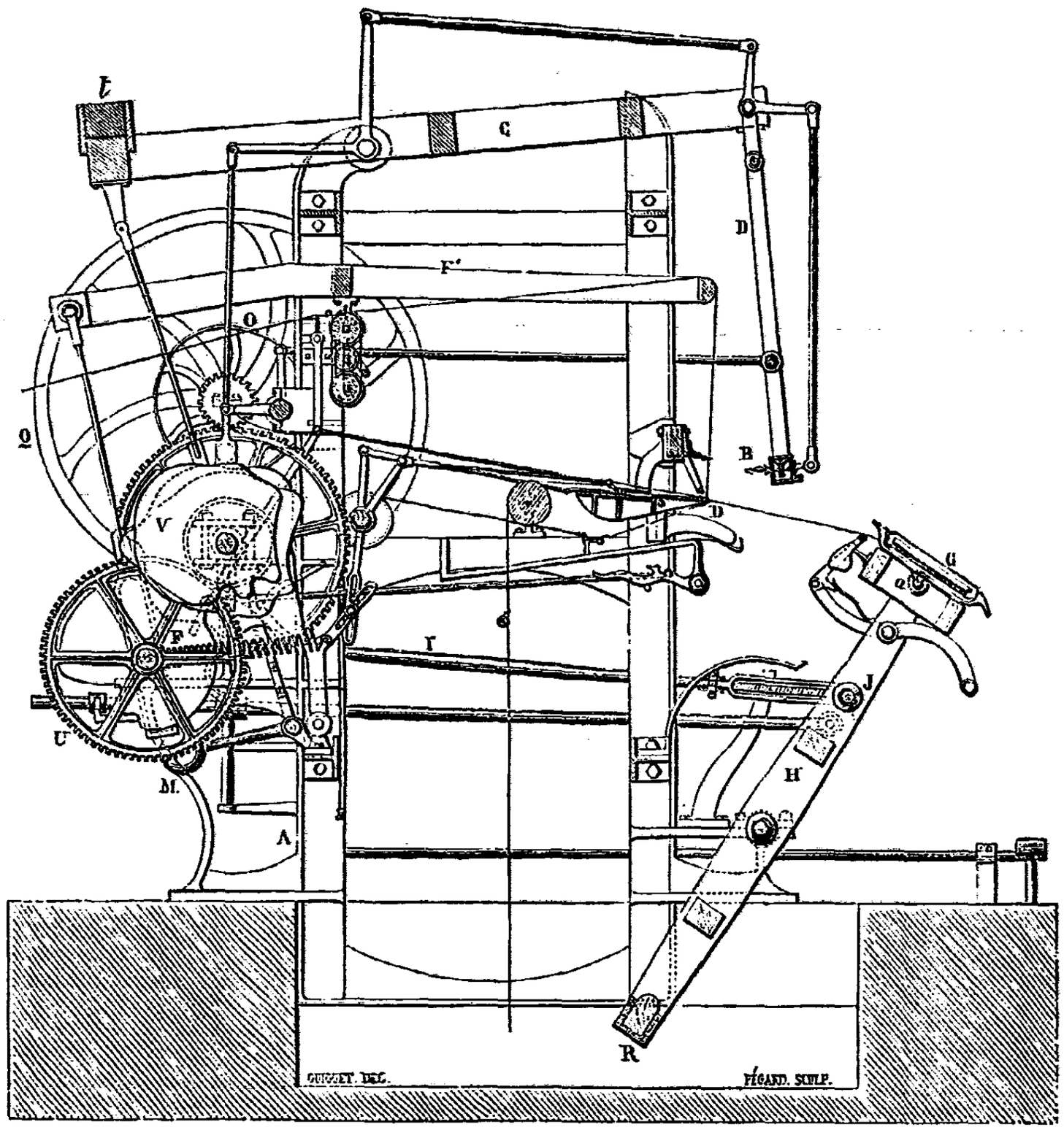
Des fils verticaux sont tendus parallèlement; une ligne de crochets vient les accrocher, puis se recule et se renverse; le fil passe sur le pied du crochet: celui-ci, tournant, vient alors prendre une seconde fois le fil, et, se redressant, laisse partir le premier fil, la dent du crochet

é. t à la partie inférieure, et forme ainsi la boucle. Le porte-crochets, s'avançant, vient engager les fils sous une rangée de navettes, et, après les avoir abandonnés, reprend sa place. Ces navettes, placées sur le cadre tournant d'un axe horizontal, s'éloignent des fils verticaux, et entraînent la boucle qui passe dans chacune d'elles, formant le nœud comme dans le travail à la main. Arrivées à une distance convenable, ces navettes basculent; et comme la partie circulaire autour de laquelle elles tournent est entaillée, le fil est lâché, comme fait le petit doigt dans le travail à la main quand la maille est convenablement serrée, et l'opération se continue pour former une nouvelle série de mailles.

On voit sur la fig. 884 le système qui donne aux crochets le mouvement de rotation, après qu'ils ont accroché les fils, et qui se compose d'une longue crémaillère qui engrène avec de petits pignons montés sur l'axe de chaque crochet. On voit aussi très clairement sur cette figure comment la navette étant toujours accrochée, le fil peut cependant passer dessous, grâce à l'encoche pratiquée dans le galet à rebords engagé dans une rainure qui l'assemble avec le châssis oscillant. Par cette disposition le galet ne peut plus se séparer de la navette, et peut pourtant tourner sans elle.

Cette fig. 884 est la coupe de la machine, et a été choisie entre celles qui servent à la représenter, parce qu'elle en indique assez bien la construction en montrant l'élément composé d'une navette et d'un fil, élément qui se répète autant de fois qu'il y a de navettes disposées les unes à côté des autres. Elles étaient au nombre de cinquante-deux dans la machine mise à l'Exposition.

G, navette; H, levier oscillant qui porte la navette et permet de serrer le fil; DD, rangées de crochets formant rateau et recevant un mouvement alternatif de va-et-vient; ils ont pour objet de saisir et maintenir les



884.

nœuds à mesure qu'ils sont formés; B, crochets dont le mouvement compliqué part des deux arbres K et L, qui portent les excentriques et les manivelles qui leur communiquent le mouvement; I, bielle qui éloigne les navettes et fait serrer les nœuds.

FILIÈRES EN PIERRES FINES. Nous avons parlé des filières en acier à l'article BANC-A-TIRER, nous traiterons ici du progrès que, il y a quelques années

seulement, une heureuse idée, l'application des pierres fines à la construction des filières, a fait faire à la tréfilerie des métaux fins ; amélioration aussi importante sous le rapport de la perfection que de l'économie des produits.

Le travail des pierres fines destinées à la construction de filières propres à tirer dans les numéros les plus fins les métaux précieux se rapproche beaucoup de celui des pierres employées dans l'horlogerie; seulement on emploie des pierres plus fortes, et les trous, au lieu d'être à peu près cylindriques comme pour les montres, doivent présenter un double évasement d'une forme particulière. La main d'œuvre et les outils sont à peu près les mêmes dans les deux industries. Voici en peu de mots en quoi consiste le travail qui nous occupe:

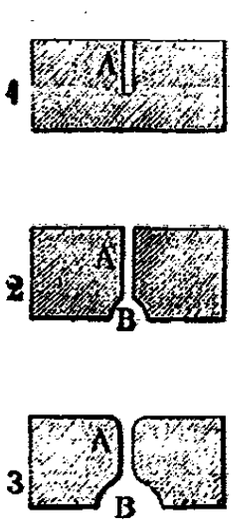
On doit d'abord faire choix de rubis ou saphirs sains et durs; cette dernière qualité les rendant ordinairement opaques et marbrés, ce sont les pierres rejetées par la bijouterie qui conviennent le mieux aux filières : ces pierres doivent surtout être pures de tous corps étrangers, tels qu'oxydes métalliques ou autres, de quelque nature qu'ils soient.

Le travail se fait sur des tours d'une extrême délicatesse et d'un ajustage parfait. Comme mordant pour user, tourner, percer et polir les pierres, on emploie le diamant fin, qui seul peut mordre sur la première dureté au dessous de lui. Outre les esquilles de diamant qui servent de burin pour tourner, on en réduit en poudre fine qui se *tamise* à l'huile pour servir, dans les différents numéros qu'on obtient ainsi, aux diverses opérations, depuis le sablage de la meule ou lapidaire à user, pour laquelle on emploie le premier et le plus gros numéro jusqu'au dernier polissage qui se fait avec le dernier numéro, qui n'est autre qu'une poudre presque impalpable.

La première opération est l'*applatissage*, qui consiste à passer les pierres sur le lapidaire, et à les amener à présenter deux faces parallèles ayant pour écartement la plus grande épaisseur que peut produire la pierre, en raison de sa grosseur et de sa forme primitive. Les plus petites pierres servent aux filières destinées à tirer les fils capillaires, et peuvent, après le tournage, représenter des lentilles de 2 millimètres de diamètre sur 1,5 millimètre d'épaisseur. Le tournage consiste, après avoir aplati les pierres selon deux faces parallèles, à leur donner une forme de pourtour parfaitement ronde.

Cette opération du *tournage* se fait avec des burins en diamant, après avoir fixé la pierre au tour, à l'extrémité d'un tasseau, où elle reste attachée par un ciment à la gomme laque. La pierre s'appuie sur une de ses faces, qui devient, pour tout le reste du travail, la base sur laquelle on se fixe pour percer et obtenir un trou bien perpendiculairement à cette face, qui est plus tard le point d'appui de sertissage; on obtient ainsi une régularité d'exécution sans laquelle on ne pourrait arriver au but dans un travail aussi délicat.

Le *perçage* se fait ensuite sur un tour ordinairement consacré exclusivement à ce travail, et dont on peut se figurer la perfection d'ajustage en sachant que l'axe de ce tour ne marche pas à une vitesse moindre de cinq à six mille tours à la minute, et porte, dans un trou foré à cet effet, une petite broche d'acier collée au ciment après avoir été trempée et revenue presque bleu. Cette broche d'acier sert de foret pour la pierre. La justesse du tour permet en effet de tourner cette broche jusqu'à une finesse moindre que celle d'un cheveu fin, parfaitement cylindrique sur une longueur de 2 à 3 millimètres. Le même tour porte, en avant de l'arbre, sur une verge carrée, un chariot bien ajusté, portant lui-même, à sa partie supérieure et au niveau de l'arbre du tour, une petite pièce d'acier, ou plus souvent de laiton, qu'on nomme *le coulant*, vu sa propriété de glisser dans la rainure qui le contient, en suivant une ligne parallèle à l'axe même du tour : c'est au bout de ce coulant, du côté de l'arbre du tour, et par conséquent précisément en face du foret, que se colle la pierre. La disposition du chariot, porteur du coulant, est telle, qu'au moyen de plusieurs vis on amène la pierre à présenter son centre à la pointe du foret. On met alors sur la pierre une goutte de poudre de diamant délayée dans de l'huile fine, puis, le tour mis en mouvement à la vitesse que nous avons indiquée, on vient faire appuyer la pierre contre le foret, en appuyant légèrement sur le coulant avec le bout du doigt. Pendant cette légère pression, le bout du foret broie contre la pierre les grains de poudre qui se trouvent entre elle et lui; mais son mouvement de rotation excessif chasse bientôt ces grains de poudre; on retire alors le coulant : la goutte d'huile qui est sur la pierre, et au milieu de laquelle passe le foret, vient remouiller la place mise à sec, et y rapporter en même temps de nouveaux grains de poudre de diamant, qu'une nouvelle pression du foret vient chasser, et qui sont remplacés par ceux que ramène l'huile, le coulant s'étant de nouveau éloigné. C'est par ce jeu continu de va et vient de la pierre contre le foret que s'obtient le perçage; car à chaque contact le foret chasse bien la poudre, mais ce n'est pas sans avoir fait subir à chaque grain qu'il rencontre un petit mouvement de rotation qui a fait un trait contre la pierre moins dure que le grain de diamant. C'est la succession de ces frottements qui, emportant peu à peu quelques atomes de la pierre, finit par produire un trou cylindrique au milieu de la masse dure et compacte A (fig. 4). On peut se figurer la délicatesse de tout ce travail en pensant aux dimensions des corps sur lesquels on agit.



Divers mécanismes, plus ou moins ingénieux, ont été employés pour remplacer l'action du doigt sur le coulant. Ces moyens sont surtout avantageux pour ceux qui ont un moteur à leur disposition; car celui-ci faisant tout marcher, le même ouvrier peut conduire plusieurs tours à la fois.

Après ce travail du perçage, qui n'atteint jamais au delà des deux tiers de l'épaisseur de la pierre, on comprend qu'il faut ouvrir du côté opposé un jour à ce premier trou. Cela se fait au moyen d'esquilles pointues en diamants fins : la pierre se colle au ciment sur une petite plaque de laiton à jour dans le centre; cette plaque entre juste et ferme hermétiquement une boîte nommée *barille*, ajustée à l'arbre d'un tour ; elle peut se retourner, et est assez bien ajustée pour que le centre ne change pas. Ainsi, ayant collé la pierre d'un côté en la concentrant par le trou du perçage, on retourne le couvercle, et à travers l'ouverture de son centre, derrière laquelle la pierre se trouve placée, on pratique dans celle-ci un trou conique B (fig. 2), qui vient rencontrer, précisément par son sommet, le fond du trou percé au foret. La filière est ainsi mise à jour; mais elle ne présente encore qu'un trou cylindrique terminé d'un côté par une large ouverture conique dont on ne doit plus tenir aucun compte; il reste à donner à la pierre la partie cylindrique du trou auquel il faut donner la forme voulue avant de le sertir au milieu d'une plaque ronde en laiton qui lui sert de monture pour pouvoir être manié aisément et placé convenablement dans les porte-filières ou *joues* qui font partie des bancs à tirer.

On doit contre-percer et former le trou avant de le sertir, parce qu'à cet état on peut voir dans l'intérieur

de la pierre au moyen d'une petite facette polie qu'on a pratiquée sur le champ de la pierre; c'est par cette facette qu'on voit, en pratiquant le *contre-perçage* à l'esquille, le moment où il vient rencontrer le fond du perçage. La forme se donne au moyen de petites broches d'acier dont on lime le bout en cônes plus ou moins allongés que l'on passe successivement en commençant par les plus obtus. De même que pour le perçage on commence par mettre à l'entrée du trou une goutte de poudre de diamant délayée dans l'huile : cette poudre use le pourtour du trou selon la forme des divers cônes que l'on passe et qui la broient contre la pierre. La dernière broche que l'on passe n'est plus un cône, mais bien une broche cylindrique plus fine que le trou lui-même, et qui le traverse d'outre en outre; cette broche travaille le milieu du trou où les cônes n'ont pu atteindre, et, en s'inclinant légèrement de côté, elle enlève les angles que les cônes ont laissés entre eux, et marie les facettes successives qu'ils ont produites. Toutes ces broches coniques et cylindriques en acier se passent avec de la poudre d'un numéro un peu plus gros. Quand le trou a été ainsi formé (fig. 3), on enlève cette poudre au moyen d'un *brochon* de bois de fusain : ce bois, au moyen d'un petit couteau bien affilé, peut produire une pointe allongée et assez fine pour plonger dans ces trous du diamètre d'un cheveu, et y ramasser la poudre de diamant, qui les salit après avoir servi à les former. On passe ainsi plusieurs brochons de chaque côté, puis on recommence l'opération que l'on vient de faire, mais en employant des broches de laiton et de la poudre fine qui polit parfaitement; enfin, après un nouveau nettoyage, on s'assure à la loupe du poli et de la forme. La forme de la section de la filière varie suivant le métal que l'on doit tirer. En principe, elle doit toujours être telle que la section du trou, selon son axe, présente sur les bouts une courbe parabolique dont chaque élément a pour tangente le côté du cône qui a servi à la produire, et dont la longueur a un rapport voulu dépendant de la section du cylindre du fil qui doit y passer, en tenant compte encore de l'espèce de métal. Ainsi la forme de la filière pour or doit être beaucoup plus allongée que celle de la filière pour argent, les surfaces de frottement étant ainsi bien plus allongées dans le premier que dans le second cas.

L'acier exige, au lieu d'une courbe fortement arrondie, une filière dont l'entrée est un cône presque droit.

On comprend, du reste, que cette courbe voulue pour une bonne filière cesse au point où, dans la longueur de l'axe du trou, le métal une fois comprimé cesse de toucher aux parois de la filière. La sortie du trou est semblable à l'entrée, sauf la dimension. Ce second évasement sert à deux fins : d'abord à permettre au trait (le fil) de reculer, ce qui n'arriverait pas si le trou finissait brusquement, selon une ligne droite perpendiculaire à son axe, car alors il présenterait une arête vive qui ferait l'office d'un couteau circulaire qui arracherait les molécules du métal, et ne lui permettrait pas de retourner en arrière; ensuite, la matière, ménagée ainsi en une légère courbe, présente un épanchement qui soutient la filière, qui, sans cela, s'aiguiserait et s'en irait en éclats sous la pression du métal qu'elle comprime. On voit, d'après la figure 3, que l'entrée du trou est bien plus large que la surface de section du trait qui doit y passer; cela est nécessaire, le fil n'arrivant pas toujours suivant une ligne parfaitement droite, suivant l'axe du trou; il faut qu'il rencontre, en flottant, des surfaces parfaitement polies, et ayant elles-mêmes la forme continuée de la partie principale du trou, celle dans laquelle le fil reçoit sa plus forte pression, et qu'on appelle le *fait* de la filière.

On peut se figurer l'importance de la forme et du poli des filières, quand on pense au travail qu'elles doivent produire. Ainsi pour l'or, par exemple, employé dans la passementerie, ce n'est point sur un fil d'or massif qu'on opère, ce n'est que sur une légère feuille superposée à un bâton de cuivre rouge ou d'argent; ce bâton a à l'origine 30 millimètres de diamètre. On applique sur toute la longueur, qui est d'environ 80 centimètres, 2 grammes d'or par partie du poids de 250 grammes; cet or est en feuilles minces d'un décim. carré; on roule ces feuilles autour du bâton. Or, le cube d'or massif de 1 décimètre carré pesant 17 kilogr. la feuille de 2 grammes, qui représente une des couches du cube, a donc pour épaisseur 0m,000101, un dixième de millimètre. Il faut amener ce bâton à la finesse d'un cheveu, et cela en l'étirant de manière à ce que l'or s'étende avec la matière première du bâton et qu'il y en ait toujours partout. C'est en effet ce qui arrive; et à cette extrême finesse, la couche d'or a conservé le même rapport qu'elle avait dans le principe avec le corps du bâton. On comprend d'après cela toute l'importance de la perfection de la filière pour qu'elle n'enlève ou seulement n'altère pas cette couche d'or, dont l'épaisseur ne peut plus se représenter que par plusieurs décimales au-dessous des 10 millièmes. D'un autre côté, à de pareilles finesses les fils ont bien peu de résistance, et à chaque trou ils supportent une compression qui les réduit d'au moins 1/5 de leur diamètre. Pour l'acier, on n'a pas à ménager la couche superficielle de la matière, mais il n'en faut pas moins par les autres raisons énoncées, que les filières soient parfaites, car elles servent alors à étirer l'acier employé à fabriquer les spiraux, qui dans les montres font partie avec le balancier du régulateur de la pièce. On peut se figurer dans les montres qui descendent aux dimensions de 5 à 6 lignes de diamètre ce que peut être le spiral : il est fait d'un fil d'acier laminé plus fin que les grosseurs que nous indiquons plus loin pour les fils d'or, et qui n'a plus, par cette raison, que bien juste la force de supporter le tirage.

La forme de la courbe parabolique a encore l'avantage d'agir sur le trait de telle manière que la compression s'exerce dans l'épaisseur entière du fil, et que le centre s'étire autant que la surface immédiatement en contact avec les parois de la filière.

Après l'application du rubis et du saphir à la fabrication des filières, on a dû naturellement penser à l'emploi du diamant lui-même. Depuis plusieurs années, en effet, on a essayé ce genre de filières; mais jusqu'ici on n'est arrivé qu'à des résultats trop imparfaits pour en permettre l'usage sur les métaux précieux.

On n'a pas encore pu obtenir dans ces filières les formes prescrites parfaitement exécutées. L'excessive dureté du diamant, contre lequel on ne peut rien faire mordre que lui même, n'a pas encore permis d'arriver entièrement au but. On en fabrique cependant, mais seulement pour tirer des matières qui nécessitent moins de soins que le fin. Le prix élevé de la fabrication, résultant de la longueur du travail, s'est opposé de son côté à la généralisation de l'emploi des filières de cette espèce. Des ouvriers habiles parviendront peut-être à résoudre cette question importante d'économie de fabrication et de perfection de fini, mais jusqu'ici le but n'a pas été atteint.

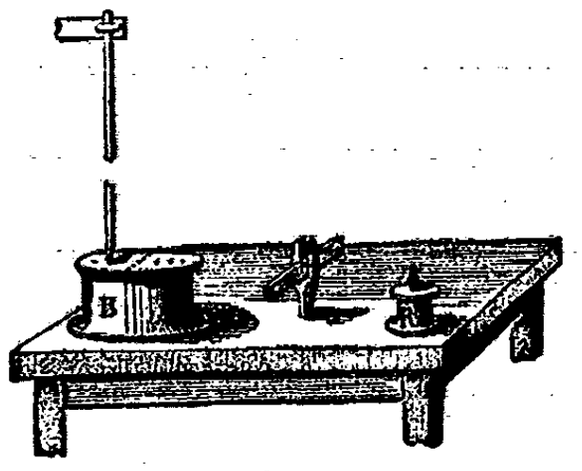
Nous donnons, fig. 4, la forme du banc à tirer en usage pour la tréfilerie fine exécutée dans les filières en pierres fines.

B est la *bobine*, dont le tambour a 40 centimètres de diamètre environ. Cette bobine est mise en mouvement avec la main gauche au moyen d'une manivelle. Celle-ci est formée d'un bâton terminé au bas par une pointe d'acier qui entre dans un trou fait sur la bobine; l'autre bout monte jusqu'au plafond, où il joue dans une ouverture faite à une planche qui le retient ainsi de côté.

R, la *roquette*, de 5 centimètres environ de diamètre, sur laquelle est placé le trait que l'on veut diminuer

on le passant dans une filière retenue par la *joue* placée entre les deux; cette joue est une espèce de fourchette dans laquelle entre à simple pression le *porte-filière*

F, porte-filière, dans lequel est retenue la filière sous



4.

la pression d'un ressort. Le trait ne passe pas directement de la *roquette* à la filière, il passe d'abord sur une baguette de bois que l'ouvrier tient à la main droite, et qui lui sert et à diriger le trait et à contre-balancer les secousses qu'éprouve la roquette, et qui feraient rompre le fil.

Les *bâtons*, pris à 30 millimètres de diamètre, ne s'étirent pas tous jusqu'à la finesse d'un cheveu. Suivant l'objet auquel les traits sont destinés, ils restent à des numéros plus gros dont voici les tables :

Pour le faux cuivre rouge et le mi-fin.		Argenté.
		Doré.
Numéros pour crochets et chapelets..		Arbitraires.
Paillettes.	6 6 1/2 7 7 1/2 8 8 1/2 9 9 1/2 10 10 1/2 11 11 1/2 12 12 1/2	Fin. d'un cuev.
Paillettes.	13 14 15 16 17 18 19 20 22 24 26 28 30 23	
Pour le fin.	Argent pur et argent pur doré.	
Paillettes.	6 6 1/2 7 7 1/2 8 8 1/2 9 9 1/2 10 10 1/2 11 11 1/2 12 12 1/2	Fin. d'un chev.
Bouillons.	5 1/2 6 6 1/2 7 7 1/2 8 8 1/2	
P. . .	1 1 1/2 2 2 1/2 3 3 1/2 4 4 1/2 5 5 1/2 6	

Les numéros de paillettes sont les mêmes que pour le faux. On désigne par la lettre P les numéros de 1 à 6, avec les 1/2 intermédiaires.

On voit par cette table des numéros correspondants dans chaque genre, que les gros numéros de faux manquent dans le fin, qui par contre en contient davantage dans les plus fins. GARAPON.

FILIÈRES. L'instrument qui sert à former les filets des vis porte le même nom que celui qui permet d'étirer les métaux en fils; c'est là une lacune de langage technologique, car il n'y a entre eux aucun point de similitude.

Les *filières à fileter* servent à former des pas de vis sur des cylindres en bois ou en métal de dimensions moyennes, car lorsque les pas de vis deviennent très forts on les obtient sur le tour par une machine-outil spéciale.

Les filières sont en acier, et leur disposition varie suivant le diamètre des vis à obtenir et la nature de la matière à travailler. On les divise en trois classes : les *filières simples*, les *filières doubles* ou *filières à coussinets*, et les *filières à bois*. Nous examinerons successivement chacune de ces trois espèces.

Disons d'abord que cet article doit être étudié avec l'article *Taraud*, puisque la fabrication de l'écrou ou le filetage du trou qui reçoit la vis est la seconde partie de l'opération qui permet d'utiliser celle-ci. La fabrication du taraud a mené à un perfectionnement de la filière, qui n'est pas compris dans l'article suivant, que nous énoncerons brièvement.

Pour commencer une vis on employait souvent, comme nous allons le voir, une première filière à trou conique, mais alors les filets, formés successivement de courbes d'inclinaisons différentes, étaient *machurés*. On a trouvé avantage, comme pour le taraud, à employer un trou cylindrique et à le rendre conique en enlevant partie de l'extrémité des filets à l'entrée. L'outil ne tend plus à former des filets d'inclinaisons différentes (voyez TARAUD).

Les filières simples ne sont employées que pour le filetage de vis d'un faible diamètre; ce sont des écrous pratiqués dans une planche d'acier au moyen de tarauds, et qui deviennent aptes, une fois trempés, à tarauder les cylindres d'acier non trempé, de fer ou de cuivre Il faut autant d'écrous de différents diamètres que de grosseurs de vis à obtenir; le plus souvent on en pratique une certaine quantité sur une même planche d'acier. Cette planche a d'ordinaire la forme indiquée sur les fig. 884 et 885; elle est plus épaisse à un bout qu'à l'autre; les gros trous, qui ont besoin tout autour d'eux d'une grande résistance, sont taraudés dans la partie la plus épaisse, les petits trous dans la partie la plus mince. La filière ne doit pas avoir un trop grand nombre de filets, parce qu'elle serait trop dure à conduire, et qu'on courrait risque de rompre les vis d'un petit diamètre; on ne dépasse guère trois filets à trois filets et demi. On ne doit pas non plus jamais mettre moins de deux filets et demi, parce que le filetage se ferait mal, qu'une vis un peu longue se courberait, et que la filière serait promptement détériorée.

Quelquefois la planche est d'égale épaisseur; on conçoit alors que les petits trous qui reproduisent des pas très fins auraient un trop grand nombre de filets. Pour obvier à cet inconvénient, on les evase jusqu'à ce qu'il n'y reste plus que trois filets.

Pour produire une vis, on emploie d'ordinaire les deux trous situés à côté l'un de l'autre. Le trou *t* est taraudé avec un taraud conique, la partie la plus évasée devant être en dessous. La vis est d'abord passée dans ce trou, puis on la tourne dans le trou *a* qui est cylindrique, et qui la termine complétement. Quand on filète avec les gros trous, on pince la vis dans l'étau, et on tourne la filière en la tenant par les deux bouts; les

distances du trou aux deux extrémités, ou les bras de levier de la force, sont égaux à peu près; condition indispensable pour la facilité du filetage.

Cette condition n'est plus satisfaite pour les petits trous; mais l'effet à produire étant alors peu considérable, on tient la filière dans la main gauche, et on fait tourner de la main droite la petite vis que l'on tient serrée dans une pince.

La construction d'une pareille filière n'est pas une chose très-facile; on devra choisir de l'acier fondu de première qualité, qu'on forgera suffisamment pour ne pas le rendre pailleux, en ayant soin de le ramener souvent au feu, et de le traiter à petits coups pleins et nourris. Au sortir de la forge, on dresse la planche, suivant une décroissance bien égale, soit à la lime, soit à la meule; on marque la place des trous avec le pointeau, et on les perce. Après cela vient l'opération du taraudage. On emploie de préférence des tarauds coniques allongés et équarris à la lime, et affutés après la trempe sur la pierre à l'huile, afin de bien couper la matière et de ne pas la refouler.

Le trou 1 se fait avec un taraud conique, il est plus grand en dessous qu'en dessus; le second trou A avec un taraud cylindrique un peu moins fort que le dessus du premier trou.

Quand les trous sont taraudés, on fait à la lime dans les filets les dégagements, dont nous étudierons plus tard le but et la forme: on n'en fait point aux petits trous, non qu'ils soient inutiles, mais parce qu'on trouve peu de limes pour passer dans ces petits diamètres. Les dégagements faits, on repasse les tarauds dans les trous, et on procède à l'opération de la trempe.

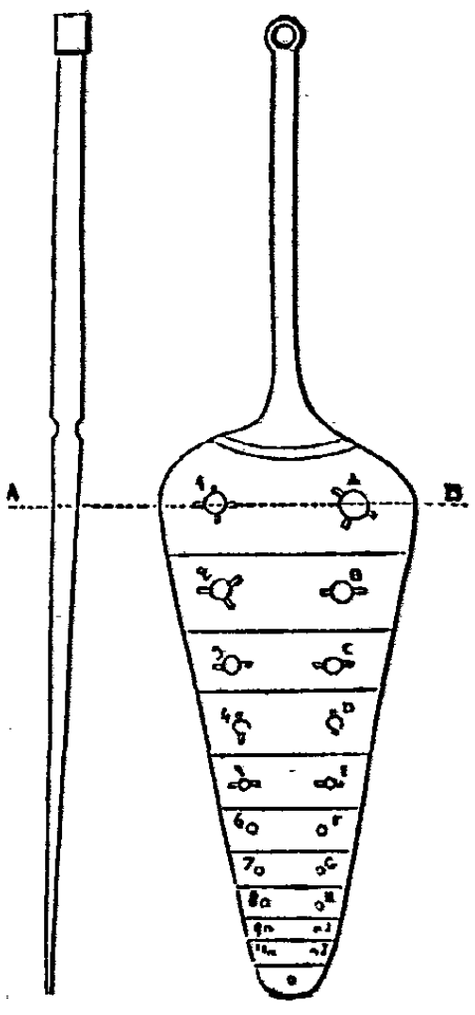


Fig. 884. Fig. 885.

Il est difficile de tremper une filière sans la gauchir, surtout si on a employé dans sa fabrication de la tôle d'acier; car l'acier laminé gauchit beaucoup plus que l'acier martelé et récroui à froid. Pour tempérer l'action de l'eau, on l'emploie tiède, ou on répand un peu d'huile à sa superficie; on entre la filière par la tranche, et on la promène dans le sens de l'entrée. D'autres fois, on fouette l'eau avec le dessous de la filière; puis on la retire, on la retourne, et on la plonge aussitôt; le premier coup fait gauchir, le second ramène dans la ligne droite. On recuit au bleu, quand l'acier est de la première qualité, sinon gorge de pigeon ou couleur d'or.

Fig. 886.

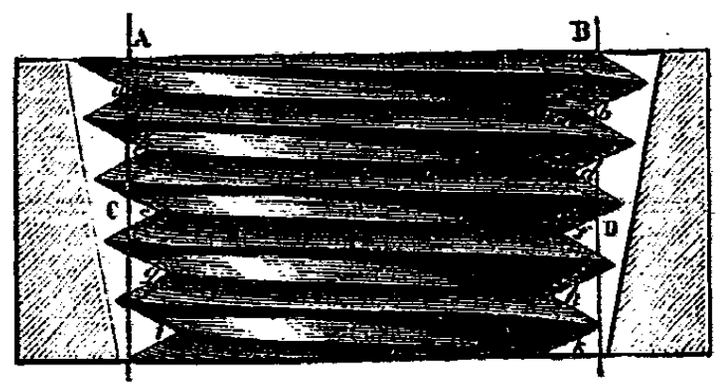


Fig. 887.

Pour bien faire comprendre le mode d'action de cet outil, nous donnerons les fig. 886 et 887 qui représentent les coupes de deux trous des filières à une dimension dix ou douze fois plus grande que nature, et avec un plus grand nombre de filets qu'on n'en emploie ordinairement. La figure 886 est une filière cylindrique destinée à finir les vis; la figure 887 une filière conique qui commence les vis et leur donne entrée à la filière cylindrique.

Dans ces dessins, nous ne supposons que deux dégagements à chaque trou, comme en B, fig. 885, etc. La coupe passe par ces dégagements, et on voit en arrière une moitié de la filière; les lignes verticales A et B représentent la grosseur de la vis à tarauder. En supposant que la matière ne soit jamais refoulée, cette grosseur est alors égale à la profondeur des filets inférieurs.

Supposons maintenant qu'on introduise le cylindre A B à fileter dans la filière 887, il sera attaqué en *a*, et le premier filet s'y incrustera d'une quantité égale au petit triangle *a*. En tournant d'un demi-tour, la partie attaquée se mouvra, suivant la ligne inclinée *a b*, sans rencontrer un dégagement; et une fois arrivée en *b*, elle se sera agrandie, et le métal se sera nécessairement refoulé d'une quantité égale à la différence de surface des petits triangles *b* et *a*. Cette différence est d'autant plus grande que la ligne *a b* est plus longue. Ainsi, s'il n'y avait pas un dégagement en *b*, et que la partie attaquée par la pointe *a* dût faire un tour entier et arriver en *c*, elle serait refoulée de toute la différence qui existe entre le triangle *c* et le triangle *a*. Une fois arrivée en *b*, la portion attaquée par le filet *a b* entre dans le dégagement C, et le biseau formé dans le cylindre tendant à se resserrer, en vertu de l'élasticité de la matière, est coupé par la pointe *b*, que l'on ne voit pas sur

la figure, mais dont on voit facilement la position : elle est vis-à-vis de *b*, sur l'autre face du dégagement C. Ce triangle *b'* surpasse en surface le triangle *b* d'une quantité d'autant plus grande que le dégagement C aura plus d'étendue dans le sens de la circonférence. Il s'ensuit donc que, lors même que le filet ne se rétrécirait pas en quittant la pointe *b*, il serait coupé par la pointe *b'* d'une quantité d'autant plus considérable que la différence entre les triangles *b'* et *b* serait grande.

La quantité dont le fer se resserre en quittant la pointe *b* est peu considérable, si le dégagement est peu large la pointe *b'* ne coupera que très peu et le fer sera refoulé pendant tout le temps qu'il passe de *b'* en *c'*, si le dégagement D est peu large le même raisonnement fera voir que de *c* en *d* le fer sera encore refoulé. L'effet des dégagements est donc presque nul quand ils ont peu de largeur, et les vis que l'on filète se font presque entièrement par refoulement. On est alors obligé de faire le cylindre AB plus petit que nous ne l'avons représenté sur la figure, parce que son diamètre augmentant à mesure qu'il descend doit pouvoir passer dans l'angle rentrant qui sépare les pointes *h* et *k* (fig. 887).

La filière à dégagements étroits est donc radicalement vicieuse, elle refoule presque autant la matière que si elle était continue, le sommet des pas de vis composé de métal relevé manque de solidité, et si les vis sont en acier et destinées à être trempées, une partie de ce métal relevé se brise en petits éclats.

On doit remédier à cet inconvénient en faisant de grands dégagements et en augmentant leur nombre ; on peut en faire 4 et ne laisser aux filets que l'étendue nécessaire pour ne pas nuire à la solidité de la filière. Tout le travail qui s'opère dans l'intérieur des filets est un travail de refoulement ; le métal n'est coupé qu'aux dégagements. On comprend sans peine qu'il faut beaucoup moins d'efforts pour fileter en coupant, que pour fileter en refoulant. On obtiendra avec de grands dégagements des vis mieux faites et on tourmentera beaucoup moins les filières.

Quand on fait passer la vis sur une filière cylindrique, après l'avoir fait passer dans la filière conique, il n'y a que le filet supérieur qui coupe par son dégagement ; il rend la vis cylindrique sur toute sa longueur. Dans celle-ci comme dans la filière conique il est avantageux de faire 4 dégagements et de les pratiquer aussi grands que possible.

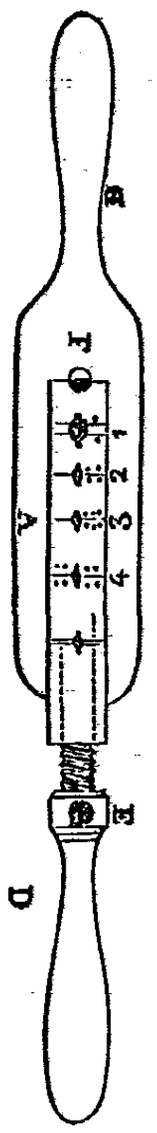
La filière simple a l'inconvénient de ne pas être aiguisable ; une fois émoussée, il n'est pas possible de l'affûter, les angles des dégagements sont arrondis, ils ne coupent plus, ils refoulent la matière, et le filet se trouve formé par la rencontre de deux bavures.

Dans l'emploi, la filière simple doit être tenue le plus horizontalement possible, on doit y mettre de l'huile et ne jamais tarauder des cylindres plus gros que le plus petit diamètre intérieur du fond des filets.

Filières doubles. Les vis reproduites par la filière simple sont toutes cylindriques, et quelque petite que soit la différence entre les trous taraudés sur une même plaque, il est possible qu'il se trouve des grosseurs qui ne puissent être exactement reproduites. Les filières doubles n'ont pas cet inconvénient ; une filière faite pour travailler une vis d'un certain diamètre peut être employée à fileter des diamètres un peu plus petits ou un peu plus grands ; on peut faire des vis coniques, ce qui est surtout avantageux dans la fabrication des tarauds ; enfin la filière est affûtable, c'est peut-être là son plus grand avantage.

Les filières doubles se composent de deux coussinets taraudés placés solidement dans une pièce nommée *fût* que l'on tourne à la main, ces coussinets peuvent se rapprocher l'un de l'autre au moyen de vis.

La fig. 888 représente une filière double contenant 4 coussinets, on peut par son moyen fileter des vis de



888.

divers diamètres, sans être obligé de déplacer ou de changer les coussinets opération d'ordinaire assez longue. Son inconvénient principal est de n'avoir qu'un de ses trous à égale distance des points d'application de la force. Quand on emploie les autres trous, l'opération du filetage est plus difficile et exige plus de soins de la part de l'ouvrier. Comme on le voit sur la figure, les coussinets sont marqués par paire ; quelquefois on emploie des lettres, d'autres fois on se contente de coups de pointeau.

Le *fût* de la filière se compose de deux parties, le cadre et la vis ; le cadre est d'une seule pièce ; il se compose du cadre A, du bras B, de l'œil ou douille C ; la vis D est également d'une seule pièce. L'intérieur du cadre A doit être bien dressé, on le lime ordinairement en biseau, et on fait aux coussinets des rainures triangulaires et rentrantes, qui s'ajustent exactement dans les biseaux. D'autres fois on pratique une rainure longitudinale sur les côtés intérieurs du cadre et on laisse aux coussinets des saillies extérieures qui entrent dans ces rainures.

La *vis* D, est destinée à serrer les coussinets contre le cylindre à fileter et à les rapprocher l'un de l'autre à mesure que l'opération avance ; les filets ne doivent pas être trop inclinés afin que la vis ne tende pas à se desserrer ; l'embase E est percée de deux trous forés en croix dans lesquels on passe un levier pour serrer la vis, quelquefois cette embase a la forme d'un écrou et on la fait tourner avec une clef ordinaire.

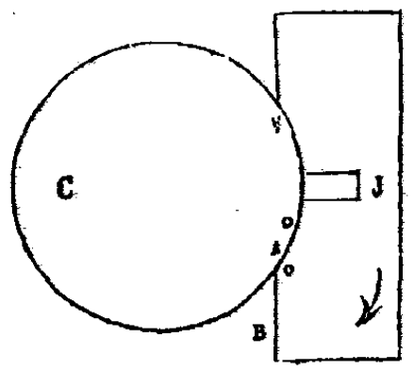
Il est bon de faire la vis D et son œil aussi longs que possible.

Les *coussinets* sont la partie ouvrière de la filière ; aussi doit-on en soigner la confection puisque c'est de leur bonne exécution que dépend la perfection du filetage.

On les prend dans un barreau d'acier d'un calibre un peu plus gros que la grosseur du coussinet, et qu'on refoule à la forge. Les coussinets forgés sont moins sujets à *se criquer* à la trempe, à *s'égrener dans les filets*, que les coussinets non forgés. L'acier fondu qu'on emploie à leur confection ayant un fil prononcé, il importe de savoir si on fera le taraudage sur le bout ou sur le côté du fil, de manière à ce que ce fil soit parallèle ou perpendiculaire à la longueur de la filière. Quand le coussinet est fileté des deux côtés on met le fil perpendiculaire ; si on le faisait parallèle à la longueur de la filière, *les criques* se manifestant ordinairement dans le sens du fil qui dans ce cas serait celui de la plus petite dimension, le coussinet se fendrait en deux pièces à la première pression qu'il éprouverait. Cependant quand le coussinet est long on doit préférer le filetage en bout qui est plus dur que le filetage en travers.

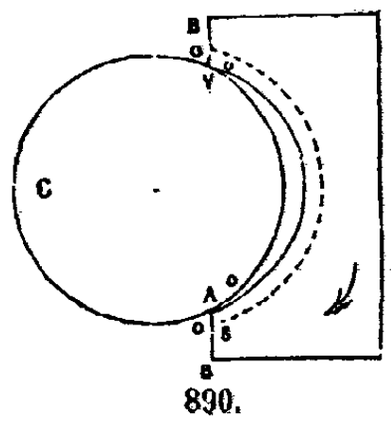
Quand les coussinets sont forgés, on les ajuste dans le cadre de la filière et on s'occupe du soin de fileter; on emploie à cet effet des tarauds *ad hoc* nommés *mères*. Le filetage se fait d'ordinaire après qu'on a pratiqué le dégagement du fond ; d'autres fois cependant on fait les dégagements après le filetage. L'opération de la trempe et du revient ne présentant aucune particularité nous ne nous y arrêterons pas.

Forme des coussinets. On a d'abord adopté la forme semi-circulaire représentée dans la fig. 890; mais cette forme présente des désavantages qu'il faut signaler. Elle donne beaucoup de peine pour le filetage et astreint à ne fileter que des diamètres identiques avec celui de la mère. Soit C le cylindre à fileter, son diamètre doit être égal à celui du cercle BB qui représente le fond des filets de la filière. Au commencement de l'opération la filière étant pressée contre le cylindre y pénètre de la quantité AOO', et le cylindre tournant dans le sens de la flèche ne quitte la filière qu'après avoir attaqué en O; il n'est donc nullement guidé dans son mouvement descensionnel et les traits qui s'impriment sur le cylindre ont une inclinaison qui dépend de la pression qu'on exerce sur la filière. Ils peuvent donc ne plus correspondre une fois qu'on a tourné d'un tour entier.



889.

Il n'en est pas de même quand on emploie la filière indiquée figure 889. La partie attaquée dès le commencement de l'action reste dans la filière sur toute la longueur AA', et le cylindre C est obligé de descendre en suivant l'inclinaison des filets de cette filière. Il y a ainsi avantage à employer la filière (fig. 889). Elle est plus facile à conduire et exige moins d'attention de la part de l'ouvrier.



890.

Il faut le plus possible ne fileter que des boulons qui aient même diamètre que la mère qui a formé les coussinets; quand ils sont beaucoup plus gros, le passe double souvent, parce que les filets de la filière étant plus inclinés que ne doivent l'être ceux du boulon, la partie coupante d'un filet atteint la partie coupée par le filet inférieur avant que la filière ait fait un tour entier, si elle l'atteint au bout d'un demi-tour le pas est doublé. Pour le comprendre, il faut ici faire attention que la filière trace sur le boulon des traits qui ont à peu près la même inclinaison que ses filets. Quand la différence entre le boulon et la mère est peu considérable, les parties coupantes ne rentrent dans les filets inférieurs qu'un peu avant le tour entier et le pas ne peut se doubler.

Dans ce cas, il arrive que les écuelles ou vides du boulon obtenu sont plus grands que les pleins, parce que le filet de la filière étant plus incliné que celui du boulon, ne coïncide pas avec lui et doit par conséquent agrandir l'écuelle pour pouvoir s'y loger. Cette différence de dimension entre le filet de la filière et l'écuelle du boulon est d'autant plus faible que les pas de la filière embrassent une moins grande partie de sa circonférence.

Si le diamètre du boulon est plus petit que celui de la mère, il n'y a que le fond de la partie filetée qui opère, ce fond étant occupé par le dégagement, il n'y a que très peu de contact, et il est presque impossible de maintenir la filière dans une position absolument horizontale; on refoule la matière au lieu de la couper et on fait souvent un pas double par une raison analogue à celle que nous avons donnée pour le cas du boulon plus grand que la mère; seulement les parties coupantes ne rentrent dans les parties coupées inférieures qu'au bout de deux tours de la filière; on produit en tous cas un pas mâché irrégulier, souvent on tourne sans fin et on ne produit plus l'hélice. Il vaut donc mieux que les boulons à fileter soient plus gros que plus petits que la mère, mais nous le répétons plus la différence sera faible et plus les résultats obtenus seront parfaits.

Le coussinet représenté dans la figure 889 est d'une forme très avantageuse, il peut être facilement repassé à la meule circulaire, on lui a donné quelquefois la forme (fig. 891), les angles sont plus vifs et coupent avec plus de facilité, mais si on filète des vis de petit diamètre, les tranchants peuvent s'appuyer l'un sur l'autre et s'écraser réciproquement.

891.

On pratique des dégagements sur le fond des coussinets, fig. 891; ils servent d'issue à la limaille, qui *sans eux s'amasserait facilement dans les filets*. Le métal, comme on peut le voir dans les fig. 889 et 890, n'est coupé qu'en A et A' : en A quand on tourne dans le sens de la flèche, et que la filière descend le long du boulon; en A' quand on tourne en sens inverse, et qu'on fait remonter la filière après avoir resserré la vis de pression.

Après avoir parlé de la forme des coussinets, il nous reste à parler des variations qui existent dans celle du *fût*. Le plus souvent elles n'ont pour base que le caprice du fabricant : aussi ne donnerons-nous la description que de quelques-unes des filières le plus généralement répandues. Les filières de la forme indiquée, fig. 888, ne sont employées maintenant que pour de petits diamètres, et l'usage de la filière à une seule paire de coussinets prend de jour en jour plus de développement.

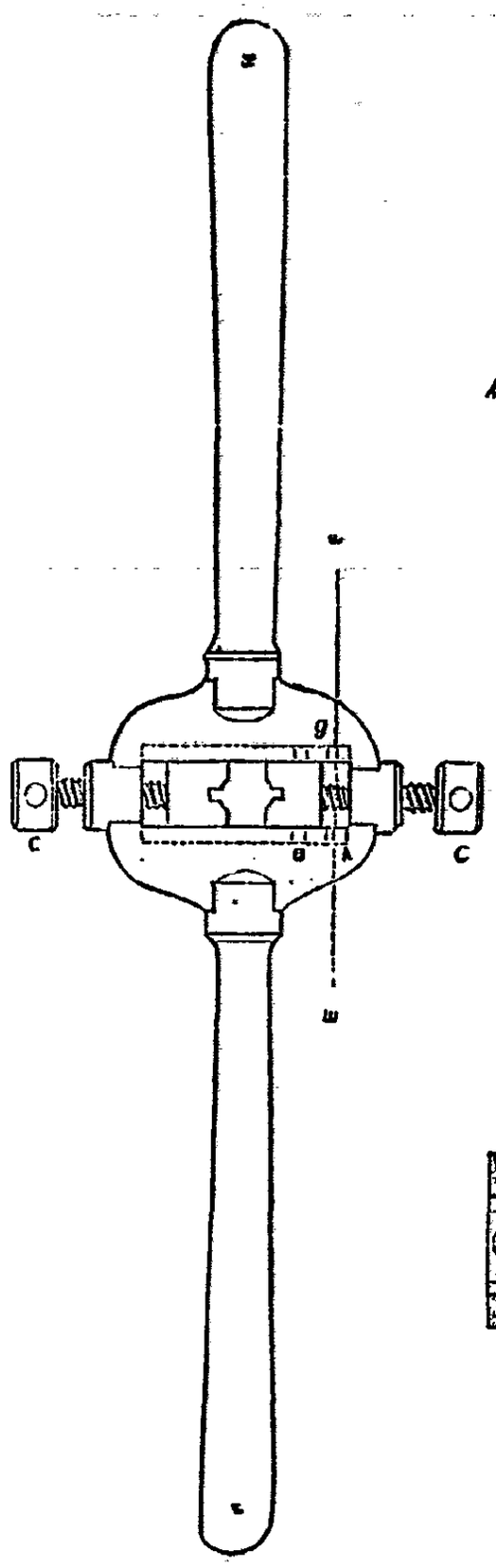
Formes diverses du fût. La fig. 892 représente une filière double. La direction de la coulisse où sont situés les coussinets n'est plus parallèle, mais bien perpendiculaire aux leviers ZZ. Les deux coussinets se rapprochent au moyen de vis C, C, et on ne court plus risque de les desserrer en tournant les leviers, comme dans la fig. 888. La fig. 893 est une coupe du cadre de la filière; deux rainures, *i i*, règnent dans le sens de sa longueur sur sa partie intérieure, et servent de guide aux coussinets, qui s'y ajustent au moyen de deux languettes *k*, *k*, que l'on voit dans la fig. 894, qui représente un des coussinets vu à part. Deux entailles, A et A', sont pratiquées dans le cadre et descendent jusqu'aux rainures *i*. Les languettes *k*, *k*, qui sont discontinues en *o*, entrent dans cette entaille, et on *introduit par ce moyen le coussinet dans les rainures du* cadre. On ne fait quelquefois qu'une seule entaille de la largeur du coussinet, mais cela a un inconvénient : si la filière est très ouverte, le coussinet n'est pas maintenu, tandis qu'en laissant un épaulement, *g*, entre les deux entailles il est impossible que le coussinet sorte, pour peu qu'on serre la vis de pression. On fait toujours l'entaille A plus grande que celle A', afin que lorsque le plein *k* du coussinet vient à passer devant l'entaille *b*, *il ne puisse s'échapper ou ballotter, ce qui pourrait fort* bien arriver si les entailles étaient de même largeur.

Les vis C, C, sont forées de deux trous en croix dans lesquels on passe un levier, au moyen duquel on les fait tourner pour resserrer les coussinets, toutes les fois

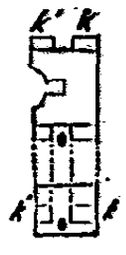
qu'on s'aperçoit que la filière devient lâche et tourne avec trop de facilité.

La construction de cette filière présente quelques difficultés ; les rainures ne peuvent se faire qu'avec un outil particulier. Cependant, son bon usage, la facilité de pouvoir rechanger promptement les coussinets, ont généralisé son emploi parmi les artisans, et surtout dans les ateliers de mécanique.

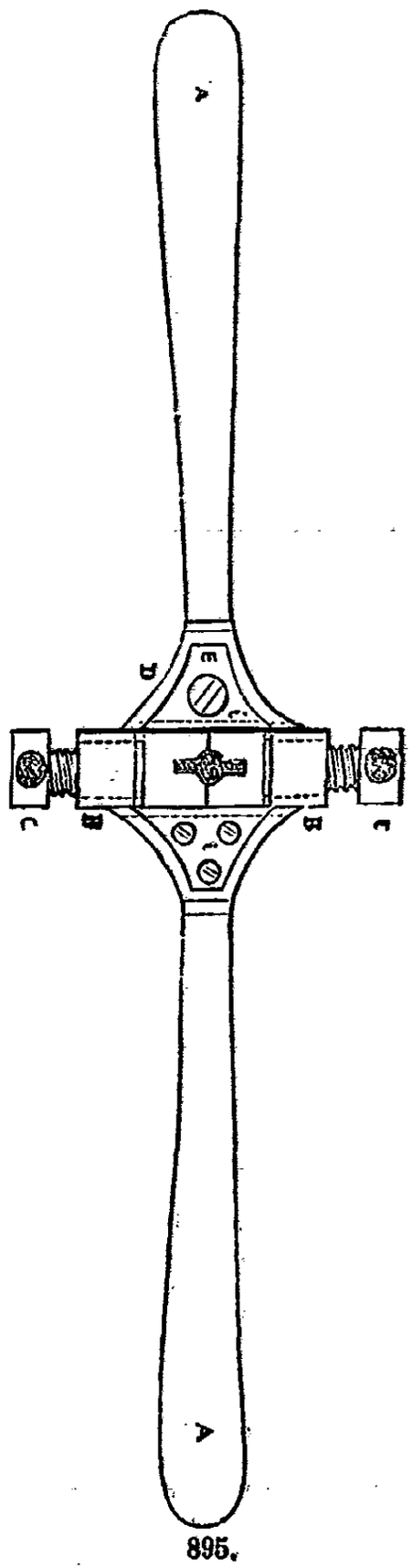
Dans le milieu de la filière est pratiqué un cadre contenant les coussinets, qui sont limés carrément sur toutes leurs faces, et maintenus au-dessus et au-dessous par le débordement des plaques sur les côtés intérieurs du cadre, qui sont indiqués sur la figure par les lignes ponctuées *i*, *i*. Quoique plus simple à construire que la précédente, cette filière exige beaucoup de temps pour le changement des coussinets, parce qu'il faut pour effectuer cette opération enlever les plaques D et E, et détourner par conséquent les vis qui les fixent au corps de la filière.



892.



893.



895.

La *filière à plaque*, représentée dans la fig. 895 remplit le même but que celle que nous venons de décrire, tout en étant plus facile à construire. Peu de mots suffiront pour la faire bien comprendre : A, A, sont les bras ou leviers ; C, C, les vis de pression ; B, B, leurs écrous ; D et E, sont les plaques maintenant les coussinets, et maintenues elles-mêmes après le corps de la filière soit par trois vis fraisées, si la plaque est simplement percée à plat, soit par une seule vis, si la vis est percée à queue.

Filières à trois coussinets. Le coussinet est divisé en trois parties ayant très peu d'étendue dans le *sens* de la circonférence ; on les rapproche du centre, à mesure que les filets s'approfondissent, au moyen de vis ou de coins disposés de manière à les faire marcher des quantités égales. Ces filières sont peu répandues, peut-être parce qu'elles ne sont pas généra-

ment connues ; elles produisent cependant de très belles vis et sont faciles à conduire, surtout au commencement de l'opération, parce qu'il ne faut qu'un tiers de tour pour faire rentrer les uns dans les autres les sillons creusés par les parties coupantes. Elles peuvent aussi, plus facilement que les filières doubles, fileter des diamètres différents les uns des autres *sans trop agrandir* l'écuelle aux dépens du filet. Nous avons en effet déjà dit qu'on obtenait ce résultat en donnant aux ressorts peu de développement dans le sens de la circonférence.

La Société d'Encouragement pour l'industrie nationale ayant proposé un prix convenable pour le perfectionnement des filières et tarauds, beaucoup d'artistes se sont occupés attentivement de cette partie importante de la mécanique, et plusieurs essais ont été tentés. Le prix a été décerné à M. Valdeck. Sa filière présente quelque analogie avec les filières à bois que nous décrirons bientôt, ayant pour principe, comme dans ces dernières, de couper la matière avec un ou deux burins fixés sur les coussinets, en ne se servant de ces coussinets que pour guider les burins dans le mouvement d'hélice.

Nous renvoyons les personnes qui voudraient connaître la disposition de cette filière, au 37e volume du Bulletin de la Société d'encouragement, où elle est décrite dans tous ses détails.

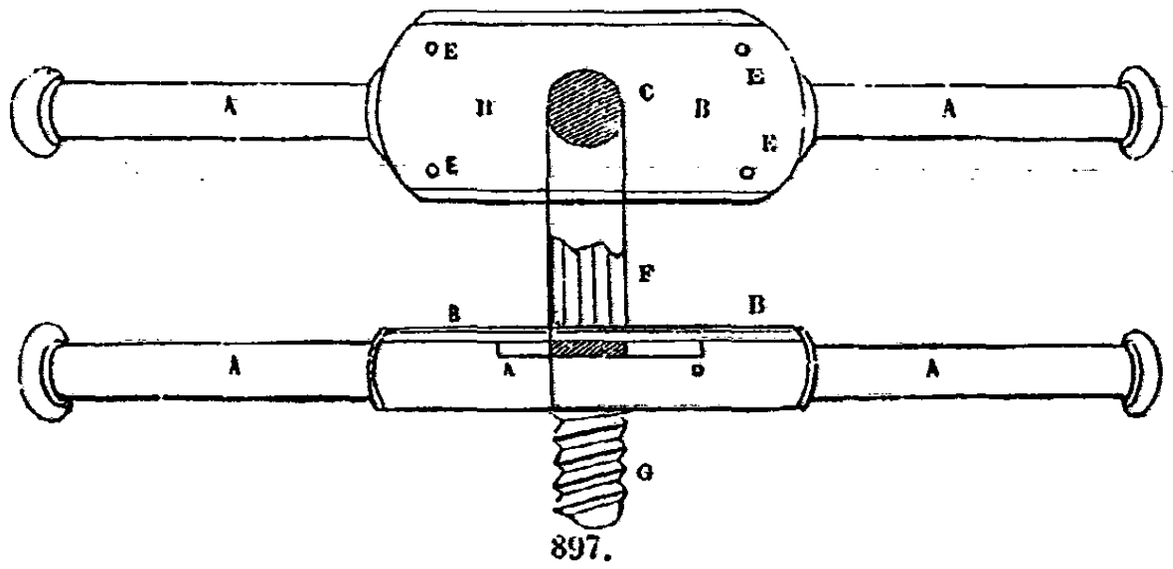
Machine à fileter et tarauder. Dans les ateliers de construction et de serrurerie où l'on filète une grande quantité de boulons, on a renoncé au filetage à la main, et on emploie une machine spéciale que l'on applique aussi au taraudage des écrous, et que l'on nomme machine à tarauder. Elle ne change pas le moyen physique employé pour tailler des filets de vis dans le fer ou le cuivre. Elle agit avec le même outil pour creuser son sillon, mais elle offre l'immense avantage de faire travailler elle-même cet outil avec beaucoup de rapidité et d'exactitude, sans que l'intelligence d'un ouvrier soit nécessaire pour en diriger le mouvement. Le filetage à la main n'est plus employé dans les ateliers que pour travailler des pièces qu'il serait peu commode de placer sur la machine.

Le boulon à fileter est placé à l'extrémité d'un arbre qui l'entraîne dans son mouvement de rotation, et qui peut lui-même se mouvoir dans le sens de sa longueur. Les coussinets en acier sont fixés sur un porte-outils convenablement disposé et situé dans le prolongement de l'arbre, leurs formes sont analogues à celles que nous avons décrites, et on peut les rapprocher l'un de l'autre, soit au moyen de vis que l'on serre de temps en temps, soit au moyen d'un contrepoids qui les presse continuellement contre le boulon. Au commencement de l'opération, on ouvre les coussinets et on y fait pénétrer le boulon d'une longueur égale à deux ou trois pas de vis ; on resserre les coussinets et on fait marcher l'arbre ; le boulon ne peut alors plus tourner sans avancer, il entraîne l'arbre et se filète à une certaine profondeur en passant dans les coussinets.

Il est indispensable que le boulon reçoive plusieurs passes pour que les filets y soient creusés à la profondeur qu'ils doivent avoir ; alors, quand il est à l'extrémité de sa course, l'ouvrier, par un embrayage convenablement disposé, fait tourner l'arbre en sens inverse, et dans ce mouvement rétrograde, les coussinets travaillent comme dans le mouvement direct ; si la seconde passe ne suffit pas, on en donne successivement une troisième, une quatrième, en resserrant chaque fois les coussinets ou en laissant agir le contre-poids, jusqu'à ce que l'intervalle de leurs filets soit exactement rempli par les filets du boulon.

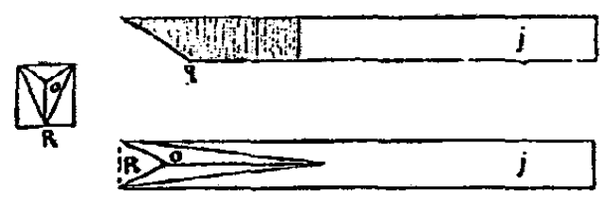
Nous avons dit que la même machine pouvait servir au taraudage des écrous, à cet effet, on enlève les coussinets, l'écrou à travailler se place dans le porte-outils où ils étaient fixés, et on place le taraud d'acier sur l'arbre à la place du boulon ; comme on le verra à l'article TARAUD, le taraud ne coupe que dans un sens et il n'est nécessaire que de donner une seule passe ; aussi, quand il s'est enfoncé complètement dans l'écrou, on fait tourner l'arbre avec rapidité et à la main, en sens

896.

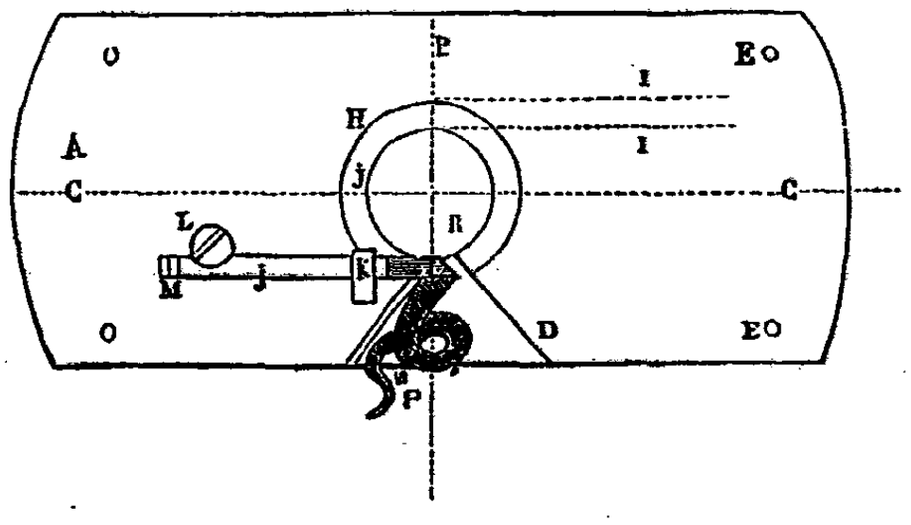


897.

898.



899.



900.

inverse, pour retirer le taraud, et on recommence l'opération sur un second écrou.

Filières à bois. C'est l'instrument au moyen duquel on fait les vis en bois de petit et de moyen diamètre. — Sa fabrication est l'objet d'une industrie toute spéciale qui n'est exploitée que par certains ouvriers. Son principe, dont nous avons déjà dit un mot, est différent de celui des filières employées ordinairement au filetage des métaux, la vis est faite en une seule passe, au moyen d'un ou de deux outils nommés V, situés sur une des faces d'un écrou en bois d'une seule pièce dans lequel s'engage la vis dès qu'elle a été soumise à l'action du second outil; les figures 896, 897, 898 et 899 représentent une filière à bois.

A, corps de la filière avec ses deux bras ou leviers tournés;

BB, plaque de recouvrement;

C, trou conducteur percé au milieu de cette plaque;

E, vis qui fixe le recouvrement sur le corps de la filière;

F, morceau de bois arrondi destiné à être fileté;

G, partie de ce morceau de bois qui, après avoir passé dans la filière, se trouve fileté.

La fig. 900 représente une vue de la filière sur une plus grande échelle, le recouvrement étant enlevé, on voit en plan l'écrou où entre la vis; les cercles H et J représentent la saillie et le fond des filets.

j est le fer ou le V de la filière représenté sur une plus grande échelle, sur les fig. 898 et 899. Il porte une rainure angulaire O par laquelle se dégage le copeau; les parties ombrées sur les fig. 898 et 900, font entre elles l'angle des filets, et le V est placé dans une rainure pratiquée à la partie supérieure de A; des petites cales M, sont destinées à maintenir sa pointe R sur la ligne PP. Quand les repassages successifs l'ont raccourci, la rainure doit être assez profonde pour que la pointe R arrive à la hauteur d'un des filets de l'écrou. Quand on a rempli cette condition, on enlève du bois avec un rabot sur le dessus de la filière jusqu'à ce que le V affleure.

K est un crochet terminé par un bout en vis et qui maintient le fer; L est une vis ayant la même destination; on fait au recouvrement B des entailles correspondantes, afin que leur saillie ne soit pas un obstacle à son exacte fermeture.

Ce qui précède étant bien compris, on voit que si l'on introduit le cylindre à fileter dans le trou C, il rencontrera d'abord la pointe R qui l'attaquera; et la partie enlevée qui a exactement la même forme que le plein de l'écrou en bois s'y engagera *immédiatement* en quittant le V; la filière sera alors guidée par l'écrou dans son mouvement descensionnel, le V formera sur le cylindre un pas qui entrera exactement dans l'écrou et le copeau enlevé sortira, comme on le voit sur la fig. 900, par le dégagement PD, en N.

Quand les cylindres à fileter sont un peu gros on est obligé d'employer plusieurs V qui se partagent l'ouvrage; on en fait rarement plus de deux; celui qui termine le filet a toujours la même position; le fer qui attaque la matière se place ordinairement à la place des lignes ponctuées I, I, il est placé au-dessus du fer *j* d'une quantité égale à la moitié du pas du filet, et la partie coupée par ce premier fer ne s'engage dans l'écrou qu'après avoir été terminée complétement par le fer *j*.

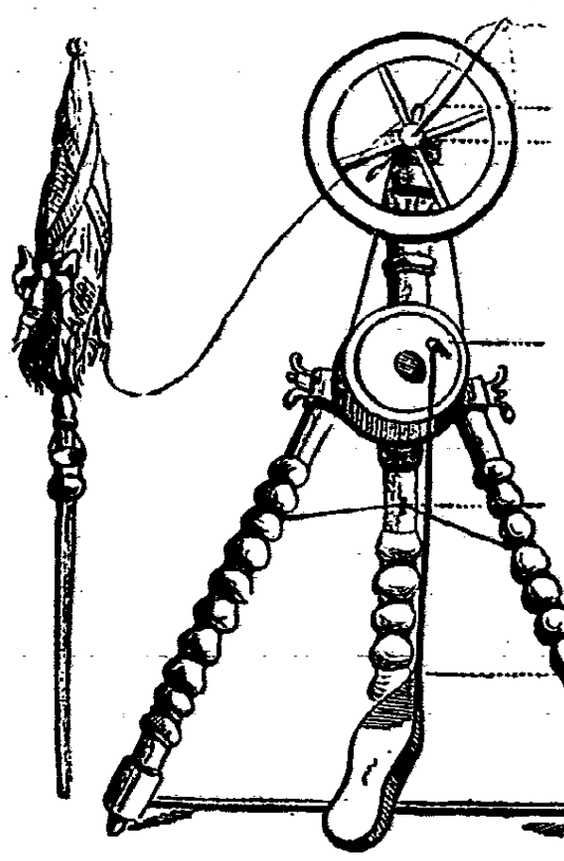
E. DUBIED.

FILIGRANE. C'est le nom qu'on donne à de petits ouvrages faits en fils de métal, tissus avec élégance, et imitant les formes variées de vases, de fleurs, etc. Ces fils sont joints avec de la soudure qu'on a soin de mettre en très faible quantité pour qu'on l'aperçoive difficilement.

On donne aussi le nom de *filigrane* ou filigramme aux lettres et figures qu'on voit en regardant le papier

par transparence, et qui servent de chiffre pour reconnaître la fabrique. Ces dessins se font en fil de cuivre sur la toile métallique de la forme, de sorte que la matière du papier recevant moins d'épaisseur dans ces parties que dans les autres, elles ont plus de transparence.

FILOIR. C'est sous cette dénomination que M. Duvelleroy, vend, dans le commerce, un ingénieux instrument représenté fig. 901, et inventé par M. Talman



904.

Duverger, l'un des inventeurs les plus ingénieux et les plus excentriques de notre époque.

La grande roue est composée de deux parties qui s'emboîtent à frottement doux, disposées de manière à ce que la partie de devant se détache aisément, en appuyant les deux pouces sur les rayons, et en introduisant les doigts de chaque côté dans la gorge de la roue pour attirer à soi cette partie de devant. Il faut alors saisir le bout d'un fil entre les deux parties de la roue, que l'on refermera bien jointes; puis passer l'autre bout de ce fil dans l'œil de l'ailette, de droite à gauche, ensuite dans l'œil de la broche. On *lance à la main, la grande roue, de gauche à droite*, on fixe le pied sur la pédale, on maintient le mouvement de rotation en pressant cette pédale, et la fileuse exécute ce mouvement avec assez de douceur pour qu'au retour ce soit la pédale qui enlève le pied.

Bien que la grande roue tourne seule, quand elle n'est pas encore reliée à l'ailette par le fil, aussitôt que le fil est passé dans l'œil de cette ailette et que l'on se met à filer, la roue et l'ailette tournent ensemble; cette simultanéité d'action est indispensable, puisque c'est le mouvement circulaire de la broche de l'ailette que fait la torsion, en même temps que l'ailette à pour fonction de tourner autour de la grande roue pour y pelotonner le fil à mesure qu'il se fait.

Si le filoir n'avale point assez, on serre légérement la boîte en cuivre qui en couronne le pied (c'est le régulateur), s'il avale trop on le desserre un peu.

Le degré de torsion à donner au fil dépend de la fileuse; il faut, si l'on veut tordre beaucoup, accélérer le pas et maintenir un peu son fil; si l'on désire un fil uni et peu tordu, on donne au pas un mouvement ordinaire et l'on rend beaucoup au filoir, qui, sans arracher le fil de la main, comme le fait l'ancien rouet, en prendra autant qu'on voudra lui en donner.

Quand l'évidoir ou gorge de la grande roue est suffisamment chargé de fil, il reste à tirer l'écheveau de là, sans le déformer et sans le mêler : pour cela il suffit d'ouvrir la grande roue de cuivre ; on retire l'écheveau et on le lie. Ainsi l'opération du dévidage, si difficile, si longue, si désastreuse pour le fil, se trouve complétement supprimée.

Le filoir ne fait pas de bruit en fonctionnant, et son mouvement est si doux, qu'un long travail ne fatigue pas ; il file le chanvre, le lin, le coton, la laine, la soie, la fantaisie ; il est très portatif puisqu'il se replie.

La corde qui fait tourner les deux roues est au filoir ce que l'archet est au violon ; graissez l'archet du violon, vous ne tirerez aucun son de l'instrument ; graissez la corde du filoir, les roues ne tourneront plus ; mais frottez de colophane ou de résine l'archet du violon ou la corde du filoir, et ces deux instruments fonctionneront.

La corde s'allonge au travail, et sa trop grande longueur rend le filoir dur : il est donc indispensable de remplacer cette corde dès qu'elle a l'inconvénient d'être trop longue, aussi bien que si elle a reçu la moindre tache d'huile ou de graisse, ce qui arrive ordinairement lorsqu'on met trop d'huile sur les broches des roues, d'où elle se glisse jusqu'à la corde. Pour remplacer la corde, il faut prendre du fouet pareil en grosseur au modèle, l'allonger avant de le couper, joindre les deux bouts l'un sur l'autre, le coudre fortement en *surjet* et le frotter de résine avant de s'en servir. Il faut aussi avoir soin que les deux poulies où passe la corde soient toujours propres et ne soient jamais embarrassées de fil ou d'huile.

Si le fil venant à s'engager dans le mécanisme obligeait de démonter le filoir, il suffirait de dévisser le petit écrou qui fixe la broche au dos du régulateur et d'attirer l'ailette en avant.

Si le filoir devenait dur, il faudrait dévisser les deux écrous qui maintiennent les deux roues, ôter l'huile ancienne qui s'y serait encrassée, en mettre de la nouvelle et replacer le tout exactement comme avant. Il faut aussi verser quelquefois un peu d'huile sous le cuir qui garnit l'intérieur du régulateur et qui doit toujours se trouver sur la broche.

Des personnes se figurent, à tort, que la manivelle sur laquelle la petite roue tourne ne devrait pas être mobile, et cherchent à la fixer. Pour tenir la corde toujours tendue, il *faut* que cette manivelle soit mobile ; vouloir la rendre fixe, c'est rendre impossible l'emploi du filoir.

Il est nécessaire de signaler une dernière précaution à la fileuse pour assurer la durée et le service régulier du filoir. Il faut, avant d'appuyer le pied sur la pédale, attendre que le bouton qui existe sur la petite roue ait dépassé de deux centimètres à droite le point supérieur du chemin circulaire qu'il décrit. Du reste, le temps et l'usage sont les meilleurs maîtres.

FILONS. Voy. GÉOLOGIE et MINES.

FILOSELLE (*angl.* floss-silk, *all.* floret). Nom donné au produit du cardage et filage de la bourre de soie. La coque des vers à soie est dure, sèche, tenace et cassante ; on fait disparaître ces défauts en la laissant longtemps macérer dans l'eau qui dissout la grande quantité de matière gommeuse dont le ver l'avait imprégnée ; on la soumet à la presse et on la lave de nouveau, etc. ; ensuite on la fait sécher, on la bat fortement, on l'enduit légèrement d'huile, et on la carde soit à la main, soit à la mécanique. En travaillant cette bourre à plusieurs reprises, on la met en état d'être filés, tissés ou tricotés.

FILTRATION, FILTRES, ET MATIÈRES FILTRANTES. La filtration se dit généralement de l'opération mécanique qui consiste à faire passer un liquide quelconque qui contient des matières étrangères et non dissoutes à travers un corps assez dense pour le retenir.

On emploie aussi le mot *clarification* dans le même sens, pour exprimer l'action chimique ou mécanique à l'aide de laquelle on enlève aux liquides les corps opaques ou translucides qui troublent leur transparence.

Les *matières filtrantes* employées aujourd'hui, sont : la pierre poreuse calcaire, dite *pierre à éponge* ou *à filtrer* ; la pierre ponce broyée grossièrement, le papier joseph ou gris non collé, le sable fin et grossier, le charbon pulvérisé, le verre pilé, le chanvre tillé, le coton brut, la paille, le jonc terrestre, les écorces, les branches et feuilles sèches ; un morceau de toile, de drap, d'étamine, de flanelle, de feutre, de soie ; la pâte à papier, la sciure de bois, la laine tontisse, l'éponge ordinaire, la limaille de fer, de zinc, la terre glaise calcinée, etc.

L'effet de la filtration se comprend aisément ; on conçoit qu'un liquide en traversant un corps poreux ou un tissu assez serré dépose à sa surface et dans ses interstices, les parties solides et les plus grossières qu'il peut contenir. C'est par ce moyen, du reste, que les savants modernes expliquent la pureté et la limpidité des eaux qui sourdent des terrains sableux et calcaires.

Tout porte à croire que les anciens eux-mêmes ont observé le phénomène de la filtration des eaux dans le sein de la terre ; ce phénomène leur a suggéré peut-être l'idée d'appliquer du gravier et du sable à la clarification des eaux troubles. Aussi l'avons-nous retrouvée, par exemple, disait M. Arago (*Compte-rendu de l'Académie des sciences*, 1837, 2me semestre, p. 197.), dans la grande citerne du palais ducal à Venise, qui existe depuis plusieurs siècles.

Les Japonais se servent, dit-on, de temps immémorial, de plusieurs sortes de pierres ou grès à filtrer. Ces pierres ont la propriété de donner passage à l'eau au travers de leurs pores, et peuvent par ce moyen la dépouiller des saletés et ordures qu'elle peut avoir contractées. Quand on destine ces pierres à filtrer, on les taille pour leur donner la forme d'un mortier ou d'un vase proportionné à la quantité d'eau qui doit y être reçue ; à l'extérieur on leur donne la figure d'un œuf dressé sur son extrémité ; on laisse en haut des rebords par lesquels le mortier peut être soutenu au moyen d'une bâtisse de bois carrée sur laquelle on le place pour qu'il soit suspendu en l'air ; on met au-dessous un vaisseau de terre ; on verse l'eau de rivière ou de pluie qu'on veut filtrer dans le mortier ; elle passe au travers de la pierre, et les gouttes d'eau qui se sont filtrées viennent se réunir à la pointe de l'œuf et tombent dans le vaisseau qu'on a placé au-dessous pour les recevoir. De cette manière l'eau se trouve pure et dégagée des saletés dont elle était chargée avant d'avoir été filtrée. (Voir le *Dict. encycl.*, tome XIV, p. 515.)

C'est à l'aide d'un procédé analogue à celui des Japonais que les Égyptiens clarifient aujourd'hui les eaux du Nil, et en général les eaux contenant des substances terreuses en suspension. (Voir *le Bulletin de la Société d'encouragement*, tome XXIV, p. 424.)

Depuis un temps immémorial, on filtre, en Afrique, les eaux du Niger au moyen des éponges.

En Espagne, on emploie cette méthode depuis longtemps pour clarifier les sirops et les liqueurs. C'est à Amy, avocat au parlement de Provence, qu'on doit l'introduction ou l'application en France des éponges à la filtration de l'eau à boire, vers l'année 1743.

Les anciens connaissaient aussi le moyen de clarifier les vins, soit en les transvasant, soit en les passant au travers d'une toile. (*Pline*, livre XIV, chap. 14 et 22.) C'est à cause de cette pratique, sans doute, que les anciens chimistes et pharmaciens ont appelé *chausse d'Hippocrate ou à hippocras*, un sac conique fait d'un bon drap serré dont ils se servaient pour filtrer cer-

taines liqueurs ou décoctions faites avec du vin, du sucre, etc., qu'ils nommaient *hypocras*.

Encore aujourd'hui la *chausse d'Hippocrate* est employée par tous les chimistes, pharmaciens, liquoristes et généralement par toutes les personnes qui s'occupent de clarifier les liquides et les sirops. Les praticiens affirment que cette pratique est encore la meilleure, sinon la plus prompte, qu'on ait imaginée jusqu'ici.

Nous classerons les appareils de filtration en trois séries, suivant la nature ou la difficulté des liquides susceptibles d'être filtrés ou clarifiés.

La première série comprendra les appareils propres à filtrer les eaux de pluie ou de rivière.

La deuxième comprendra les appareils à filtrer les boissons, le vinaigre, les vins, le cidre, la bière, les liqueurs, les sirops, les huiles, etc.

La troisième enfin comprendra les produits chimiques et pharmaceutiques.

FILTRATION DES EAUX DESTINÉES A L'ALIMENTATION DES VILLES ET AUX USAGES DOMESTIQUES.

Nous ne saurions mieux faire, pour faire apprécier les circonstances diverses qui influent sur la composition des eaux et l'importance de la filtration, que de citer ici le remarquable rapport de M. Arago à l'Académie des sciences sur le filtre Fonvielle.

« Les hommes se servent pour leur boisson, pour préparer leurs aliments, pour les besoins de propreté et pour des usages industriels, de l'eau de citerne, de l'eau de puits, de l'eau de source, de l'eau de rivière. Ces quatre sortes d'eau ont même origine, la pluie. L'eau de pluie est en général d'une telle pureté, qu'on ne parvient guère à y découvrir quelques matières étrangères qu'en faisant usage des réactifs chimiques les plus délicats.

« Les citernes construites avec des matériaux choisis seraient donc le meilleur moyen de se procurer de l'excellente eau pour la boisson, si la pluie y tombait directement, si elle n'y portait pas les ordures, la poussière, les insectes, accumulés, dans les temps de sécheresse, sur les terrasses et sur les toits le long desquels son écoulement s'opère. Dans certaines localités, à Venise, par exemple, l'inconvénient dont nous venons de parler, se manifesta à un tel degré, que pour la grande citerne du palais ducal, le constructeur sentit la nécessité de ne laisser arriver l'eau pluviale au réservoir, où le public la puise, qu'après lui avoir fait traverser une large couche poreuse dans les interstices de laquelle les matières étrangères, tenues en suspension, devaient se déposer en partie.

« *Les puits peuvent être assimilés à des citernes*, seulement ils ne sont pas alimentés par de larges canaux en maçonnerie, en briques, en pierres ou en métal; les eaux pluviales leur arrivent, pour ainsi dire, goutte à goutte, à travers les fissures ordinairement capillaires du sol. Il est rare que dans ce trajet long et difficile, les filets liquides ne rencontrent pas des matières solubles dont ils se chargent en plus ou moins grande quantité. Ce n'est donc plus de l'eau de pluie proprement dite qu'on tire du puits; elle est ordinairement aussi claire, aussi limpide, mais elle contient presque toujours des matières dissoutes dont la nature chimique change avec la construction géologique du pays.

« Ce que nous venons de dire peut s'appliquer mot à mot aux sources. L'eau qu'elles répandent est aussi de l'eau pluviale qui, après avoir traversé une épaisseur plus ou moins grande de l'écorce du globe, est ramenée à sa surface par un jeu de syphon, ou, si l'on veut, car c'est la même chose en d'autres termes, par la pression de filets liquides non interrompus et partant des lieux élevés. La nature et la proportion des matières étrangères dont l'eau de source se trouve imprégnée dépend aussi de l'étendue du trajet qu'elle a fait au sein de la terre, et de l'espèce de roche qu'elle y a rencontrée. Supposez ces roches d'une certaine nature, et le pays abondera en sources minérales. Admettez que la descente verticale du liquide ait quelque étendue, et l'eau surgira à l'état thermal.

« Chaque rivière charrie vers la mer les eaux d'une source principale et celles d'un certain nombre de sources de moindre importance, qui s'ajoutent aux premières dans leur trajet. Sous le rapport de la composition chimique *les eaux de rivière sembleraient devoir être* une sorte de moyenne entre toutes les eaux de toutes les sources de la contrée environnante; mais il faut remarquer cependant, qu'au moment des fortes averses, et sur un bassin de rivière un peu étendu, quel est le jour où çà et là il n'y en a point? les eaux pluviales ne s'infiltrent pas à beaucoup près dans la terre en totalité; qu'elles coulent à la surface du sol et sur les pelouses des bois et des coteaux, en assez grande abondance et avec rapidité; dans ce trajet extérieur, elles doivent dissoudre très peu de matières étrangères comparativement à la proportion dont elles seraient chargées, si, divisées en très minces filets, chacune de leurs molécules, pour ainsi dire, avait pu isolément et pendant un temps fort long, se trouver en contact avec les principes solubles du terrain. A cette circonstance, toute en faveur de la pureté de l'eau de rivière, il faut ajouter que le carbonate de chaux, par exemple, est dissous à l'aide d'un excès d'acide; que cet excès se dégage pendant la longue exposition de l'eau à l'air, et que dès lors le carbonate se précipite.

« Ces remarques, au surplus, ne doivent être considérées que d'un point de vue général. Il ne serait pas difficile, en effet, sans s'écarter des règles connues de la géologie, d'imaginer, et même de trouver des dispositions de terrain dans lesquelles les puits, les sources, donneraient de l'eau pure, et les rivières voisines, au contraire, de l'eau fort imprégnée de matière saline. Tout ce que nous avons voulu faire, c'est d'expliquer comment l'inverse arrive ordinairement, comment l'eau de la Seine et celle de la Garonne, par exemple, sont notablement plus pures que les eaux de la plupart des sources des contrées que traversent ces deux rivières.

« Néanmoins on doit reconnaître que la limpidité constante des eaux de source, jointe à l'uniformité de leur température, lorsqu'elles sont peu distantes du point de consommation, doivent militer en leur faveur, et même leur mériter la préférence, si toutefois elles sont assez abondantes en toutes saisons pour fournir constamment la quantité exigée. Cette préférence serait aussi *motivée sur la plus grande confiance* que le public accorde à ces eaux de source. Beaucoup de personnes, comme on le sait, répugnent à faire usage de l'eau de rivière, surtout quand cette rivière reçoit et charrie une partie des immondices de toute une grande cité, bien que ces immondices, divisées dans une aussi grande masse et si souvent renouvelée, n'influent pas d'une manière sensible sur leur composition. »

« L'avantage d'une plus grande pureté de l'eau de rivière considérée chimiquement, est, en effet, bien compensé par son manque habituel de limpidité; à chaque averse, les eaux torrentielles, pendant leur course précipitée, se chargent de terre végétale, de glaise, de gravier, de toutes sortes de détritus qu'elles arrachent au sol, et l'ensemble de ces matières est entraîné, pêle-mêle, jusque dans le lit des rivières. Chacun doit comprendre maintenant pourquoi les mariniers, et même les ingénieurs, appellent quelquefois les crues, *troubles*.

« Les proportions de matières étrangères tenues en suspension dans l'eau pendant les crues, pendant les plus fortes troubles, ne sont pas les mêmes, ainsi qu'on devait s'y attendre, dans les différentes rivières. Dans la

Seine, cette proportion s'élève quelquefois jusqu'à $\frac{1}{2000}$. Ainsi, celui qui boirait dans sa journée trois litres d'eau de Seine non filtrée, à l'époque des plus fortes crues, chargerait son estomac d'un gramme et demi de matières terreuses. Quel pourrait être, à la longue, l'effet de ces matières sur la santé ? la question, vivement controversé, a laissé les médecins et les ingénieurs hydrauliciens fort divisés d'opinions. Faute d'expériences exactes, on s'est déterminé, de part et d'autre, d'après des systèmes arrêtés d'avance. On ne nous trouvera certainement pas trop sévère dans notre jugement, si nous ajoutons qu'un des partisans déclarés des eaux troubles, se fondait sur cette prétendue observation que les animaux, que les troupeaux surtout, ne commencent à se désaltérer dans les mares qu'ils rencontrent sur leur chemin, qu'après en avoir fortement agité la vase avec leurs pieds. Au surplus, toute considération de salubrité mise de côté, il est certainement fort désagréable de boire de l'eau chargée de limon. »

La ville de Toulouse a été la première, en France, à donner l'exemple du progrès, en fondant, en 1823, le premier établissement pour la distribution publique des eaux clarifiées pour les besoins de toute la ville.

En 1836, M. Cordier a établi, à Bordeaux, un appareil de filtrage pour les eaux de la Garonne.

La ville de Paris possède aussi depuis quelques années trois systèmes de filtrage, d'après les procédés de MM. Smith, Henri Fonviello et Souchon; mais Toulouse, Bordeaux et Paris sont encore aujourd'hui les seules grandes villes de France qui possèdent des établissements de filtration en grand, et l'on cherche les moyens de les étendre.

Établissement des fontaines publiques. Les appareils construits à Toulouse méritent une attention toute particulière, car c'est dans cette ville qu'on a résolu pour la première fois, en France, le problème de la filtration en grand dans toute son étendue; aussi allons-nous, d'après M. D'Aubuisson, en donner une description détaillée.

M. Abadie, dans son premier projet, en 1821, celui où il établissait ses machines sur le bord du canal de Touny, avait entouré leurs puisards d'une circonvallation de sable et de gravier contenue dans des cases de maçonnerie, et pensait que les eaux du canal, en traversant cette masse filtrante, y déposeraient leurs saletés, et arriveraient claires à ses pompes. Par une disposition ingénieuse, qui était permise par les localités, il pouvait faire traverser, mais en sens contraire, cette masse par les eaux de la rivière; et le faisant lorsqu'elles étaient claires, il espérait nettoyer les sables et sans déplacement.

A ce mode naturel de clarification, M. Virebent proposa de substituer celui dont on fait usage, depuis plusieurs années, dans les appareils qui fournissaient aux habitants presque toute l'eau potable. Ici l'eau s'épurait en traversant horizontalement une mare de sable, comme dans le projet de M. Abadie, non du haut en bas, comme dans les fontaines filtrantes, mais de bas en haut et à plusieurs reprises.

Mais l'expérience faite, il en résulta que lorsque les eaux de la Garonne sont très-sales, on ne peut les purifier complétement qu'en les faisant passer successivement à travers quatre couches de graviers de sable, ayant quatre pieds d'épaisseur chacune, et qu'un mètre carré de ces couches, placées les unes sur les autres, ne clarifie que 20 mètres cubes en vingt-quatre heures ou un pouce d'eau de fontainier. D'après ces résultats, qui furent exposés en détail dans le rapport de M. Magues, l'Académie de Toulouse conclut à ce que les moyens présentés par MM. Abadie et Virebent n'étaient pas suffisants pour clarifier 200 pouces d'eau.

Aujourd'hui, l'eau que les machines élèvent pour les fontaines leur est fournie par les filtrations, qui s'opèrent à l'aide des travaux exécutés par M. D'Aubuisson dans le banc d'alluvion que la rivière a déposé, depuis une cinquantaine d'années, au pied du cours du Dillon, et qui est principalement composé de gravier et de sable entremêlés souvent de cailloux, et en quelques endroits d'un limon vaseux.

Il s'était élevé quelques doutes sur l'efficacité des ouvrages projetés ; les eaux des puits de Saint-Cyprien, lesquels provenaient aussi des filtrations de la Garonne, sont louches, disait-on, lors des crues de la rivière. On dut en conséquence procéder avec circonspection, et on se borna d'abord, en partant de la prise d'eau, à faire un fossé que l'on poussa jusqu'au point où devait être le bassin destiné à recevoir le produit de la filtration. On donna au bassin la forme d'une ellipse, ayant la dimension projetée : le fond, dont la superficie était de 260 m. carrés, fut établi à un mètre au dessus des très basses eaux de la rivière. Le niveau du seuil sur lequel l'eau passe en sortant du filtre, correspond à $0^m,77$ du garonomètre établi sur la Garonne, ou à $1^m,23$ au-dessous de l'étiage. Nous donnons le nom de filtre aux excavations ou fosses dans lesquelles se rend la filtration, bien que ce nom appartienne proprement au massif de terrain compris entre les excavations et la rivière.

Plus tard, on prolongea le filtre dans le banc d'alluvion jusqu'à lui donner 108 mètres, sur une largeur de 10 mètres au fond ; il avait ainsi 1,080 mètres carrés de superficie.

Mais on n'obtint pas ce que l'on désirait, le terrain étant comme desséché par la première excavation.

Toute l'excavation fut entourée d'une forte digue qu'on éleva à $3^m,60$ au-dessus du terrain environnant, et à près de 6 mètres au-dessus des moyennes eaux de rivière, et le mettant ainsi à l'abri des inondations ; le filtre donna d'abord une fort bonne eau, mais, dès la seconde année, une végétation de plantes aquatiques commença à s'y établir et à altérer la qualité de ses produits. L'année suivante le mal empira : les rayons du soleil traversant sans obstacle une couche d'eau unie et parfaitement transparente, atteignaient le fond dans toute leur intensité ; ils y développaient une forte chaleur, laquelle était encore augmentée par l'effet et la réverbération des bords et des digues. Par suite, la végétation y acquit une vigueur extrême ; les divers moyens employés pour la détruire furent sans effet. Des reptiles s'y joignirent. Les plantes et les animaux moururent, et en se putréfiant dans l'eau tiède ils la rendirent très mauvaise. Des commissaires furent envoyés par l'Académie des Sciences.

Ils trouvèrent que l'eau était très bonne en entrant dans le filtre, et vicieuse lorsqu'elle en sortait ; la forte chaleur et la lumière en furent à leurs yeux la cause manifeste ; il fallait l'attaquer ; on ne le pouvait qu'en couvrant le filtre.

Sur cette idée que M. D'Aubuisson avait émise, les commissaires proposèrent de remplir le fond du filtre avec des cailloux et de le combler.

En conséquence, ce fond fut nettoyé aussi bien que possible. On établit ensuite dans sa largeur un petit aqueduc en briques, simplement superposées sans mortier, puis on remplit le bassin de gros cailloux bien lavés jusqu'à la hauteur des moyennes eaux. De cette sorte, les filtrations qui pénétraient dans l'excavation, et étaient les mêmes qu'avant le remplissage, coulant dans les interstices des cailloux et des briques, ainsi que dans l'aqueduc, se rendaient sans obstacle sensible, et par conséquent sans diminution de quantité, jusqu'à l'entrée de la conduite en fonte, tout comme si le bassin fût resté entièrement vide et découvert. Sur les gros cailloux, on en étendit une couche de plus petits, puis une couche de gravier, et l'on finit par combler le creux en abattant les digues ; dessus, on sema du gazon. L'ancienne prairie, à la surface du banc d'alluvion, fut ainsi

établie dans son entier. Le filtre qui est au-dessous, dérobé aux yeux du public, qui ignore en quelque sorte son existence, est maintenant à l'abri de la malveillance et de la manie destructive des enfants. Il n'exige plus les frais d'entretien. Un grand regard placé en tête, au-dessus du point où l'eau entre dans la conduite en fonte, permet d'y descendre et d'en visiter cette partie, qui est la plus importante.

Depuis qu'il a été ainsi disposé, la qualité de ces eaux s'est non seulement rétablie, mais encore améliorée ; la limpidité et la saveur en sont parfaites.

Dans le fort de l'été, lorsque presque toutes les eaux de nos contrées ont une odeur ou un goût plus ou moins sensible, celle-ci a toujours été trouvée par ceux qui sont descendus dans le regard, vive, bonne et fraîche, comme l'eau des montagnes. Coulant et séjournant quelque temps à 6 mètres sous terre et à 40 mètres de la rivière, elle prend une température qui ne varie qu'entre des limites assez rapprochées. Dans l'été, elle n'a pas porté le thermomètre centigrade au-dessus de 17°, et dans le long et rigoureux hiver de 1830, après vingt-cinq jours de fortes gelées, et la gelée ayant pénétré à plus de 1 mètre au-dessous de la superficie de terrain qui la recouvre, elle n'a fait descendre le thermomètre qu'à 8°, *avantage précieux. Fraîche en été, elle présente* une boisson agréable à sa sortie des fontaines ; chaude en hiver, elle garantit les conduites des effets de la gelée.

Ce filtre n'étant pas suffisant, on en établit un second.

Un homme de l'art appelé à cette discussion, après avoir rappelé combien les puits creusés près de la rivière, notamment ceux de Tourny, sont abondants en eaux toujours très claires, proposa d'en ouvrir plusieurs sur les bords du banc d'alluvion, et de les mettre en communication entre eux et avec le château d'eau. Cette idée fut adoptée. En conséquence, en aval du premier filtre, à 10 mètres environ de la rivière, on ouvrit et on poussa une tranchée jusqu'à la rencontre du quai. Sur le fond, on construisit onze trous ou puits en briques, mais sans mortier, jusqu'à 3 ou 4 pieds au-dessus de la surface du sol, et on les recouvrit de plaques de fonte. On joignit leurs pieds par des tuyaux, lesquels reposaient sur le fond de la tranchée, on posa du gravier par dessus, et le reste de l'excavation fut comblé avec la terre qu'on en avait retirée. A l'extrémité, contre le mur du quai, on établit une cale, qui reçut aussi l'eau venant du premier filtre ; les deux eaux se réunissaient, et se rendaient ensuite de concert au puisard des machines par la conduite déjà posée dans le canal de prise d'eau.

Les résultats furent peu satisfaisants et ne répondirent pas aux espérances. On ne put obtenir que 60 à 80 pouces d'eau.

On fit alors un troisième appareil exactement semblable au premier, c'est-à-dire basé sur les mêmes principes.

Ces trois appareils réunis fournissent maintenant toute l'eau nécessaire aux besoins des habitants, et il paraît même qu'ils n'ont subi depuis l'époque de leur achèvement, en 1825, aucun changement important et susceptible d'être signalé.

Appareil de filtrage des eaux de la Garonne, par M. Cordier. Quant aux dispositions générales, il faut savoir d'abord que, par l'effet du flux, les eaux de la Garonne éprouvent à Bordeaux *immédiatement en aval* du nouveau pont un gonflement qui les élève à 6 mètres au-dessus du niveau de la marée basse, à l'époque des équinoxes, et à 5 mètres seulement au-dessus de ce même niveau à l'époque des solstices.

« Le gonflement des eaux de la Garonne a lieu parce qu'elles sont repoussées en avant par le courant du flux ; alors les vases et autres matières susceptibles d'être tenues en suspension dans ce courant, remontent de l'embouchure de ce fleuve vers Bordeaux, en troublant plus ou moins la limpidité de ses eaux, et, comme l'exhaussement de ce fleuve à chaque marée s'effectue en moins de temps que son abaissement, il arrive qu'une partie des vases et autres matières, amenées par le flux, se déposent sur les rives de la Garonne pendant le reflux, *ou continuent de troubler* l'eau lorsque son courant vers la mer est rétabli. Ce sont ces eaux troublées qu'il s'agit de filtrer avant de les mettre en distribution.

« Il faut savoir, en second lieu, que le volume d'eau à distribuer doit être de 350 pouces de fontainier, équivalents à 7 mille mètres cubes ou à 7 millions de litres en 24 heures.

Cela posé, que l'on conçoive au-dessus du quai de Bacalan, *formant la rive droite à 3000 mètres environ* en aval du nouveau pont, un réservoir quadrangulaire de 100 mètres de longueur, de 60 mètres de large, et de 2 mètres de profondeur, ayant son fond et ses parois verticales revêtus de maçonnerie ; le fond de ce réservoir destiné à recevoir l'appareil de filtrage que nous avons à décrire doit être établi à 2 mètres au-dessus des plus basses marées de la Garonne.

« Que l'on conçoive encore le réservoir entouré *suivant sa longueur et à 4 mètres en-dehors de ses parois*, de deux canaux chacun de 25 mètres de large, lesquels se réunissent dans la prise d'eau du fleuve par deux embranchements de 6 mètres de largeur seulement ; le fond de ces deux canaux est au même niveau que celui du réservoir rectangulaire dont nous venons de parler.

« A chacune des extrémités de ces deux embranchements et près de leur confluent dans la prise d'eau, sont posées des vannes, au moyen desquelles on peut rétablir ou intercepter, suivant les besoins du service, la communication entre cette prise d'eau et les deux canaux latéraux dont le réservoir est bordé suivant sa longueur.

« Les choses étant ainsi disposées, et la marée ayant atteint 2 mètres de hauteur au-dessus des plus basses eaux du fleuve, on ouvre les deux vannes qui viennent d'être indiquées ; l'eau de la Garonne commence à entrer dans les deux canaux latéraux, et elle continue d'y monter jusqu'à ce qu'elle y soit parvenue à la hauteur de 2 mètres. On ferme aussitôt les deux vannes, l'eau devient alors stagnante dans les canaux, et si elle y passait un temps suffisant, elle y déposerait les troubles dont elle est chargée lorsqu'elle y est introduite. Il est évident que ce procédé de clarification pourrait suffire, mais l'incertitude de la durée de cette opération, suivant les circonstances, ne permet pas de l'employer. Les canaux latéraux ne peuvent donc être considérés que comme des réservoirs de dépôt où l'eau commence à s'éclaircir par la précipitation des matières les plus grossières qu'elle tenait suspendues.

« Pour faire arriver l'eau plus promptement et avec plus de certitude à cet état de limpidité parfaite qui est une des conditions requises, il a fallu nécessairement employer quelques moyens auxiliaires des réservoirs de dépôts. Voici en quoi ils consistent :

« On a divisé en deux parties égales dans le sens de sa longueur, le grand réservoir rectangulaire au moyen d'une digue de maçonnerie de 1 mètres 1/2 d'épaisseur à sa base sur 3 mètres de hauteur. Ainsi de part et d'autre de cette digue se trouvent deux réservoirs égaux, dont chacun est divisé lui-même en 10 compartiments, que l'auteur du projet désigne sous le nom de *bassins-filtres*.

« Lorsque l'eau est restée pendant environ 24 heures dans les deux bassins de dépôt, elle est conduite par deux aqueducs dans une bâche, d'où elle est élevée de quelques mètres par une pompe à vapeur pour arriver dans les bassins-filtres.

« Ces filtres se composent d'une couche de gravier et de sable fin ayant ensemble une épaisseur de 1 mètre 75 centimètres.

« Chaque *bassin-filtre* fonctionne successivement. L'eau qui a été filtrée dans chaque bassin est reçue par une grosse conduite posée dans une galerie qui est pratiquée dans la partie inférieure de la digue longitudinale qui partage en deux le grand réservoir quadrangulaire. L'eau filtrée est portée dans cette grosse conduite par des tuyaux secondaires qui y sont implantés en nombre égal à celui des *bassins-filtres*, et qui reçoivent *eux-mêmes* cette eau de tuyaux plus petits embranchés sur eux, et percés, à leur extrémité inférieure, de trous par lesquels l'eau s'y introduit. La grosse conduite, dont il est question ici, étant remplie, débouche dans une seconde bâche, d'où elle est élevée par une deuxième machine à vapeur dans la conduite d'ascension destinée à les porter au point culminant de Bordeaux, lequel se trouve à 30 mètres d'élévation au-dessus des plus basses eaux de la Garonne.

« Il s'agit maintenant de se débarrasser des matières qui sont restées, soit dans les réservoirs de dépôt, soit dans les filtres. A cet effet, on ouvre à marée basse les vannes par lesquelles l'eau trouble était entrée dans les réservoirs de dépôt; on a soin d'agiter l'eau qu'ils contiennent encore, et elle s'écoule dans la Garonne.

« Quant aux matières terreuses qui ont pu rester dans les filtres, on fait entrer au dessous de ces filtres l'eau de la conduite d'ascension, qui, pouvant agir de bas en haut avec une pression de trois atmosphères, fait monter au-dessus de la surface de ces appareils toutes les matières terreuses qui les obstruaient, et les chasse dans les réservoirs de dépôt dont le courant les entraîne dans le fleuve avec celles qu'ils contiennent eux-mêmes.

« Toutes les manœuvres que nous venons d'indiquer s'opèrent, suivant le projet présenté, au moyen de vannes et de robinets, dont on ne pourrait faire bien comprendre le système qu'à l'aide de figures qu'il faudrait expliquer, et d'une description détaillée qui nous ferait sortir des bornes de ce rapport. Nous le terminerons en disant que l'expérience de ce qui se pratique en Angleterre et même à Paris pour le filtrage des eaux troubles, offre pour le succès de l'appareil que propose M. Cordier, toutes les chances désirables; enfin, que si l'appareil ne répondait pas d'abord sur tous les points à ce que l'auteur en espère, il lui serait toujours facile de le perfectionner en lui faisant subir des modifications dont l'observation et l'expérience pourraient signaler l'opportunité. (*Compte-rendu de l'Académie des sciences*, 1836, p. 115).

Appareils de filtration des eaux en grand en Angleterre. La seule des huit grandes compagnies de Londres qui clarifie son eau, la compagnie de *Chelsea*, est arrivée au but en construisant trois vastes bassins communiquant entre eux; dans les deux premiers se déposent, par le repos, les matières les plus grossières; dans le troisième, l'eau traverse une couche épaisse de sable et de gravier où elle se clarifie définitivement. Quand l'eau de ce troisième bassin s'est entièrement écoulée, la masse filtrante de sable est à nu; des ouvriers armés de rateaux enlèvent alors la couche superficielle que le sédiment a fortement salie, et la remplacent par du nouveau sable.

« Ici se présente une réflexion. Ce n'est pas inutilement, sans doute, que l'ingénieur habile de la compagnie de Chelsea a donné une épaisseur de deux mètres à sa masse filtrante; les couches superficielles, celles que des ouvriers arrachent de temps en temps, agissent sans aucun doute plus fortement que les autres; mais les couches inférieures ne sont pas non plus sans action; mais elles, aussi, doivent peu à peu

FILTRATION.

s'engorger et diminuer les produits journaliers du filtre; mais il arrivera une époque où la masse toute entière aura besoin d'être renouvelée; cette nécessité, si l'on avait voulu la prévoir, eût exigé l'établissement d'un quatrième bassin semblable au troisième, et comme lui d'un acre d'étendue; et la dépense totale de construction se fût élevée de 300,000 à 400,000 francs; et la manipulation du filtre, qui annuellement ne coûte pas moins de 25,000 fr. se serait encore accrue.

« Faut-il s'étonner si, en présence des grands frais de la compagnie de Chelsea, pour une filtration de 10,000 mètres cubes d'eau par jour, correspondant à environ 500 pouces de fontainier, les compagnies anglaises ont toutes répondu, dans une enquête solennelle faite devant le parlement, que, si on les obligeait à filtrer l'eau de la Tamise, leurs prix de vente devraient inévitablement s'accroître de 15 p. 100.

« Le système que M. l'ingénieur civil Robert Thom a introduit à Greenwich, en 1828, a sur celui de Chelsea l'avantage que le nettoiement s'effectue de lui-même et que toute la masse de sable filtrante y est assujettie. Cette masse forme une couche de 1 mètre 1/2 d'épaisseur. L'eau peut à volonté entrer dans le bassin que le sable remplit, par-dessus ou par-dessous. Si la filtration s'est opérée, par exemple, en descendant, dès qu'on s'aperçoit que le filtre s'obstrue, qu'il devient paresseux, on fait pendant quelque temps arriver l'eau par-dessous, et dans son mouvement ascensionnel elle emporte les sédiments par la partie supérieure dans un conduit de décharge destiné à les recevoir. » De semblables systèmes sont d'un entretien difficile sur une grande échelle et ne valent pas une infiltration des eaux analogue à celle utilisée à Toulouse, la rivière nettoyant elle-même la surface du filtre sur laquelle se font les dépôts les plus considérables.

Filtration de l'eau à Paris. Le premier établissement de filtration en grand a été fondé en 1806, quai des Célestins, par MM. Smith, Cuchet et Montfort, qui avaient pris un brevet d'invention en 1800.

On opère la filtration au moyen de petites caisses prismatiques, doublées en plomb, et contenant à leur partie inférieure une couche de charbon comprise entre deux couches de sable et une couche d'éponges placées à la partie supérieure.

L'eau traverse ces quatre couches de haut en bas; après quoi elle retombe en pluie dans un réservoir inférieur de manière à reprendre l'air dont elle s'est dépouillée pendant ces diverses filtrations; elle s'échappe définitivement par un robinet placé au bas du réservoir.

M. Arago nous apprend sur cet appareil que, quand les eaux de la Seine et de la Marne arrivent très-chargées de limon, les matières dépuratives contenues dans ces diverses caisses ou au moins leurs couches supérieures ont besoin d'être renouvelées ou remaniées tous les jours et même deux fois par jour.

Chaque mètre superficiel de filtre donne environ 3,000 litres d'eau clarifiée par 24 heures, etc.

En 1836, M. Henri Fonvielle a pris un brevet pour des appareils de filtration qui ont été adaptés à quelques fontaines. En 1839, M. Souchon avait installé les filtres à laine de son invention dans la pompe publique du pont Notre-Dame.

Avant de décrire ces appareils de filtration en détail, nous croyons devoir dire d'abord ce qui a été fait auparavant dans cette branche d'industrie.

Diverses manières de filtrer l'eau. Le repos de l'eau dans des vases de terre ou de grès peut être considéré comme le moyen le plus ancien et le plus simple de débarrasser l'eau de tout ce qu'elle renferme en suspension de plus lourd et de plus grossier, mais il ne

peut être adopté comme une méthode définitive et prompte de clarification des eaux en grand. On peut déduire cette conclusion des expériences et des calculs faits à Bordeaux par M. Leupold. Cet ingénieur a constaté qu'après 40 jours de repos absolu, l'eau de la Garonne, prise en temps de crue, ne serait pas revenue à sa limpidité naturelle. Il a reconnu qu'au commencement les plus grosses matières se précipitent très vite, et que les plus fines descendent avec une excessive lenteur. M. Arago en critiquant la méthode de filtration en grand par le repos, fait remarquer que dans certaines localités, et surtout dans certaines saisons, des eaux exposées en plein air, et qui resteraient immobiles, stagnantes pendant 8 à 40 jours consécutifs, contracteraient un mauvais goût, soit à cause de la putréfaction des insectes sans nombre qui y tomberaient de l'atmosphère, soit à cause des phénomènes de végétation dont la surface deviendrait le siége. C'est précisément ce qui eut lieu à Toulouse en 1823, dans le commencement de l'établissement des fontaines publiques.

Il faut donc avoir recours à une autre méthode plus expéditive et surtout plus sûre.

Un savant étranger avait proposé, vers le milieu du XVIII^e^ siècle, de jeter une certaine quantité d'alun dans l'eau trouble, afin de rendre presque instantanée la précipitation des matières terreuses tenues en suspension. Ce moyen employé en France par M. Darcet père, pour clarifier l'eau de la Seine, a parfaitement réussi; M. Félix Darcet fils en a fait, dit-il, un usage très satisfaisant en Égypte. Voici la manière qu'il indique pour clarifier les eaux du Nil : « avec 0^s^,50 d'alun par litre d'eau trouble, je produisais au bout d'une heure une clarification complète, et l'eau devenait d'une limpidité entière; 0^s^,25 d'alun produisaient le même effet, mais au bout d'un temps un peu long. L'emploi de l'alun ne pouvait donner aucune inquiétude pour la santé; car 1/4 gramme ou même 1/2 gramme d'alun par litre d'eau sont des quantités si petites qu'on pouvait bien regarder leur influence comme tout à fait nulle. D'ailleurs, dans ce mode de clarification, l'alun n'agit qu'en se décomposant. L'excès d'acide qui s'y trouve est saturé par le carbonate ou le bi-carbonate de chaux contenu dans l'eau, et ce n'est qu'en passant à l'état de sous-sulfate ou d'alun aluminé insoluble, qu'il précipite et entraîne mécaniquement les particules terreuses en suspension. Il est préférable, dans ce procédé, d'employer l'alun en gros morceaux; voici comment on doit opérer : on prend un gros cristal d'alun, on l'attache au bout d'un fil et on le promène en tous sens dans l'eau, en l'y plongeant très peu, et en ne l'y laissant que jusqu'à l'apparition de flocons volumineux; alors il faut retirer le morceau d'alun, afin de n'employer que la quantité convenable de ce sel. La formation du précipité est un signe certain que la dose d'alun nécessaire a été dissoute.

« Si l'on veut se servir d'alun en poudre, afin de doser juste avec plus de facilité, il faut le réduire en poudre très fine, en peser la dose dont on a besoin et en saupoudrer la surface de l'eau, en évitant d'agiter fortement le liquide après l'addition de ce sel.

« On peut encore faire dissoudre, dans un petit volume d'eau claire, la dose d'alun qu'on doit employer, et verser cette dissolution d'alun sur l'eau trouble qu'on veut clarifier. En agitant légèrement la surface de cette eau après le mélange et en laissant reposer, elle se clarifie promptement et prend même une grande limpidité.

« Le dépôt que donne l'alun augmente en poids bien au-delà des limites indiquées, proportionnellement à la quantité du sel employé. Le dosage indiqué de 1/4 et même de 1/2 gramme d'alun par litre d'eau pourrait donc être augmenté sans inconvénient. Les expériences ont été faites en Égypte avec de l'alun à base de potasse; mais je pense qu'en se servant d'alun à base d'ammoniaque les résultats seraient exactement les mêmes. Extrait du *Bulletin de la Société d'encouragement*, tom. XXIV, pag. 424). »

Tout en reconnaissant l'efficacité de l'emploi de l'alun pour clarifier les eaux, nous dirons cependant avec le savant M. Arago, que « La théorie de cette opération n'est pas assez certaine pour qu'on puisse affirmer que le même effet aurait lieu indistinctement avec le limon de toutes les rivières. Le doute, à cet égard, semble d'autant plus permis que la clarification par l'alun n'est pas toujours complète; que certaines matières très fines échappent à l'action de ce sel, restent en suspension dans le liquide et le rendent encore louche. S'il est vrai que l'eau, après avoir été alunée ait besoin de subir une filtration ordinaire, on concevra aisément pourquoi l'emploi de l'alun, comme moyen de clarification, n'est pas devenu général. D'ailleurs le prix de ce sel ajouterait à celui de l'eau filtrée, et l'augmentation ne serait peut-être pas à dédaigner dans un système d'opération exécuté en grand. Ce qui forme, au reste, contre ce procédé, une objection plus sérieuse, c'est qu'il altère la pureté chimique de l'eau de rivière, c'est qu'il y introduit un sel qu'elle ne contenait pas, c'est qu'en supposant ce sel entièrement inactif dans certaines proportions, les consommateurs peuvent craindre qu'un jour sur 100, sur 200, sur 1000, si l'on veut, ces proportions soient notablement dépassées; car il suffirait pour cela de la négligence, de l'erreur d'un ouvrier. »

L'idée de clarifier les eaux bonnes à boire, au moyen de la poudre d'alun, ou de tout autre agent chimique, est donc complétement abandonnée aujourd'hui, et ne saurait être utile que dans quelques cas spéciaux. Toutes les idées des ingénieurs et praticiens sont dirigées vers l'emploi des matières inertes; l'invention ou plutôt le perfectionnement des procédés de filtration consiste dans la manière de construire les appareils, d'agencer et de disposer les matières filtrantes déjà connues, afin d'obtenir une filtration prompte, régulière, et surtout une grande économie de main d'œuvre.

Filtres domestiques Nous avons déjà dit que les Japonais et les Egyptiens ont fait usage depuis longtemps, pour clarifier l'eau, de vases faits avec des terres poreuses ou des grès. Mais il est un fait avéré, c'est que la fragilité des fontaines filtrantes en terre fit imaginer, au commencement du XVIII^e^ siècle, celles de cuivre étamé garnies intérieurement d'une couche assez épaisse de sable. On remarqua bientôt que ces fontaines ne préservaient pas de tout danger. Les étamages, même faits avec soin, n'empêchaient pas à la longue le vert-de-gris de se former. Ces inconvénients firent donc abandonner les fontaines de cuivre étamé pour d'autres de cuivre ou de bois, revêtues intérieurement de plomb laminé.

En 1745, M. Amy présenta à l'Académie des sciences de Paris une machine à filtrer l'eau, dans laquelle des éponges servaient de filtres. Les vaisseaux étaient construits en bois ou en terre, ce qui en rendait le prix très modique.

A ce moyen de filtration, succédèrent les fontaines filtrantes du même auteur. D'abord, il se servit de coffres de bois revêtus entièrement de plomb laminé, et divisés par compartiments dans lesquels l'eau passe successivement à travers le sable et des éponges. Il employa les vases de terre, de verre, de grès qu'il garnit de matières filtrantes différentes; et le célèbre physicien Réaumur a attesté le fait dans un certificat en date du 29 juillet 1749. « J'en ai eu, dit-il, plusieurs et à la fois, dont chacune avait été garnie par lui-même d'un filtre différent, les unes d'éponges, les autres de coton, les autres de laine, les autres de soie et les autres

de sable ; elles ont toutes donné constamment une eau très claire et très limpide. »

Ces faits démontrent suffisamment qu'Amy doit être considéré comme le véritable créateur des fontaines filtrantes domestiques en France.

Duchesne, dans son dictionnaire de l'industrie publié en 1800, a signalé les inconvénients du plomb et du sable employés dans les fontaines filtrantes : « C'est pour y remédier, dit-il, que l'on a imaginé des fontaines de pierres filtrantes ; ces fontaines sont de pierres de liais, rondes ou carrées, jointes ensemble par un mastic impénétrable à l'eau, et peintes extérieurement à l'huile en forme de granit ou de porphyre. Elles contiennent plus ou moins d'eau suivant leur grandeur. Au lieu de sable ou d'éponge, on construit intérieurement et au fond de la fontaine une petite chambre plus ou moins grande et bien mastiquée, avec trois à quatre pierres de 27 millim. d'épaisseur, dressées de champ, pouvant contenir à peu près deux à trois pintes d'eau. Ces pierres filtrantes viennent de Picardie ; on leur donne le nom de *Vergier*. C'est en passant à travers ces pierres que l'eau versée dans la fontaine filtre et s'épure ; et de sale et bourbeuse qu'elle était, elle en sort claire et limpide, par un robinet qui pénètre dans cette chambre fermée, dans laquelle entre un tuyau mastiqué qui, venant aboutir au haut de la fontaine, sert à donner de l'air à l'intérieur de la chambre ou réservoir et facilite l'écoulement de l'eau. A peu près tous les trois mois, et lorsque les pores de la pierre filtrante sont bouchés par la bourbe et les saletés de l'eau, on ratisse la pierre avec un racloir, et on lave. C'est afin que la pierre qui couvre la petite chambre s'encroûte moins, qu'elle est posée en forme de toit. »

Ces dispositions ont été améliorées de diverses manières. Nous citerons seulement la suivante, sur laquelle un rapport a été fait à la Société d'encouragement, en 1831. C'est la fontaine filtrante destinée aux usages domestiques, par M. Lelogé, et que l'auteur nomme *filtre ascendant* ou fontaine *à pression continue et à eau ascendante* filtrant par *le charbon et la pierre poreuse*. (Voir le *Bulletin*, tome XXX, p. 171.)

Cette fontaine est divisée sur sa hauteur en quatre parties inégales, celle supérieure étant à elle seule à peu près égale aux trois autres.

Cette partie supérieure est destinée à recevoir l'eau à filtrer ; le fond est formé par une pierre non filtrante à l'angle de laquelle se trouve un orifice communiquant par un canal vertical ou un tuyau à la partie inférieure, laquelle forme un premier réservoir de peu de hauteur, où l'eau opère un premier dépôt qui peut, de temps à autre, être retiré par un tampon mobile pratiqué à cet effet dans le fond de ce premier réservoir, qui est en même temps le fond de toute la fontaine.

L'espace compris entre ce réservoir et les parties supérieures est divisé en deux autres réservoirs ; celui inférieur est séparé d'abord du réservoir précédent par une pierre percée de trous, et il est de plus rempli de charbon.

Enfin ce deuxième réservoir est séparé du troisième par une pierre filtrante.

Par cette disposition, l'eau arrive dans le premier réservoir, après y avoir opéré un premier dépôt, pressée par celle que contient la partie supérieure, elle est forcée de filtrer par ascension, d'abord au travers du charbon que contient le deuxième réservoir, et enfin au travers du filtre qui le sépare du troisième.

En 1791, James Peacok prit un brevet d'invention en Angleterre pour un appareil à filtrer par *descension et ascension* de l'eau à travers *le sable et le gravier*. Cet appareil se compose, 1° d'un grand réservoir d'eau placé à une hauteur convenable ; 2° d'une caisse fermée placée au-dessous et remplie de gravier ou de sable lavé ou d'un mélange de charbon et de carbonate calcaire lorsqu'il s'agit de désinfecter l'eau. L'opération de la filtration s'effectue ainsi :

L'eau contenue dans le grand réservoir supérieur, descend au moyen d'un tuyau dans le fond de la caisse inférieure ; elle se filtre par *ascension* à travers le gravier ou le charbon, et sort, en descendant par un tuyau fixé à la partie supérieure de la caisse inférieure. On nettoie ce filtre au moyen d'une pompe aspirante et foulante. On aspire ainsi de l'eau pure ou filtrée qui s'écoule dans un troisième réservoir ; on la fait remonter en la refoulant à travers la caisse remplie de gravier. L'eau ainsi refoulée, chasse devant elle et charrie tout le limon ou la vase déposée dans le gravier. Cette vase sort ensuite par le même tuyau d'écoulement de l'eau filtrée, et tombe dans une auge placée au-dessous. (Voir *la description et la figure* publiées dans le tom. XIII des *Annales des arts et manufactures*, page 303).

En 1800, MM. Smith, Cuchet et Montfort prirent le premier brevet en France pour un appareil de filtration. Cet appareil, auquel les inventeurs ont donné le nom de *filtre-inaltérable*, tiré des *trois règnes de la nature*, n'est, à vrai dire, que la réunion ou l'application des procédés décrits déjà par Amy, Collier, Lowitz (1) et Peacock. M. Smith, cependant, a réclamé dans les journaux de l'époque la priorité de l'invention. (Voir les *Annales des arts et manufactures*, tome XIII, p. 288, vol. II *des Brevets*).

Le même volume fait mention des procédés employés à Brest vers la même époque par Barry pour désinfecter et purifier l'eau la plus corrompue, au moyen de plusieurs couches de sable, de grès et de charbon pulvérisés et comprimés entre deux disques en bois percés comme une écumoire. M. Barry avait aussi imaginé d'employer, comme moyens de filtration, une grosse toile de laine ou d'étamine, et une toile double de crin, et des petits paquets de bois cloués à l'intérieur du tonneau destiné à faire *la clarification*. Ces moyens sont très ingénieusement disposés et utiles à consulter pour l'histoire de l'art.

En 1806, M. Alexandre, de Bordeaux, prit un brevet pour un appareil à filtrer et à clarifier les eaux, auquel il a donné le nom de *filtre-bordelais*. Le principe de son procédé est la capillarité, et la matière filtrante est le coton disposé en mèches plates. (Voir le tome VI *des Brevets expirés*, page 293).

En 1812, M. Paul de Genève inventa un filtre fondé sur la méthode de déplacement.

Ce filtre se compose de plusieurs cylindres de plomb, faits en forme de manchons, hauts de 60 à 65 centimètres au plus sur 16 centimètres de diamètre. Ils sont fermés par le haut avec un couvercle qui entre à force et bouche hermétiquement. Ces cylindres, dont on peut porter le nombre à douze, quinze ou vingt, à volonté, sont remplis de sable jusqu'à une certaine hauteur. Le sable repose sur un diaphragme ou crible de plomb qui le soutient, et l'empêche de boucher l'orifice inférieur par où l'air arrive. Tout étant ainsi disposé, on conçoit que l'eau qui descend du réservoir par le tuyau entre dans le premier cylindre, le traverse, passe dans le second par un autre tuyau, remonte jusqu'au troisième tuyau, qui la conduit dans le troisième cylindre, où elle s'élève jusqu'à un robinet qui sert à la verser dans le bassin ou le réservoir.

Quand l'eau sort de ce filtre, elle est d'une limpidité parfaite ; et cela doit être, puisque, si l'on emploie dix à douze cylindres, elle se trouve ainsi traverser, par sa force ascendante, 5 à 6 mètres de sable, et il est rare

(1) C'est Lowitz de Saint-Pétersbourg, qui a reconnu et démontré le premier, en 1790, les propriétés anti-septiques du charbon, et les avantages qui résultent de son emploi pour purifier l'eau corrompue

que les sources naturelles aient à traverser des couches aussi épaisses.

En 1814, M. Ducommun prit un brevet de dix ans pour des perfectionnements qu'il a apportés aux filtres à base de charbon.

Voici en résumé, suivant l'inventeur, la composition du filtre :

1° Un fond solide, percé de trous, et destiné à porter le filtre ;

2° Une couche de gros sable, qui ne puisse passer à travers les trous ;

3° Une seconde couche de sable moyen, qui ne puisse passer entre les grains de la couche précédente ;

4° Une troisième couche de sable fin ou de grès pilé, qui ne puisse également passer entre les grains de sable moyen ;

5° Une couche de charbon concassé : s'il est fin, il suffit de lui donner 5 à 6 millimètres d'épaisseur ; dans ce cas, le filtre est propre aux eaux de rivière, qui sont peu infectes, et qui n'ont besoin que d'être peu clarifiées : s'il est gros, l'épaisseur de la couche peut aller jusqu'à 30 centimètres ; ce qui convient pour les grandes filtrations et pour celles où l'on doit épurer les eaux infectes et corrompues ;

6° Une couche de grès ou de sable fin, comme la troisième, surmontant le charbon pour le retenir et l'empêcher de s'élever ;

7° Une couche de sable plus gros que le précédent ;

8° Une couche de gros sable, comme celui du fond ;

9° Enfin, un plateau percé de trous, pour éviter que la chute de l'eau ne dérange les matières filtrantes. (Voir le tome XII *des Brevets expirés*, page 8.)

Un filtre de 1 mètre carré de section, composé suivant cette méthode, peut aisément filtrer, d'après M. Ducommun, 4,000 voies d'eau par 24 heures ; ce qui correspond à plus de 1,000 hectolitres, soit par heure 450 à 460 litres.

Pour prolonger la durée du filtre en retardant l'obstruction des pores, on garnit d'étoupes le plateau supérieur (Amy avait déjà indiqué ce moyen en 1749.), en les plaçant dans les ouvertures ménagées pour le passage de l'eau.

Pour souder ou luter les parties des fontaines domestiques en grès ou en pierre, M. Ducommun recommande d'employer un mastic composé de :

0,30 bitume de Judée		
0,20 colophane		
0,10 cire	}	= 1,00.
0,40 ciment		

On fait chauffer le tout, pour enlever entièrement l'humidité, et on coule en tablettes.

Le 17 mai 1815, M. le comte Réal a demandé un brevet pour un appareil propre à clarifier les eaux, dit de *filtres forcés* (voir le tome VIII des brevets expirés, page 153). Ce filtre était destiné, suivant l'auteur, soit à la filtration des eaux, soit à faire des teintures végétales ou extraits pharmaceutiques, soit à la purification des huiles par le charbon, et à bien d'autres usages. Il est composé d'un cylindre métallique muni de plusieurs compartiments ou diaphragmes mobiles percés de trous, et renfermant entre eux la matière filtrante ou la matière tinctoriale que l'on veut soumettre à l'extraction (voir EXTRAITS). Le réservoir d'eau était placé au-dessus.

Pour opérer la filtration, par exemple, on établit la communication de l'appareil avec le réservoir d'eau. Cette communication étant établie, l'eau vient presser sur la matière filtrante, contenue dans le cylindre avec une force due à la hauteur de son niveau au-dessus de l'appareil ; elle passe à travers les matières filtrantes où elle s'épure, traverse le diaphragme inférieur, et demeure claire et limpide dans l'espace ménagé entre ce diaphragme et le fond de l'appareil ; on soutire l'eau au moyen d'un robinet placé à la partie inférieure de l'appareil.

M. Cadet de Gassicourt avait pensé que, dans quelques circonstances, il serait difficile et gênant de placer un réservoir au-dessus de l'appareil. Il disait dans son rapport qu'il serait plus avantageux de fixer le réservoir dans une place déterminée du laboratoire ; tandis qu'il serait commode de transporter le filtre dans le lieu où l'on voudrait le mettre en usage. Cet habile chimiste avait proposé, ce qui a été appliqué plus tard, d'opérer la pression du liquide à l'aide d'une pompe que l'on pourrait adapter au-dessus de l'appareil : le dessin d'un appareil ainsi disposé a été gravé dans *le Bulletin de la Société d'encouragement*, tome XVI.

Le mécanicien Hoffmann, de Leipsick, a inventé, en 1819, une presse aérostatique dans laquelle la pression et la filtration ne sont pas effectuées comme dans celle de Réal, par l'action d'une colonne d'eau ; mais par l'air que l'on condense par le moyen d'une pompe de compression. Une presse aérostatique, encore plus ingénieuse, a été inventée par le docteur Rommerhausen à Acken, sur l'Elbe. L'effet de cette machine est une conséquence de la pression considérable que l'atmosphère exerce sur les parois d'un vase vide d'air. Un récipient qu'on peut soumettre à l'action de la pompe pneumatique, est muni d'un diaphragme sur lequel est placé un filtre ; et sous celui-ci un vase propre à recevoir le liquide, qu'on a disposé au-dessus. Lorsqu'on fait le vide, la pression de l'atmosphère force le liquide au travers du filtre et contribue à l'extraction plus complète des parties solubles (*Bibl. univer.*, tome IX).

Telles sont les descriptions sommaires des principaux filtres qui ont été décrits et publiés en France, descriptions nécessaires pour apprécier ce qui appartient en propre à chaque inventeur, et ce qu'il y a de nouveau dans certains appareils mis récemment au jour.

Filtres de M. Henri Fonvielle. Avant de donner la description de ce filtre, tel qu'il est construit et exploité aujourd'hui par la Compagnie française, à laquelle la ville de Paris avait un instant accordé la filtration exclusive des eaux de la Seine, nous tracerons une courte histoire de son origine.

C'est le 27 novembre 1835 que M. Fonvielle a pris un brevet de dix ans pour un *appareil mobile servant à la filtration des eaux*. Le filtre était composé de couches superposées d'éponges, de cailloux de rivière, de zinc, de limaille de fer et de charbon ; sur ce filtre, tombait à ciel ouvert un courant d'eau qui le traversait en descendant, et s'échappait ensuite, après la filtration, par un robinet placé au bas de l'appareil ; mais ce filtre n'offrait rien de bien intéressant.

En 1836, M. Fonvielle substitua, dans une addition *de brevet*, les hautes pressions et les filtres fermés déjà connus aux pressions basses et aux filtres ouverts.

En 1837, il ajouta à son brevet un mode de nettoyage par l'action simultanée de plusieurs courants d'eau qui, pénétrant brusquement dans la masse de filtre, dans des directions, et à des hauteurs diverses, remuent et entraînent rapidement les matières terreuses et salissantes.

Mais nous avons déjà dit que MM. Collier, James Peacock, Soller, Robert Thom filtraient dans des vases clos ; qu'ils nettoyaient leur filtre en y faisant passer rapidement dans la direction contraire une grande quantité de liquide clair. M. Henri Fonvielle n'a donc rien inventé, sur ces deux points fort importants de l'art du clarificateur ; il n'en est pas de même, tant s'en faut, quant au moyen rapide et économique de nettoyer les filtres par l'action de plusieurs courants d'eau, agissant simultanément ou presque simultanément sur les matières filtrantes sans les bouleverser. Ce moyen n'était pas connu avant Fonvielle, et l'honneur

de cette invention utile lui appartient sans contestation sérieuse. M. Arago l'établit clairement dans son rapport.

« Nous ne pouvons avoir aucun doute, dit ce savant illustre, sur la grande utilité de ce conflit des deux courants opposés ; car, après avoir nettoyé le filtre de l'Hôtel-Dieu, à la manière de *l'ingénieur Thom*, nous voulons dire à l'aide d'un courant ascendant, nous avons été assurés que ce même courant ascendant ne donnait, au robinet de dégorgement, que de l'eau limpide ; dès qu'on manœuvrait les deux autres robinets, l'eau sortait au contraire du filtre, dans un état de saleté extrême. Pour le dire en passant, les malades, témoins de l'opération, exprimaient hautement leur surprise en voyant, à quelques secondes d'intervalle, la même fontaine fournir, tantôt une épaisse bouillie jaunâtre, et tantôt de l'eau claire comme du cristal. »

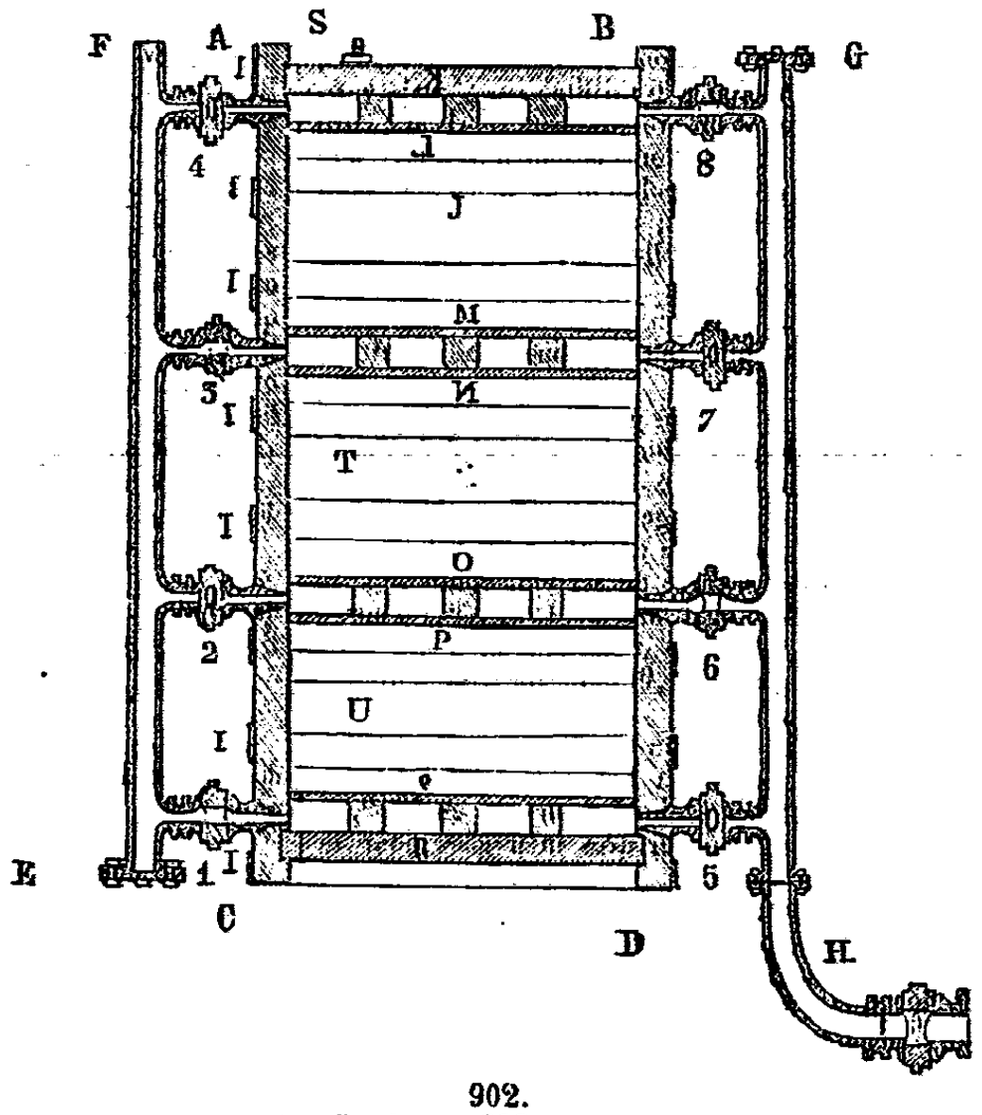
Nous n'accorderons pas la même importance aux inventions de MM Mareschal et C^e^, de la Compagnie française, cessionnaires du brevet de M. Fonvielle, qui ont pris deux nouveaux brevets de 15 ans en 1838 et 1839, *pour des perfectionnements dans les appareils servant à la filtration.*

Les premiers perfectionnements consistent en l'emploi de cuves, légèrement coniques dont le fond est soutenu par des traverses superposées, laissant entre elles assez d'intervalle pour le passage du liquide. Sur ce fond, on étend : 1^e^ une couche de gravier ; 2^e^ une couche de sable ; 3^e^ une couche de sable plus fin ; 4^e^ une couche de *grès pilé ;* et de même on place, sur cette dernière, d'autres couches semblables aux précédentes, mais disposées en sens inverse. Ces matières sont pressées par de faux fonds percés de trous sur lesquels on fait appuyer un bouchon ou piston à vis ; ces faux-fonds sont entourés sur tout leur pourtour d'une corde, ajustée dans une rainure pratiquée exprès, comme sur une poulie à gorge, pour empêcher le passage de l'eau.

Les brevets d'addition, pris par les mêmes inventeurs, comprennent : 1^e^ L'emploi d'une corde de sparterie, *d'aloès* ou de *phormium tenax*, qu'on fait passer de différentes manières entre les trous des faux-fonds, ce qui permet de faire ces trous plus grands, et avec plus de facilité, ou bien de comprimer les filaments de ces cordes entre deux faux-fonds superposés ; 2^e^ dans l'application de plusieurs filtres que l'on renferme dans le même appareil ; 3^e^ dans l'addition d'une soupape de sûreté que l'on emploie lorsqu'on agit à haute pression ; 4^e^ *dans la disposition* d'une porte en fonte ou en bois et adaptée sur le côté de l'appareil, pour nettoyer ou laver les matières filtrantes sans démonter celui ci.

Le 4 mai 1840, MM. Mareschal et C^e^ ont encore pris un troisième brevet de 15 ans, pour *un moyen de construire et d'agencer les faux-fonds, de déplacer et comprimer les matières filtrantes, de manière à rendre le filtre indestructible*

Tous ces brevets reposent, comme on le voit, sur une forme nouvelle donnée à la cuve, sur la manière de construire, de disposer les faux-fonds, de placer et d'enlever les matières filtrantes au moyen d'une porte adaptée sur le pourtour de la cuve, mais tous ces changements ou perfectionnements n'ont point changé l'application heureuse des principes de *la filtration ascendante*, par la haute pression du liquide et du nettoyage en retour, par l'action simultanée de plusieurs courants d'eau ; ils n'ont fait que développer et agrandir les procédés matériels de construction.



902.

La figure 902, représente la coupe verticale du filtre-Fonvielle, perfectionné par MM. Mareschal et compagnie.

ABCD, cuve légèrement conique en bois, divisée en trois compartiments égaux J, T, U, ou plus, qui renferment les matières filtrantes soutenues et pressées par les plateaux L, M, N, O, P, Q. Cette cuve est entourée à des distances égales de 10, cercles en fer I. On peut concevoir une, deux et trois cuves semblables et plus placées les unes à côté des autres

EF, tube vertical en métal servant à conduire l'eau dans le filtre de haut en bas, le réservoir étant placé au-dessus de la cuve.

GH, autre tube vertical en métal qui conduit l'eau filtrée dans un tuyau de conduite en fonte placé horizontalement dans le sol.

Sur les tubes EF, GH, etc., sont implantés huit robinets ordinaires, numérotés 1 à 8 ; lesquels sont fixés fortement au-dessous de chacun des faux-fonds, qui supportent les différentes matières filtrantes, sauf les robinets numéros 4 et 8 qui sont adaptés au-dessus du plateau supérieur qui presse toute la masse des matières.

Manière de monter le filtre. On place d'abord sur le fond de la cuve R, le plateau Q, percé de trous, et dont

FILTRATION.

le pourtour porte une gorge garnie d'une corde, ou de drap pour intercepter le passage de l'eau; on étend sur ce plateau une couche U de charbon végétal grossièrement pulvérisé, de 10 centimètres environ d'épaisseur; puis on superpose le plateau troué P; et le second faux-fond O, sur lequel on étale une couche légère de gros sable de rivière, puis du grès fin, et par-dessus du gros sable légèrement tassé; on met ensuite le plateau compresseur N et le faux-fond M; et par-dessus celui-ci des éponges bien lavées à plusieurs eaux, bien sèches et très également distribuées.

On applique le troisième plateau compresseur L; et le couvercle de la cuve K qui doit être en bois fort pour résister à la pression du liquide. On arrête enfin le couvercle à l'aide d'une vis à écrou S.

Pour faire fonctionner l'appareil, on ferme tous les robinets à l'exception des nos 4 et 7, et on ouvre le robinet qui est en communication avec le grand tuyau qui renferme l'eau trouble qui vient du réservoir supérieur. Alors l'eau traverse le compartiment J de haut en bas, chasse l'air qu'il renferme et s'écoule par le tuyau 7; on ouvre ensuite le robinet 3; puis les robinets 2 et 1; l'eau traverse les masses filtrantes T et U de bas en haut, puis elle sort toute filtrée par le robinet n° 7, tombe dans le tuyau de conduite horizontal dont nous avons parlé plus haut et se rend dans un grand réservoir de décharge, en vertu de la pression donnée par la hauteur du liquide renfermé dans le principal réservoir. C'est des réservoirs, ainsi disposés dans des localités différentes, que part toute l'eau filtrée qui sert à l'alimentation publique des eaux clarifiées de la ville de Paris. Ainsi, l'eau que les porteurs puisent à la pompe de la porte Saint-Denis, vient d'un système de filtres placés rue du Faubourg-Saint-Denis, 17.

Manière de nettoyer le filtre. L'ouvrier ferme tous les robinets 1 à 7, ainsi que celui du tuyau de conduite des eaux H et il ouvre un autre robinet adapté sur un second tuyau horizontal, dit de décharge, plus le robinet n° 8. Un deuxième ouvrier ouvre tout à coup et successivement les robinets nos 4 et 3, comme la figure l'indique, qui mettent le dessus et le dessous du compartiment J en communication avec la conduite qui renferme l'eau de lavage claire. Ce compartiment se trouve ainsi nettoyé par les deux courants opposés qui détachent les matières terreuses; et l'eau sale s'écoule par les robinets 7 et 8. On agit de même pour laver les autres compartiments, en fermant, bien entendu, les robinets du compartiment déjà nettoyé.

On change et on déplace à volonté les matières filtrantes sans déranger le mécanisme de l'appareil. Il suffit pour cela d'ouvrir une petite porte latérale correspondant à chaque compartiment J, T, U, et au moyen d'un fourgon ou d'un bâton garni d'un crochet en fer, on retire les matières épuisées, le charbon, par exemple, puis on le remplace par du charbon neuf que l'on tasse légèrement. L'opération du nettoyage proprement dit, au moyen des deux courants d'eau, ne s'exécute pas plus souvent que dans les filtres ordinaires, et il demande 15 à 20 minutes par appareil; mais le changement du charbon épuisé, qui a lieu une fois par semaine, demande une heure de temps environ par appareil; les autres matières filtrantes sont lavées à fond deux ou trois fois par année.

Quantités d'eau filtrée. Suivant les expériences faites, en 1836, par M. Arago, le filtre de M. Henri Fonvielle, à l'Hôtel-Dieu, quoiqu'il n'eût pas un mètre d'étendue superficielle, donnait par jour, avec 88 centimètres de pression de mercure (une atmosphère et 1/6), 50,000 litres au moins d'eau clarifiée. Ce nombre déduit de l'examen des divers services de l'hôpital était une petite partie de ce que l'appareil eût pu fournir si la pompe alimentaire avait été perpétuellement en charge; dans certains moments, M. Arago a trouvé, par des expériences directes, que le filtre donnait jusqu'à 95 litres par minute. « Ce serait, dit-il, près de 137,000 litres en 24 heures, ou environ 7 pouces de fontainier. En nous en tenant aux premiers nombres, nous aurions déjà 47 fois plus de produit que par les procédés actuellement en usage. »

D'un autre côté nous lisons dans le n° février 1842, de la *Revue scientifique*, page 321, un article fort savant dans lequel l'auteur défend avec chaleur le procédé de filtration de MM. Lanay et Sornay, et celui à laine de M. Souchon qui rendent, suivant lui, moitié en plus de ce que donne le filtre Fonvielle dans les mêmes circonstances.

Voici les dispositions de ces deux filtres:

« *Filtre-Lanay* (plus connu sous le nom de filtre des *Bains Chinois*). Au lieu de disposer les matières filtrantes par couches horizontales, et de les faire traverser par le liquide dans une direction verticale soit ascendante, soit descendante, on les dispose ici en anneaux cylindriques concentriques dont les surfaces courbes sont verticales, en les maintenant bien entendu, à l'aide de tissus ou de lames métalliques percées de trous nombreux et fins. Puis, comme dans les filtres Quarnier, Peacock, etc., on ferme hermétiquement l'appareil, et on fait filtrer l'eau sous une haute pression, soit dans un sens, soit ensuite dans le sens contraire, afin de nettoyer. Ces deux sens vont de la circonférence au centre, et du centre à la circonférence. A cet effet, on ménage au milieu du filtre un espace cylindrique non occupé par les matières filtrantes, et on laisse de même entre l'enveloppe extrême de l'appareil et ces matières filtrantes un autre espace annulaire cylindrique qui reste libre.

« Cette disposition offre deux avantages; d'abord, elle présente à l'eau trouble qui arrive dans l'espace annulaire une surface filtrante plus vaste qu'elle ne peut l'être dans les autres dispositions à égalité de poids de matières filtrantes, et pour une même capacité de l'appareil. Soit, en effet, une cuve cylindrique de 1 mètre environ de diamètre intérieur; dans les filtres où les couches filtrantes sont horizontales, et où la filtration a lieu dans la direction de la hauteur de la cuve, la surface filtrante est celle de la section circulaire du cylindre ou les 785 millièmes de 1 mètre carré, tandis que, dans le filtre des Bains Chinois, la surface filtrante externe diffère peu de celle de l'enveloppe cylindrique même du filtre; or, si, comme aux Bains Chinois, on donne à ce cylindre une hauteur de 1 mètre, cette surface cylindrique sera quatre fois plus grande, c'est-à-dire de 3 mètres carrés et 140 millièmes.

« Le second avantage que fournit cette disposition du filtre qui présente au courant horizontal de l'eau une paroi verticale, consiste en ce que la partie la plus considérable, la plus grossière des impuretés qu'arrête la surface filtrante qui ne pénètre pas dans les pores de ce filtre, tombe, quand elle devient considérable, au bas de l'espace annulaire cylindrique, ménagé entre cette surface filtrante et l'enveloppe de l'appareil; cette chute débarrasse d'autant la surface filtrante, et rend par conséquent le filtrage plus facile. Il n'est pas besoin sans doute de faire remarquer à nos lecteurs qu'en employant, comme nous venons de le faire, cette expression, *surface filtrante*, nous n'entendons pas que la filtration n'ait lieu d'une manière utile qu'à la surface même. Il est évident pour tout le monde que la filtration a lieu aussi dans l'intérieur même de la masse du filtre; mais c'est à la surface qu'a lieu la plus grande séparation, le dépôt le plus considérable des matières suspendues dans l'eau trouble; c'est donc l'action de la surface qu'il faut principalement apprécier dans toute comparaison de filtres.

« Les matières employées dans le filtre des Bains Chinois étaient le grès en poudre et le charbon pilé. Le grès était placé vers la circonférence et le charbon dans l'intérieur. On tassait ces deux matières à l'aide de maillets, de manière à en faire comme deux pierres ayant des pores d'un petit diamètre. Rien n'était plus facile que le nettoyage et le service de ce filtre dont on renouvelait assez souvent les matières. Les auteurs de cet appareil avaient préféré le grès en poudre au sable de rivière employé par M. Fonvielle, à cause des aspérités mêmes de ce grès ainsi concassé.

« L'expérience a montré qu'un filtre des Bains Chinois de 1 mètre de diamètre donnait, sous la pression de 45 mètres, 160 litres d'eau filtrée par minute (*Revue scientifique*, février 1842, pag. 329).»

Filtre-Souchon (brevet de quinze ans, délivré le 8 mai 1839). L'appareil établi par M. Souchon dans le pavillon de la pompe Notre-Dame, se compose de deux parties essentielles : le dégraisseur et le filtre proprement dit. Le premier se compose de cinq cases en bois de 0m,80 de côté, sur 0m,40 de hauteur. Dans chaque case à 0m,09 du fond, est un tasseau sur lequel porte un châssis garni d'un tissu de toile.

L'eau, reçue d'abord dans un chenal commun, pénètre dans la partie inférieure des caisses et passe à travers le diaphragme en filtrant, de bas en haut, et sous une pression de 0m,15 ; elle s'y dépouille des matières sédimenteuses les plus grossières qu'elle tient en suspension. On rejette de temps à autre l'eau qui occupe le fond des cases, et l'on détache avec de l'eau et un balai les impuretés qui sont attachées aux cadres d'étoffe.

Le filtre qui reçoit les eaux au sortir du dégraisseur qu'on vient de décrire, se compose de cinq cases en bois de 2m,10 de long, sur 0m,80 de large et 0m,90 de profondeur. Chaque case est indépendante des autres et peut se nettoyer séparément. Au fond de chaque case est l'ouverture par laquelle s'écoule l'eau, qui doit, après le filtrage, passer dans le réservoir de l'établissement, et de là dans les tuyaux de distribution. Sur le fond de chaque case sont fixées des barres de bois échancrées par dessous, espacées entre elles, et qui laissent un vide dans lequel l'eau peut circuler librement ; c'est sur ces barres et sur des tasseaux fixés sur les côtés, que repose le filtre proprement dit.

Chaque filtre se compose de plusieurs couches de laine retenues dans des compartiments distincts, tendues sur une serge, dont le compartiment d'en bas est un cadre métallique et reposant également sur un grillage métallique. Le premier de ces deux cadres s'ajuste exactement à la forme de la case, et ses bords sont garnis de lisière, pour que l'eau ne puisse passer entre le cadre et les parois. C'est sur cette serge que repose la laine. Au-dessus de cette serge est un grillage métallique, sur le cadre duquel porte un autre cadre en fonte très pesant. Une vis de pression permet de serrer fortement tout cet assemblage, et de maintenir le filtre de laine. Au-dessus de ce compartiment en est un second, organisé de la même manière, et contenant une couche de laine également épaisse, également comprimée. Les autres couches de laine, placées au-dessus des deux premières, contiennent trois fois moins de matières que celle-ci, et ne sont pas comprimées. Le nombre de ces couches flottantes varie suivant l'état de l'eau. En été, trois couches flottantes suffisent ; en hiver, il en faut jusqu'à cinq quand les eaux sont très limoneuses.

Le filtrage de l'eau à travers cet appareil a lieu sous une pression de 0m,55. L'eau reçue par le haut sort tout à fait limpide par la partie inférieure.

En été, chaque filtre peut fonctionner utilement pendant dix heures. Alors il est trop sale ; il faut le nettoyer.

Quand les eaux sont très troubles, en hiver, par exemple, le filtre ne peut servir que quatre heures de suite.

Le filtre ainsi engorgé par les matières qui étaient en suspension dans l'eau qu'il a arrêtées, ne laisse plus passer que les deux tiers de son premier débit.

Pour nettoyer le filtre, on enlève la couche flottante supérieure, qui est obstruée de terre, et on recommence la filtration.

Un peu plus tard, quand le filtrage est encore réduit aux deux tiers, on enlève une nouvelle couche. On arrive successivement jusqu'aux couches du fond ; alors on replace de nouvelles couches de laine flottante, puis, après un nouveau filtrage, on les enlève à leur tour l'une après l'autre, pour les remplacer de même.

Le filtrage peut se maintenir dans un état convenable, par ce seul changement des couches flottantes, pendant cinq jours de travail en été, et pendant trois ou quatre en hiver. Alors seulement il faut renouveler les couches du fond. Il faut dix minutes pour enlever une couche flottante ; une heure pour renouveler le filtre en son entier.

Cinq filtres fonctionnent dans le pavillon Notre Dame ; on n'en renouvelle qu'un à la fois.

La surface des filtres est de 8 mètres. Le filtrage est de 1,300 litres d'eau par minute, quand il y a peu de limon.

La laine salie par le filtrage est lavée à l'eau, puis employée de nouveau. De temps à autre il faut la dégraisser de nouveau. Cette laine, après quelques mois d'usage, devient jaunâtre, alors même qu'elle a été blanche au commencement. De douce qu'elle était au toucher, elle devient rugueuse, et chaque brin paraît comme écorché.

Cette même laine, changée par un aussi long emploi, laisse filtrer l'eau avec moins de rapidité et se tasse davantage ; mais on corrige ce défaut en donnant au filtre moins d'épaisseur.

Comme le filtrage et le lavage entraînent toujours un peu de laine, il faut à la longue réparer ces pertes par une faible addition de laine neuve, qui améliore l'état du filtre. Jamais on ne jette à dessein ou on ne met au rebut la plus petite portion de cette masse filtrante.

La *Revue scientifique* (n° de mars 1842) a résumé assez longuement les observations et les expériences faites par les commissaires nommés par l'Académie de médecine, par MM. Bayard et Gaultier de Claubry, sur les propriétés réelles de la laine tontisse employée comme matière *filtrante*. Suivant l'auteur de l'article de ce journal : « Ce qui fait la supériorité des filtres à laine sur les filtres à charbon, c'est non seulement la qualité des eaux obtenues, la rapidité du filtrage, le bon marché, mais encore la rapidité et la facilité du nettoyage des filtres. La présence d'une plus grande quantité de limon en hiver est sans doute gênante, en ce qu'elle rend ce filtrage plus paresseux, en ce qu'elle demande des couches flottantes de laine plus nombreuses ; mais elle compense une partie des inconvénients en rendant plus facile le nettoyage des filtres. Le limon aide, en effet, au dégraissage de la laine. »

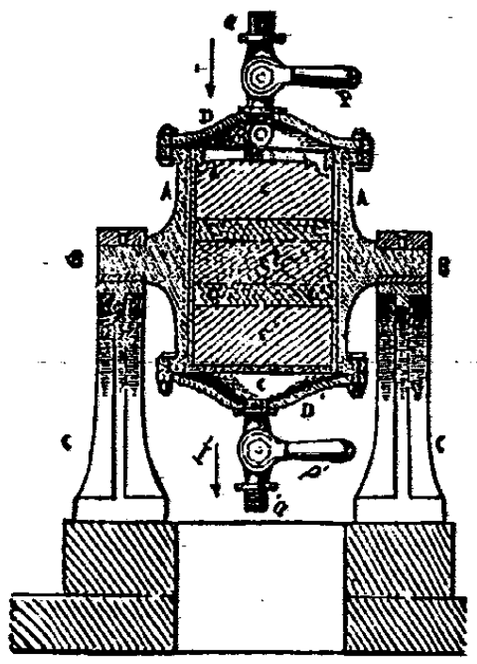
Il faut reconnaître, toutefois, que l'emploi de la laine pour filtrer l'eau est fort ancien ; Strabon lui-même laisse à entendre que certains peuples de l'Asie-Mineure se servaient d'une peau de mouton non dégraissée pour filtrer l'eau bourbeuse. Ce qui est vrai, incontestable, c'est que Amy a employé la laine, en 1749, dans la confection de ses filtres domestiques. M. Souchon a changé et perfectionné sans doute la manière de se servir de la laine, de la disposer dans les filtres ; mais il est équitable de rappeler les emplois antérieurs de cette substance pour filtrer. M. Chevallier cite aussi dans son journal des *Connaissances nécessaires*, 1841, page 562, M. Dietrich, qui a imaginé de faire passer l'eau à travers deux masses de feutre épaisses de

FILTRATION.

plusieurs centimètres, entre lesquels se trouve un lit de charbon. Mais cette invention est postérieure à la prise du brevet de M. Souchon ; tout porte à croire que l'emploi du feutre est plus dispendieux et moins efficace dans certains cas.

Filtre Ducommun. C'est à vrai dire la reproduction de la forme du *tonneau-filtre* inventé par Schmidt, en 1800, et perfectionné par MM. Barry et O'Reilly, en 1802 (voir les *Annales des arts et manufactures*, tome XIII, page 289); mais M. Ducommun a disposé autrement les matières filtrantes, puis il a appliqué avec art le principe de la filtration à haute pression dans un vase clos. Cette disposition n'est pas neuve sans doute, mais elle est toujours bonne.

Cet appareil se compose d'un cylindre en fonte A, figure 903, tournant autour des tourillons B, B, les-



903.

quels sont portés par des coussinets ajustés sur les supports C; les deux extrémités du cylindre A sont fermées par les deux couvercles en fonte D, D', qui y sont fixés au moyen de boulons.

a, *a*, deux robinets adaptés sur les couvercles D, D', et que l'on peut ouvrir et fermer à volonté à l'aide des poignées *p* et *p'*, ces robinets portent des pas de vis que l'on raccorde alternativement soit avec le tuyau supérieur qui communique avec le réservoir plus élevé, soit avec celui qui conduit l'eau filtrée dans un récipient inférieur.

Les matières filtrantes sont placées dans une seconde enveloppe en tôle ou en cuivre, dont le fond *e* est percé de trous; sur ce fond, on a mis une première couche de pierre poreuse ou de cailloux *c*, que l'on a recouverte d'une seconde couche moins épaisse de sable fin ou de grès pilé *c'*. Par-dessus celle-ci, on a étendu une couche plus considérable de charbon de bois pilé c^2, puis une couche de grès plus mince *c'* pareille à la première, et enfin une dernière couche de gros sable *c*. On a mis le couvercle *b* de manière que les arrêts ou baïonnettes *a*, en comprimant les matières filtrantes, entrent dans les entailles pratiquées sur la circonférence de l'enveloppe, et décrivent un demi-tour pour le fixer.

C'est à proprement parler un filtre double que l'on peut faire tourner à volonté sur ses axes, et qui permet ainsi d'opérer l'introduction de l'eau à filtrer, soit par le robinet du haut *a*, soit par le robinet du bas *a'*. On peut le nettoyer en enlevant le couvercle supérieur D, et en attachant une corde à l'anneau qui est fixé sur le centre du couvercle *b*, et que l'on tire avec force ; on bien on peut filtrer simplement par le sens opposé.

Filtres industriels (système Tard). L'inventeur a donné à ces filtres le nom d'industriels, parce qu'ils sont destinés à diverses fabrications, telles que celles des vinaigres, sirops, produits chimiques, etc. La base de ces filtres est la base de papier mélangée avec d'autres matières, telles que la sciure ou le charbon de bois pulvérisé, pour en former des masses filtrantes solides, faciles à manier et à transporter.

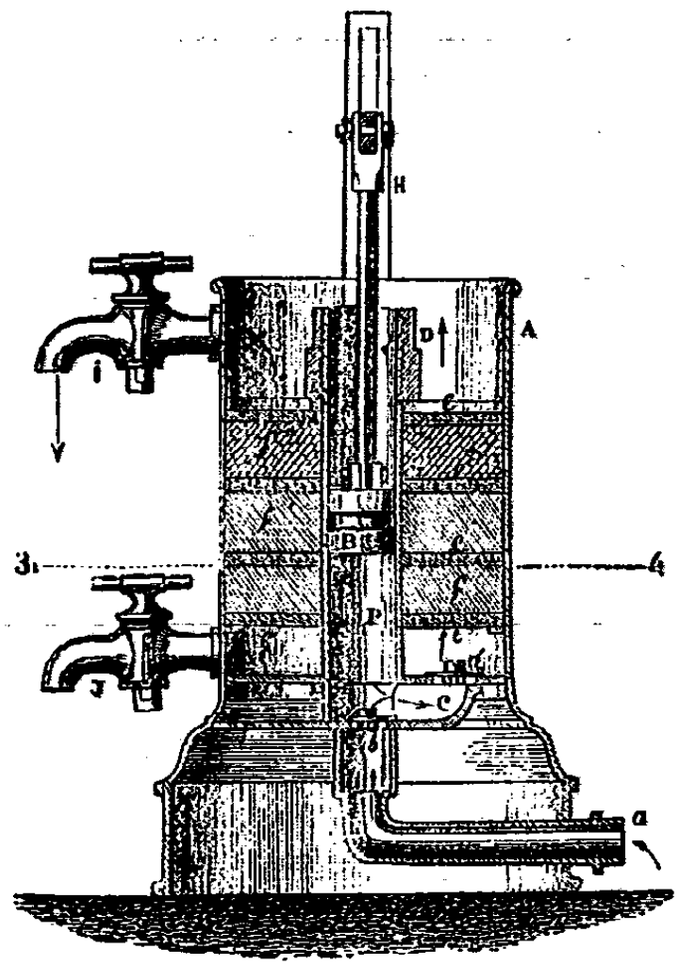


Fig. 945.

La figure 945 représente la coupe verticale d'un filtre à pompe foulante, tel que le construit M. Tard.

Ce filtre se compose d'un cylindre en cuivre mince A, posé sur un socle de même métal, qui en est séparé intérieurement par le fond ou la base élargie du corps de pompe P. Sous ce fond est rapporté la tubulure *c*, qui, d'une part, porte la soupape d'aspiration *b*, et, de l'autre, la soupape de refoulement *d*; sur le socle est adapté un robinet pour donner issue à l'air confiné, sans quoi la filtration n'aurait pas lieu. La première soupape *b* donne entrée au liquide qui arrive du réservoir par le tuyau coudé *a*, ce qui a lieu lorsqu'elle s'ouvre par le vide formé au moment où le piston B s'élève. La seconde soupape *d*, donne entrée au liquide dans le cylindre, en s'ouvrant lorsque le piston descend.

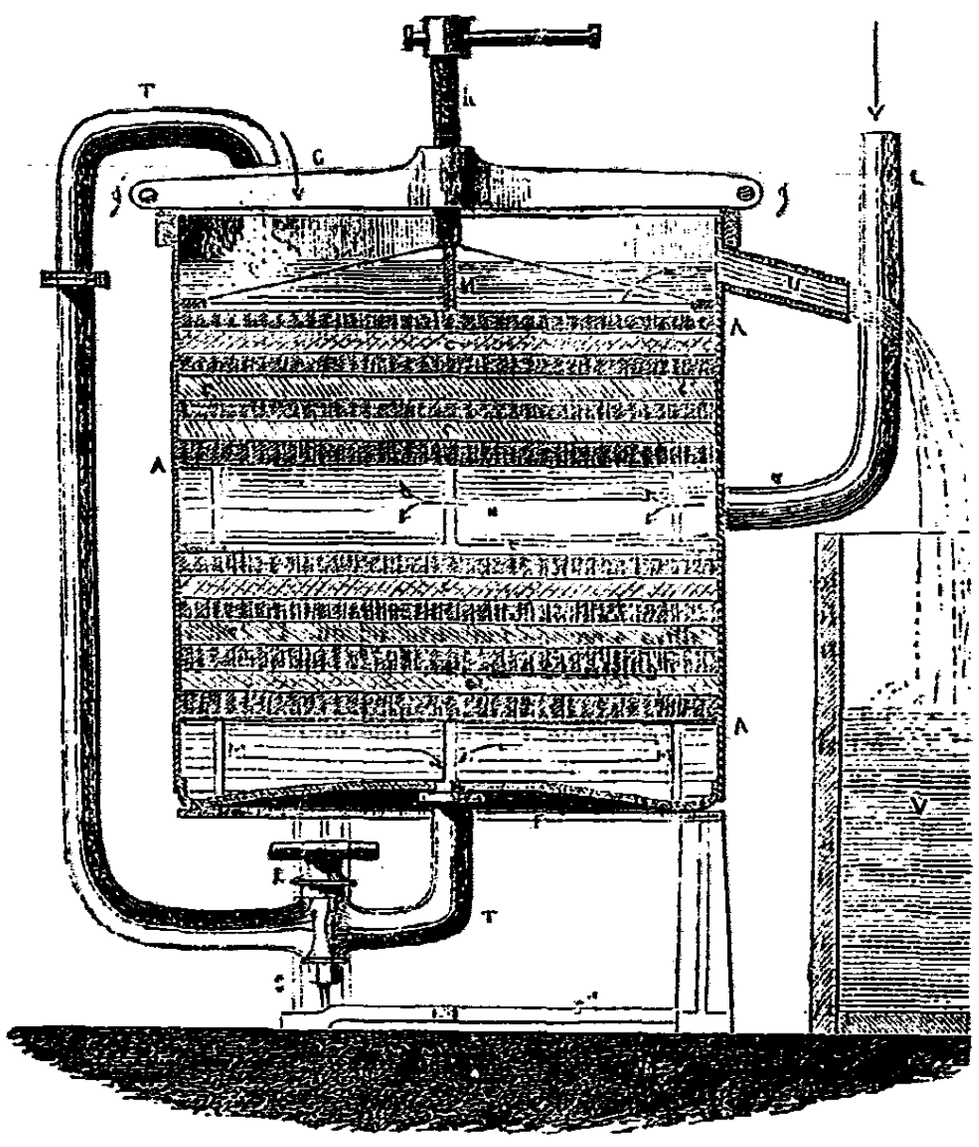
Le corps de pompe est en cuivre, et placé concentriquement dans l'intérieur du cylindre enveloppe A ; il se termine par une partie filetée, recevant un fort écrou D également en cuivre, et destiné à presser sur un croisillon à quatre branches, fondu avec un anneau pour retenir le dernier plateau du filtre.

A quelque distance au-dessus du fond du corps de pompe est un premier disque *e*, qui est soutenu dans l'intérieur de l'enveloppe, par des tasseaux rapportés à la hauteur convenable. Ce plateau est assez ordinairement en bois, percé de trous, et peut être aussi en cuivre ou en fer galvanisé, lorsqu'on veut filtrer des liquides sur lesquels les métaux n'ont aucune influence, comme de l'eau, par exemple. Sur ce premier disque on place un tourteau auquel M. Tard donne le nom de

dégrossisseur; il est généralement composé de chanvre coupé et de grosse sciure de bois, et est préparé comme nous l'indiquerons plus loin. Sur ce premier tourteau, qui n'a pas plus de 3 centimètres d'épaisseur, l'auteur en place un second f^1, de même nature et de même épaisseur, qu'il sépare par une cloison ou par un second plateau troué; celui-ci est également surmonté d'un troisième tourteau f^2, qui est véritablement le filtreur, composé de pâte à papier, et de charbon végétal en grains; il est placé de même entre deux disques percés e^1, e^3. C'est sur le dernier de ces plateaux que l'on serre le croisillon à 4 branches, au moyen de l'écrou D.

Ainsi le liquide à clarifier, amené par le tuyau *a*, dans la partie inférieure du cylindre enveloppé, est forcé, lorsqu'on fait jouer la pompe, de traverser successivement les quatre plateaux percés et les trois tourteaux de matières filtrantes, pour s'échapper enfin par le robinet *i*.

Filtre de grande dimension, par le même. La fig. 916 représente la coupe d'un grand appareil pour filtrer une masse d'eau considérable.



916.

A, cylindre de métal d'une seule pièce, ayant un fond F, qui est légèrement bombé pour mieux résister à la pression; il est élevé sur un support en fonte *s*, *s'*.

a, tuyau vertical qui communique avec un grand réservoir placé à une hauteur de un ou plusieurs mètres au-dessus de l'appareil A. L'eau à filtrer arrive dans l'espace vide M, qui forme le milieu de l'appareil, entre deux doubles-fonds en bois troués, et maintenus dans leur écartement au moyen d'une bague ou châssis en fer galvanisé.

M', faux-fond ou châssis en fer percé de petits trous, et placé sur le fond de l'appareil. Sur ce faux-fond inférieur, on pose les matières filtrantes dans l'ordre suivant :

1° e^3, tourteau de pâte à papier et de charbon pilé que l'on recouvre d'un second disque percé e^2;

2° Tourteau e', composé de chanvre et de sciure de bois de hêtre sur lequel on pose le disque troué e';

3° C, tourteau semblable au premier, que l'on presse avec le disque *e*, et le châssis en fer M.

De même, on place sur le disque du milieu M, trois autres couches de matières filtrantes dans l'ordre que nous venons d'indiquer; puis le croisillon en fer N, que l'on serre légèrement au moyen de la vis *h*, adaptée sur le couvercle de fermeture à jour *g g'*.

On forme ainsi un filtre double séparé au milieu par le châssis M, et dans lequel la filtration a lieu tout à la fois de haut en bas et de bas en haut, comme les flèches au trait l'indiquent.

L'eau qui filtre de haut en bas remonte dans la partie supérieure, au moyen d'un tuyau recourbé T, muni d'un robinet R, que l'on ouvre et ferme à volonté; elle s'écoule ensuite par le tuyau incliné U, dans le réservoir de décharge V.

Un robinet à air est fixé sur le pourtour de l'appareil, entre les deux filtres et au milieu de l'espace vide M. Un autre robinet est adapté au-dessous du premier faux-fond M. Les deux robinets servent, en outre, à vider les dépôts et les impuretés qui tombent entre les faux-fonds M et M'.

Avec un appareil de 1 mèt. car. garni comme nous le disons, on peut filtrer 1500 à 2000 hectolitres d'eau par jour, suivant la pression sous laquelle on opère ou bien encore suivant le plus ou le moins de degré d'impureté du liquide. Comme le brevet de M. Fonvielle est expiré depuis le 27 novembre 1845, M. Tard peut employer aussi, pour nettoyer son filtre, l'action brusque de deux courants d'eau opposés. Alors son filtre est devenu encore meilleur.

Nettoiement ancien des filtres-Tard. Le nettoiement journalier s'effectue tout simplement en ouvrant les robinets d'air et de dégorgement pour faire écouler le limon contenu dans la partie inférieure du filtre, entre les matières filtrantes et le fond du vase; puis on introduit une certaine quantité d'eau claire pour laver et détacher les matières terreuses. Le nettoiement général a lieu lorsque le filtre ne fournit plus de l'eau assez claire; l'opération consiste alors à enlever les matières, à les laver séparément et à les replacer dans l'ordre déjà indiqué.

Dans un filtre de 1 mètre de diamètre, le nettoiement n'a lieu qu'après qu'il a fourni 5000 à 6000 hectolitres, il peut se faire en 3 ou 4 heures au plus. Pour les filtres d'une moindre dimension l'opération peut s'effectuer en deux heures et même en une heure, lorsque l'opérateur est adroit.

Précautions à prendre pour préparer les matières filtrantes. M. Tard dit dans son instruction que les matières filtrantes doivent avoir une adhérence parfaite avec le cylindre; le moindre interstice existant, laissant un

passage au liquide, causerait une perturbation dans l'intérieur; et dès lors la clarification serait incomplète.

« *Préparation du dégrossisseur.* On coupe le chanvre à 8 centimètres environ de longueur; puis on le fait tremper dans l'eau pendant plusieurs jours; on renouvelle l'eau plusieurs fois; on le retire ensuite pour l'employer lorsqu'on reconnaît qu'il a perdu son odeur et sa couleur primitive; cette opération peut être hâtée en employant le chlorure de chaux ou l'acide sulfurique.

« Quand le chanvre est ainsi travaillé, on le met dans une eau nouvelle, d'où on le retire par poignées qu'on nomme *morues*, proportionnées à la grandeur de l'appareil. Ces morues sont mises toutes mouillées dans le filtre, en plaçant toujours la partie la plus épaisse sur la plus faible.

« *Préparation de la pâte.* La pâte préférable est celle qui n'a pas encore servi à la fabrication, c'est ce qu'on nomme du défilé de chiffons que l'on trouve dans toutes les fabriques de papier ou qu'on fait soi-même, en réduisant le chiffon en pâte en le laissant quelque temps dans une eau légèrement chlorurée.

« Cette pâte doit être mise dans l'eau, et lorsqu'elle est divisée au point d'être insaisissable, on l'égoutte dans un tamis pour la mélanger, avec du charbon végétal concassé en petits grains comme il sera dit plus bas; le charbon a pour but d'ouvrir ou de diviser les particules filtrantes de papier.

« Lorsque le chanvre, qui sert comme dégrossisseur, paraît devenir trop vieux pour cet usage, on peut facilement le convertir en pâte, en le faisant d'abord sécher, et le coupant ensuite à la longueur de 1 centimètre; alors, on le laisse séjourner quelque temps dans l'eau et l'on obtient un *défilé* excellent pour la composition du *filtreur*.

« *Préparation du filtreur.* Le point de départ est de 1/3 pâte sur 2/3 charbon de bois ou noir végétal; *mais celui-ci doit être* concassé de la grosseur d'une lentille; on en extraira la fine poussière au moyen d'un crible fin; et on jettera ensuite de l'eau dessus jusqu'à ce qu'elle en sorte claire.

« Si l'on veut avoir un filtreur moins dense et plus poreux, on augmente la quantité de charbon de bois.

« Au contraire, si l'on veut un filtreur plus dense et plus compact, on diminue la quantité de charbon et on augmente la quantité de pâte à papier. On resserre aussi les pores du papier, suivant la nature ou la difficulté du liquide à filtrer.

« *Montage extérieur de l'appareil.* Les matières filtrantes étant préparées, comme il est dit, et le filtre mis en communication avec le réservoir, ou la pompe, on place le faux-fond dans l'appareil et on met dessus une couche de 6 à 8 centimètres d'épaisseur de chanvre disposé en morues, ainsi qu'il a été dit plus haut.

« Sur cette première couche, on place un second faux-fond qu'on recouvre d'une autre couche de chanvre de même épaisseur; cette deuxième couche reçoit un nouveau faux-fond, ensuite le filtreur que l'on a coulé, après avoir bien remué le mélange avec une spatule.

« Quand le filtreur est à peu près égoutté, on l'égalise avec la main, ou au moyen d'une batte circulaire, afin de former une égale épaisseur partout et d'obtenir une adhérence parfaite de la pâte avec le cylindre. (On doit observer que le filtreur ne doit jamais excéder 4 centimètres d'épaisseur, quel que soit le diamètre de l'appareil). »

Si le liquide ne paraît pas suffisamment clair, on y ajoutera un peu de pâte pour augmenter la densité du mélange. Cette quantité ne peut être indiquée d'une manière bien précise; l'expérience et l'intelligence de l'ouvrier la lui indiqueront suffisamment.

Lorsque le filtreur est disposé, on le recouvre avec du chanvre ou un morceau de canevas bien dégorgé (pour empêcher quelques parcelles du filtreur de s'échapper), on place le dernier faux-fond, et le croisillon, puis on serre ensuite avec la vis dite *de fermeture*.

Il faut avoir le soin de serrer la vis légèrement, de manière à maintenir seulement les matières sans les comprimer trop fortement; cela se comprend, la bonne clarification n'ayant lieu que par l'état de porosité du filtreur, une compression trop forte aurait l'inconvénient de resserrer les matières et de ralentir la filtration sans aucun avantage pour la qualité.

Tels sont les renseignements publiés par l'inventeur lui-même, et nous les avons reproduits textuellement.

Il nous reste à donner quelques notions générales sur la nature, le choix et la *préparation* des principales matières filtrantes.

Des éponges. Il faut les choisir bien saines, d'un grain assez fin, régulier et serré. On les lave à plusieurs eaux, pour les débarrasser des matières terreuses et animales jusqu'à ce que la dernière eau s'écoule limpide.

Ensuite on les presse fortement dans un linge dont on tord les extrémités, en sens inverse, pour en extraire toute l'eau.

Si l'on conservait les éponges humides, elles prendraient sans aucun doute le goût de *moisi*, en séchant à l'air, et le communiqueraient ensuite à l'eau. Cet inconvénient se reproduit souvent dans la pratique de la filtration, lorsqu'on n'a pas le soin de tenir les éponges plongées dans la masse d'eau. Si cela arrive, on fait macérer les éponges pendant quelque temps dans l'eau renfermant un peu d'ammoniaque liquide; et on lave ensuite à plusieurs eaux. Quand les éponges sont amollies par l'usage, il faut les changer.

Des sables. On prend le plus ordinairement des sables siliceux exempts de matières calcaires, (ces derniers se reconnaissent aisément en versant sur les sables un acide étendu d'eau. Le bon vinaigre peut servir à cette épreuve; s'il y a effervescence, c'est-à-dire un petit bouillonnement, les sables contiennent des substances calcaires.

On passe les sables au travers un crible de fer ou de laiton à mailles de différentes grosseurs, pour obtenir des sables de différents grains; on rejette les sables trop fins et ceux qui n'ont pu passer à travers le crible.

Chaque espèce de sable ainsi criblée est recueillie et lavée séparément dans un crible à petites mailles, lequel est placé au-dessus d'un baquet en bois qui reçoit l'eau et les parties boueuses. Le lavage doit être prolongé jusqu'à ce que l'eau sorte très claire. On fait bien sécher les sables avant de s'en servir; quelques praticiens les emploient encore humides.

Des laines et des étoffes de laine. Les laines et les étoffes de laine doivent être parfaitement dégraissées, et blanchies au soufre. Pour enlever le mauvais goût du soufre, on peut les passer dans un bain de vapeur sèche, ou dans un bain contenant 3 à 4 pour 0/0 de sous-carbonate de soude, et les laver ensuite à plusieurs eaux. Quelques détracteurs de l'emploi de la laine ou de toute autre matière animale dans la filtration prétendent que ces agents entrent promptement en fermentation *putride par suite de l'impossibilité où l'on est d'en extraire complétement la matière grasse*; ils disent qu'en laissant l'eau un peu longtemps en contact avec la laine, elle entre en fermentation putride, ou contracte un goût de suint fort désagréable. Cela est possible; mais dans ce cas, cet inconvénient n'a lieu que par suite du mauvais choix de laine, de l'incurie ou de la négligence de l'opérateur qui n'a pas pris les soins convenables. Ne se sert-on pas d'ailleurs, depuis un temps immémorial, d'étoffes de laine pour filtrer les liquides chez les distillateurs, les confiseurs, les pharmaciens? et personne, que nous sachions, n'a songé encore à attribuer à ces étoffes la moindre influence pernicieuse

Tout le mal qui peut arriver provient d'un défaut de propreté, c'est-à-dire du défaut de lavage des étoffes.

Des grès. On prend le grès blanc et dont la cassure est très faiblement grenue. Ce grès est tantôt dur et solide, tantôt tellement friable qu'il s'égrène sous les doigts.

Le meilleur est le *grès-filtrant* des minéralogistes ; on le trouve principalement en France, en Bohême, le long des côtes du Mexique, près des îles Canaries ; on en trouve aussi en Espagne, près de Saint-Sébastien et de Gretoria.

On le pile dans des mortiers ; on le passe dans un crible à petites mailles pour obtenir un grain fin et régulier ; puis on pile de nouveau le grès qui n'a pu passer ; ensuite, on le lave et on le fait sécher.

De l'emploi du charbon. C'est Lowitz, comme nous l'avons déjà dit, qui a découvert la propriété du charbon d'enlever à l'eau la plus corrompue sa mauvaise odeur. Ce savant a indiqué, dès 1788, la méthode de préparer et d'employer ce produit, qui même aujourd'hui est encore le plus efficace, sinon le plus économique pour clarifier les eaux troubles qui tiennent des matières organiques en suspension et en décomposition. (Voir les *Annales de Crell*, tome II, année 1788, p. 36 et 131, et tome Ier, année 1791, p. 308, 398 et 494.) Sa méthode consiste simplement à ajouter à l'eau putride du charbon végétal grossièrement pilé et bien calciné, dans une proportion suffisante, à agiter et à filtrer au travers d'une chausse.

Quelques personnes ont prétendu que l'eau filtrée à travers le charbon a perdu une grande quantité de l'air qu'elle tenait en dissolution, et que, dès lors, elle est moins propre à être bue qu'une eau qui aurait passé par un simple filtre de sable. M. Barry a conseillé, dans ce cas, d'aérer l'eau de nouveau en l'élevant, au moyen d'une pompe, à une grande hauteur, et en la laissant retomber ensuite sous forme de pluie. Quoi qu'il en soit, les expériences nombreuses, faites par diverses commissions de savants, ont prouvé rigoureusement que l'eau filtrée au charbon est très bonne à boire.

FILTRATION DES VINS, DU CIDRE, DE LA BIÈRE, DU VINAIGRE.

On ne filtre point généralement les vins de France au moyen d'appareils, on les clarifie seulement par le repos ; puis, on les débarrasse de tous les principes en suspension, au moyen d'une opération qu'on nomme *collage à l'albumine* (voyez ALBUMINE). On retire ensuite le vin clair de dessus la lie, au moyen d'un syphon ou d'une pompe aspirante et foulante ; cette opération s'appelle *tirer au clair*, *soutirer*, *transvaser* le vin. Quelquefois on filtre à travers un filtre de papier, placé au fond d'un entonnoir de verre ou de métal. Dans ce cas, le filtre de M. Tard peut offrir des avantages ; seulement, on remplace en grande partie le chanvre par de la sciure de bois de hêtre, mélangée par tiers ou moitié, suivant la subtilité du résidu, avec du noir végétal, préparé convenablement pour ne point altérer la couleur du vin.

M. Tard fait observer que les matières filtrantes qui ont servi aux vins rouges, ne peuvent être employées pour la clarification des lies de vins blancs ; il faut nécessairement en employer d'autres.

Le cidre, la bière et le vinaigre, se clarifient comme les vins, c'est-à-dire par le repos et en les tirant au clair. La mère du vinaigre est filtrée à travers une chausse, ou mieux à travers une couche un peu épaisse de poussier de charbon (voyez acide ACÉTIQUE).

Filtration des huiles végétales. Cette opération a pour but de faciliter la dépuration ou le dépôt de la matière extra-mucilagineuse et colorée qui troublent leur transparence, et les dispose à la détérioration (voyez HUILES).

Dans les départements du nord de la France, on se sert encore d'un tonneau ouvert par le haut, portant un robinet vertical à la partie inférieure, et un deuxième robinet adapté sur les douves et le plus près possible du fond.

On met sur le fond du tonneau une grosse tresse de paille bien serrée, s'adaptant exactement avec les parois intérieures, et par dessus on place un double fond en tôle, percé de trous, de cinq millimètres de diamètre environ ; sur le pourtour de ce double fond, on soude ou rive un cercle de fer plat troué de distance en distance, et sur lequel on tend et on coud une flanelle croisée très forte, que l'on replie en dessous

Au-dessus du faux-fond, on met : 1° une couche très serrée d'épis de blé battus et dépouillés de leurs grains, à la hauteur de 8 centimètres ; 2° une couche de charbon pilé fin de 25 millimètres ; 3° une seconde couche de charbon pilé plus gros ; 4° enfin, une troisième, une quatrième et une cinquième couche, en augmentant toujours la grosseur du charbon de manière à former une épaisseur totale de 15 à 20 centimètres.

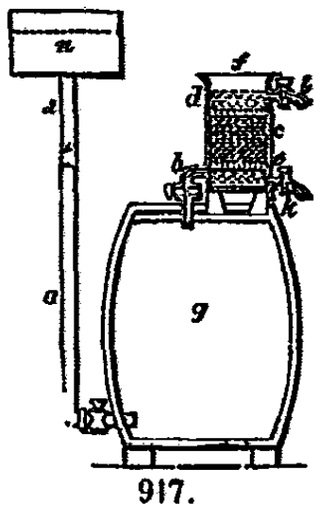
On place ensuite un second faux-fond en bois percé de trous, de la grosseur de 5 millimètres, faux-fond que l'on fixe avec des vis de pression.

Après que l'huile qui est en tonneau a reposé le temps nécessaire pour opérer le dépôt des matières les plus lourdes, on la soutire au moyen d'une pompe, et on la verse ensuite sur le filtre de bas en haut ; mais on a soin auparavant d'ouvrir le robinet d'en bas, pour donner une issue à l'air d'abord, et ensuite à l'huile, qui se filtre en traversant les couches de charbon et de paille, et tombe dans un tonneau placé au-dessous.

Pour les huiles comestibles d'œillette et de faîne qui sont très difficiles à clarifier, quelques épurateurs adaptent sous le robinet d'en bas une chausse en feutre, cousue sur un cercle afin de la tenir ouverte et de lui donner plus de force.

En Angleterre, on emploie depuis longtemps le mode de filtration des huiles, par ascension, et par la pression de l'eau.

La fig. 917 représente un appareil de ce genre, qui a été publié à tort, comme étant l'œuvre de M. Collier (voir le *Manuel du fabricant d'huile, par M. Julia de Fontenelle*). *g*, baril d'huile, au fond duquel se déposent les matières les plus impures, *a*, tube métallique qui communique avec un réservoir d'eau *n*, plus élevé que le tonneau *g*. *f*, filtre en métal adapté à vis sur le fond supérieur du tonneau et garni intérieurement de deux faux-fonds *e* et *d*, qui le partagent en trois parties. *b*, tuyau de métal muni d'un robinet ; ce tuyau est vissé solidement sur le dessus du tonneau *g*, et sur le filtre *f*, au-dessous du faux-fond *e* ; il sert ainsi à établir la communication entre les deux vases. L'espace compris entre les faux-fonds *e* et *d*, est rempli avec du charbon grossièrement pulvérisé.



917.

l, robinet d'écoulement de l'huile filtrée ; *k*, robinet de décharge pour faire évacuer les saletés qui se déposent au-dessous du faux-fond *e*.

Pour opérer la filtration, on ouvre les robinets des tubes *a* et *b*, et on ferme le robinet *k* ; alors, l'eau contenue dans le réservoir *n*, s'écoule par le tuyau *a*, et se rend dans la partie inférieure du tonneau *g*. En vertu de sa densité, elle presse l'huile de bas en haut et la force à s'élever par le tuyau *b*. L'huile traverse le filtre de bas en haut, et s'échappe ensuite toute clarifiée par le tuyau *l*.

Lorsque le filtre est encrassé, on le nettoie en versant beaucoup d'eau bouillante dessus, et en ouvrant le robinet de décharge *k* pour laisser échapper les impuretés; puis on enlève les corps qui sont restés dans la partie supérieure *d* au moyen d'une éponge.

Cela fait, on dévisse le filtre et on l'expose au feu jusqu'à ce qu'il soit rouge et qu'il n'en sorte plus de fumée. Par ce moyen on brûle et on calcine tout à la fois le charbon et la matière mucilagineuse qu'il retient, et le charbon reprend par suite sa propriété dépurative.

Suivant M. Julia de Fontenelle, les filtres les plus employés sont des cuviers dont le fond est percé de trous coniques dans lesquels on passe avec précaution du coton. Quelquefois on recouvre le fond de ces filtres d'une couche de tourteau d'œillette en poudre; quand le tourteau se salit, on le change.

On emploie aussi des lits alternatifs de paille et de charbon ou de paille et de tourteau; mais ces filtres s'engorgent très promptement, et exigent nécessairement des nettoyages fréquents qui occasionnent des déchets et des pertes de temps.

MM. Grouvelle et Jaunez ont imaginé un appareil en fer-blanc dans lequel ils emploient une couche de mousse de 5 centimètres d'épaisseur légèrement tassée, recouverte d'une couche de 15 à 20 millimètres de tourteau. Ils ont essayé, dit-on, de filtrer soit par la haute pression de l'huile dans des vases en fonte de fer fermés, soit avec des pompes foulantes, armées de soupapes de sûreté qui renvoyaient l'excès d'huile dans le réservoir et régularisaient la pression, mais il paraît que les praticiens n'ont point adopté cet appareil, parce qu'il est difficile à nettoyer.

Le filtre de M. Tard est employé avec succès par plusieurs épurateurs pour clarifier les huiles de noix, de colza, et certaines huiles animales; cependant les huiles d'œillette, de chenevis, etc., et généralement les huiles épaisses qui obstruent les filtres, offrent encore des difficultés à être filtrées par ce système. L'inventeur explique cela, parce qu'il faut resserrer fortement les matières filtrantes pour que l'huile trop fluide ne puisse le traverser trop facilement; voici, du reste, la manière d'opérer :

Préparation des matières. Le dégrossisseur se compose de 1/4 de pâte à papier sur 3/4 de sciure de hêtre, mélangés ensemble. Ce mélange, mis dans neuf fois son volume d'eau, est coulé dans un moule de 2 à 3 centimètres plus grand que l'appareil; lorsque l'eau est égouttée, on égalise avec une batte circulaire, et on fait sécher.

Du filtreur. Le filtreur se compose de 1/4 de pâte sur 3/4 de noir végétal ou charbon de bois; on le prépare et on le sèche de la même manière que le filtreur.

Du montage de l'appareil. Si les diamètres du filtreur et du dégrossisseur sont trop grands, on se sert d'une râpe à *pain* pour les réduire au diamètre convenable, en observant toutefois qu'ils doivent entrer avec force, afin qu'il y ait adhérence parfaite avec le cylindre; s'il y avait quelques interstices, on les remplit de chanvre ou de coton. Comme première couche de dégrossisseur, on met environ 10 à 12 centimètres de sciure de hêtre ou de tremble pour les huiles à bouche, et de sapin pour celles à brûler. La seconde couche est le dégrossisseur composé de pâte et de sciure, et enfin le filtreur. Il faut avoir soin de placer dessous et au-dessus des matières un canevas ou rond de flanelle, pour qu'elles ne puissent s'échapper dans l'opération.

Après la filtration, et lorsqu'on doit changer les matières, on met celles-ci dans l'eau tiède pour en extraire le peu d'huile qu'elles contiennent, et après les avoir lavées convenablement, on peut s'en servir à nouveau. Nous ferons cependant remarquer que ces matières ne peuvent servir que pour épurer des huiles de même nature et de même qualité.

FILTRATION.

Filtration de l'huile d'olive pour l'horlogerie, par M. Laresche. La filtration se fait d'abord dans un tamis de crin et ensuite sur un filtre de papier gris, garni intérieurement d'une couche de coton assez épaisse, que l'on maintient contre le papier avec trois ou quatre petits cercles bien minces. La filtration doit se faire dans un lieu frais et hors du contact de l'air, en plaçant les filtres sous des cloches de verre; ensuite l'huile est mise dans des bouteilles soigneusement bouchées, qu'on place à la cave, en les couchant. L'auteur propose de ne procéder à la dernière filtration qu'après un mois de repos de l'huile dans les grandes bouteilles qui la contiennent. Cette huile n'étant pas encore assez fluide, il a imaginé de la faire passer à travers des filtres de bois de tilleul. Pour cet effet, il fait débiter en petits billots de 19 centimètres de haut sur 11 de diamètre, du bois de tilleul vieux et bien sain; il expose ces billots à l'air pendant plus d'un mois; il prend ceux qui ne sont pas fendus, en fait faire au tour des gobelets coniques, et bouche avec de la cire à cacheter les défauts, s'il s'en trouve; puis, les place dans ses filtres de verre : il faut ordinairement 60 à 64 heures pour qu'un demi-kilogramme d'huile passe. Ce moyen est coûteux, en ce que chaque filtre ne peut servir qu'une seule fois. Le résidu qu'on trouve au fond des gobelets est peu considérable et ressemble parfaitement à de l'huile légèrement coagulée. Toute l'opération doit être faite sous verre.

Les fioles dans lesquelles on met l'huile, après la dernière filtration, doivent être très propres et bien sèches; on aura soin de les boucher à mesure qu'on les remplira, de les coiffer avec du parchemin amolli à l'eau, et de les conserver dans un lieu frais (*Bulletin de la Société d'encouragement*, tom. XXVII, p. 64).

Filtration des liqueurs et des sirops. Les liqueurs préparées par la fermentation se clarifient d'elles-mêmes, c'est-à-dire par le repos. Quant aux autres, on n'a pas encore trouvé de meilleur moyen, pour les avoir limpides, que de les filtrer. On emploie le plus généralement une chausse en tissu de laine ou de coton croisé, un filtre de papier joseph sans colle, ou un entonnoir de verre ou de métal, que l'on remplit à moitié de coton cardé, de laine tontisse ou de pâte à papier *très blanche*.

Les plus habiles liquoristes se servent de la chausse en tissu de laine, qu'ils garnissent intérieurement de pâte à papier. A défaut de cette matière, on prend du papier blanc sans colle, que l'on broie avec la liqueur elle-même pour en former une pâte très liquide; on ajoute ensuite la quantité de liqueur, suffisante pour remplir la chausse, on agite le mélange avec un bâton, et on le verse aussitôt. Dans cette opération, la pâte à papier s'attache fortement aux parois de la chausse; elle forme un filtre qui donne les meilleurs résultats et les produits les plus soutenus, si l'on choisit toutefois une chausse d'un tissu convenable. Par exemple, si le tissu est trop serré, une liqueur très chargée de sucre ne passera pas, ou bien elle passera si lentement que le principe spiritueux et aromatique pourra s'évaporer en partie. Si le tissu est trop lâche, le liquide très fluide passera sans être clair et limpide. Pour bien faire, il faut avoir plusieurs chausses d'étoffes de laine, plus ou moins serrées, selon la densité ou la viscosité de la liqueur. Au reste, le procédé de la chausse en laine est toujours plus expéditif que le coton cardé ou le filtre en papier seul, parce que la filtration s'opère à travers un corps plus ou moins poreux, à volonté, moins prompt à s'encrasser, et surtout sur une surface bien plus étendue. Le filtre en papier, du reste, est difficile à manier, et très sujet à se rompre.

Lorsqu'on veut se servir d'une chausse, surtout si elle est neuve, il faut la plonger d'abord dans un sirop chaud ou dans la liqueur froide, pareille à celle que l'on veut filtrer, afin de resserrer ou de boucher les pores du tissu. La chausse étant imbibée de liqueur, on la place

dans un entonnoir de verre, de cuivre, ou d'étain, beaucoup plus grand, et on la suspend sur un cercle en fer, lequel est fixé à un support en bois ou le long de la muraille du laboratoire ; on la remplit de pâte à papier, mélangée avec la liqueur à filtrer, et on laisse reposer le mélange pendant un certain temps, en ayant soin de placer un vase convenable sous l'entonnoir. Bientôt la liqueur suinte à travers les mailles du tissu et descend lentement jusque vers la pointe de la chausse, où elle forme un filet mince qui s'écoule dans le vase placé au dessous. Si ce filet ne coule pas avec continuité, le tissu étant trop serré, eu égard à la consistance de la liqueur, celle-ci n'en sera, il est vrai, que mieux filtrée, mais l'opération sera fort longue; elle pourra même s'arrêter avant que la chausse ne soit vide. Si, au contraire, le filet est trop abondant, ce sera une preuve que le tissu est trop lâche, et la liqueur ne s'éclaircira qu'imparfaitement.

Si la liqueur, bien que filtrant à travers une étoffe convenable, paraît louche au premier abord, on attendra qu'elle coule parfaitement claire, pour reverser dans la chausse ce qui aura passé en premier lieu. Cela fait, on couvrira l'appareil, et on n'aura plus à s'en occuper, si ce n'est pour le remplir quand il sera vide, et changer le récipient quand celui-ci sera plein.

La quantité de liqueur que peut filtrer en une journée une chausse de capacité connue, est subordonnée non seulement à la qualité de son tissu, mais encore à la consistance de la liqueur, à sa température, à celle de l'atmosphère, et à une foule de circonstances imprévues : cette opération est généralement longue.

Quelquefois même la filtration ne suffit pas pour obtenir la parfaite clarification des liqueurs; il en est plusieurs auxquelles on est obligé d'ajouter diverses substances propres à séparer et à précipiter les matières qui en troublent la transparence, ou à les envelopper, pour les retenir, tandis que la liqueur passe à travers les pores du filtre. Quelques personnes emploient la pâte d'amande, d'après les conseils de M. Demachy, mais cette dernière matière absorbe en pure perte une portion considérable de liqueur, et ne remplit qu'imparfaitement le but proposé. Le collage au blanc ou à la colle de poisson, est préférable à tous les autres moyens.

Nous avons dit plus haut qu'on mettait la chausse dans un entonnoir de verre, et qu'on la couvrait ensuite. Cette précaution est nécessaire, afin d'éviter l'évaporation plus ou moins abondante des principes alcooliques ou aromatiques, surtout si la liqueur est chaude. Si la chausse n'était pas couverte, l'air absorberait une certaine portion de l'humidité, à mesure que la liqueur passerait; la partie sirupeuse s'épaissirait et se déposerait sur la surface extérieure de la chausse, où elle formerait un enduit qui finirait par obstruer les pores, en sorte que, d'une part, les principes les plus volatils s'évaporeraient, et que de l'autre, la filtration s'arrêterait tout à fait si la liqueur était très épaisse, ou que la chausse travaillât depuis longtemps.

Quand l'opération de la filtration est finie, on rince la chausse à grande eau, on la presse entre les mains, sans la tordre, après l'avoir retournée, pour en faire sortir tout le sirop et les impuretés dont elle est imprégnée, et on la fait sécher promptement. On ne doit jamais savonner ni lessiver les chausses, dans la crainte de leur faire prendre un mauvais goût.

Il ne faut pas croire, toutefois, que la filtration ait seulement pour effet d'éclaircir les liqueurs; elle modifie aussi, d'une manière très sensible, leur qualité; soit en bien, soit en mal, selon la manière dont elle a été faite, sans parler des qualités particulières qu'elles peuvent en outre emprunter des substances auxiliaires que l'on ajoute quelquefois pour les clarifier.

On sentira aisément la raison de ces changements, si on se rappelle, d'une part, que la filtration dissipe une portion des principes les plus volatils et si, d'autre part, on réfléchit aux rapprochements plus immédiats aux combinaisons plus intimes qui doivent s'opérer entre les divers éléments de la liqueur, en passant à travers cette multitude de filières qui les forcent à se diviser, à se subdiviser, à se rapprocher et à se mêler, pour ne former qu'un tout homogène.

Aussi, lorsque l'on examine la liqueur attentivement avant et après la filtration, on est quelquefois tout étonné des différences que l'effet seul de cette opération a fait naître dans la saveur, dans le parfum et dans la nuance. Par ce motif, il convient donc de ne filtrer une liqueur que lorsque la confection est terminée, et d'attendre même que quelques jours de digestion lui aient donné ce degré de perfection qu'elle n'a jamais au moment du mélange. Il convient en outre de filtrer la liqueur à froid, et de ne point la laisser exposée à l'air.

On peut aussi filtrer les sirops à travers la chausse, au moyen du charbon pilé et d'autres matières (voyez SUCRE), mais les cuisiniers, les confiseurs et les pharmaciens préfèrent deux autres méthodes, pour les grandes filtrations, soit en attachant des étoffes de toile ou de laine sur les ouvertures des vaisseaux convenables, soit en les fixant et les tendant lâchement sur un châssis, appelé *carrelet*, garni de pointes, et faisant les fonctions de cercle de tamis

FILTRATION DES PRODUITS CHIMIQUES

En chimie et en pharmacie, on distingue deux modes de filtration : premièrement, la filtration dans laquelle le liquide seul est la partie utile comme cela arrive, par exemple, dans les décoctions ou infusions végétales; secondement, la filtration dans laquelle le liquide est inutile, et sert, le plus souvent, comme dissolvant, soit pour opérer le lavage des corps solides, soit pour faciliter la séparation des substances principales connues sous le nom de *précipités*.

Les instruments qui servent à la filtration sont très nombreux. Les principaux sont :

1° Le carrelet, châssis monté sur un pied, garni de pointes auxquelles on accroche les bords d'une toile d'un tissu très serré, et croisé. Il sert pour opérer les grandes filtrations. Pour les infusions, les décoctions, les potions purgatives ou médecines, les émulsions qui ne sont troublées que par des particules fort grossières, on se sert d'une étoffe de laine appelée *étamine*.

2° La chausse en laine pour filtrer les sirops et liqueurs analogues ;

3° Le syphon pour décanter, et la pipette pour *amorcer* ou aspirer les dernières gouttes du liquide que l'on n'a pu décanter.

4° Le verre conique à pied, d'où l'on décante un liquide pour le séparer du dépôt rassemblé au fond du verre. On applique le bord de ce verre, en l'inclinant, contre une baguette de verre verticale qui sert à diriger l'objet du liquide dans un vase placé au-dessous.

5° La passoire conique en métal et le tamis pour passer les infusions ou décoctions de matières grossières.

6° Les filtres en papier joseph non collé, pour les analyses délicates, et les filtrations d'une faible quantité de liquide.

7° L'entonnoir en verre, que l'on garnit à volonté de coton cardé, de chanvre filé, de laine, de sable lavé, de charbon de bois concassé, ou de verre pilé, pour liqueurs acides.

8° Les appareils clos de MM. Donavan et Riouffe pour filtrer à l'abri du contact de l'air.

Manière de filtrer sur le carrelet. On commence par mouiller la toile, afin de gonfler les fibres et de resserrer le tissu ; on verse, de suite, une grande quantité de liquide à filtrer, que l'on maintient toujours à la même hauteur, pour avoir la même pression, et, par consé-

quent, le même écoulement de liquide. Par ce moyen, les matières les plus grossières, tenues en suspension, se déposent d'abord sur les mailles et les bouchent; ensuite, les particules plus fines et plus fluides ne peuvent plus passer; le liquide passe alors clair, et s'écoule dans un vase placé au-dessous. Il peut arriver, cependant, que le liquide passe trouble en commençant; dans ce cas, on change le vase qui reçoit le liquide, et on verse de nouveau celui-ci sur le filtre. Cet accident se présente encore quand la couche de liquide est peu épaisse, et qu'on verse dessus avec trop de force et de précipitation; alors le liquide se soulève et détache les particules grossières qui couvraient les pores du filtre, et les molécules les plus fluides passent, sans obstacle, à travers le tissu.

Il faut toujours tenir le filtre plein, afin d'avoir un écoulement parfait et rapide. Si on ne prenait pas cette précaution, les impuretés qui sont agrégées superficiellement sur les parois du filtre, pourraient s'affaisser davantage, se concréter par la dessiccation, et s'opposer ainsi à l'imbibition de la toile.

Souvent aussi, l'agitation et le mouvement de vibration activent singulièrement la filtration; on conçoit que l'agitation remue et déplace les molécules ténues et agglomérées qui obstruent les pores du filtre

Manière de faire les filtres en papier. On les fait avec du papier non collé. Pour les liqueurs acides, on a la précaution de laver les filtres avec de l'acide hydrochlorique affaibli, afin de leur enlever la petite quantité de carbonate de chaux et d'oxydes métalliques qu'ils contiennent; autrement, ces corps viendraient s'ajouter à ceux déjà dissous, et modifieraient les résultats de l'analyse Pour faire un filtre de papier, on coupe une feuille en carré de la grandeur voulue, on la plie d'abord en forme de fichu; puis on la replie sur elle-même, de manière à faire coïncider les angles. Ensuite on forme, en partant du centre, une série de plis alternatifs, disposés comme ceux d'un éventail, que l'on presse entre les doigts. On coupe ensuite les pointes du papier avec une paire de ciseaux. On fait les plis multipliés, et petits, afin de ménager des espaces entre le filtre et l'entonnoir qui le soutient; et le filtre fournit davantage. Si les plis sont trop larges, ils ne peuvent soutenir le poids du liquide; ils s'affaissent et s'appliquent en partie contre les parties de l'entonnoir; et le liquide ne filtre plus sur ce point.

Dans les analyses, on emploie de préférence des filtres coniques dits *filtres plats*, qui s'appliquent sur toute la circonférence de l'entonnoir, renferment sous le même volume le maximum de matière, et qui sont bien plus faciles à laver.

Choix de l'entonnoir. Le diamètre de l'entonnoir doit être à peu près des trois quarts de sa hauteur, mesurée depuis le bord jusqu'à la naissance de la douille; si l'entonnoir a plus d'ouverture, les parois, par conséquent, sont moins inclinées, et le liquide s'écoulera plus lentement.

On verse le liquide sur les bords du filtre avec précaution, et pour ainsi dire goutte à goutte, dans la crainte de déchirer le papier. Quand la filtration est terminée, on enlève le filtre en papier, en roulant la douille de l'entonnoir dans les mains, et en donnant une légère secousse pour le détacher. On pose ensuite l'ouverture de l'entonnoir sur plusieurs doubles de papier non collés et on l'enlève brusquement. Le filtre sèche ainsi en restant quelque temps sur les doubles de papier qu'on renouvelle au besoin. Lorsqu'il est bien sec, on l'étend sur une feuille de papier, et on enlève les résidus avec une lame de bois.

Les acides forts, les liqueurs acides qui peuvent ronger le papier, les liquides alcalins sont filtrés à travers une couche de verre bien pilé et lavé, de sable siliceux qui ne contient aucune partie soluble ou calcaire, ou de charbon concassé. L'on place ces matières au fond d'un entonnoir de verre, en commençant par mettre les particules les plus grosses, et par dessus les particules les plus fines.

En 1825, M. Donavan a employé avec succès un appareil pour filtrer des solutions d'alcali caustique qui, comme chacun le sait, doivent être filtrées à l'abri du contact de l'air. Il consiste en deux vaisseaux de verre, dont le supérieur a un col garni d'un bouchon de liége fin, bien ajusté, et perforé, pour admettre l'une des extrémités d'un tube; la partie inférieure de ce vaisseau se termine en un tube d'entonnoir, lequel s'ajuste dans l'orifice du vaisseau inférieur, soit à frottement, soit au moyen d'un lut ou d'un bouchon de liége percé. Le vaisseau inférieur a aussi un autre col ou tubulure qui reçoit l'autre extrémité du tube. La jonction en est assurée par un bouchon de liége percé ou par du lut.

La gorge du tuyau de l'entonnoir est fermée par une sorte de bouchon en toile commune *lâchement* roulée. Il faut éviter que ce bouchon presse les parois du tube de l'entonnoir. Le tube de jonction étant enlevé, on introduit la solution dans l'orifice supérieur du vaisseau inférieur; on laisse perdre les premières gouttes, puis on réunit toutes les parties de l'appareil. La filtration peut se continuer sans qu'il y ait possibilité d'absorption d'acide carbonique par l'alcali.

Le mode d'action de cet ingénieux appareil est trop facile à saisir pour exiger aucune explication, M. Donavan observe que les vaisseaux de verre vert doivent être préférés à ceux de verre blanc, le premier étant beaucoup moins attaquable que l'autre par les alcalis fixes.

Cet appareil est utile pour la filtration des liquides auxquels l'accès de l'acide carbonique, ou l'humidité de l'atmosphère seraient nuisibles, de même que pour la filtration des substances volatiles, comme l'alcool, les éthers, les fluides ammoniacaux, etc. Si l'on substitue au tampon de toile, du verre grossièrement pulvérisé ou du sable, on pourra l'employer à filtrer des acides corrosifs qui s'affaibliraient par l'absorption de l'eau atmosphérique (*Journal de pharmacie*, tom. XI, page 549).

L'appareil de Donavan a été perfectionné depuis par M. Riouffe, pharmacien, auquel on doit un autre appareil pour filtrer les liquides volatils (voir le *Journal de pharmacie*, tom. XII, page 42).

L'extracteur de M. Payen, que nous avons décrit figure 824, peut aussi servir avec avantage pour filtrer, soit les acides corrosifs et les alcalis caustiques, soit les matières volatiles et les précipités de diverses natures.

Outre les différentes manières de filtrer que nous avons décrites, et qui sont les plus usitées, il y a encore une infinité de procédés dont on se sert pour filtrer les matières solides ou concrètes, par exemple, les résines, les baumes, les sucres, le salpêtre, etc.; mais, comme nous n'avons eu pour objet que la filtration des liquides, et la séparation des matières qui troublent leur transparence, nous ne donnerons point ici la description de ces divers appareils, et nous renvoyons pour les connaître aux articles spéciaux. ROUGET DE LISLE.

FLAMME. La combinaison des gaz ou vapeurs combustibles avec l'oxygène se produit ordinairement avec lumière, lorsqu'elle a lieu à une température au-dessus du rouge; on dit alors qu'ils brûlent avec *flamme*; on dit, au contraire, qu'un corps solide en combustion est incandescent. Certains corps autres que ceux précités se combinent aussi entre eux avec dégagement de lumière, le chlore gazeux et l'antimoine métallique réduit en poudre fine, par exemple, mais ces cas sont assez rares

La combustion des gaz ne produit qu'une lumière très faible et ordinairement bleuâtre, tels sont, par exemple, l'hydrogène pur et l'oxyde de carbone, mais, lorsqu'on plonge dans la flamme un corps solide, un fil métallique,

ce dernier prend de suite un éclat très vif; il en est de même, si l'on y jette de la limaille de zinc qui se transforme en oxyde blanc fixe qui devient d'un bleu très éclatant, et est très employé pour cette cause dans les *feux d'*ARTIFICE, pour former des gerbes brillantes. Les hydro-carbures et la plupart des gaz ou vapeurs combustibles employés dans l'éclairage, se décomposent par l'action de la chaleur développée par la combustion, et donnent lieu à un dépôt de carbone très divisé ou de noir de fumée, qui donne à la flamme un éclat d'un blanc très vif; ce carbone en brûlant à la surface extérieure de la flamme, produit une flamme bleuâtre à peine visible; enfin, si l'affluence de l'air extérieur n'est pas suffisante, une partie du charbon échappe à la combustion et la flamme fume. On distingue donc dans toute flamme, celle d'une bougie par exemple, la partie intérieure obscure et formée par les vapeurs combustibles non, ou seulement en partie, décomposées en charbon et en gaz combustibles; la couche moyenne, d'un blanc éclatant, composée de gaz combustibles tenant en suspension du carbone très divisé; et l'enveloppe extérieure bleuâtre où s'opère la combustion proprement dite. Il en résulte que si l'on plonge un corps froid dans la flamme, il se déposera dessus du noir de fumée.

Les gaz et vapeurs combustibles ne s'enflamment qu'à une température rouge; d'un autre côté, une toile métallique, d'un tissu plus ou moins serré, suivant la nature du gaz ou de la vapeur, refroidit assez la flamme, tant que la température ne s'élève pas à un certain degré, pour l'empêcher de se propager d'une surface à l'autre, quoique cependant le gaz ou la vapeur la traversent. Ces propriétés remarquables observées par le célèbre Davy, l'ont conduit à la découverte de la LAMPE DE SURETÉ qui porte son nom, et qui est destinée à prévenir les accidents si graves et malheureusement si fréquents, qui proviennent de l'inflammation du gaz hydrogène carboné, qui se rencontre dans les mines de houille: d'après ce que nous avons dit précédemment, comme une toile métallique à mailles suffisamment serrées peut empêcher la combustion d'une vapeur ou d'un gaz de se propager de l'une de ses surfaces à l'autre, on conçoit qu'en enveloppant d'une toile convenable la flamme d'une lampe, les gaz combustibles qui y pénètrent peuvent brûler dans l'intérieur du réservoir métallique, mais la combustion n'est pas susceptible de se propager au dehors, si ce n'est dans le cas où la toile rougirait en quelques points, car elle n'empêche cette transmission qu'en refroidissant la flamme au-dessous du point où la vapeur peut s'enflammer.

FLANELLE. Étoffe légère, à tissu simple ou croisé, fabriquée avec du fil de laine peignée ou cardée, d'un numéro assez fin. Il y a trois sortes de flanelle, suivant qu'on les fabrique avec des peignés, des cardés, ou des peignés et des cardés à la fois. La première est rase, très légère et sans apprêt; on l'emploie à faire des jupons, doublures, etc. Celle en cardé est plus garnie, plus chaude, plus absorbante; on a remarqué qu'elle est moins sujette que la précédente à se retirer et à se feutrer au lavage; elle sert plus particulièrement à faire les gilets. La flanelle faite en chaîne peignée et en trame cardée tient le milieu entre les deux autres espèces.

FLÉAU. Instrument dont on se sert pour battre le blé à force de bras. Il est composé de deux bâtons attachés l'un au bout de l'autre avec des courroies. Le manche que tient le batteur est ordinairement le plus long; l'autre est le fléau proprement dit. Un fléau court, avec un long manche, assène un coup plus fort: c'est le plus usité. Les courroies qui unissent les deux pièces doivent être tressées les unes dans les autres, de manière à ce que le fléau puisse tourner facilement quand le batteur le relève après avoir frappé le coup. Au lieu de cuir, on se sert avec avantage de nerfs de bœuf ramollis dans l'eau au moment où on les emploie. Dans certaines contrées, on emploie des peaux d'anguille pour le même usage.

FLEURET. Sorte d'épée à lame rectangulaire qui sert à démontrer l'escrime. La soie et le haut de la lame du fleuret sont en fer; à partir de la marque, le reste de la lame est en acier cémenté et corroyé; la pointe se termine par un mamelon arrondi sur lequel est rivé le *bouton*, petit disque en fer, que l'on entoure de plusieurs épaisseurs de peau jaune pour amortir la force du coup. L'acier employé pour la lame n'est pas de première qualité; c'est par une trempe très bien faite et qui demande beaucoup d'habitude qu'on parvient à obtenir de bonnes lames. La poignée est en fer. Les lames de fleuret doivent présenter une grande élasticité, et une dureté suffisante pour que les parties anguleuses ne soient point promptement détériorées et pour que le brillant du poli se conserve longtemps. On essaie une lame en la faisant ployer; après la flexion, elle doit redevenir parfaitement droite. La flexion ne doit point avoir lieu également dans toutes les parties de la lame; c'est surtout près du bouton qu'elle doit se faire remarquer; elle doit se faire sentir jusqu'à 1/4 de la lame à partir de la poignée; le dernier quart ne doit point fléchir; si cela a lieu, c'est que la lame est trop faible, ou que le fleuret est mal emmanché. Tous les fleurets sont marqués *Solingen*, mais on les fabrique à *Klingenthal* et à *Saint-Étienne*. Il y a deux sortes de fleurets: les uns à lames plus flexibles, plus menues, dits *fleurets de leçon*, coûtent 9 fr. la douzaine de lames; les autres, dits *fleurets d'assaut*, sont plus carrés dans leur coupe, ont la lame plus grosse, sont moins flexibles, et coûtent 10 fr. la douzaine de lames; les poignées s'achètent à part.

Pour les outils dits *fleurets*, qui servent à percer les trous de mine, voyez MINES.

FLEURS ARTIFICIELLES (*fabrication des*). On emploie des matières très variées pour la confection des fleurs artificielles: des rubans taillés, frisés et plissés, des plumes d'oiseau très délicates et de mille nuances de couleurs, des cocons de ver à soie teints, des coquilles, de la cire, des fanons de baleine taillés en feuilles légères, blanchies, puis revêtues de brillantes couleurs, enfin des émaux; telles sont les matières que l'art de nos fabricants emploie pour imiter les fleurs et les feuilles avec une perfection difficile à surpasser.

On se sert principalement, en France, de la batiste la plus fine et la plus belle pour les pétales, et de taffetas de Florence pour les feuilles; nous prendrons pour exemple la fabrication d'une rose, ce qui suffira pour faire comprendre comment on peut imiter les autres fleurs.

On découpe d'abord les pétales à l'emporte-pièce, dont on doit avoir un assortiment de grandeurs différentes, parce que, dans la même rose, tous les pétales ne sont pas égaux. Lorsque les pétales sont ainsi découpés, on prépare la teinture, qui se compose de carmin délayé dans une eau alcaline. On prend le pétale avec des brucelles par son extrémité qui est en pointe; on le plonge alors dans de l'eau pure, afin d'avoir une teinte bien égale et tendre comme elle est ordinairement sur les bords; on termine avec le pinceau, vers le milieu, qui est toujours plus foncé. On panache au pinceau, lorsque cela est nécessaire. Vers l'onglet du pétale, qui est blanc, on verse une goutte d'eau, ce qui délaie la couleur et la fait venir en mourant. On se sert d'une couleur faible et, lorsqu'elle est sèche, on trempe de nouveau les pétales dont la couleur est trop pâle, jusqu'à ce qu'on ait atteint la nuance désirée. Pour imiter quelques accidents qu'on remarque souvent dans les roses, on les peint avec le pinceau.

Le taffetas qui sert à faire les feuilles est teint en pièces, de la couleur convenable à l'objet qu'on se propose d'imiter. On étend l'étoffe mouillée sur un grand châssis, au moyen de ficelles qu'on coud sur le bord et

on l'y laisse sécher. Alors, avec de la gomme arabique très légère, on lui donne d'un côté le brillant que doivent avoir les feuilles. On donne le velouté en dessous avec un pinceau trempé dans une eau d'amidon colorée suivant la nuance que l'on désire. L'art consiste à saisir le degré de consistance de l'amidon, et à l'appliquer de manière qu'il ne durcisse pas trop, qu'il ne soit pas lisse, enfin qu'il veloute bien. On imite encore bien mieux le velouté des feuilles, lorsqu'il doit être très prononcé, avec de la tonture de drap réduite en poussière fine et teinte de couleur convenable. On passe avec le pinceau de la gomme légère, et, lorsqu'elle commence à sécher, on saupoudre avec la tonture; quand la gomme est sèche, on secoue pour faire tomber l'excédant de tonture.

Il faut encore donner aux feuilles l'apparence de la nature, et exprimer, dans chacune d'elles, les nervures qu'elles portent toujours. Pour y parvenir, on se sert de divers instruments qu'on nomme *gaufroirs*. Chacun d'eux est formé de deux pièces : l'une, qui est en fer et a un manche en bois, porte à son extrémité la gravure d'un côté de la feuille; l'autre, qui en est la contre-partie, est en cuivre et a des rebords tout autour. On fait chauffer modérément le fer, puis on presse à la fois plusieurs feuilles, qu'on a placées dans le moule de cuivre, et on les y laisse quelques instants pour qu'elles prennent bien la forme.

Les folioles des calices des roses sont apprêtées immédiatement au sortir de la teinture, afin de leur conserver toute la fermeté qu'elles doivent avoir. Pour cela, le taffetas encore mouillé est foulé, pressé dans l'eau d'amidon coloré, et lorsqu'il est bien imprégné des deux côtés, on l'étend sur le cadre et on le fait sécher. Le taffetas ainsi préparé et bien sec, on le découpe à l'emporte-pièce, sur un billot de bois ou sur un plateau de plomb, suivant la forme et la grandeur de la feuille que l'on veut imiter.

On fait les boutons avec du taffetas ou de la peau blanche teints de la couleur convenable, ou bien qu'on peint après; on leur donne la forme qu'ils ont naturellement, en les remplissant de coton, de mie de pain ou de filasse gommée, et on les lie bien avec de la soie au bout de petits fils de fer.

Les étamines se préparent en fixant au bout d'un petit fil de laiton des bouts de soie écrue en quantité suffisante pour former le cœur. Lorsque ces fils sont ainsi placés, on les trempe dans de la bonne colle de gants, qui leur donne en se séchant la fermeté nécessaire. Avant de coller ces fils, on les coupe tous à la fois d'une longueur égale et convenable à la rose. Lorsqu'ils sont secs, on humecte légèrement, et tout à la fois le bout de chacun de ces fils, avec une pâte composée de gomme arabique et de belle farine de froment; lorsque les extrémités des fils de soie écrue, qui doivent former le cœur, sont imprégnées de pâte, on les plonge dans un vase rempli de semoule teinte en jaune par la *terra merita* dissoute dans de l'alcool; chaque fil prend un grain de semoule, et on laisse bien sécher; c'est ainsi que se fait le cœur ou les étamines.

On colle avec de la pâte les folioles, au cœur, par leur pointe; puis on continue à coller des pétales plus grands, et de plus en plus grands, au fur et à mesure qu'on s'éloigne du cœur, en les gaufrant avec des brucelles creuses d'un côté, et imitant la nature autant qu'on le peut. On place ensuite le calice, qui renferme le bout de tous les pétales, et on le colle avec de la pâte. La queue se fait avec un ou plusieurs fils de fer, qu'on attache à celui qui porte le cœur. On enveloppe le tout avec plus ou moins de coton filé, selon que la queue doit grossir ou non, à mesure qu'elle s'éloigne de la fleur, et l'on recouvre le tout de papier serpente teint en vert. Les feuilles se montent de même sur un petit fil de cuivre; on les rassemble comme la nature les présente.

Il nous reste maintenant à dire quelques mots des couleurs employées dans la fabrication des fleurs artificielles.

Les *couleurs rouges*, depuis le pourpre jusqu'au rose, s'obtiennent au moyen du bois de Brésil, du carmin, du carthame ou rose en tasse, du carmin et de la laque de garance.

La meilleure manière de traiter le *bois du Brésil* est de le faire macérer à froid dans l'alcool pendant quelques jours. Un peu de sel de tartre, de potasse ou de savon fait passer cette couleur au pourpre; un peu d'alun donne une laque d'un beau rouge-cramoisi; et un acide quelconque fait passer la couleur au jaune, dont la nuance est d'autant plus foncée que l'acide est employé à plus forte dose.

Le *carmin* est meilleur en morceaux qu'en poudre; délayé dans l'eau pure, il donne le rose; un peu de sel de tartre le fait passer au rose vif.

Le *carmin* et la *laque de garance* se préparent comme le carmin ordinaire.

Le *carthame* se dissout à froid dans l'alcool, la chaleur le fait passer à l'orangé ainsi que les alcalis. Les acides en rendent le rouge plus vif et plus pur; on obtient une couleur de chair très tendre en rinçant la pièce colorée par le carthame dans une eau légèrement savonneuse.

Les *couleurs bleues* se préparent au moyen de l'*indigo* ou du *bleu de Prusse;* on se sert souvent aussi des *boules de bleu* dit *anglais* délayé dans l'eau.

On dissout d'abord l'indigo dans de l'acide sulfurique concentré, ou mieux fumant, on étend ensuite d'eau la dissolution, puis on sature l'acide sulfurique en y ajoutant de la craie en poudre, jusqu'à ce qu'il ne se produise plus d'effervescence; on laisse reposer et l'on décante la liqueur. On lave ensuite le précipité, et l'on obtient encore une couleur moins foncée. On donne plus d'intensité à l'indigo en y ajoutant un peu de potasse. On y ajoute ordinairement 4/3 d'alcool.

Les *couleurs jaunes* se préparent au moyen de la terra merita, du rocou, de la graine d'Avignon, de la sarrette, du safran, du jaune de chrôme et de la gomme-gutte.

La *terra merita* se dissout à froid dans l'alcool, et doit se conserver dans un flacon bien bouché. On en modifie la teinte en plongeant les pétales, avant ou après la teinture, dans de l'eau pure ou renfermant un peu de crème de tartre en dissolution.

Le *rocou* se dissout à froid dans l'alcool, ou à chaud dans de l'eau alcaline.

La *graine d'Avignon* donne un beau jaune par sa décoction dans l'eau pure.

Dans les mêmes circonstances, la *sarrette* donne un jaune verdâtre.

L'infusion à l'eau pure du *safran* sert pour la teinture; son infusion alcoolique s'emploie au pinceau

Le *jaune de chrôme* s'applique également au pinceau.

La *gomme-gutte* se délaie dans l'eau pure, et sert soit à la teinture, soit à la peinture.

Les *couleurs vertes* s'obtiennent par des mélanges de bleu et de jaune. Si le mélange est fait à l'avance, on l'emploie au pinceau; s'il s'agit de teinture, on trempe d'abord dans le jaune, puis dans le bleu; dans ce cas, on emploie ordinairement la gomme-gutte et l'indigo. Pour la peinture, on se sert de *jaune indien* mélangé de bleu de Prusse.

Les *couleurs violettes* s'obtiennent par des mélanges de rouge et de bleu. Pour teinture, on peut tremper d'abord dans une infusion aqueuse d'orseille, puis dans un bain de bleu. L'orseille seule donne un beau rouge cramoisi. L'infusion portée à l'ébullition, après avoir délayé l'orseille dans l'eau tiède, donne un *gris de lin violacé*.

Les *violets* employés au pinceau s'obtiennent par des mélanges de bleu de Prusse ou de cobalt, avec de la laque de carmin ou de garance.

Le *lilas* pour teinture s'obtient par une décoction d'orseille de Lyon ; pour peinture, on emploie des mélanges de cobalt et de carmin très affaiblis, ou de laque et d outremer.

FLINT-GLASS. Voyez VERRE.

FLOTTEUR. La propriété qu'ont les corps plus légers que l'eau de flotter à la surface de ce liquide, a été mise en pratique pour obtenir des effets mécaniques plus ou moins utiles, mais fort ingénieux ; outre l'emploi que M. Girard en a fait au sas des écluses des canaux, nous ne mentionnerons que le suivant, qui est assez fréquemment employé :

Procédé pour retirer des fardeaux du fond de l'eau. On charge de grands bateaux jusqu'à ce qu'ils s'enfoncent dans l'eau, de manière à déplacer, outre leur tirant d'eau à vide, un volume d'eau d'un poids plus considérable que la masse à soulever. On attache alors fortement cette masse aux bateaux, par des cordes exactement tendues, offrant une résistance convenable. Otant ensuite le poids dont ils étaient chargés, l'eau agit de bas en haut pour soulever les bateaux vides, avec une force *égale au poids* de l'eau déplacée par cet enfoncement, c'est-à-dire au poids même dont on a déchargé les bateaux. Cette force suffit pour soulever la masse, et il est facile de la transporter de la sorte vers le rivage. On est quelquefois obligé de répéter l'opération, à mesure que le lit du fleuve, *devenant moins profond*, le fardeau se trouve ramené sur le sol du fond de l'eau.

FLOTTEUR D'ALARME. Voyez CHAUDIÈRE A VAPEUR.

FLUOR. Corps simple que l'on n'a pas encore pu obtenir isolé, et qui, d'après la nature de ses composés, paraît avoir une grande analogie avec le chlore.

FLUORURES. On nomme ainsi les combinaisons que le fluor forme avec les autres corps simples. Traités à chaud dans des vases en plomb ou en platine, par de l'acide sulfurique concentré, ils laissent dégager des vapeurs blanches très piquantes d'acide *hydro-fluorique*. Ces vapeurs exercent sur l'économie animale une action des plus énergiques : reçues sur une lame de verre, elles en détruisent la transparence ; il se forme de l'eau des fluorures de potassium ou de sodium et d'aluminium solubles, et du fluorure de silicium gazeux. Lorsque le fluorure, avant d'être chauffé avec de l'acide sulfurique concentré, a été préalablement mêlé avec de la silice en poudre fine, il se produit du fluorure de silicium qui fume beaucoup à l'air, et qui, reçu dans de l'eau, la décompose en partie, en donnant lieu, d'une part, à un dépôt de silice gélatineuse, et de l'autre, à de l'hydro fluate de fluorure de silicium ou acide *hydro-fluo-silicique*, qui reste en dissolution. Ces deux propriétés caractérisent les *fluorures*.

Les fluorures de potassium, de sodium, d'aluminium, de glucinium, d'étain, d'antimoine, de cobalt, de nickel, d'argent, de cuivre, de platine et de cuivre, sont solubles dans l'eau, la plupart des autres ne le sont pas, ou ne le sont que très peu : le plus insoluble est le fluorure de calcium. Tous les fluorures sont plus ou moins fusibles. On profite de cette propriété dans le traitement de certains minéraux, pour rendre les gangues elles-mêmes plus faciles à fondre. (Voyez CUIVRE, PLOMB.) Quelques-uns sont volatils, le fluorure de silicium, par exemple.

Le fluorure le plus répandu dans la nature est le *fluorure de calcium*, aussi connu sous le nom de *chaux fluatée*, *spath fluor*, et qui se compose de :

Calcium	51,87
Fluor	48,13

Il est tantôt blanc, tantôt coloré en rose, en jaune, en vert, en bleu ou en violet. Il cristallise dans le système régulier, le plus souvent en cubes, mais fréquemment aussi en octaèdres : il possède 4 clivages également faciles, qui mènent à l'octaèdre régulier. Il décrépite fortement sur les charbons ardents, en produisant une superbe lumière phosphorescente bleuâtre : ce phénomène est surtout frappant dans l'obscurité. Lorsque le fluorure de calcium a été ainsi exposé à l'action de la chaleur, si on le laisse refroidir et qu'on le remette sur des charbons rouges, il ne produit plus de phosphorescence. On trouve dans la nature quelques espèces de spath-fluor que la chaleur ne rend pas lumineux, ce qui porte à croire qu'ils ont été portés *dans le sein de la* terre même à une haute température, tandis qu'au contraire les premiers paraissent avoir une origine aqueuse.

La chaux fluatée de Lunebourg, le fluorure de calcium que l'on a préparé par double décomposition, en versant du fluorure de *potassium* dans un sel calcaire, donnent une lumière violette, verte ou bleue, selon l'intensité de la chaleur à laquelle on les porte. Dans tous les cas, le fluorure de calcium qui a été calciné et qui cesse par conséquent d'être phosphorescent par l'action de la chaleur, reprend cette propriété, lorsqu'à l'aide d'agents chimiques on le dissout pour le précipiter de nouveau.

Le fluorure de calcium ou spath fluor est une substance essentiellement de filon, et qui se trouve ordinairement dans les filons d'argent, de plomb, d'étain, etc

FLUX. Voyez DOCIMASIE.

FOIN. Nom que l'on donne à l'herbe fauchée et séchée, destinée à la nourriture des bestiaux, soit pendant l'hiver, soit dans les circonstances où on est forcé de les tenir à l'écurie, sans pouvoir se procurer de l'herbe fraîche.

FONDANTS. Voyez DOCIMASIE.

FONDERIE DE FER (*angl* iron foundry, *all.* eisengiesserei). L'art du fondeur consiste à reproduire, avec des matières plus ou moins fusibles, les formes et les dimensions de tous les objets modelés ou sculptés qui peuvent se présenter.

Cet art, dont les premières applications remontent à l'antiquité la plus reculée, a pris en ces derniers temps une immense importance, et a donné naissance à une de nos plus belles industries, la fonderie de fer.

Tous les métaux susceptibles de se fondre, sous l'influence d'une forte chaleur, peuvent être employés dans la fonderie ; tels sont l'or, l'argent, le plomb, l'étain, le zinc, le cuivre, etc. ; mais le cuivre et la fonte sont aujourd'hui les matières le plus généralement employées, soit en raison de leur prix, soit en raison des qualités particulières qui les caractérisent.

Le cuivre et ses alliages sont principalement consacrés à la reproduction des œuvres d'art proprement dites ; la fonte de fer domine, au contraire, dans toutes les applications industrielles, les grandes constructions, la fabrication des machines de toute espèce, etc.

Nous nous occuperons principalement, dans cet article, de la fonderie de fer : celle du cuivre et de ses alliages constitue des industries spéciales.

Qualités de la fonte. La *fonte* est, comme on le sait, une combinaison de carbone et de fer, obtenue directement par la réduction des minerais de fer dans des appareils appelés *hauts-fourneaux*. Le mode de combinaison du carbone avec le métal, ainsi que la nature et la proportion des matières étrangères, telles que la silice, l'alumine, le soufre, le phosphore, le manganèse, etc., qui s'y trouvent combinés, déterminent, dans la fonte, des qualités infiniment variables relativement à sa couleur, son degré de fusibilité, sa dureté, sa ténacité, etc. Toutes les fontes ne sont donc pas propres aux usages de la fonderie : celles que l'on préfère sont les fontes qui deviennent assez fluides par la fusion

pour bien remplir les moules dans lesquels on les verse, qui ne prennent pas trop de retrait par le refroidissement, et qui une fois à l'état solide se travaillent facilement, et satisfont à toutes les conditions de ténacité que l'on peut en attendre.

Ces différentes qualités se trouvant réunies à un plus haut degré dans les fontes grises que dans les fontes blanches ou trempées, ce sont ces premières que l'on consacre généralement au travail de la fonderie, tandis que les autres sont réservées à la fabrication du fer.

La *fonte grise* se fond à une température de 1,100 à 1,200 degrés; elle coule doucement, se fige avec lenteur; et quand la coulée a lieu à l'air libre, la surface du bain prend une forme convexe, qui se couvre d'une quantité de graphite (carbone non combiné), d'autant plus considérable que la couleur du métal tire plus sur le noir.

Un excès de graphite rend la fonte poreuse et lui enlève de la ténacité; la présence du soufre la rend très fusible et quelquefois caverneuse, à cause de la rapidité du refroidissement.

Le phosphore rend également la fonte très fusible et propre à bien remplir les moules; mais son excès en altère la ténacité.

On peut employer les fontes dans le moulage, soit en *première fusion*, c'est-à-dire telles qu'elles sortent du haut-fourneau, soit en *seconde fusion*. Les dernières sont généralement plus homogènes, plus tenaces, et conviennent particulièrement à la confection des pièces de machines. Les fontes de première fusion s'emploient ordinairement pour la poterie, les tuyaux, les grosses pièces sans ajustage, et pour tous les objets à la réussite ou à la ténacité desquels on n'attache pas une haute importance.

Les fontes *au bois et au coke* sont toutes deux employées au moulage : la première est principalement coulée en première fusion, tandis que la dernière convient particulièrement à la seconde fusion. C'est avec des fontes au coke et en seconde fusion que se font toutes les grandes et belles pièces de machines.

Il est rare que l'on emploie des fontes d'une seule et même espèce; généralement on fait des *mélanges* que l'on varie suivant la nature des objets à couler, le travail qui devra leur être appliqué, les résistances auxquelles ils seront exposés. C'est dans la possibilité d'opérer des mélanges, qui possèdent à coup sûr toutes les qualités que l'on recherche, que consiste le principal avantage de la seconde fusion. Le fondeur modifie ainsi, tout à fait à son gré, la nature du métal, suivant les exigences du travail, et il applique à chaque objet la variété de fonte qui lui convient le mieux.

On voit par là que la parfaite connaissance des qualités de la fonte, et des divers résultats que peuvent amener les mélanges, doit constituer l'un des premiers mérites d'un bon fondeur; ce n'est pas d'ailleurs le moins difficile à acquérir; car il ne peut être que le fruit de nombreuses observations et d'une longue expérience.

On a longtemps discuté, et l'on discute encore beaucoup sur les mérites relatifs des *fontes à l'air froid et à l'air chaud* : il paraît néanmoins démontré que ces dernières sont particulièrement propres à la seconde fusion, pourvu que l'on n'ait pas poussé la température de l'air au point de les rendre trop graphiteuses. Dans ce dernier cas, ce n'est pas en seconde, mais plutôt en troisième fusion qu'il conviendrait de les employer, car les refontes successives tendent à blanchir la fonte et à resserrer son grain. Du reste, et quand on a la ressource des mélanges, on se trouve toujours très bien de la possibilité d'employer des fontes très grises, attendu qu'elles servent à faire passer les vieilles fontes qui resteraient sans emploi, si l'on n'avait pas un puissant correctif à opposer à tous les défauts.

FONDERIE DE FER.

Matériel des fonderies. Le matériel d'une fonderie se compose comme il suit :

Les fourneaux de seconde fusion;
Les appareils soufflants;
Les grues;
Les étuves;
Les machines à broyer le sable;
Les moulins à noir (charbon pulvérisé);
Les châssis, lanternes, axes et armatures;
Les outils et ustensiles des mouleurs;
Enfin, les modèles en métal ou en bois.

Nous allons jeter un coup d'œil sur ces différents objets, puis nous aborderons la question du mélange proprement dit.

Les fourneaux employés dans les fonderies pour la fusion de la fonte sont de deux espèces : ce sont ou des cubilots (fourneaux à la Wilkinson) soufflés par un ventilateur, ou des fours à réverbère à tirage naturel.

Des cubilots. Le cubilot se compose essentiellement d'un cylindre en fonte ou en tôle de 2 à 6 mètres de hauteur sur 0m,70 à 2m,50 de diamètre, dont l'intérieur est garni en sable réfractaire ou en briques. Le métal et le combustible sont introduits à la partie supérieure; l'air soufflé entre par des tuyères latérales situées à différentes hauteurs, et le métal en fusion s'échappe à volonté par l'orifice inférieur que l'on bouche avec de la terre.

Les dimensions intérieures de la cuve varient, avec la quantité de fonte que l'on veut couler à la fois, dans des limites très étendues : certains appareils peuvent à peine contenir 5 à 600 kilogrammes de fonte, tandis que la capacité des plus grands s'élève jusqu'à 10 à 12,000 kilogrammes.

La forme des cuves n'a rien de bien déterminé; mais, en général, elle se rapproche de celle d'un tronc de cône appuyé sur sa base la plus grande. La partie inférieure se fait ordinairement en sable réfractaire bien damé, mais souvent aussi on emploie des briques, quand on n'a pas de bon sable.

L'enveloppe se fait en fonte ou en tôle; nous préférons de beaucoup celles en tôle, qui sont plus résistantes et plus à l'abri des accidents.

Les tuyères par lesquelles on introduit le vent sont établies sur une double rangée, et l'on souffle toujours par deux à la fois, au fur et à mesure que le bain de fonte s'élève ou remonte les tuyères, en bouchant avec de la terre celles que l'on a laissées vides.

On admet en moyenne une distance de 0m,30 à 0m,45 entre le fond de la cuve et la première tuyère. Dans un fourneau de 3m,60 de hauteur et de 1m,60 de diamètre extérieur, on aurait entre la sole et la première tuyère 0m,34 environ, et l'écartement des autres tuyères irait successivement en diminuant de 0m,02, de manière à avoir 0m,24 entre la 5e et la dernière.

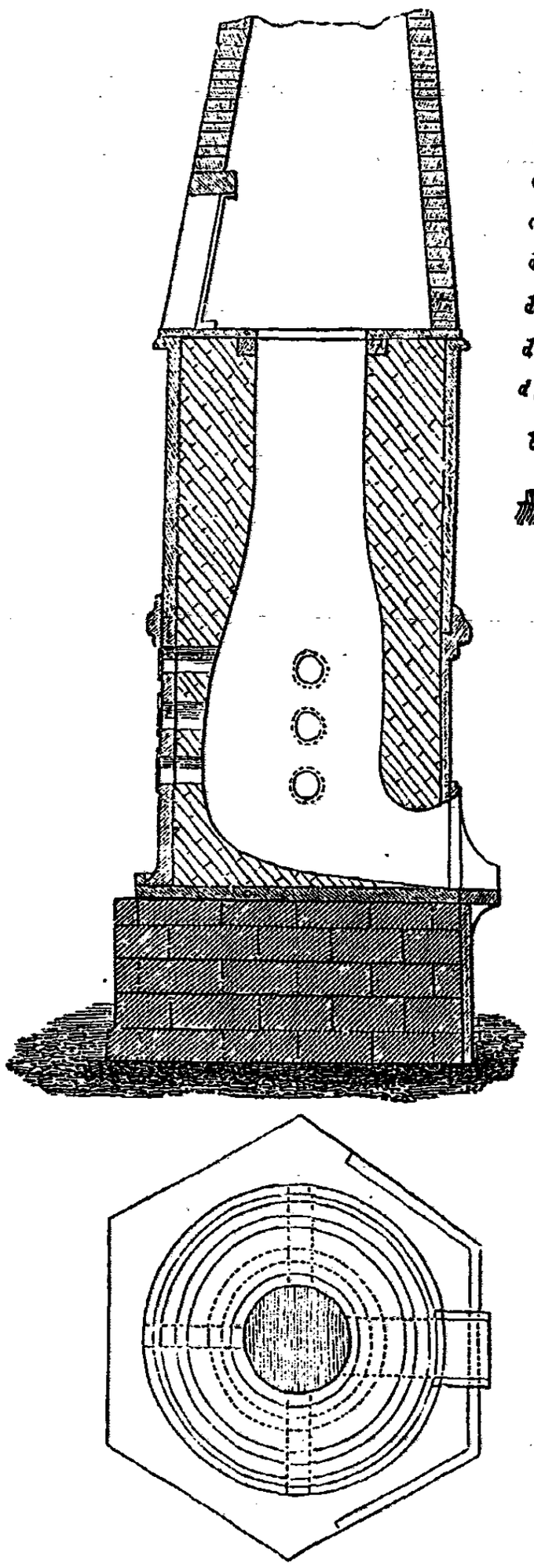
Le croquis (fig. 918 et 919) pourra donner une idée de la disposition d'un cubilot à enveloppe de fonte; au lieu d'une cheminée en briques, on adopte plus généralement une hotte en tôle terminée par un tuyau du même métal. Souvent on dispose la plate-forme du gueulard de manière à pouvoir y échauffer préalablement la fonte avant de la laisser tomber dans la cuve.

Les fig. 920, 921 et 922, donnent le plan, la coupe et l'élévation d'un cubilot de grandes dimensions, à enveloppe en fonte de la fonderie de MM. Martin et comp., à Rouen : *m m*, massif de maçonnerie sur lequel repose le fourneau; *b b*, plate-forme octogone en fonte, ayant un rebord dans lequel s'engagent les plaques *a a*, *a a*, etc.; *a a*, .., plaques en fonte de 27mm d'épaisseur; l'une d'elles est échancrée à sa partie inférieure en *c*, pour donner issue à la fonte, et deux des autres portent chacune six ouvertures *g*, *g*, .., pour donner entrée aux tuyères; *c*, ouverture pour la coulée de la fonte, à laquelle est adaptée une espèce de gouttière en fonte *e*

FONDERIE DE FER.

intérieurement garnie d'argile ; *d*, armatures en fer forgé, de 0m,44 de large sur une épaisseur qui varie de 15mm en bas à 6mm en haut, servant à maintenir les pla

918.

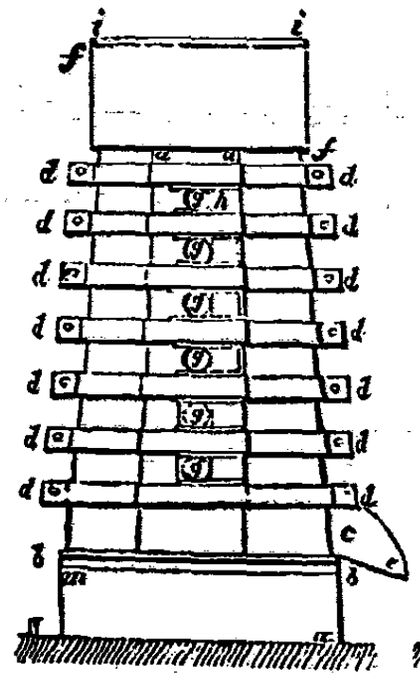


ques de fonte ; *ff*, couronnement cylindrique en fonte servant à exhausser le fourneau ; les ouvertures *g*, qui servent à placer les tuyères, sont munies chacune d'une porte à coulisses *h*, qui servent à fermer celles d'entre elles qui ne servent pas ; *k k*, chemise ou enveloppe intérieure du fourneau, en sable un peu argileux, que l'on

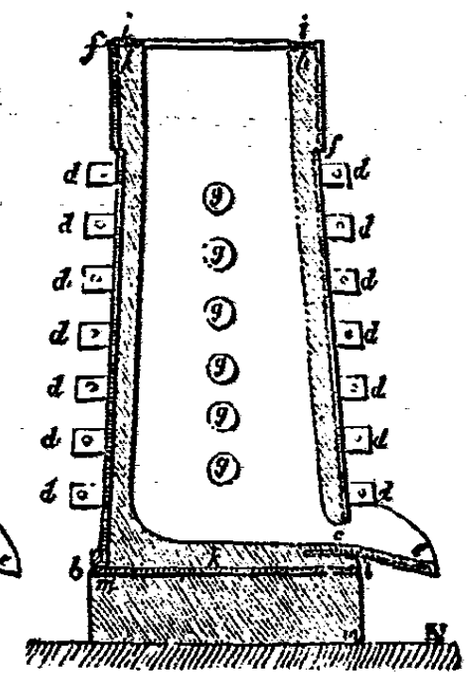
919.

établit de la manière suivante : après avoir placé au fond du fourneau un lit de sable de 0m,10 à 0m,15 d'épaisseur, légèrement incliné vers l'orifice de coulée, on

922.

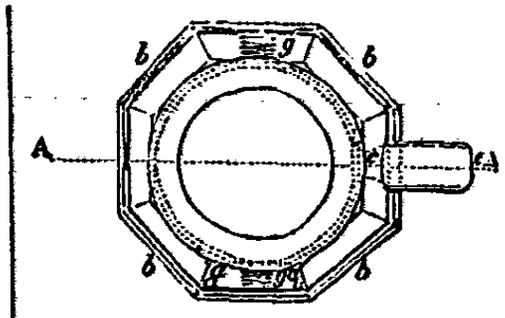


921.

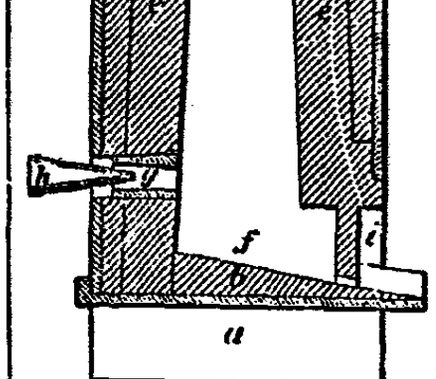


pose verticalement, dans l'axe du fourneau, un cylindre en bois de toute sa hauteur et d'un diamètre un peu moindre que celui du vide que devra présenter le fourneau à sa partie supérieure. On tasse alors du sable, entre le cylindre de bois et l'enveloppe en fonte, puis on retire le cylindre de bois, et on recoupe la paroi intérieure de l'enveloppe de sable, jusqu'à ce qu'on lui ait donné la forme convenable. Cette enveloppe dure généralement de 5 à 6 semaines, quand on fond six fois par semaine ; *i i*, plaque de fonte annulaire, placée au gueulard, et destinée à préserver, pendant la charge, les bords de la chemise en sable *k k*, NN, niveau du sol : la partie qui se trouve au-dessous de l'orifice de coulée est en sable, que l'on enlève en tout ou en partie quand on veut recueillir la fonte dans une poche de grande dimension. La hauteur totale de ce fourneau est de 2m,60, et son diamètre au gueulard est de 0m,75 et à la sole de 1m,00 ; il peut contenir à la fois 5000k de fonte en fusion, et il faut 2 heures 3/4 pour arriver à ce résultat.

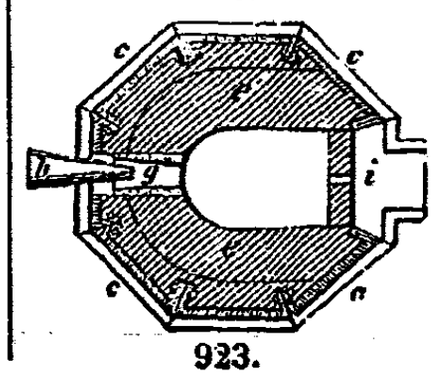
920.



924.



923.



Les fig. 923 et 924 donnent le plan et la coupe du cubilot de la fonderie royale de Berlin : *a*, fondation surmontée d'une plaque en fonte qui sert de base à l'enveloppe octogonale

en fonte c c; e e, chemise en briques réfractaires, séparée de l'enveloppe en fonte par un vide rempli de cendres tassées; f, sole de 0m,15 à 0m,20 d'épaisseur, formée d'un mélange bien damé d'argile réfractaire et de sable quarzeux; g, tuyère dans laquelle débouche la buse h; i, trou de coulée. Depuis quelques années, ce cubilot avait été alimenté avec de l'air dont on élevait la température en le faisant passer à travers des tuyaux autour desquels circulait la flamme du gueulard; ces tuyaux, à ce qu'il paraît, ne tardaient pas à se brûler ou bien ne retenaient plus l'air. Leur reconstruction étant devenue nécessaire, il y a quelque temps, M. Schmahel a eu l'idée de les supprimer et de les remplacer par un seul tuyau annulaire creux qui entoure le fourneau à l'extérieur, dans lequel on fait arriver le vent de la soufflerie et qui le verse dans l'ouvrage par 12 petites tuyères disposées sur un même plan horizontal. Ces petites tuyères, dont les buses ont environ 26 millimètres de diamètre, sont percées dans les briques réfractaires mêmes de la chemise du fourneau. Pour nettoyer ces buses, et en même temps pour observer la marche du travail, M. Schmahel a pratiqué sur la surface convexe de l'anneau creux de fonte autant d'ouvertures correspondantes à ces buses et fermées par des tampons annulaires dans lesquels est serré un disque de verre et portant une poignée à l'extérieur. Le fourneau ainsi construit fournit la même quantité de fonte que précédemment, lorsqu'on employait l'air chaud avec une seule grande tuyère. Il présente en outre cet avantage, que la fusion y est extrêmement rapide, ce qui est très important lorsqu'il s'agit de fondre de grosses pièces, parce que dans ce cas on peut remplir successivement de fonte doux, ou un plus grand nombre de grandes poches avant que le métal de la première commence à se figer. De plus, la fonte est moins cassante et donne des objets d'une plus grande densité que lorsqu'on employait l'air chaud.

Le volume d'air lancé dans les cubilots dépend de la quantité de combustible que l'on veut y brûler dans un temps donné: on peut compter sur 10 mètres cubes d'air par kilogr. de charbon. La pression du vent n'a pas besoin d'être élevée et dépasse rarement 20mm à 30mm de mercure. — On calcule d'après ces données le diamètre que doivent avoir les buses. Le tableau suivant donne les volumes d'air qui s'écoulent en une minute par des buses de différents diamètres

PRESSION de l'air en millimètres de mercure.	VOLUME D'AIR sorti, en mètres cubes, par des buses d'un diamètre, en millimètres, de				
	40	50	60	70	80
5	2,16	3,37	4,85	6,60	8,63
10	3,08	4,80	6,93	9,40	12,30
15	3,82	5,97	8,60	11,70	15,30
20	4,38	6,85	9,90	13,40	17,50
25	4,95	7,72	11,20	15,20	19,80
30	5,45	8,54	12,25	16,65	21,80

Les volumes sont ramenés à la pression atmosphérique et à la température de 10 degrés.

On a essayé l'emploi de l'air chaud dans le soufflage des cubilots, mais les résultats n'en ont pas été assez prononcés pour que l'on ait généralement adopté cette méthode.

Il est rare que l'on emploie des soufflerie à pression pour le soufflage des cubilots, ce sont presque toujours des VENTILATEURS (voir MACHINES SOUFFLANTES) de 0m,50 à 1m,00 de diamètre.

Dans une grande fonderie, on a toujours au moins trois cubilots de dimensions différentes.

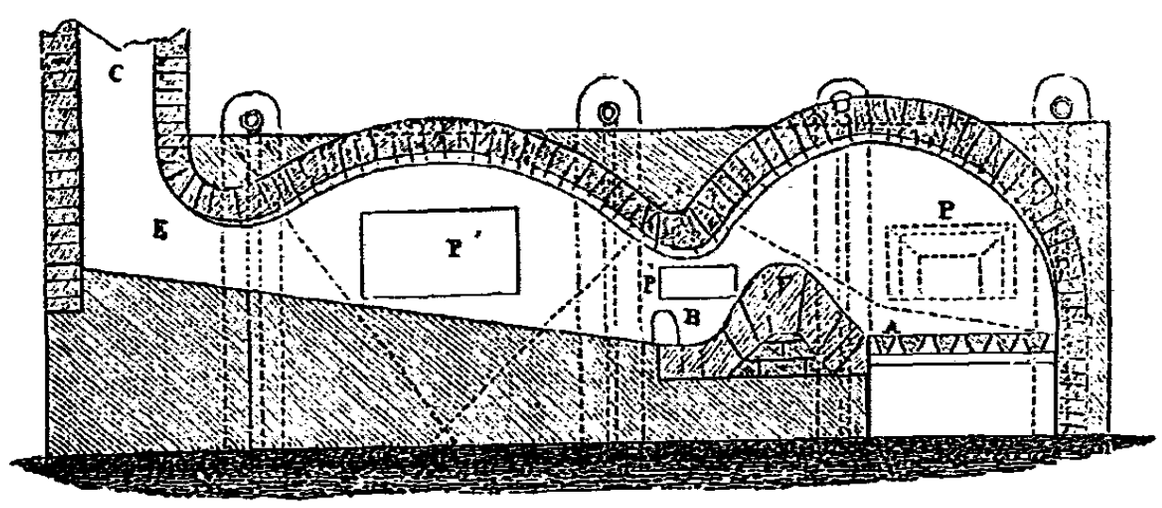
On charge dans les cubilots le métal et le combustible au poids; la valeur de la charge varie avec les dimensions de l'appareil.

Pour liquéfier 1000 kilogr. de fonte, on emploie environ 150 à 170 kilogr. de coke, rarement moins et souvent davantage. Le déchet de la fonte est également très variable: avec de bonnes fontes grises, un coke convenable et un vent bien dirigé, il peut n'atteindre que 6 à 7 p. 100, mais généralement on l'estime à 10 p. 100, et lorsqu'on refond des brocailles, il peut s'élever jusqu'à 15 ou 20 p. 100.

Les cubilots sont les appareils les plus généralement employés dans les fonderies, parce qu'ils conservent à la fonte que l'on emploie toutes les qualités qui lui sont propres; les fours à réverbère blanchissent au contraire un peu les fontes et les affinent. Voy. CALEBASSE.

Des fours à réverbère. Un four à réverbère présente trois parties principales: la grille sur laquelle on brûle ordinairement de la houille; le creuset où se réunit le bain de fonte:

La figure 925 représente la forme de four qui paraît



925.

donner les meilleurs résultats au point de vue de l'emploi du combustible et la conservation des qualités de la fonte.

On donne généralement à la sole trois fois la surface de la grille, et sa longueur varie de 2 1/2 à 3 fois sa largeur.

La hauteur de la voûte varie avec la dimension des pièces que l'on fait fondre; il faut toujours qu'elle soit assez élevée pour que la flamme ne lèche pas de trop près le bain de fonte, protégé d'ailleurs par une suffisante élévation de l'autel.

L'échappement doit avoir une section égale à 1/5 ou 1/6 de celle de la grille.

La grille, vers laquelle l'air doit pouvoir affluer avec toute la liberté possible, doit présenter une section de 1 décimètre carré par kilog. de houille brûlée par heure, et on donne à la cheminée une section égale à 1/4 ou 1/5 au moins de celle de la grille, soit 0m.car,20 à 0m.car,30 par 100 kilogr. de houille brûlée par heure, avec une hauteur de 12 à 15 mètres.

Dans le dessin ci-dessus la flamme monte directement

à la cheminée après l'échappement, mais nous pensons que l'on devrait au contraire la faire redescendre, avant de s'en débarrasser définitivement, parce que la chaleur paraît alors mieux rester dans le four, et le combustible est mieux utilisé. Ce fait ne s'explique pas parfaitement, mais il est confirmé par beaucoup d'expériences, et entre autres par la marche des fours à réchauffer employés dans les forges à laminoirs.

Les fours à réverbère doivent être construits avec beaucoup de soin, et toutes les parties qui se trouvent en contact avec la flamme doivent être revêtues de briques réfractaires de la meilleure qualité.

Le four que nous avons représenté peut contenir 3,000 à 3,500 kil. de fonte, qui à raison de 400 à 450 kil. de houille par 1,000 kil. de fonte, exigeraient environ 1,300 à 1,400 kil. de combustible, que l'on devrait brûler en trois ou quatre heures environ suivant les dimensions de la grille et les proportions relatives de la sole, de l'échappement et de la cheminée.

Le déchet varie avec la durée de l'opération ; avec un four bien construit et bien conduit, il ne doit pas s'élever au-dessus de 10 à 12 p. 100.

Les fours à réverbère s'emploient principalement dans les cas suivants :

1° Lorsque l'on n'a pas de moteur pour une soufflerie ;

2° Quand on a de très-grosses pièces à refondre, et telles qu'elles ne pourraient pas être traitées dans un fourneau à la Wilkinson.

En général, il n'y a d'avantage à les employer que lorsque la fabrication est assez étendue pour pouvoir opérer successivement plusieurs fondages ; dans le cas contraire, le seul échauffement du four absorbe déjà beaucoup de combustible, et il en résulte une consommation considérable par tonne (1,000ᵏ) de fonte moulée.

Des grues. Les grues sont des appareils indispensables dans toutes les fonderies, soit pour enlever les châssis, soit pour transporter le métal en fusion du four aux moules qu'il doit remplir. Nous ne nous arrêterons pas à la description des grues, mais nous indiquerons d'une manière générale les conditions auxquelles elles doivent satisfaire. Les grues d'une grande fonderie doivent être fortes, élevées, et être pourvues d'une grande volée : il faut qu'elles puissent enlever des charges de 15 à 25 tonnes; que la volée, de 6 à 7ᵐ de longueur, se meuve au moins à la même hauteur au-dessus du sol ; enfin que le chariot auquel se suspendent les charges se meuve avec facilité sur la volée.

Ces grues sont toujours à double pivot, se mouvant dans des crapaudines dont l'une est fixée sur une fondation solide, tandis que celle du haut est solidement rattachée à la charpente de la fonderie.

Les grues entièrement construites en fonte et en fer sont préférables pour l'usage à celles dont l'axe, la volée et les contre-fiches sont en bois, mais leur prix élevé n'en permet pas toujours l'emploi.

Une belle grue en bois, avec flasques en fonte et tirants en fer, coûte en moyenne 400 à 450 fr. par tonne à enlever, soit, par exemple, 8,000 à 9,000 fr. pour une grue de 20 tonnes : le même appareil construit en fonte dans les mêmes conditions de hauteur et de solidité coûterait plus du double.

On a toujours plusieurs grues dans une fonderie, et elles sont disposées de manière à ce qu'un fardeau quelconque puisse être facilement transmis de l'une à l'autre, et parcourir ainsi tous les points de l'atelier. Il est évident que les wilkinsons, les fours à réverbère, l'entrée de l'étuve, doivent se trouver dans le rayon d'action de l'une de ces grues. Voy. GRUES.

Des étuves. Les étuves sont des chambres en maçonnerie convenablement échauffées, dans lesquelles on fait sécher les moules et les noyaux avant d'y verser la fonte. Tous les moules n'ont pas besoin d'être passés à l'étuve, mais une grande fonderie ne saurait marcher sans cet appareil.

On donne aux étuves des dimensions proportionnées à celles des châssis que l'on veut y introduire ; en moyenne, il faut qu'une étuve ait de 3 à 4 mètres de largeur sur 5 et 6 de longueur, et souvent on leur donne des dimensions beaucoup plus considérables ; la hauteur varie de 2 à 4 mètres.

Les murs de l'étuve et la voûte sont construits en briques ; la porte est en tôle et s'ouvre de bas en haut, au moyen d'un contre-poids qui lui fait équilibre.

Le milieu de l'étuve est occupé par un chemin de fer se prolongeant à l'extérieur, sur lequel se meut un fort *chariot en fonte* destiné à recevoir les moules à sécher. Les noyaux et les autres petites pièces sont placés dans le bas de l'étuve et appuyés contre ses parois latérales.

Une étuve peut être chauffée directement, ou par la chaleur perdue d'un appareil de combustion quelconque. Dans le premier cas, le milieu de l'étuve est occupé par une grille en fer, sur laquelle on charge de la houille ou tout autre combustible, et auquel l'air arrive par un caveau souterrain.

Généralement on emploie des moyens plus économiques pour échauffer les étuves, en les plaçant au-dessus ou à proximité d'un four à coke qui sert à préparer le combustible destiné aux cubilots. Les gaz qui sortent du four sont amenés dans l'étuve, et s'échappent ensuite dans l'air par une cheminée en briques ou en tôle.

Cette disposition fort simple suffit dans la plupart des cas. On doit avoir soin de placer l'orifice d'entrée des gaz dans la cheminée à la partie inférieure de l'étuve, et de placer un registre dans la cheminée pour régler le tirage. Il est également essentiel, pour être complétement maître du travail de l'étuve, d'établir des registres qui permettent de faire pénétrer la fumée du four dans l'étuve, ou de l'envoyer directement à la cheminée ; moyennant ces précautions, la disposition que nous venons d'indiquer suffit parfaitement aux besoins d'une fonderie.

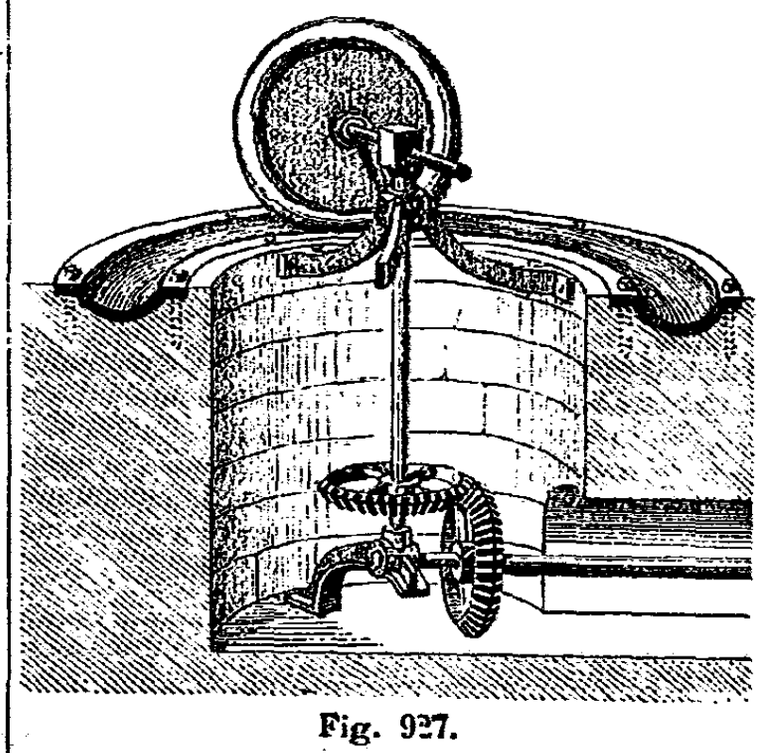


Fig. 927.

Au lieu d'envoyer la fumée du four dans l'étuve, ce qui nuit aux moules et aux noyaux à cause de la couche de suie dont ils se couvrent, on pourrait disposer un appareil à air chaud à la suite du four à coke, ou dans ses propres parois, et n'envoyer dans l'étuve que de l'air pur convenablement échauffé ; mais cette disposition est plus chère de premier établissement, et nous ne l'avons point encore vu appliquer.

Lorsque les moules sont placés dans l'étuve, on lute les joints de la porte avec de la terre, et suivant la dimension des pièces à sécher on les laisse plus ou moins longtemps exposés à l'action de la chaleur. La durée de l'opération varie de un à trois jours, suivant l'intensité de la chaleur.

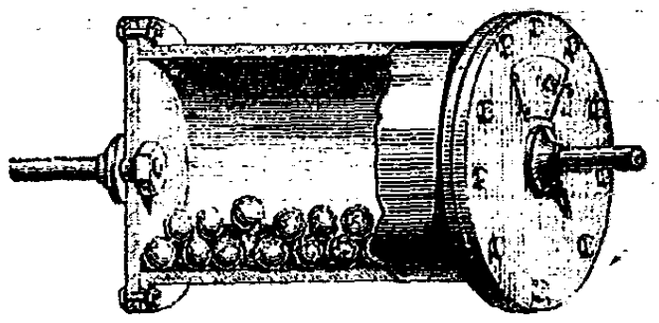


Fig. 928.

Machine à broyer. Les différentes matières que l'on emploie dans la confection des moules exigent toutes certaines préparations, pour les approprier à l'usage auquel elles sont destinées. Les sables, par exemple, sont habituellement séchés, broyés, passés au tamis, puis mouillés et passés au rouleau sur une table. Ces opérations se font généralement à bras d'homme, mais dans les ateliers où l'on a besoin d'une grande quantité de sable frotté et bien préparé, il est préférable d'employer pour le broyer et le frotter une machine simplement composée de deux cylindres en fonte, entre lesquels on fait passer le sable. Elle rappelle la machine à broyer cylindrique. A sa sortie, on le fait quelquefois tomber dans un cylindre creux en mouvement traversé par un courant d'air chaud pour le sécher.

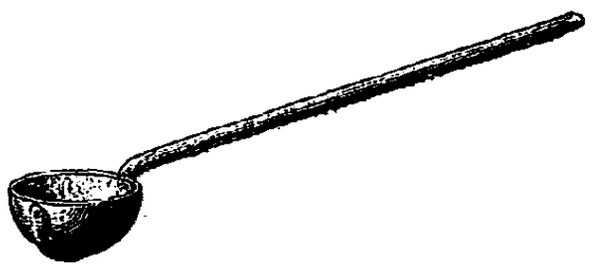


Fig. 929.

Ce séchoir n'est pas très-efficace et sert très-rarement. Il vaut mieux faire sécher le sable dans une étuve, et ne se servir des cylindres que pour le frotter.

La terre à noyaux se triture ordinairement sur un établi avec un couteau en fer à manche recourbé; mais, pour de grandes quantités, il vaudrait mieux employer un pétrisseur mécanique, consistant simplement en une auge circulaire en fonte, dans l'axe de laquelle se mouvrait, avec une faible vitesse, un arbre vertical garni d'une traverse horizontale armée de couteaux verticaux. Il y a beaucoup d'autres appareils faciles à imaginer qui peuvent remplir le même but.

Moulin à noir. Le poussier de charbon de bois ou de houille, dont on fait une si grande consommation dans les mouleries, se prépare toujours au moyen d'un appareil mécanique appelé *moulin à noir*. Le moulin le plus employé consiste en une auge circulaire en fonte, dans laquelle se meuvent deux meules accouplées sur un arbre vertical. La fig. 927 peut donner une idée d'un moulin de ce genre, mais on le dispose ordinairement de manière à occuper beaucoup moins de place.

Dans les petites fonderies on emploie simplement un cylindre creux en fonte (fig. 928), monté sur un axe horizontal, dans lequel on place des boulets. Ce cylindre doit faire vingt-cinq à trente tours par minute.

FONDERIE DE FER.

Des poches. Parmi les différents appareils qui constituent la base fondamentale d'un atelier de moulage, et dont le nombre et les proportions doivent être en harmonie avec la nature et l'importance des travaux, nous avons encore à distinguer les poches, ou creusets, au moyen desquelles la fonte se transporte à bras d'hommes ou avec des grues, depuis les fourneaux de fusion jusqu'aux moules où elle doit être versée.

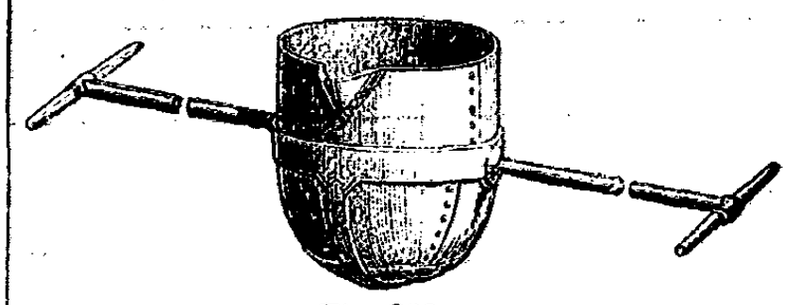


Fig. 930.

Chaque atelier doit avoir une série de poches de différentes dimensions, depuis les plus petites, qui peuvent être portées par un seul homme, jusqu'à celles de la plus grande contenance.

Ainsi l'on doit avoir :

Un grand nombre de petites poches de	15 à 20k
Une ou deux poches de	50
Une ou deux poches de	75
Une ou deux poches de	100 à 150
Une ou deux poches de	200 à 300
Une poche de	400
Une poche de	800
Une poche de	1,500
Une poche de	3,000
Une poche de	5,000
Une poche de	10,000

Il est assez rare que l'on dépasse la dimension de 10 à 12,000 kil.; quand on a à couler des pièces d'un poids plus considérable, on emploie plusieurs poches, ce qui paraît préférable, en général, pour que la fonte se distribue plus vite et plus facilement dans un grand moule, en versant la fonte en deux points plutôt qu'en un seul.

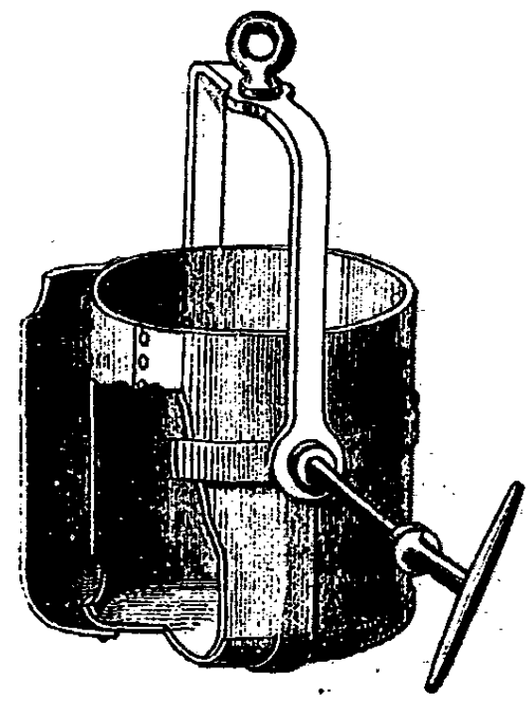


Fig. 931.

Dans les anciennes fonderies on faisait les poches en fonte de 8 à 35 millim. d'épaisseur; aujourd'hui on les fait généralement en tôle. Les poches sont toujours garnies à l'intérieur d'une couche de vieux sable mélangé dans l'eau avec du crottin de cheval. Voici le croquis des différentes poches employées dans les fonderies :

Fig. 929, petite poche sur un seul homme.

Fig. 930, poche de 200 kil.

Fig. 931, poche de 1,800 kil. dans laquelle la fonte passe à la partie inférieure d'une cloison, avant d'arriver au bec.

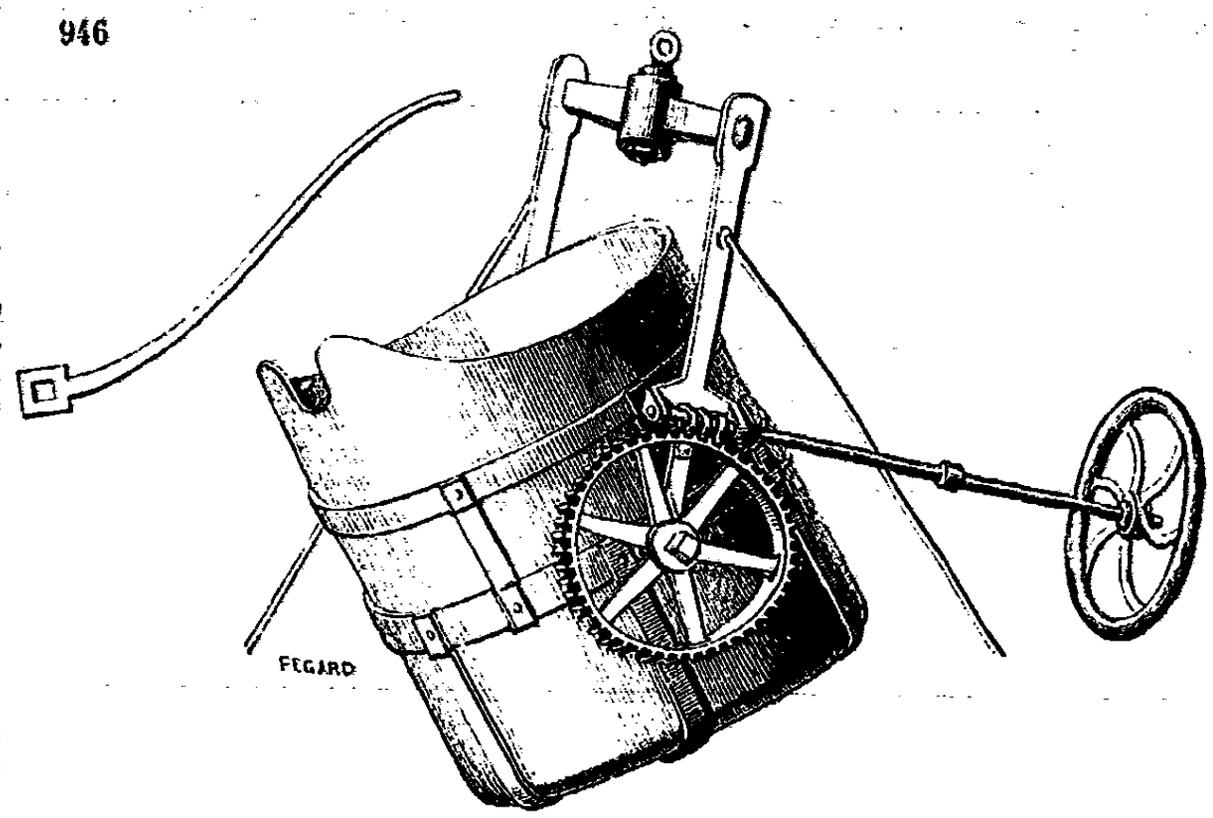
Quand on n'emploie pas ce genre de tubulures, il faut continuellement écumer la fonte pendant la coulée, afin d'empêcher les matières étrangères qui peuvent surnager à la surface de pénétrer dans les moules.

Fig. 946, levier, au moyen duquel l'ouvrier appuie sur l'axe de suspension de la poche pour la forcer à s'incliner sur l'orifice du moule.

Figure 947, mécanisme employé pour faire déverser les poches de grandes dimensions.

Voici les dimensions exactes de deux poches mues par un mécanisme de ce genre et employées à l'usine d'Indret.

946



947.

	POCHE de 6,000 kil.	POCHE de 11,000 kil.
	m.	m.
Diamètre interne sans terre. .	1,425	1,380
Profondeur.	1,400	1,500
Roue dentée; diamètre.	0,470	0,600
Vis sans fin : 2 filets; diamètre.	0,080	0,150
Idem. — ; pas. . .	0,040	0,040
Tourillons; diamètre.	0,090	0,110

Des châssis. Les châssis dans lesquels se préparent les moules constituent la partie la plus importante du matériel des fonderies ; on les fait en bois pour les petites pièces, mais il est indispensable d'avoir des châssis en fonte pour toutes les pièces un peu fortes.

Chaque fois que dans un établissement on a beaucoup de pièces à mouler sur le même modèle, on fait des *châssis spéciaux*, parfaitement appropriés à la forme des moules qu'ils doivent contenir ; mais on doit aussi avoir, et c'est le cas le plus général, des *séries de châssis* qui permettent, sauf de rares exceptions, de mouler toutes les pièces qui peuvent se présenter.

Lorsque l'on ne veut cependant pas trop multiplier les châssis, ce qui devient excessivement dispendieux, on emploie des châssis en *mille pièces*, ainsi nommés parce qu'ils sont composés d'une multitude de plaques boulonnées entre elles, et reliées aux angles par des équerres. Au moyen d'une certaine quantité de plaques de longueur et de hauteur variables, on forme sans difficulté des capacités de toutes grandeurs : on fait des plaques de 0m,100, 0m,160 et 0m,216 de hauteur, sur des longueurs variables de 0m,50 à 1m,00. Les plaques de raccordement des équerres avec les plaques de côté ont ordinairement 0m,20 de largeur.

On doit avoir des équerres ouverts suivant différents angles, de manière à pouvoir former des châssis polygonaux à 5, 6, 8, 10 ou 12 pans.

Le fond du châssis est occupé, soit par des *parties quadrillées* rattachées aux côtés, soit par de fortes plaques à nervures disposées parallèlement à la plus petite face du châssis et convenablement boulonnées à leurs extrémités avec les pièces du cadre, soit avec des barres de fer.

Les pièces extrêmes et opposées du cadre sont généralement pourvues de forts tourillons au moyen desquels le châssis peut être suspendu à la grue et transporté où l'on veut.

Pour les petites pièces, on emploie habituellement des châssis sans barres, de formes rectangulaires ou octogones, auxquels on laisse des rebords intérieurs pour qu'ils puissent retenir les sables, et on les dispose de manière à pouvoir accoupler des parties d'inégale épaisseur quand le besoin du moulage l'exige.

Les séries de petits châssis peuvent être organisées comme il suit :

CHASSIS rectangulaires.	LONGUEUR	LARGEUR.	HAUTEUR des parties épaisses.	HAUTEUR des parties minces.
	m.	m.	m.	m.
N° 1.	0,25	0,18	0,060	0,030
N° 2.	0,40	0,30	0,060	0,035
N° 3.	0,50	0,40	0,070	0,040
N° 4.	0,40	0,30	0,080	0,080
N° 5.	0,60	0,40	0,100	0,070
N° 6.	0,70	0,50	0,100	0,080

Au-dessus de ces dernières dimensions, on emploie des châssis carrés de 0m,70, 0m,85, 1m,00, 1m,50, 2m,00, de côté, et de 0m,10 à 0m,25 d'épaisseur.

Les châssis dont le côté dépasse 2m,00, sont presque toujours quadrillés et n'ont pas de partie de dessous.

Indépendamment de ces châssis, on emploie encore des châssis octogones portant 0m,216, 0m,330, 0m,400, 0m,500 et 0m,600 de diamètre intérieur, avec une hauteur variable de 0m,06 à 0m,15.

Nous n'en dirons pas davantage des châssis; nous avons voulu donner à entendre ce qu'il y avait à faire pour l'organisation de cette portion du matériel, mais il serait par trop long d'en donner une description complète. Nous rappellerons seulement que la disposi-

FONDERIE DE FER.

tion et la bonne confection des châssis ont une très grande influence sur la rapidité et la perfection du moulage, et que, par conséquent, il y a lieu d'attacher une haute importance à la manière dont ils sont exécutés. Le point essentiel, sous le rapport de la bonté du travail, c'est qu'ils soient toujours assez solides pour résister aux efforts de dilatation des moules; on les fait ensuite le plus légers possible, afin d'en faciliter le maniement, et de réduire à sa limite inférieure le capital, toujours énorme, qu'il faut consacrer à leur acquisition.

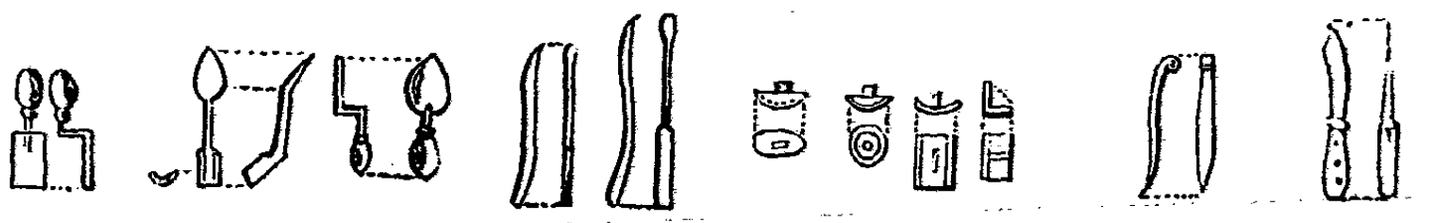
Des noyaux. Les moules destinés aux pièces creuses exigent que l'on y ménage des parties pleines de sable ou de terre auxquelles on fait occuper la place où doit se trouver le vide de la pièce moulée.

Quand ces vides ont de faibles dimensions, on les remplit avec du sable battu dans des moules en bois, que l'on appelle *boîtes à noyaux*. Quand les noyaux sont considérables, on les fait quelquefois en terre ou en briques soutenues et reliées par des *armatures* en fonte et en fer.

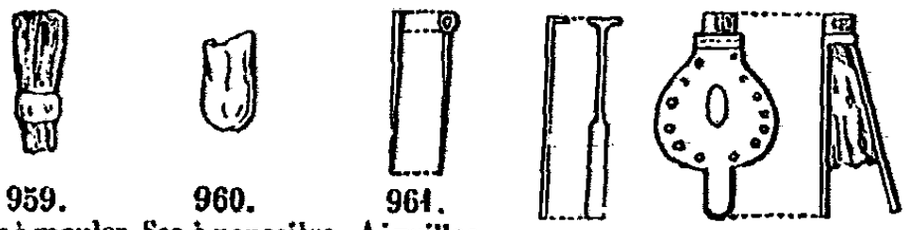
Lanternes, axes. Lorsque les noyaux ont des formes cylindriques régulières, on les fait en terre appliquée sur des pièces cylindriques de fer ou de fonte appelées axes ou lanternes. Les lanternes servent pour les noyaux de grosses dimensions ; ce sont des tubes cylindriques ou coniques en fonte ou en tôle, montés sur des tourillons et percés d'une multitude de petits trous destinés à laisser échapper les gaz qui se développent pendant la coulée

L'épaisseur des lanternes en fonte doit être assez forte pour qu'elles ne fléchissent pas, et varie entre 0m,045 et 0m,025. On leur donne le plus fort diamètre possible, en se ménageant cependant assez de place pour les garnir d'une ou deux épaisseurs de *cordes ou torches* en foin filé, et d'environ 0m,03 à 3m,05 de terre. On met ces lanternes sur un tour, et on les tourne au diamètre voulu. Les noyaux sont ensuite séchés à l'étuve et placés dans le moule.

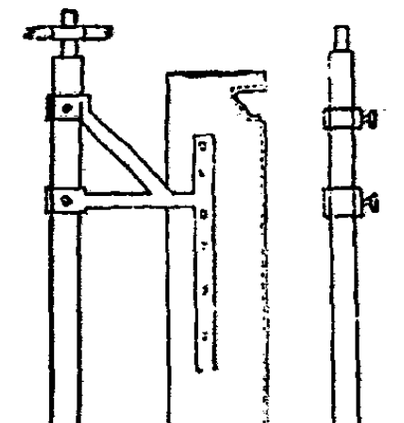
Pour les noyaux d'un très petit diamètre, on remplace les lanternes creuses par des *axes en fonte ou en fer*, pourvus de tourillons quand ils doivent être tournés ; sans tourillons, quand le noyau est fait en sable dans une boîte. Les noyaux de tous les tuyaux sont faits avec des lanternes ou des axes.



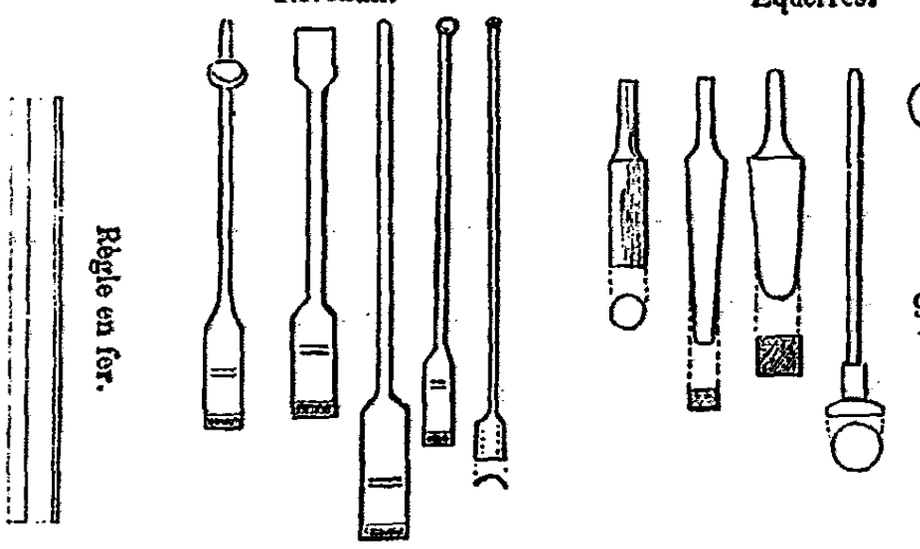
948. 949. Truelles 950. 955. 956. Spatules. 951. 952. 953. 954. Lissoirs. 957. Tranches. 958. Couteaux.



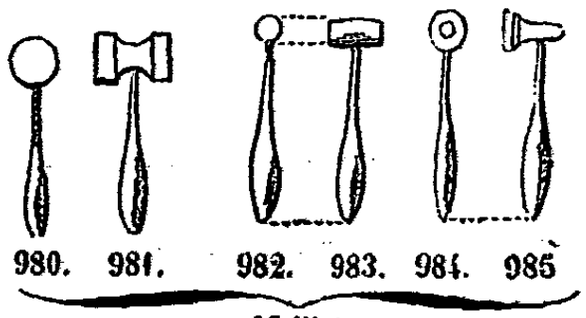
959. Brosse à mouler. 960. Sac à poussière. 961. Aiguilles. 962. Crochets. 963. 964. Soufflets sans buse.



965. 966. Niveaux. 967. Équerres. 968. 969 Arbre à calibre.



970. Règle en fer. 971. 972. 973 974 975. 976. 977. 978. 979. Battes diverses.



980. 981. 982. 983. 984. 985 Maillets.

Ustensiles des mouleurs. Nous avons encore à dire quelques mots des outils et ustensiles employés par les mouleurs dans la préparation des moules ; nous nous contentons de les indiquer sommairement ci-dessus, parce qu'ils varient beaucoup suivant les habitudes de travail des ouvriers.

FONDERIE DE FER.

Nous ne reproduirons pas les formes très diverses des tamis en toile métallique, des compas, des pelles, marteaux, brosses, pinceaux, balais, caisses à sable, tamis à noyaux, etc.

Des modèles. Nous terminerons la nomenclature du matériel des fonderies par quelques données générales sur la confection des modèles.

Les modèles se font généralement en bon bois de noyer, chêne ou sapin, et ils doivent être établis avec beaucoup de soin et de solidité. La bonté du moulage dépend en grande partie de la perfection des modèles.

Tous les modèles doivent présenter de la *dépouille*, c'est-à-dire un certain évasement qui facilite leur sortie du sable. Il faut, en outre, que leurs dimensions soient plus fortes que celles des dessins que l'on copie, à cause du retrait qui s'opère dans les fontes par leur refroidissement. On compte ordinairement sur un retrait de 1/100, ce qui revient à prendre toutes ses mesures avec une règle de 101 centimètres, divisée ensuite en dixièmes, centièmes, millièmes.

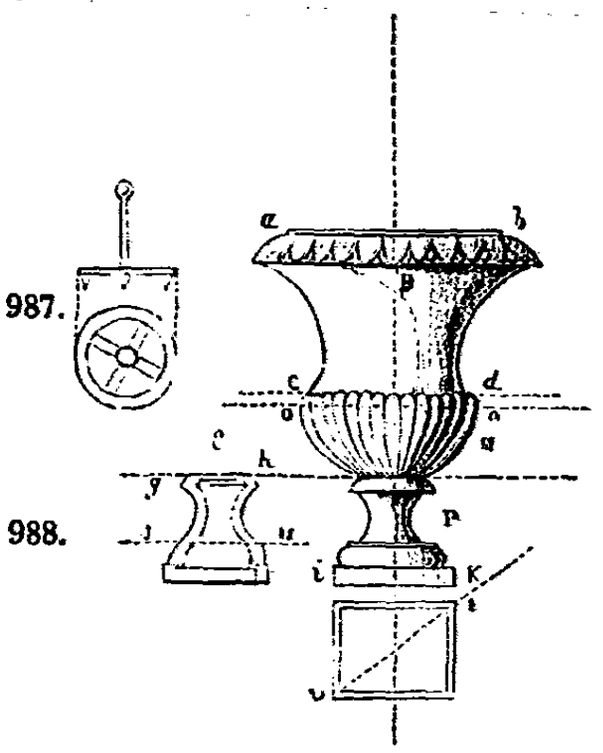
Certaines fontes ont un retrait beaucoup plus considérable, mais elles sont mauvaises pour les fonderies, où l'on doit, au contraire, rechercher les fontes à faible retrait.

Le modeleur doit tenir compte de la manière dont la pièce sera moulée; car il la divise en conséquence pour en réunir ensuite les différentes parties par des chevilles, des vis ou des boulons que l'on enlève pendant le moulage.

La confection des *boîtes à noyaux* est un des points délicats de l'art du modeleur; il faut que les boîtes soient exécutées avec soin et divisées de manière à faciliter la sortie du noyau. La place du noyau est indiquée sur le modèle par une partie dont la trace dans le moule fixe la position du noyau à y placer.

Quand on a beaucoup de pièces à faire sur un même modèle, on le fait en *métal*; *ainsi tous les* modèles des pièces de vaisselle, des ornements, des candélabres, statuettes, etc., se font en cuivre. Il n'est pas moins essentiel, dans beaucoup de cas, de faire également les boîtes à noyaux en métal: pour les coussinets de chemins de fer, par exemple, dont la forme intérieure est la plus essentielle à bien conserver, il est presque indispensable d'avoir des boîtes à noyaux en fonte ou en cuivre.

986.

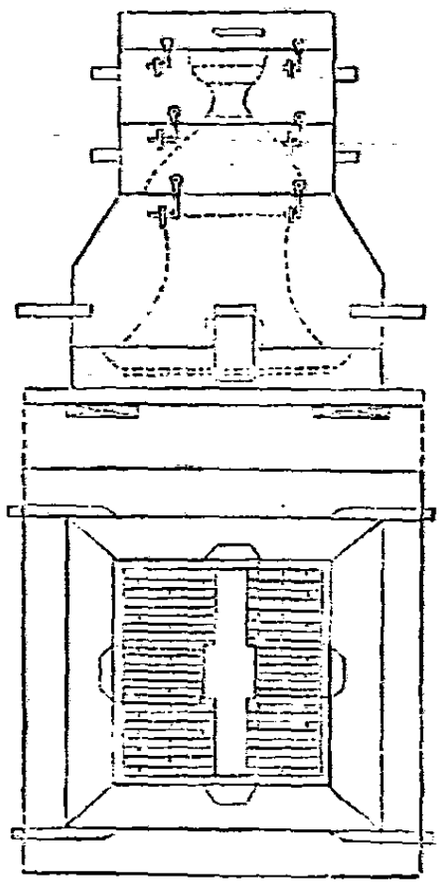


987.

988.

989.

990.



991.

Du moulage. Les indications qui précèdent nous paraissant suffisantes pour donner au lecteur une idée assez nette du matériel des fonderies, nous allons passer à la description des diverses méthodes de moulage que l'on emploie aujourd'hui.

Les opérations du moulage peuvent se partager en cinq classes principales, qui sont :

1° Le moulage en sable vert;
2° Le moulage en sable vert séché;
3° Le moulage en sable d'étuve;
4° Le moulage en terre;
5° Le moulage en coquilles.

Du moulage en sable vert. On entend par moules en sable vert ceux qui reçoivent la fonte aussitôt après leur confection, sans avoir besoin d'être étuvés. Ce procédé est aujourd'hui le plus employé, pour la vaisselle, les ornements et la plupart des pièces de machines.

Le sable que l'on emploie doit être à la fois siliceux et un peu argileux, doux, coulant et moelleux au toucher. Suivant sa qualité, on le mélange avec 1/5 à 1/20 de poussier de houille, qui fait décaper les pièces et favorise la sortie des gaz; quand le sable est trop gras, on le fait recuire, où l'on y ajoute du poussier de charbon en supprimant une partie de celui de houille. Ces sables ainsi mélangés sont séchés à l'avance, puis broyés, tamisés, mouillés et frottés.

Nous ne saurions décrire ici la méthode de moulage employée pour chacune des pièces qui se présentent dans les fonderies; nous en donnerons une idée générale, en décrivant (d'après M. Guettier) le moulage d'un *vase de jardin*.

Le modèle d'un vase (fig. 986 et 989) est décomposé en cinq parties, savoir: la *cloche ou tulipe* qui comprend la partie *abcd*; la couronne *oo'*, ou autrement dit le quart de rond qui termine le culot; le culot M, et enfin le pied P, qui se divise en deux parties suivant la diagonale *v t* (fig. 989). Il résulte de cette disposition que le châssis forme aussi cinq parties (comme l'indique la fig. 990) dont une, celle qui compose la chape du pied, se divise en deux tiroirs. Le noyau du vase se fait dans le modèle, en même temps que l'on pratique le moulage de l'extérieur. Le châssis du pied et le châssis supérieur doivent être, lorsqu'ils sont en bois, garnis de clous qui servent à retenir les sables.

Le châssis supérieur doit avoir de plus une barette avec un mamelon hérissé de pointes, qui plonge dans le modèle du pied et qui sert à supporter le noyau.

Pour procéder au moulage d'un vase, on posera d'abord la cloche sur la planche à mouler qui prend la partie B du modèle, puis on comprimera la chape jusqu'à la ligne *c d*, en ayant soin de fouler le noyau de la cloche en même temps. On pourra poser de suite sur la chape la couronne *c*, en ayant soin de dépouiller le côté du moule suivant *oo'* et le noyau de la cloche suivant

FONDERIE DE FER.

c d. Il sera bon ensuite de retourner la chape entre deux fonds, de la dépouiller suivant *a b*, de battre la fausse pièce qui doit faire corps avec le noyau de la cloche et enfin de retourner de nouveau, en consolidant cette fois la partie à noyau sur une garniture de sable mouvant, disposée aussi horizontalement que possible. On pourra alors mettre en place le modèle du culot, et le châssis qui doit recevoir l'empreinte de cette portion du vase, on foulera à la fois le noyau et la partie de châssis, en ayant soin d'assurer le premier au moyen d'une armature (fig. 987), dont les trois repères s'ajustent dans le noyau de la cloche. On aura également soin en mettant en place le modèle du pied, de faire en sorte que sa section corresponde bien à celle de son châssis, puis on foulera le petit noyau compris entre les lignes *g h* et *s u* (fig. 988), et la partie contenant le moule du pied, laquelle sera dressée suivant *i k* (fig. 986), avant de battre le dernier côté du moule.

Lorsque tous les châssis sont foulés, c'est-à-dire lorsque le moule est monté, comme l'indiquent les fig. 990 et 991, il s'agit de le démonter. Pour cela, on enlève les deux châssis supérieurs et on ouvre en tiroir les deux parties qui contiennent le modèle du pied. En retirant chaque partie on doit enlever avec elle une moitié du modèle qu'on démoule dans le sens qui lui est propre, après avoir eu soin de dépouiller suivant la couture du châssis et suivant celle du pied. Lorsqu'on a retiré les modèles et lorsqu'on a lissé au poussier, on réunit de nouveau par les crochets les deux parties du châssis du pied, et on rectifie les coutures au moyen de la spatule ou du paroir. On enlève ensuite le châssis du culot, puis le modèle, puis enfin le noyau de celui-ci; il ne reste plus alors qu'à démonter la chape de la cloche et à retirer le modèle de celui-ci après avoir enlevé d'abord celui de la couronne. Quand toutes les parties du moule sont ragréées et parées au poussier, on les ferme les unes sur les autres en commençant par celles qui ont été démoulées les dernières. On étuve ordinairement le petit noyau compris entre *g h* et *s u* (fig. 988), afin qu'il ne s'écrase pas en remoulant.

Moulage en sable vert séché. Ce moulage s'emploie pour les pièces de fortes dimensions, telles que plaques de fondation, bâtis, balanciers, etc., dont on désire que les surfaces soient bien nettes et bien polies. Les moules ne sont point dans ce cas lissés au poussier comme pour le sable vert, mais on emploie un badigeon composé d'argile grasse pour 1/4, et de 3/4 de poussier de charbon, que l'on étend au pinceau sur toutes les parties qui doivent recevoir la fonte. On peut néanmoins y passer ensuite le *lissoir* pour effacer les traces de la brosse. Ce moulage donne de forts beaux produits.

Moulage en sable d'étuve. Le sable destiné à l'étuvage n'a pas besoin d'être aussi homogène, ni de posséder toutes les qualités indispensables au sable vert. Cette méthode s'emploie particulièrement pour les pièces à noyaux compliquées, telles que cylindres à vapeur, condenseurs, boîtes de distribution; les pièces à gros noyaux; celles à reliefs et à pièces de rapport, etc.; toutes celles enfin pour lesquelles il faut donner au moule une très grande solidité, et obtenir des surfaces parfaitement saines.

Moulage en terre. On emploie pour cette méthode des terres assez grasses pour se lier parfaitement, mais ne donnant cependant pas trop de retrait, que l'on mélange avec 1/3 à 1/5 de crottin de cheval ou de bourre hachée dont la présence est indispensable pour empêcher les moules de se crevasser pendant le séchage et pour favoriser le passage des gaz.

Le moulage en terre s'emploie principalement pour toutes les pièces circulaires qui peuvent s'obtenir sans modèles au moyen de trousses, et pour un grand nombre de gros objets se présentant rarement, et dont les dimensions exigeraient un appareil de châssis long et coûteux à établir.

Pour les moules en terre de pièces régulières on opère comme il suit :

Disposer d'abord le noyau, en ayant soin de lui laisser tous les orifices nécessaires pour l'échappement des gaz et des vapeurs, ce qui demande d'autant plus de soin que ce noyau est plus vaste et plus renfermé par le métal; trousser ensuite sur le noyau une épaisseur qui représente exactement l'objet à couler: recouvrir enfin cette épaisseur, qui prend le nom de fausse pièce, de plusieurs assises de terre épaisse, qu'on étend en les pétrissant avec les doigts qui laissent à leur surface des empreintes utiles pour lier les différentes couches entre elles et pour les empêcher de gercer. Ce sont ces dernières couches qui composent la chape à laquelle on donne une épaisseur qui augmente en raison de l'étendue et de la masse des pièces à couler.

Pour démouler, il suffit d'enlever la chape au moyen d'une grue, puis la fausse pièce qu'on peut briser parce qu'elle n'est plus d'aucune utilité; on répare alors le noyau et l'intérieur du moule, on leur donne la couche, on les fait sécher de nouveau, et il ne reste plus qu'à fermer le moule et à l'enterrer au moment de la coulée.

On a eu soin de laisser à l'entour du noyau une assise ou meule formant un cône tronqué dont la base supérieure dépasse de quelques centimètres celle de la pièce moulée, et dont la hauteur varie entre 0m,03 et 0m,10. Cette meule sert de repère à la chape qui vient s'y ajuster à frottement, conservant ainsi entre elle et le noyau un vide dont l'épaisseur est parfaitement régulière.

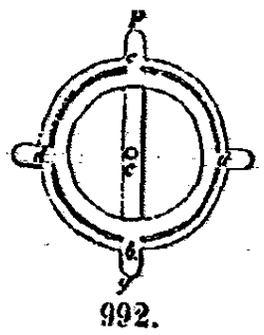
Quand on peut disposer de châssis convenables, on remplace les chapes en briques par une chape trousséa en sable. Pour cela, on choisit un modèle cylindrique dont les dimensions se rapprochent de la pièce à trousser, on moule et on démoule ce modèle par les procédés ordinaires du moulage en sable; puis on introduit la trousse dans le vide qu'il a laissé, et en enlevant tout le sable inutile, on arrive à donner à la chape les dimensions et les formes voulues. Il est également facile de trousser un noyau en sable, si l'on a soin de maintenir celui-ci par une ou plusieurs lanternes, ou de remplir tout son milieu de plusieurs gros morceaux de coke qui, diminuant la masse du sable, donnent de la facilité pour le séchage et se prêtent à l'échappement des gaz. On emploie de préférence ce dernier moyen, pour les noyaux fermés par le haut, tels que les noyaux de chaudières, de bassins, etc., etc.

Lorsque le moulage en terre n'a pas lieu pour des pièces troussées, il se fait sur modèles au moyen de coquilles qui se traitent comme des pièces de rapport. Ces modèles sont recouverts d'un enduit de suif fondu avec de l'huile de pavot ou de la cire; on y applique les couches de terre comme on le fait pour les chapes ordinaires faites sur fausses pièces, en ayant soin de conserver toutes les séparations nécessaires, la facilité du démoulage. On démoule après la parfaite dessiccation de toutes les épaisseurs.

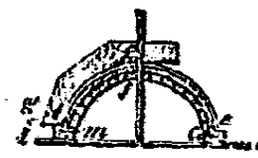
Ces procédés donnent rarement d'aussi beaux produits que le moulage en sable, mais ils sont souvent indispensables pour éviter la dépense considérable des châssis, alors qu'il faut employer des moules excessivement solides.

Pour rendre plus clair ce que nous venons de dire, nous prendrons un exemple simple, celui de la fabrication d'une chaudière à sucre (fig. 997): on établit horizontalement sur le sol une plate-forme annulaire en fonte *a d b d* (fig. 993); on appuie, au centre *c*, l'extrémité inférieure d'un arbre vertical disposé de manière à pouvoir tourner librement sur lui-même, en faisant décrire à l'arc *e f* (fig. 996) d'un pommeau de bois, une surface de révolution identique avec la sur-

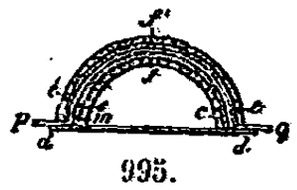
face intérieure renversée de la chaudière qu'on veut mouler; la ligne *e g* du panneau est dressée de manière à décrire la surface du bord de la chaudière. On construit alors sur la partie *a d b d* de la plate-forme en fonte, avec des briques posées soit à plat, soit de champ, et de la *terre*, une espèce de dôme *h i k* (fig. 996), de 0m,05 à 0m,10 d'épaisseur, selon la grandeur et le poids de la pièce à mouler; la surface extérieure du dôme doit être distante partout de 0m,50



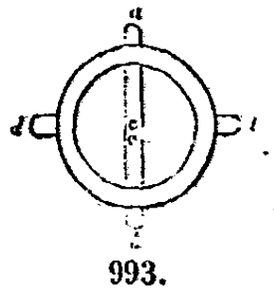
992.



994.



995.



993.

996.

997.

au moins de la surface décrite par l'arc *e f;* avant d'élever le dôme en briques jusqu'au point *i*, on place de la *houille sur le sol*, dans l'intérieur, afin d'établir plus tard en ce point un foyer pour dessécher le moule. On ferme alors la voûte en ne laissant plus en *i*, autour de l'arc de révolution, qu'une très petite issue. Cette ouverture, ainsi que quelques autres que l'on ménage au-dessous des bords de la plate-forme en fonte, permettent au mouleur d'allumer le feu quand cela est nécessaire, et de le graduer de manière à dessécher peu à peu et complétement le moule, sans qu'il soit nécessaire d'y introduire de nouvelle houille.

On étend sur le dôme en briques une couche de terre de consistance pâteuse; on la tourne avec le panneau *g e f*, et l'on obtient une surface raboteuse, que l'on enduit d'une couche de terre beaucoup plus molle; on tourne encore avec le panneau, et il se produit une surface lisse, sur laquelle viendra se mouler la partie extérieure de la chaudière. La ligne *e g* a tracé, dans sa révolution, une sorte d'épaulement ou rebord *m*. Le moule étant dans cet état, on allume le feu et on laisse sécher, puis on enduit, à l'aide d'un large pinceau, toute la surface extérieure avec une sorte de bouillie formée d'eau, de poussière de charbon de bois et de très peu d'argile, afin de prévenir l'adhérence, la surface déjà séchée et les couches d'argile qui vont être appliquées par-dessus. On enlève alors le panneau *g e f*, et on le remplace par un autre panneau *g' e' f'* (fig. 994), dont le bord *e' f'* décrit la surface extérieure de la chaudière. On étend sur la surface *e f* une couche de terre, qui est tournée et lissée de manière à produire la surface de révolution *e' f'*, comme on avait fait pour la surface *e f*, seulement dans ce cas-ci, la ligne *e' g'* du panneau ne forme pas de nouvel épaulement et frotte légèrement sur *m*.

La couche de terre comprise entre les deux surfaces *e f*, *e' f'*, est une représentation exacte de la chaudière qu'on veut obtenir. Lorsque cette couche est bien séchée par la chaleur du foyer, qui continue à brûler intérieurement, on l'enduit de la bouillie dont il a déjà été fait mention. On enlève l'arbre vertical, en laissant subsister au dôme le trou par lequel il passait, ce qui

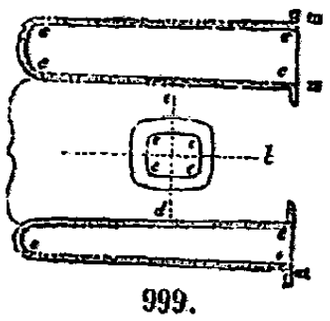
continue à favoriser la combustion du charbon placé à l'avance dans l'intérieur, puis on pose horizontalement sur les oreilles de la plate-forme *d d* (fig. 995), une nouvelle plate-forme annulaire *p q*, semblable à la première, avec cette différence qu'elle est un peu plus grande et qu'elle ne porte pas de traverse. La disposition relative de ces deux plates-formes est représentée en plan fig. 992.

On applique sur la surface *e' f'* (fig. 995) une nouvelle couche de terre de 0m,05 d'épaisseur et dont la partie extérieure est lissée grossièrement à la main; puis, on construit sur la plate-forme *p q* une voûte en briques, dont la surface interne s'applique contre la couche de terre. Celle-ci contracte une forte adhérence avec les briques qui absorbent une partie de son humidité, tandis que l'enduit étendu sur la surface *e' f'* l'empêche de s'attacher aux couches de terre qui l'ont précédée.

On laisse sécher toute la masse en continuant le feu, dont le courant d'air est entretenu à l'aide d'une petite ouverture ménagée à la partie supérieure du nouveau dôme; puis, quand tout est convenablement sec, on repère les deux plates-formes, et on enlève *p q*, en ayant soin de la maintenir dans une position à peu près horizontale. Avec cette plate-forme s'enlève la dernière voûte en briques, et la couche de terre qui la précède. Celle-ci représente intérieurement le moule exact de la surface *e' f*, ou de l'extérieur de la chaudière. On brise la croûte comprise entre *e f* et *e' f'*, opération qu'il est facile de faire sans endommager la surface *e f*, qui représente exactement la surface intérieure de la chaudière, ni l'épaulement *m*, qui en forme le bord. L'ouverture verticale, qui donnait passage à l'arbre de rotation, quand il était en place, et au courant d'air du foyer intérieur, est bouchée, et l'on ne conserve cette ouverture que dans la partie du moule enlevée avec *p q*, c'est par là qu'on verse la fonte lors du moulage, après avoir replacé bien exactement, à l'aide de repères, les plates-formes l'une sur l'autre.

Il arrive souvent que certaines parties des moules sont faites en sable, et certaines autres, particulièrement les noyaux, en terre. Comme exemple, nous prendrons une cornue à gaz (figures 998 et 999). Le noyau de la cornue doit avoir la forme *e e e e*, et présenter une grande consistance, attendu qu'il ne peut être fixé au moule extérieur, lors de la coulée, que dans la partie sortant de la cornue vers *m m*. Il faut qu'il soit modelé en terre sur un cylindre ou tronc de cône creux en fonte d'environ 13mm d'épaisseur, dit *lanterne*, et d'une forme différente pour chaque sorte de noyau; sa surface est criblée de trous de 10 à 12mm de diamètre; il est monté, à l'aide de croisillons en fer, sur un axe aussi en fer, qui le traverse dans toute sa longueur. La fig. 1000 représente une section horizontale par l'axe du noyau:

998.



999.

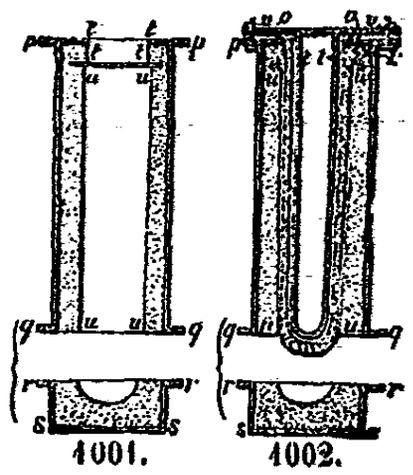
1000.

i g h, est l'axe de la lanterne, représentée elle-même en *i k k i*, *i o*, est une espèce de rebord ou plateau perpendiculaire à l'axe, ouvert en *i i*, faisant corps avec la lanterne, et dont la circonférence *o o* présente une courbe semblable à la section du noyau faite perpendiculairement à son axe. L'axe *g h* est posé sur deux

tourillons, et des manivelles placées à ses deux extrémités facilitent la manœuvre pendant la fabrication du noyau. On enroule sur toute la surface de la lanterne, depuis le point *h* jusqu'au collet formé par le plateau, une corde de la grosseur du doigt, faite avec du foin assez fortement tordu. On forme ainsi une ou plusieurs couches de cette sorte d'enveloppe, selon la grosseur du noyau par rapport à la lanterne; puis on étend de la terre sur le foin et on lui donne exactement la forme que doit avoir le noyau, en maintenant à la main une planche convenablement entaillée contre le plateau *o o*, et un autre plateau qu'on ajoute momentanément vers *h*, tandis qu'à l'aide des manivelles on donne un mouvement de rotation à tout l'appareil. Le foin interposé entre la lanterne et la terre, a pour effet de faciliter l'adhérence de cette terre, et de livrer passage, jusqu'aux trous qui criblent la surface de la lanterne, aux gaz qui se dégagent lors de la coulée.

Quand le noyau est achevé et qu'il a passé à l'étuve, on enlève l'axe *g h*, puis on bouche avec de la terre la petite ouverture qu'il a laissée au point *h*; en cet état, le noyau est prêt à être introduit dans le moule de la pièce.

Ce moule, exécuté en sable recuit, se compose de trois pièces, dont deux absolument semblables entre elles, sont représentées en *p q* (fig. 1001); la troisième est indiquée en *r s*, et forme le moule de l'extrémité de la cornue. Le cylindre *u u*, qui représente le moule extérieur de la cornue, est surmonté d'une partie vide également cylindrique *t t*, placée sur le même axe, et d'un diamètre précisément égal à celui du noyau, qui a une forme légèrement conique, afin de pouvoir entrer facilement dans cette ouverture *t t*, et de la boucher très exactement quand il y est introduit jusqu'au collet.



1001. 1002.

Les trois parties du moule et le noyau étant préparés, on réunit d'abord les deux pièces *p q*, et on les soutient dans une position verticale · puis on descend le noyau dans l'ouverture *t t* (fig. 1002). Quand le plateau *o o* du noyau est appuyé sur le moule, on vérifie si le bout du noyau est bien partout également distant du bord de la surface extérieure *u u*, et on s'assure qu'il ne dépasse pas trop la ligne *q q*. En cas de quelque inexactitude, on rectifie la position du noyau avec de légères cales en fer placées sous le bord du plateau *o o*; puis, à l'aide d'une croix en fonte et d'écrous *v v*, on fixe le noyau de manière à le rendre invariable. On descend tout l'appareil sur *r s*, et l'on fixe avec des boulons et écrous la surface plane *q q* sur *r r*; puis on introduit la fonte liquide, dans le moule placé debout, par une ouverture *z*, ménagée à la partie supérieure du moule.

Moulage en coquilles. Cette méthode, qui consiste à couler les pièces dans des moules en métal, a généralement pour but d'obtenir des surfaces très dures; elle ne s'emploie que rarement, et presque toujours pour les cylindres des laminoirs à tôle ou à petits fers, dont il est essentiel que la surface soit aussi dure que possible. Pour obtenir de bons cylindres trempés, il faut : faire l'épaisseur de la coquille soit égale à 1/3 du diamètre du cylindre; chauffer les coquilles à 75 ou 80 degrés; introduire le métal suivant deux jets en source; donner à la masselotte environ le tiers du poids du cylindre, et choisir de bonnes fontes grises. On ne coule jamais que la table du cylindre en coquilles, le tourillon et le trèfle sont moulés en sable séché.

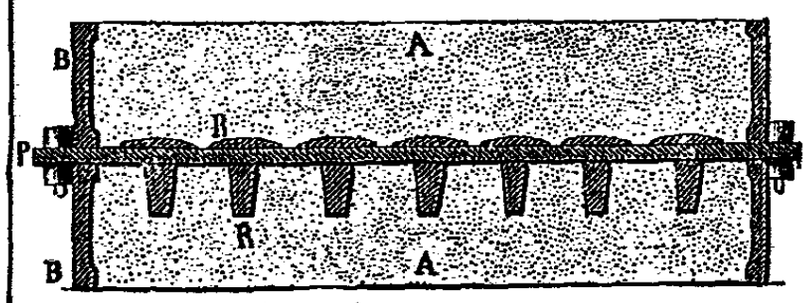
Moulage à l'aide de plaques, dit mécanique. Toutes les fois qu'il s'agit d'obtenir un grand nombre de petites pièces semblables, on trouve une grande économie à fondre un premier moule en fonte qui représente une réunion de demi-pièces, sur lesquelles le sable est pressé avec grande facilité dans le châssis dont les deux parties se rapprochent avec toute sécurité. Ce procédé extrêmement expéditif est très-économique pour les petites pièces.

Ce système, qui dans ce cas offre l'avantage précieux de maintenir les écartements de plusieurs objets à mouler simultanément, n'a en principe rien de bien nouveau sans doute, mais ce n'est que depuis peu de temps qu'on a remarqué combien il était avantageux pour les productions d'articles qui doivent être multipliés en grand nombre.

On emploie aussi des plaques doubles pour fabriquer des rivets, par exemple. Les guides qui réunissent les deux châssis sont assez longs pour recevoir la plaque entre les châssis, et quand elle est en place, l'ensemble ne diffère pas d'un système ordinaire. La plaque portant un demi-rivet sur chaque face ayant été placée entre les deux châssis, le sable est battu; on enlève ensuite la plaque, les guides empêchant aucun ébranlement dans cette opération. Les châssis étant alors de nouveau réunis, le creux qui répond à la tête de chaque rivet est exactement perpendiculaire à celui de la tige. Les avantages qu'offre ce mode d'opérer sont si grands qu'il reçoit chaque jour de nouvelles applications.

Plaques percées. Une modification de ce système consiste à employer des plaques percées d'ouvertures, propres à recevoir directement des modèles pouvant traverser celles-ci et être retirés à l'aide de la plaque; il a été employé pour la première fois pour la fonte des clous de laiton. La vue de la fig. 1003 suffit pour faire saisir le mode d'opérer. Une modification de ce système est employée sur une grande échelle à Woolwich pour mouler les boulets et les obus. On y opère ainsi qu'il suit :

Fig. 1003.



A sable, BB châssis, R clou, P plaque.

Une ouverture circulaire est pratiquée dans une plaque horizontale de fer, bien dressée, de trois centimètres d'épaisseur. A travers cette ouverture et exactement de même diamètre, on engage une sphère de fer de telle sorte qu'un hémisphère sorte exactement de la plaque. Le châssis inférieur est posé sur la plaque et rempli de sable; le levier qui soutient la sphère étant retiré, celle-ci tombe par son seul poids; on opère de même pour le châssis supérieur. Les moitiés du moule du noyau de sable de l'obus sont aussi ouvertes et fermées à l'aide d'un levier, afin d'éviter toute altération de forme.

De la coulée Nous ne pouvons pas décrire ici toutes les précautions que l'on doit prendre relativement à la fonction des *jets* pour l'entrée de la fonte, des *évents* pour la sortie de l'air, des *masselottes* qui fournissent du métal au centre et empêchent les soufflures, avant de procéder à la coulée des moules; et cependant il est positif qu'elles exercent la plus grande influence

sur le succès de l'opération. Ce sont là des détails tout à fait pratiques que l'on saisit d'un coup d'œil quand on assiste au travail d'une fonderie, mais dont il serait fastidieux et inutile de décrire toutes les nuances.

Pour bien faire comprendre le mode d'opérer, nous représentons ici la vue d'une coulée fig. 1004.

Fig. 1004.

Nous dirons seulement un mot des nombreux accidents auxquels sont sujettes les pièces moulées : ce sont *les soufflures* qui sont occasionnées par des bulles d'air, qui, n'ayant pas trouvé d'issue pour s'échapper des moules, viennent se loger à la surface des pièces; *les retirures*, qui proviennent du tassement du métal, et qui présentent des surfaces raboteuses, entachées et souillées; les *dartres*, qui résultent d'un manque de cohésion dans le sable, ou d'un jet mal dirigé ou versé de trop haut; *les bosses*, qui proviennent d'un sable mal tassé; *les reprises*, *friasses* et *flons* qui sont engendrées par une fonte trop froide, ou par les défauts de liaison dans le métal, etc., etc.; la *rupture*, ou le *gauchissement* des pièces par le retrait, quand les modèles sont mal combinés, etc. Ces accidents, et beaucoup d'autres que nous renonçons à décrire, sont très-nombreux dans les fonderies; ils sont l'écueil du fondeur, et ils prouvent jusqu'à l'évidence le grand nombre de précautions minutieuses auxquelles il faut s'astreindre pour faire un bon travail et obtenir de beaux produits.

Dispositions générales. D'après les détails dans lesquels nous sommes entrés sur les différents appareils employés dans les fonderies, il est facile d'en conclure les dispositions qui doivent faciliter l'ordre et la bonne marche d'un grand atelier.

Une usine occupant en tout un carré de terrain de 75m de côté peut produire annuellement, en fondant une fois par jour, 7,500 à 8,000 quint. métr. de fonte moulée de seconde fusion, en employant environ cent ouvriers.

A. Barrault.

FONDERIE DE CUIVRE ET DE BRONZE. Le moulage des pièces en cuivre ou en bronze peut s'exécuter par les mêmes procédés que celui des objets en fonte; mais on emploie plus généralement le moulage en sable d'étuve, parce qu'il fournit des résultats plus convenables sous le rapport de la netteté et de la qualité. Le cuivre rouge fondu devient peu liquide, *monte*

dans les moules, et n'est pour ainsi dire jamais employé dans la fonderie; la facilité avec laquelle ce métal se travaille au rouge et même à froid, permet d'éviter le moulage d'un grand nombre d'objets, qu'il est d'ailleurs plus convenable de forger, parce qu'on les obtient plus denses et par suite d'une plus grande ténacité. Lorsqu'au contraire, le cuivre est allié à une certaine proportion d'étain ou de zinc, de manière à constituer les bronzes et les laitons, il devient extrêmement liquide par la fusion, et particulièrement propre au moulage.

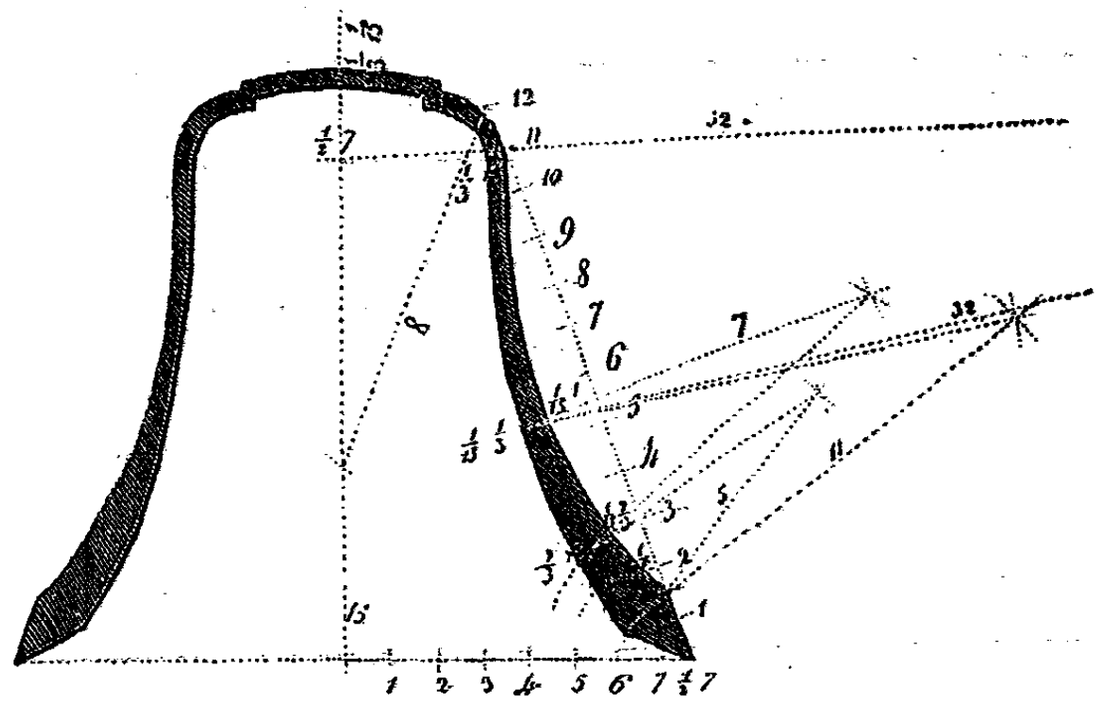
Nous avons déjà donné un exemple du moulage du bronze, en parlant de la fabrication des BOUCHES A FEU; nous en donnerons encore un autre, en disant quelques mots sur les *fonderies de cloches*.

Le métal des cloches est un alliage composé d'environ 78 p. 100 de cuivre et 22 d'étain; mais sa composition n'est pas et ne peut être constante, même dans la même pièce.

Le tracé des cloches repose sur une base déterminée, dite *échelle campanaire*, *bâton de Jacob*, et plus connu sous le nom de *brochette*, qui a été dictée par l'expérience et se transmet de génération en génération dans les familles des fondeurs. Elle repose sur certaines proportions qui, à l'instar des modules en architecture, servent à régler et à faire harmoniser entre elles les diverses parties des cloches. Le *bord*, ou autrement dit la plus forte épaisseur de la cloche, constitue le principe de toute la mesure; c'est le point de départ qui détermine toutes les autres dimensions. La brochette qui est une échelle composée de plusieurs lignes horizontales venant s'appuyer sur un trait vertical, donne, au moyen de points placés à des distances convenues, l'épaisseur du bord, suivant le poids des cloches. Le tableau qui suit, et que nous empruntons à l'ouvrage de M. Guettier sur la fonderie, donne l'épaisseur du bord, et le diamètre des cloches, depuis un poids de 3k jusqu'à un poids de 12000k; ce n'est du reste, qu'une brochette présentée sous la forme de tableau et exprimée en mesures métriques.

POIDS des cloches	ÉPAISSEUR du bord.	GRAND diamètre.	POIDS des cloches	ÉPAISSEUR du bord.	GRAND diamètre.
kilogr.	m.	m.	kilogr	m.	m
3	0,008	0,120	750	0,074	1,110
4	0,011	0,165	1000	0,081	1,215
5	0,013	0,185	1250	0,087	1,305
6	0,015	0,225	1500	0,093	1,395
10	0,019	0,285	1750	0,098	1,470
15	0,021	0,315	2000	0,103	1,545
20	0,022	0,330	2250	0,108	1,620
25	0,023	0,345	2500	0,110	1,650
30	0,025	0,375	2750	0,114	1,710
35	0,027	0,405	3000	0,117	1,755
40	0,028	0,420	3500	0,123	1,845
45	0,029	0,435	4000	0,128	1,920
50	0,030	0,450	4500	0,134	2,010
75	0,034	0,510	5000	0,137	2,055
100	0,037	0,555	5500	0,141	2,115
125	0,040	0,600	6000	0,146	2,190
150	0,043	0,645	6500	0,150	2,250
175	0,045	0,675	7000	0,154	2,310
200	0,047	0,705	7500	0,158	2,370
250	0,050	0,750	8000	0,160	2,400
300	0,055	0,825	8500	0,164	2,460
350	0,058	0,870	9000	0,168	2,520
400	0,060	0,900	9500	0,170	2,550
450	0,063	0,945	10000	0,173	2,595
500	0,065	0,975	11000	0,181	2,715
600	0,068	1,020	12000	0,190	2,850

Plusieurs méthodes sont en usage pour le tracé des cloches; la plus suivie est celle qui donne 15 bords au grand diamètre, 7 bords 1/2 au diamètre du cerveau, 12 bords à la ligne qui joint l'arête inférieure de la cloche à la naissance du couronnement du cerveau, et enfin 32 bords au plus au grand rayon qui sert à tracer le profil de la partie supérieure de la cloche proprement dite. La fig. 1005, où toutes les lignes de construction sont cotées en nombres, la dimension du bord étant prise pour unité, suffira pour indiquer le tracé à suivre dans le cas d'une cloche de dimensions quelconques.



1005.

Quant aux dimensions à donner aux diverses cloches d'un même carillon ou d'une même volée, on admet, conformément aux lois de l'acoustique, que le nombre de vibrations de la cloche est en raison inverse de son diamètre, ou de la racine cubique de son poids; de sorte que pour une série de cloches qui formeraient une octave complète, les diamètres iraient en augmentant avec la gravité des sons et seraient entre eux :

pour	*ut*,	*ré*,	*mi*,	*fa*,	*sol*,	*la*,	*si*,	*ut*;
comme	1,	8/9,	4/5,	3/4,	2/3,	3/5,	8/15,	1/2.

Le tracé des anses, représenté fig. 1006, est plus simple que celui des cloches. Les modèles d'anses se font en plâtre, en bois ou en terre cuite, et on a soin d'y conserver des divisions comme *aa*, *cc*, pour aider au démoulage. Après avoir enduit ces modèles d'une couche de cire et de suif mêlés, on les recouvre de plusieurs épaisseurs de terre fine; on fait sécher le moule avant de retirer les modèles, on le ragrée, on place les coulées qui sont habituellement disposées sur le point le plus élevé; enfin on le recouvre d'une couche de cendres délayées dans du lait ou de l'urine et on le fait recuire.

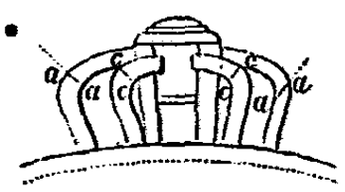
Les cloches sont ordinairement moulées dans la fosse où on les coule, et sur une base qui ne subit pas de déplacement. Ce moulage diffère peu du moulage en terre décrit avec détails dans l'article précédent (FONDERIE DE FER). Il consiste dans la confection d'un noyau en briques et d'une chape en terre, entre lesquelles est placée une épaisseur postiche de terre qu'on appelle la fausse-cloche, et qui est séparée des autres parties du moule par des couches de cendres ou de noir qui l'empêchent d'y adhérer et facilitent par suite le démoulage; c'est sur la fausse cloche qui occupe provisoirement la place du métal, que les fondeurs disposent les cordons, les ornements, et les inscriptions dont les cloches sont habituellement recouvertes. Ce travail s'exécute au moyen d'empreintes en cire très fusible et en même

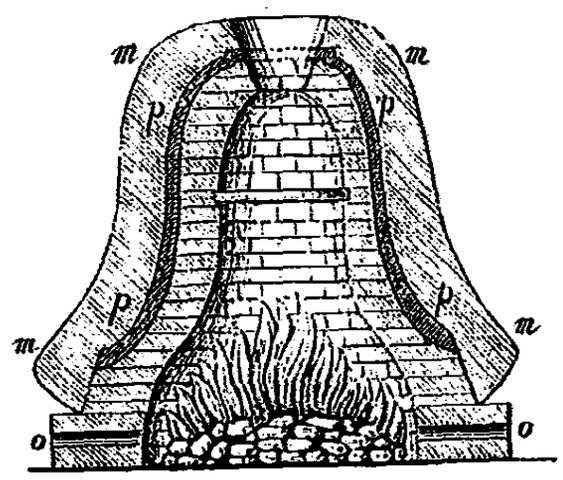
temps tenace, que l'on obtient en faisant fondre à un feu doux, puis filtrant sur un tissu de laine, un mélange de 0,80 de cire, 0,13 de poix blanche, 0,04 de graisse et 0,03 d'huile de pavot.

La beauté des cloches dépend beaucoup de la qualité de la terre ou potée qui sert à garnir les empreintes en contact avec le métal; cette potée se compose ordinairement de terre très fine à laquelle on ajoute environ 1/4 de fiente de vache. On a l'habitude de la préparer longtemps à l'avance, afin qu'elle puisse éprouver une sorte de fermentation, ce qui la rend beaucoup meilleure. La terre qui doit composer la chape est préparée à peu près de la même manière; seulement on remplace la fiente de vache par du crottin de cheval ou par de la bourre hachée.

On pourra juger, par l'examen de la fig. 1007, de l'ensemble d'un moule de cloche : ce moule est achevé, en plein séchage, et tout prêt pour le démoulage. *n n*, est le noyau au milieu duquel on brûle le combustible qui reçoit de l'air par les soupiraux *o*, *o*; *m m m*, est la chape, et *p p p*, la fausse-cloche qu'on devra enlever et casser après que la chape sera démoulée. Le travail

1006.





1007.

qui reste à faire dans l'état où se trouve la fig. 1007, consiste donc à ragréer la chape et la surface du noyau après l'enlèvement de la fausse-cloche, à les recouvrir d'une couche de cendres délayées dans du lait ou de l'urine, à placer sur la chape le moule des anses et le bassin de coulée qui fait corps avec celui-ci, à garnir le fond encore ouvert du noyau d'un bouchon de terre dans lequel est scellé l'anneau qui doit supporter le battant; enfin à remouler et à enterrer le moule, après toutefois s'être assuré que la dessiccation est complète.

Le poids du battant est d'environ 1/20e de celui de la cloche; il est proportionnellement un peu plus faible pour les fortes cloches. P. DEBETTE.

FONDERIE DE ZINC. Il n'y a que peu d'années que l'art de couler en zinc a été importé en France, et cet art n'a pas encore l'importance qu'il pourra prendre un jour. Quatre ou cinq établissements seulement à Paris s'occupent de fondre le zinc pour faire ce qu'on appelle de *faux bronzes;* ils fabriquent plus généralement les menus objets; des chandeliers, des lustres ou des faux bronzes de pendules, bronzés ensuite à l'aide de la galvanoplastie. Le zinc que les fabricants emploient de préférence est celui de la Silésie; ils disent qu'ils peuvent également se servir de celui de la Vieille-Montagne, mais que le zinc de cette localité se coule moins facilement et prend moins nettement la forme du moule. Ils ne coulent en sable que les pièces un peu plus considérables, telles que celles qui servent aux pendules, et ils opèrent alors comme les fondeurs en métaux ordinaires. Généralement leurs moules sont en fer; ils les placent verticalement, prennent dans le creuset le métal avec une cuillère, le versent, laissent refroidir quelques instants, et l'opération est achevée. Lorsque les pièces qu'ils veulent obtenir sont destinées à offrir une certaine résistance, comme par exemple les branches d'un lustre, qui offrent peu d'épaisseur et qui seraient susceptibles de fléchir, ils les renforcent en mettant dans le moule un fil de fer de 4 à 8 millimètres de diamètre, dont le but est de faire charpente; ils coulent ensuite le zinc fondu qui entoure de toutes parts cette tige interne et y adhère fortement.

Dans toute la Prusse, et surtout à Berlin, l'art du fondeur en zinc a pris une extension qui laisse bien loin en arrière toute la fabrication française en ce genre. On coule en zinc des statues de grandeur colossale, des vases, des ornements d'architecture de toute espèce, à tel point que pour décorer la plupart des édifices publics nouveaux, églises, théâtres, bibliothèques, palais, on ne se sert plus que d'ornements en zinc, revêtus d'un vernis particulier. Ainsi nous avons vu à Berlin, dans la fonderie de M. Geiss, qui est le principal fondeur en zinc de l'Allemagne, un fronton de dimension très considérable pour le théâtre de Hambourg, et plusieurs statues, corniches et entablements pour le grand opéra de Berlin, qu'on a terminé à la fin de 1844. Il est d'usage, dans l'Allemagne du nord, de couronner la plupart des édifices par des statues. Jusqu'à ces dernières années, on employait pour cet objet des statues de pierre qui, comme on le sait, résistent difficilement aux injures du temps; on paraît disposé maintenant à remplacer partout ces dernières par des statues de zinc qui offrent une résistance suffisante, sont à bien meilleur marché, et ne chargent pas les murs autant que des statues en bronze ou même en fonte.

Le zinc dont on se sert en Allemagne est celui de Silésie; on prétend qu'il est bien meilleur que celui de toute autre provenance. Il est vrai qu'il donne une masse bien continue, ne présentant point de pores comme fait celui de la Vieille-Montagne, par exemple. Nous croyons que le secret de cette juste préférence qu'on lui accorde réside bien plutôt dans la double fusion qu'il a subie, que dans une composition particulière, quoiqu'il soit vrai que le zinc de Silésie soit un alliage et non pas un métal pur (voir pour plus amples explications l'article ZINC). Les fondeurs allemands font tous leurs moules en sable fin mélangé de charbon en poudre tamisé. Ils ont soin de disposer leurs foyers de telle sorte que la température ne puisse pas trop s'y élever, et se tienne à peu près constamment au rouge obscur, à cause de la facile volatilité du zinc. Sa prompte fusibilité qui commence à la température de 360°, rend son emploi très commode pour le coulage; on le fond dans des creusets faits moitié d'argile cuite moitié d'argile crue, semblables à ceux qu'on emploie dans la métallurgie de ce métal. BARRAL.

FONDERIE EN CARACTÈRES. Depuis Fournier jeune, c'est-à-dire depuis près d'un siècle, les procédés de la fonderie en caractères n'ont pas été décrits, et pourtant, si les principes sont restés les mêmes, bien des idées ingénieuses sont venues trouver leur place dans cette industrie. Nous espérons donc qu'on nous saura gré d'en décrire les procédés un peu longuement, eu égard au cadre de cet ouvrage, et qu'on pourra trouver quelque intérêt à leur exposition, qu'on chercherait inutilement ailleurs.

La fonderie en caractères n'est pas d'ailleurs seulement une partie de ce grand art de la typographie, la découverte la plus merveilleuse des temps modernes, elle doit aussi être considérée comme une branche de l'art de la fonderie, le procédé le plus parfait et le plus économique de donner à un corps une forme voulue.

Toutes les fois qu'il s'agit industriellement de faire un corps semblable à un autre, c'est par les procédés de moulage, puis par ceux de fonte ou de coulage, qu'on parvient à l'obtenir économiquement. Dans ces procédés en général (et toujours dans le cas de corps résistants, comme les alliages métalliques, le seul dont nous voulions parler), le moule est fait en terre, en sable, etc., doit être reproduit pour chaque exemplaire qu'il s'agit d'obtenir, et la pièce métallique, fondue à une haute température, doit être réparée, ébarbée, soumise enfin à des façons mécaniques pour être amenée à l'état voulu

Quand il s'agit de multiplier un objet un très grand nombre de fois, les frais du moule, de réparation pour chaque exemplaire doivent être diminués autant que possible, et la perfection consisterait à pouvoir se servir toujours du même moule et à éviter toute réparation. C'est ce but qu'atteignent les procédés de fonderie en caractères, qui, à cet égard, doivent trouver de nombreuses applications toutes les fois que les pièces peuvent être faites en alliages d'une résistance médiocre. Déjà pour les garnitures dans les métiers à filer le coton, pour les moulins à dévider la soie, pour les assemblages des tuyaux de tôle, pour la fonte du zinc, etc., on a utilisé avec avantage les procédés de la fonderie en caractères. On a d'ailleurs cru à tort que la résistance des alliages qu'il était possible de mouler par ces procédés était nécessairement minime, et nous relaterons avec soin les résultats qui ont été obtenus en opérant avec des alliages d'assez grande résistance.

§ 1. CONDITIONS QUE DOIVENT REMPLIR LES CARACTÈRES D'IMPRIMERIE.

Du mode de composition et de tirage qui constitue l'IMPRIMERIE, on déduit facilement les conditions auxquelles doit satisfaire la fabrication des caractères. Chacun sait que ceux-ci sont de petits parallélipipèdes métalliques portant à l'une de leurs extrémités l'œil de la lettre, que l'on réunit pour former les mots, les pages, etc.

La première condition, dont il n'est pas besoin de parler, c'est que l'œil de la lettre représente avec pureté la forme voulue, et que son relief soit suffisant pour qu'elle laisse seule son empreinte sur le papier.

2° Il faut que tous les caractères avec lesquels on compose une page aient tous une dimension constante, celle dans le sens de la longueur de la lettre, ce qu'on appelle la force de corps. Si les lettres sont toujours à la même hauteur sur le corps, les parties inférieures des lettres placées l'une près l'autre seront toujours sur la même ligne, ce qui est indispensable pour la lecture, et de plus la surface des tiges étant plane à cause de leur égalité, une ligne viendra s'appliquer sur une autre sans laisser de vide.

3° Il faut que toutes les lettres soient également distantes entr'elles, et que la séparation ne soit plus grande, que pour distinguer les mots entr'eux. C'est par cette condition essentielle qu'est déterminée l'épaisseur des tiges qui portent les différentes lettres, comme nous le verrons plus loin. Il faut enfin que les quatre surfaces soient parfaitement d'équerre entr'elles, autrement la lettre qui est fondue de manière que ses traits soient perpendiculaires à la dimension constante, tourne avec la tige de la lettre, et elle se trouvera pencher. L'égalité parfaite sur toute la hauteur dans tous les sens est de plus nécessaire pour qu'on puisse, en serrant une page composée, n'en faire qu'un seul tout, aisément maniable.

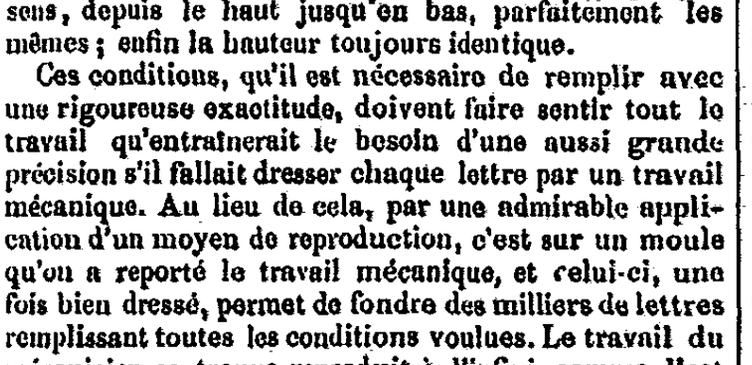
4° La hauteur de toutes les lettres doit être identiquement la même. Il n'est pas besoin d'insister sur cette condition, puisque s'il y avait des inégalités, quelques-unes des lettres percoraient le papier à l'impression, tandis que d'autres ne marqueraient pas.

En un mot, l'œil doit être pur et avoir un relief suffisant ; les tiges doivent être parfaitement droites, les faces d'équerre entre elles ; les épaisseurs en tous sens, depuis le haut jusqu'en bas, parfaitement les mêmes ; enfin la hauteur toujours identique.

Ces conditions, qu'il est nécessaire de remplir avec une rigoureuse exactitude, doivent faire sentir tout le travail qu'entraînerait le besoin d'une aussi grande précision s'il fallait dresser chaque lettre par un travail mécanique. Au lieu de cela, par une admirable application d'un moyen de reproduction, c'est sur un moule qu'on a reporté le travail mécanique, et celui-ci, une fois bien dressé, permet de fondre des milliers de lettres remplissant toutes les conditions voulues. Le travail du mécanicien se trouve reproduit à l'infini, comme l'est celui du graveur (voyez GRAVEUR EN TYPOGRAPHIE), et doit, comme celui-ci, être extrêmement soigné, à cause de la grande reproduction de ses défauts ou de sa perfection.

Le premier principe d'un fondeur doit être que la lettre doit sortir parfaite du moule, et ne regarder les opérations qui suivent la fonte que comme des accessoires nécessaires, mais non comme des correctifs de la fonte. Sans doute, dans un travail de fabrique, on est souvent forcé de réparer aussi bien que possible les défauts de la fonte, mais ce n'est jamais qu'aux dépens de la perfection de la fabrication.

Le principal outil qui sert pour la vérification des lettres est celui représenté (fig. 1008), qui consiste en un



1008

marbre, petite surface parfaitement plate de verre dépoli sur laquelle on place trois lettres. Supposons qu'il s'agisse de vérifier la régularité de l'épaisseur ; on les place dans le même sens, puis au moyen d'une petite règle d'acier dite *jeton*, appliquée sur leur surface, on voit si la surface des trois lettres est bien parallèle à celle du marbre. Si le jeton ne porte que sur la même arête, il y a plus d'épaisseur de ce côté, le moule est de carne. Si l'épaisseur dans ce sens est bonne pour la vérifier encore dans le sens de la hauteur on pose le jeton vers une des extrémités après avoir retourné une des lettres. Le défaut se trouve doublé par cette action de *retournement*, et devient plus appréciable. On vérifie de la même manière la force de corps avec une grande exactitude, bien moindre toutefois que celle qu'on peut obtenir par la méthode de *répétition*. (Voir plus loin le *typomètre*, qui sert aussi d'étalon pour vérifier la hauteur.)

§ 2. MÉTAL PROPRE A LA FABRICATION DES CARACTÈRES.

Le métal qui doit servir à la fabrication des caractères d'imprimerie doit remplir les diverses conditions qui suivent :

1° Il doit être très propre au moulage, afin que l'on puisse reproduire par la fonte les traits les plus fins. Il faut pour cela que le métal n'ait pas une force de cristallisation trop grande, qui tende à lui faire prendre des formes cristallines, au lieu de se solidifier par le contact des surfaces plus froides qu'il vient toucher.

2° Il doit être d'une fusion facile pour qu'on puisse le tenir fondu dans le fourneau de fondeur, dans lequel il faut pour le travail que la surface du métal soit exposée à l'air, ce qui cause de grandes pertes de chaleur. Il faut aussi que l'oxydation soit assez lente pour que l'ouvrier n'ait pas besoin d'écumer son creuset à chaque instant, ce qui entraîne un déchet considérable et une grande perte de temps ; cette condition peut même rendre le travail impossible, comme nous le dirons plus bas, en parlant de l'essai qui a été tenté d'employer le zinc.

3° Le prix du métal qui forme la base des caractères doit être peu élevé pour ne pas trop élever la valeur du matériel des imprimeries.

4° Enfin il doit être assez dur pour que l'œil de la lettre, surtout dans les parties les plus fines, ne s'écrase pas à l'impression ; il ne doit pourtant pas être trop dur parce que les opérations qui suivent la fonte de la lettre deviendraient très lentes et par conséquent très coûteuses.

De ces conditions il résulte que c'est toujours le plomb qui a été la base des caractères d'imprimerie. Le zinc seul pourrait le disputer comme métal aisément fusible et peu coûteux, mais il est beaucoup moins liquide, il est pâteux jusqu'au rouge ; alors il devient très liquide, mais est, dans cet état, tellement oxydable, qu'il s'enflamme. A la température de nos fourneaux quelques centièmes de zinc suffisent pour rendre le travail impossible. L'ouvrier, au lieu de puiser avec sa cuillère une gouttelette ronde, n'obtient qu'une masse pâteuse adhérente aux bords de la cuillère par une pellicule blanche d'oxyde, qui empêche le métal de quitter instantanément la cuillère et de remplir aussitôt le moule, ce qui rend impossible l'emploi d'alliages contenant de faibles quantités de zinc.

Le plomb seul est bien trop mou pour être employé à fabriquer des caractères qui doivent supporter l'effort de la presse, il faut le durcir en l'alliant à un métal cassant. Autrefois chaque fondeur avait sa recette pour durcir le plomb. On fondait du potin (laiton fort impur) et quelquefois du fer, avec du sulfure d'antimoine (la mine d'antimoine débarrassée de la gangue par une première fusion). Dans cette opération, il se faisait un affinage du sulfure d'antimoine par le fer et le cuivre ; mais après la fonte, il fallait enlever une croûte énorme qui se formait à la surface, ce qui donnait quelquefois un déchet de 1/5e. De plus, tant à cause du sulfure qui s'était dissous dans la masse de plomb, que parce qu'on n'agissait pas par proportions fixes, on n'était jamais sûr du résultat ; le métal était toujours gras et peu fluide. Aussi a-t-on abandonné ce mode de préparation du moment qu'on se mit à pré-

parer l'antimoine pur. C'est à Fournier jeune que l'industrie est redevable de la création de la première fabrique d'antimoine. Depuis cette époque, on s'est arrêté à un alliage de plomb et d'antimoine donnant toujours les mêmes résultats pour les mêmes proportions, et variant de 10 à 30 d'antimoine pour 100 de plomb, suivant le degré de dureté qu'on voulait donner au métal.

L'alliage d'antimoine et de plomb remplit toutes les conditions exigées. Il participe d'autant plus de la nature de l'antimoine qu'on fait entrer celui-ci en plus grande proportion, et devient aussi cassant que l'on veut. Il offre (tant que les proportions d'antimoine ne dépassent pas 15 p. 100 environ) la propriété essentielle de se gonfler par la solidification, condition la plus avantageuse pour le moulage. Il est bien liquide et l'alliage à 15 p. 100 est plus fusible que chacun les deux métaux qui le composent.

Il est un autre métal qui jouit au plus haut degré de la propriété de rendre cassants les métaux auxquels il est allié et qui est moins coûteux que l'antimoine : c'est l'arsenic. Il ne peut pourtant pas le remplacer ; car, outre l'inconvénient des vapeurs arsenicales, qui ne permet pas d'y songer, l'ouvrier aurait infiniment plus de peine à fondre les lettres à cause de la force de cristallisation de l'arsenic qui tend à faire rondir les fins. L'effet de l'arsenic est sous ce rapport tout différent de celui de l'antimoine, ainsi dans la fabrication des plombs de chasse faits avec des plombs arseniés, quand ceux-ci se trouvent alliés avec de l'antimoine ils ne peuvent plus former aussi aisément un noyau cristallin et font la queue.

Nous avons vu qu'au moyen de l'antimoine on pouvait donner à l'alliage le degré d'aigreur qu'on désirait, mais en donnant ainsi beaucoup de dureté on forme une matière vitreuse qui a peu de résistance, aussi les traits délicats sont-ils promptement abattus par l'effort de la presse, ou le lavage de la forme. On a donc cherché à augmenter cette résistance et on y est arrivé assez heureusement en ajoutant à l'alliage 6 à 8 p. 100 d'étain. Une plus forte proportion d'étain est presque inutile, parce que celui-ci étant plus léger est presque de suite oxydé, et qu'il n'y a vraiment d'utile que la partie retenue dans la masse par l'affinité de l'alliage, partie qui ne dépasse pas la proportion que nous venons d'indiquer. L'étain augmente la résistance absolue de l'alliage et donne un produit très satisfaisant. Mais l'effet est assez limité par la raison que nous avons donnée plus haut, et par la tendance de l'alliage d'étain et d'antimoine à cristalliser et à donner une matière encore trop cassante.

Il était pourtant avantageux de faire des caractères plus résistants. M. Didot, pour son système de Stéréotypie, avait fondu en matière dure, c'est-à-dire en introduisant du cuivre dans l'alliage 4 p. 100 de cuivre, et 9 p. 100 d'étain sur 100 d'alliage ; l'emploi de ces caractères, avantageux pour les imprimeurs, a pourtant été abandonné à cause de leur prix élevé, résultant des difficultés de leur fabrication.

Cependant l'emploi des mécaniques et les grands tirages des journaux rendaient désirable une amélioration notable dans la résistance de la matière. Nous nous sommes efforcés de la réaliser, et, pour cela, reprenant la voie tracée par M. Didot, nous sommes arrivés, dès 1837, à des résultats forts satisfaisants en faisant entrer environ 4 p. 100 de cuivre et 6 p. 100 d'étain dans 100 parties de métal à caractères.

Mais pourquoi s'est-on borné à l'emploi de proportions peu considérables de l'alliage d'étain et de cuivre? On peut en indiquer plusieurs raisons :

1° L'augmentation considérable de prix des caractères, qui résulterait de l'emploi de métaux beaucoup plus chers que le plomb (en ne tenant pas compte de la moindre densité, qui fait qu'il existe un plus grand nombre de lettres dans un kilogramme);

2° La moindre fusibilité de l'alliage qui rend le travail beaucoup plus difficile : c'était là la principale cause du prix élevé de la matière dure chez MM. Firmin Didot. Il était très-difficile, dans les fourneaux chauffés au bois, de maintenir le métal dans un état de liquidité convenable ; tellement que son introduction dans la fabrication courante n'est devenue possible que du jour où un autre perfectionnement, le chauffage des fourneaux de fonderie au moyen du coke ou de la houille, est venu en élever la température moyenne. Mais alors la rapidité de l'oxydation croît rapidement pour les métaux plus légers que le plomb, et la composition moyenne des lettres d'une fonte se trouve bien différente de celle du lingot. Aussi doit-on peu se fier aux échantillons que montrent souvent des inventeurs, qui exhibent quelques lettres auxquelles doit ressembler la fonte future, ce qui ne saurait être. Ces échantillons ont d'ailleurs toujours l'inconvénient que nous indiquons ci-après;

3° L'alliage d'étain et de cuivre cristallise avec une grande facilité. Il suit de là qu'il ne peut être ajouté à l'alliage d'antimoine et de plomb en proportion un peu considérable, sans accroître aussi sa fragilité. Des caractères composés seulement de cuivre, étain et antimoine, ne sont qu'un produit très défectueux. La dureté en est fort grande, mais il suffit de tâter les traits avec l'ongle pour les casser ; et de semblables caractères, dont le prix serait fort élevé, auraient dès le second jour de leur emploi l'aspect de caractères usés.

Un autre alliage a été depuis quelque temps essayé avec succès ; il n'a pas l'inconvénient que nous venons de signaler, il est peu cristallisable. C'est un alliage d'étain avec une petite quantité de fer.

Les caractères fabriqués, en remplaçant dans l'alliage total qui constitue le métal à caractères une forte proportion de plomb par l'alliage d'étain et de fer, offrent réellement une très grande résistance et sont tout à fait convenables pour les grands tirages. Leur prix est sans doute plus élevé que celui des caractères ordinaires, mais à l'emploi ils se trouvent en réalité moins coûteux, comme il arrive pour tous les outils dont on peut prolonger la durée, même avec un prix d'achat plus élevé. (voyez PLOMB.)

Disons toutefois que ces caractères, très propres aux journaux, conviennent moins pour les labeurs et les impressions soignées. La température plus élevée de la fonte et la plus grande difficulté de faire aucune réparation, comme nous allons le dire pour un autre essai, rendent très difficile d'obtenir des fontes très parfaites en même temps que très résistantes.

Essai de M. Colson. Nous venons d'exposer les principaux résultats des essais tentés pour améliorer le métal servant habituellement ; la dureté des caractères en est modifiée d'une manière avantageuse, mais dans des limites assez bornées pour que les façons secondaires qui succèdent à la fonte n'en soient pas sensiblement modifiées, et que, par suite, le prix des caractères n'en soit pas beaucoup augmenté.

Il est clair, en effet, que si cette plus grande dureté entraînait de nouvelles façons fort coûteuses, l'avantage que l'on recherche pourrait se trouver annulé, et que l'emploi de caractères fort résistants, mais fort chers, pourrait devenir bien moins avantageux que celui de caractères beaucoup moins résistants, mais beaucoup moins coûteux.

Tel est l'écueil auquel est venu échouer M. Colson, de Clermont-Ferrand, dans une tentative fort intéressante, pour le succès de laquelle il a vainement prodigué de grandes sommes d'argent et toutes les ressources que pouvait suggérer un esprit inventif, exercé à toutes les difficultés de la profession.

On connaît depuis longtemps, dans l'industrie, un alliage fort remarquable, et sur lequel M. Kœchlin de Mulhouse a attiré l'attention : c'est l'alliage de zinc et d'étain. Cet alliage, notamment celui composé de parties égales des deux métaux, jouit de la propriété d'être extrêmement liquide à une température de 460 degrés environ, et en outre d'être d'une dureté telle que les lettres fondues avec cet alliage, et dont l'apparition fit sensation à l'exposition de 1839, pouvaient être enfoncées à coups de marteau dans le cuivre rouge, sans être écrasées. Le jury ne voulut pas néanmoins couronner cette invention nouvelle avant que l'expérience n'eût prononcé, et il fit sagement, car s'il était facile de fabriquer ainsi quelques échantillons, on ne put arriver à organiser une fabrication courante. L'établissement fondé dans ce but a cessé ses essais et a tout au plus tenté d'utiliser les frais d'annonces qu'il avait faits, pour vendre quelques fontes en matière dure, semblable à celles qu'emploient plusieurs fonderies de Paris.

Nous nous contenterons de résumer les principaux obstacles que cette fabrication a rencontrés, et qui l'ont fait échouer.

1° Une oxydation considérable à la surface, qui transformait le métal fondu en une masse spongieuse, d'où résultait une grande difficulté de fondre pour l'ouvrier forcé de puiser en même temps l'alliage et l'oxyde formé. En outre, cette oxydation causait un déchet énorme, vu la difficulté de revivifier le métal sans pertes considérables des deux métaux, à cause de la volatilité du zinc.

2° L'action du zinc sur le moule en fer, qui se trouvait rongé, ce qui, par suite, devait donner lieu à des réparations considérables, aux secondes façons que la lettre devait subir.

3° La piqûre et la destruction rapide des matrices par l'action du zinc ; inconvénient énorme.

4° L'impossibilité de l'apprêt au couteau, à cause de la dureté des lettres. Or, nous venons de voir que la fonte était bien plus défectueuse que dans le cas ordinaire, et pourtant dans ce cas, sans l'apprêt, les fontes seraient fort imparfaites. Là surtout a été l'écueil, et il n'était pas possible de songer à faire cette opération lettre à lettre; outre le prix d'une semblable façon, il serait impossible de rien obtenir ainsi de régulier.

Nous pensons qu'il est inutile d'insister davantage sur cet essai, et que l'on reconnaîtra facilement que l'on avait dépassé le but qu'on doit se proposer dans l'amélioration du métal à caractères, la première condition devant être de pouvoir fabriquer toujours par les procédés habituels de la fonderie, qui permettent de créer avec tant d'économie des produits d'une précision mathématique.

Tous les inconvénients que nous venons d'énumérer se retrouveraient si on tentait d'employer l'alliage de zinc et de fer qui a été proposé par M. Sorel, l'ingénieux inventeur de la galvanisation du fer. Disons seulement que si le moyen d'introduire le zinc dans le métal à caractères était trouvé, il se rencontrerait un nouvel obstacle à son usage dans l'imprimerie, dans l'action qu'exerce sur ce métal la potasse qui sert au lessivage des formes, pour enlever l'encre après le tirage.

Concluons donc que tous ces essais fort curieux n'ont pas d'importance véritable pour la fonte des caractères d'imprimerie. Mais il n'en est pas de même quand les caractères doivent servir isolés ou entrer dans des compositions de peu d'étendue, et que, par suite, il n'est plus nécessaire d'obtenir le même degré de précision dans les dimensions de la lettre. On peut alors obtenir des caractères extrêmement durs. Les mêmes essais ont une importance réelle quand il s'agit d'appliquer les procédés de la fonderie en caractères à des objets ayant d'autres emplois que les caractères.

Caractères pour relieurs et doreurs. La plus ingénieuse application qui ait été faite en ce genre est celle qui a été réalisée pour la première fois par M. Peibon. Autrefois toutes les lettres servant à la dorure, et qui doivent être chauffées pour cet usage (néanmoins les Allemands emploient les caractères d'imprimerie qu'ils chauffent seulement à l'eau bouillante), étaient gravées sur cuivre. Un graveur, M. Duhautdezert, réalisa de grands bénéfices en exécutant en partie ce travail par des moyens mécaniques, consistant surtout dans l'emploi du banc à tirer et du balancier sur lequel se montaient des poinçons d'acier, correspondant aux intérieurs et aux extérieurs des lettres.

Aujourd'hui on fond toutes ces lettres en cuivre jaune, avec le moule ordinaire de fonderie, auquel on n'a fait subir d'autre modification que d'allonger les jets et de supprimer l'étranglement qu'il forme pour déterminer le pied de la lettre, ce qui facilite beaucoup la fonte.

Nous ne nous étendrons pas sur cette fabrication ; nous dirons seulement que ces lettres sont réparées sur toutes leurs faces à la lime, et sur l'œil avec le burin. Ce fut un progrès important pour la reliure, que celui qui permit d'établir ces caractères au prix d'environ 25 francs les 100 lettres; mais on conçoit qu'outre que ces lettres ne sont pas assez régulières pour l'imprimerie, on se garderait bien de les employer à cause de leur prix trop élevé, car dans la fonderie les 100 lettres ne coûtent pas en moyenne plus de 40 centimes. Ce progrès a bien prouvé l'inutilité des recherches de quelques inventeurs qui ont tenté de fabriquer les caractères par procédés mécaniques, remplacés dans ce cas par les procédés de la fonderie, bien moins coûteux et donnant des produits plus parfaits.

§ 3. DU FOURNEAU.

Le fourneau des fondeurs en caractères consiste dans un bâti circulaire, élevé en briques ou moulé en argile d'une seule pièce, qui supporte une cuillère en fonte contenant le métal et divisée en six compartiments, ce qui permet à chaque ouvrier d'employer l'alliage le plus convenable à son genre de travail. La largeur est d'environ 50 à 60 centimètres. Six ouvriers sont rangés autour de ce fourneau circulaire ; c'est la meilleure disposition qu'ait fournie l'expérience. On emploie depuis quelque temps avec succès des cuillères plus larges à 7 cases, laissant dans le centre le passage du tuyau du fourneau, disposition convenable pour le bon emploi du combustible. Le feu devant être entretenu avec une grande régularité, est alimenté au moyen de bois pelard bien sec ; on évite ainsi le refroidissement causé par le dégagement de la vapeur d'eau que fournit l'humidité de l'écorce des bois, outre que celle-ci empêche toujours le bois de sécher.

Nous ne parlerons pas de la disposition de la cheminée, de sa hauteur, etc., vu que les dispositions employées généralement sont les mêmes que celles employées dans tous les cas semblables.

Nous recommandons seulement une disposition très commode et très avantageuse, employée pour la première fois, nous pensons, dans cette industrie, par M. Lion : c'est de chauffer à flamme renversée. Au lieu de faire sortir les produits de la combustion par un tuyau placé sur un côté du fourneau, il est bien préférable de retourner la flamme, c'est-à-dire de placer dans le massif du fourneau deux tuyaux en fonte, l'un vis à vis l'autre. Par leur extrémité inférieure, ils plongent dans 2 conduits en briques pratiqués sous le fourneau, qui se réunissent au centre de celui-ci ; de là part sous terre un conduit qui va rejoindre la cheminée, pratiquée dans l'intérieur du mur. Des briques placées de champ dans le foyer, près des tuyaux, et ne laissant que 6 à 7 millim. d'intervalle entr'elles et la cuillère, forcent la flamme à venir lécher celle ci, il se fait un tourbillonnement à l'entrée qui fait abandonner

à la flamme une plus grande partie de sa chaleur que quand elle est entraînée rapidement dans un tuyau un peu large.

Le chauffage au bois des fourneaux de fonderie a été conservé jusque dans ces derniers temps, et existe encore dans quelques ateliers à cause de la régularité assez grande du feu que l'on obtient avec du bois sec. Mais le haut prix de ce combustible y a fait généralement renoncer, et l'exemple de l'Angleterre qui a toujours chauffé à la houille (chaque ouvrier a un fourneau séparé dont la cheminée aboutit à une cheminée centrale) prouvait que les obstacles à surmonter n'étaient pas excessifs. On ne peut disconvenir néanmoins que le feu ne soit plus difficile à conduire pour obtenir une grande régularité, et que des coups de feu plus fréquents n'occasionnent un plus grand déchet, une oxydation plus considérable. Aussi est-il avantageux dans les fourneaux ayant un fort tirage, de remplacer la houille par le coke; dans ceux dont le tirage est plus faible, par un mélange de houille et de coke. Ce dernier s'enflammant plus lentement occasionne des coups de feu moins vifs et prolonge la durée des chauffes, ce qui le rend plus économique.

Tous ces chauffages sont défectueux auprès du seul système qui devrait être appliqué dans ce cas et qui le sera certainement quand il sera devenu plus pratique. Le problème à résoudre consistant à maintenir à une température fort élevée une masse métallique ; à transmettre en chaque instant une quantité de chaleur constante, égale à celle perdue par le refroidissement, il n'y a qu'un système donnant toujours la même quantité de chaleur qui puisse satisfaire à cette condition : c'est l'emploi des gaz combustibles (voyez COMBUSTIBLES), le seul système indépendant des variations inhérentes à tout procédé dans lequel on introduit irrégulièrement des masses variables de combustible.

§ 4. DU MOULE.

Des conditions que les caractères d'imprimerie doivent remplir, on doit déduire facilement la forme nécessaire du moule qui sert à les fondre. Les fig. 1009 et 1010 qui représentent les deux pièces séparées et la fig. 1011 le moule fermé font comprendre comment on y est parvenu.

La fig. 1012 représente le moule anglais, très peu différent de celui employé en France.

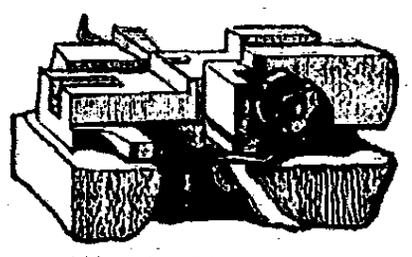
Donnons, d'après Fournier, la description des pièces du moule, en indiquant le rôle que joue chacune d'elles pour faire remplir à la lettre les conditions voulues.

Le moule est composé de 2 parties semblables qu'on désigne sous le nom de pièce du dessous et pièce du dessus; il n'y a qu'une seule différence que nous indiquerons plus loin. Dans chaque pièce on distingue :

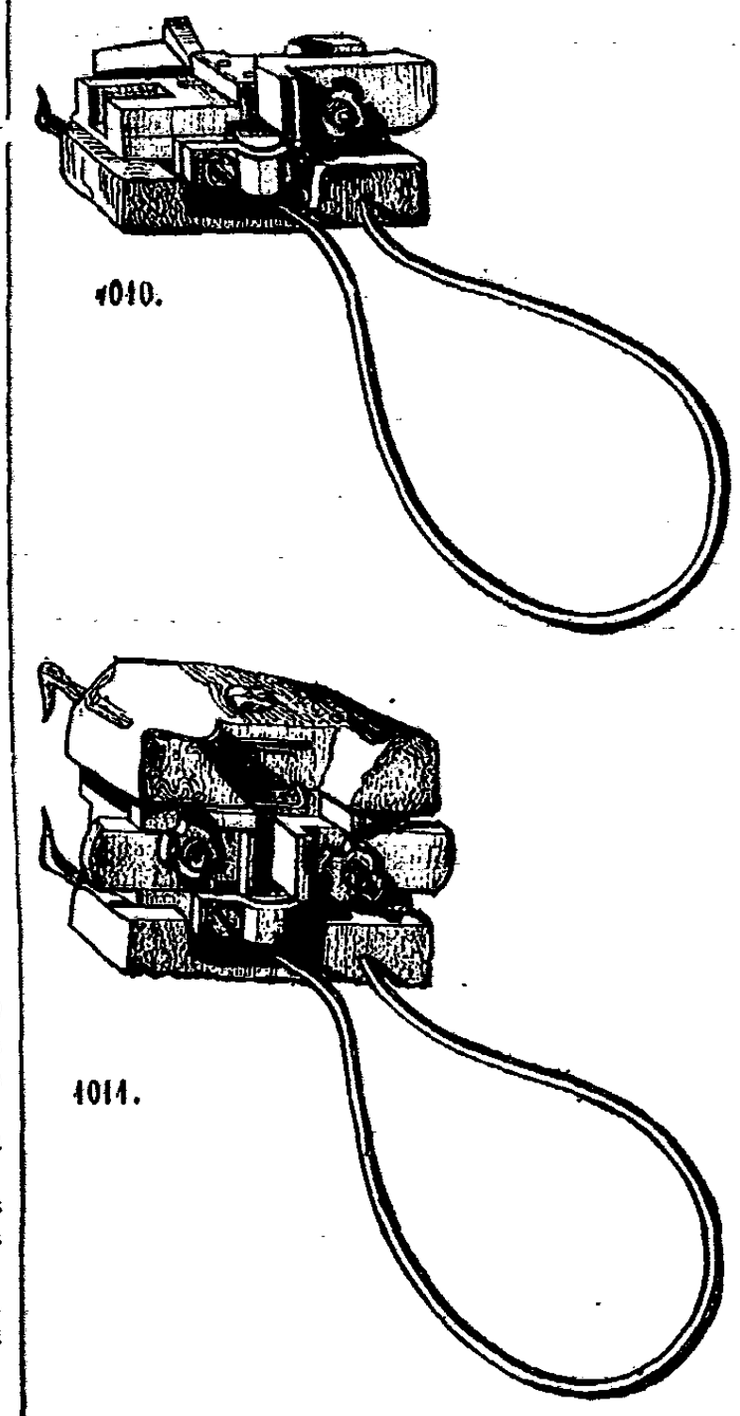
1° *La platine*, pièce sur laquelle s'assemblent toutes les autres, qui s'étend sous toute la surface du moule ;

2° *La longue pièce*, qui s'étend dans toute la longueur de la platine. Les deux faces longitudinales en sont dressées bien parallèles, la largeur étant égale à la hauteur de la lettre, moins la hauteur de l'œil, à l'extrémité est une entaille bien parallèle à ces faces, appelée *fourchette*, qui reçoit une partie saillante fixée à l'autre pièce du moule, et qui sert à conduire les 2 pièces du moule l'une par l'autre, pour qu'elles glissent l'une sur l'autre en ligne droite.

3° *Le blanc* est une pièce plate, de même largeur que la longue pièce sur laquelle elle est fixée, et qu'elle recouvre sur la moitié de sa surface, du côté opposé à la fourchette; elle est fixée par 2 vis et par la potence, pièce dont nous parlons plus loin. Cette pièce est terminée par une face d'équerre avec la surface sur laquelle elle s'applique, et avec les deux faces du blanc qui sont parfaitement parallèles. Cette face a donc l'épaisseur du blanc qui est précisément celle du corps

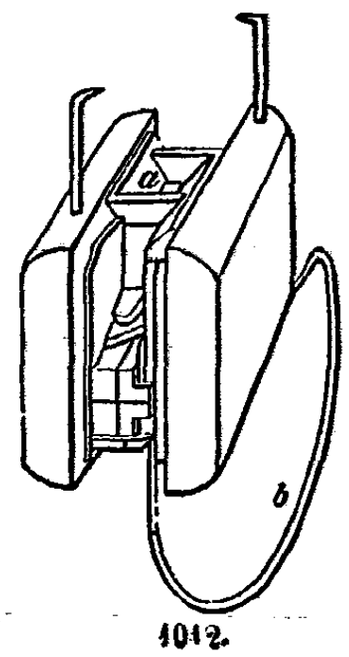


1009.



1010.

1011.



1012.

pour la fonte duquel le moule doit servir, c'est-à-dire, a, par exemple, neuf points typographiques, si on veut avoir un moule de petit-romain.

4° *La potence*, ainsi appelée à cause de sa forme, est fixée vers l'extrémité du moule et traverse perpendiculairement par un trou carré, le blanc, la longue pièce et la platine, et les assemble par le serrage de l'écrou qui marche sur l'extrémité de cette pièce qui est filetée. La partie qui repose sur le blanc est destinée à remplir le vide de la fourchette et à fournir un guide à celle-ci.

La description de ces parties principales doit faire comprendre le mécanisme principal du moule dont les autres parties ne sont que des accessoires. Chaque pièce de moule for-

FONDERIE EN CARACTÈRES.

mant une équerre, étant appliquées l'une sur l'autre, laisseront un vide d'une dimension constante et invariable dans le sens où les pièces posent l'une sur l'autre, et une dimension variable mais égale d'une extrémité à l'autre du blanc dans l'autre sens.

Donc, en fixant des matrices à une extrémité et en faisant remplir le vide par le métal, on aura des lettres pour lesquelles la force de corps sera toujours identique, et l'épaisseur constante dans toute la hauteur de la lettre. Le moule aura de plus l'avantage de pouvoir faire toutes les lettres d'une même fonte en variant les épaisseurs.

Nous allons donner la nomenclature des différentes pièces restantes, dont l'emploi est évident ou bien sera expliqué dans les paragraphes suivants où nous parlerons de l'emploi du moule.

Le jet, qui sert à introduire le métal, forme, lorsque le moule est fermé, un entonnoir carré, se réduisant vers la longue pièce, au tiers du corps de la lettre, et suffisamment large du haut pour l'introduction du métal. Il s'applique par une face sur la longue pièce et le blanc, et est retenu sur la platine par une vis et un écrou.

Les hausses sont de petites pièces de fer que l'on interpose entre le jet et les longues pièces pour donner exactement la hauteur en papier, elles adhèrent par la pression du jet et par de petites saillies qu'on fait naître dans la hausse en frappant avec un poinçon, et qui entrent dans des trous percés dans la longue pièce. En mettant, entre la hausse et la longue pièce, des petits clinquants laminés, on obtient, avec facilité, exactement la hauteur voulue. On met aussi ces clinquants sous les blancs pour rendre la force de corps à un moule qui l'a perdue, tant par les frottements répétés de la fonte, que surtout par le redressage à la lime nécessaire pour rendre plates les pièces qui se sont arrondies dans des endroits où les frottements ont été plus considérables.

Les registres sont deux pièces qui tiennent la matrice à la place convenable et règlent l'écart du moule. Ils sont retenus chacun par une vis et un écrou, la vis tient à la longue pièce par un assemblage à queue d'aronde. Le registre n'est fixé que par la pression de l'écrou, il peut s'avancer ou se reculer par de petits coups de marteau.

Pour que le moule soit maniable, on fixe sur chaque pièce au moyen d'une vis fixée au milieu de la platine et à un écrou, un bois qui permet de travailler pendant que le moule est chaud.

La pièce de dessous a trois pièces particulières :

La saignée, qui est une petite éminence longue et convexe du dessus, plate du dessous, qui est fixée sur la longue pièce dans laquelle elle est retenue par une partie pliée d'équerre qui entre dans un trou qui y est percé. L'autre extrémité entre sous le blanc qui est évidé à cet effet, de même que le blanc de la pièce du dessus est évidé pour que la saignée puisse s'y loger. Celle-ci fait naître sur la lettre un cran qui sert à reconnaître le sens de la lettre.

Le heurtoir, qui sert de point d'appui à la matrice, est une grosse vis qui tourne dans un écrou qui fait partie de la platine. Cet écrou est refendu par un trait de scie d'un côté, ce qui fait un petit vide qui permet, au moyen d'une vis placée à son extrémité, de serrer plus ou moins le coussinet, de sorte que le heurtoir devient assez dur pour ne pas pouvoir varier par la pression de la matrice. Il sert à mettre la ligne.

Enfin au bas de la pièce du dessous est adapté l'*archet*, arc oblong en fort fil de fer, qui vient poser sur un talon pratiqué à la matrice. Cet archet a une double courbure pour faire double ressort, une courbure du haut en bas, pour appliquer la matrice sur le heurtoir, et une courbure horizontale pour appliquer la matrice contre les longues pièces, afin d'éviter le passage de la matière, et des variations dans la hauteur.

La pièce du dessus a deux petites pièces particulières; le *jobet* est un petit fil de fer plié en équerre d'un bout et tourné en rond de l'autre pour entourer la vis de bois. Il est retenu entre le bois et la longue pièce et sert à retenir la matrice quand on ouvre le moule. Le *gimblet* est un fil de fer fixé dans l'entaille du bois. On fait passer entre ce gimblet et le bois un morceau de peau nommé attache, lié d'un bout à la matrice par un fil, et collé de l'autre avec de la salive sur le bois. Ce gimblet empêche l'écart de l'attache quand on ouvre le moule, et celle-ci est utile en ce que, retenant alors la matrice, elle n'empêche pas de déchausser la lettre qui est dans le moule, c'est-à-dire par un coup de pouce donné à l'extrémité de la matrice, d'en faire sortir l'œil de la lettre, pendant que celle-ci est encore retenue dans le moule.

A chaque bois est fixé un crochet en fil de fer qui sert à faire tomber la lettre du moule.

Si l'on se rend bien compte de la construction du moule, on doit voir qu'il peut servir à une fabrication parfaite. En effet, la force de corps établie par l'aplomb des deux pièces du moule l'une sur l'autre ne peut varier que par l'usure des surfaces, effet extrêmement lent et négligeable quand le moule est réparé en temps utile. L'épaisseur de la lettre est égale, une fois le moule dressé, et augmente ou diminue bien également pour les lettres d'épaisseurs diverses.

Enfin, la hauteur une fois mise, ne peut nullement se déranger par les opérations de la fonte, de telle sorte que les lettres fondues sur le même moule sont exactement de même hauteur.

Nous ne terminerons pas ce que nous avons à dire du moule sans faire remarquer que puisqu'il est formé de deux pièces symétriques, il en résulte que la lettre étant fondue, il suffit d'ouvrir le moule pour que la lettre tombe, en détruisant seulement son adhérence, il n'est besoin d'aucun effort pour cela, puisqu'elle n'est retenue par rien. La lettre reste donc parfaitement droite comme elle a été fondue; elle n'est soumise à aucun effort qui pourrait la courber.

§ 5. EMPLOI DU MOULE.

L'ouvrier fondeur se place debout devant le fourneau où la matière est tenue en fusion, la jambe droite en avant. La cuillère qui renferme le métal convenable pour ce qu'il fond, est placée à peu près à la hauteur de la main, l'avant-bras étant horizontal; elle a un rebord plat sur lequel pose la petite cuillère formée d'une petite barre de fer dans l'extrémité de laquelle est formée une cavité oblongue dans le sens perpendiculaire à sa plus grande longueur (fig. 1013). Il tient celle-ci par un manche en bois entre le pouce et le premier doigt, et pour puiser la fait entrer obliquement dans le métal fondu, de manière à repousser les crasses avec le dos, et la relevant en lui donnant un petit mouvement de rotation, il enlève une goutte de matière, qui ne s'attache pas à la cuillère qu'il a soin de passer dans de la poussière de plâtre de temps en temps. La grandeur de la cuillère, et aussi l'inclinaison qu'il lui donne en puisant, sont proportionnées à la lettre à fondre.

1013.

A la gauche de l'ouvrier est placé un banc de forme triangulaire à trois pieds sur lequel il fait tomber les lettres formées dans le moule.

De la main gauche, il tient le moule, le pouce dessus, les autres doigts dessous, en ayant soin que ce soit l'extrémité du pouce qui pose vers le milieu du moule. Celui-ci est alors tenu fermé au-dessus des blancs, tandis que si on le tenait par le bord, on courrait risque de le faire ouvrir quand les pièces seraient

quelque peu arrondies., et on fondrait des lettres trop fortes.

Tenant ainsi le moule de la main gauche, le jet en l'air, il prend avec la droite la cuillère qu'il remplit de métal, vient l'appliquer contre l'orifice du jet, puis il retire un peu la main gauche pendant qu'il fait tomber la matière en tournant la cuillère, enfin relevant brusquement le moule, la matière vient choquer la matrice et entre dans les parties les plus fines. Sans ce mouvement précipité, le métal tendrait à se former en goutte, prendrait mal l'empreinte et souvent n'arriverait pas jusqu'à la matrice, il se figerait en touchant le fer peu échauffé. On diminue le refroidissement dans le jet, en mettant sur celui ci une couche d'eau dans laquelle on tient de l'ocre *en suspension* et qui, *en se séchant*, laisse de l'ocre sur la pièce; mais on ne doit jamais en mettre sur les blancs du moule.

La lettre étant immédiatement solidifiée, on ôte l'archet qui presse sur le talon de la matrice, on appuie le pouce de la main droite sur l'extrémité supérieure de celle-ci, ce qui la fait basculer et déchausse la lettre, c'est-à-dire fait sortir l'œil de la lettre du creux de la matrice; on ouvre alors le moule comme si une charnière unissait les deux pièces, puis au moyen du crochet fixé au bois du moule on fait tomber la lettre sur le banc en la poussant par le jet.

On referme alors le moule en engageant d'abord les fourchettes de la pièce du dessus sur la potence de la pièce du dessous, on place l'archet sur le talon de la matrice en appuyant un peu dessus, et on recommence la fonte d'une autre lettre.

Il n'est pas besoin de dire que malgré le nombre d'opérations nécessaires pour fondre une lettre, l'ouvrier peut mettre une grande rapidité à exécuter ces diverses opérations qui se présentent toujours dans le même ordre. C'est en allant, pour ainsi dire, en mesure qu'il va le plus vite, en même temps que par un balancement de corps il se trouve amené à prendre et à replacer la cuillère. Un bon ouvrier peut arriver à faire de 4 à 6 mille lettres par jour.

Le fondeur doit veiller à ce que les lettres fondues satisfassent à toutes les conditions typographiques, la pureté de l'œil, la ligne, l'approche.

Pureté de l'œil. Cette condition est évidemment la première de toutes, aussi le fondeur doit-il toujours avoir soin de visiter les lettres fondues, afin de rejeter toutes celles qui ne sont pas bien venues. Quant au moyen d'obtenir cette pureté d'œil, il consiste dans la secousse donnée au moule, ce qu'en terme de fonderie on appelle *pousser*.

Cette secousse qu'on donne au moule, cette action de pousser est bien plus puissante qu'on ne pourrait le croire; car la matière, prenant d'abord une certaine vitesse de haut en bas quand on retire le bras, conserve un instant cette vitesse quand on relève brusquement le moule, et la matrice vient choquer la matière avec une vitesse relative assez grande, elle se trouve donc chassée fortement. C'est comme si la matière se trouvait lancée avec la somme des deux vitesses du moule, vitesse que l'on peut augmenter presque à volonté, le poids du moule étant peu considérable.

Il est à remarquer que la matière, en arrivant sur un point de la matrice, doit mieux prendre l'empreinte de cette partie que de toute autre, car l'air s'échappe de suite par les autres parties du creux, c'est donc sur la partie de la matrice qu'il est le plus difficile de faire venir, qu'il faut faire, *en général*, arriver la matière. On y parvient en la versant par le côté le plus convenable du jet. Ainsi si on place la cuillère sur le jet de la pièce du dessous, en la tenant dans le sens de la largeur du moule, ou si, retournant le moule, on la pose de même sur le jet du dessus, dans un cas, la matière viendra d'abord sur la tête de la lettre, dans l'autre sur le pied

C'est là, nous le croyons, la seule règle que l'on peut poser; jeter en moule de manière que la matière arrive d'abord sur la partie la plus difficile à venir de la lettre; ainsi la lettre *f*, dont le bouton qui passe en dehors du blanc est la partie la plus difficile à venir, devra être jetée en dessous.

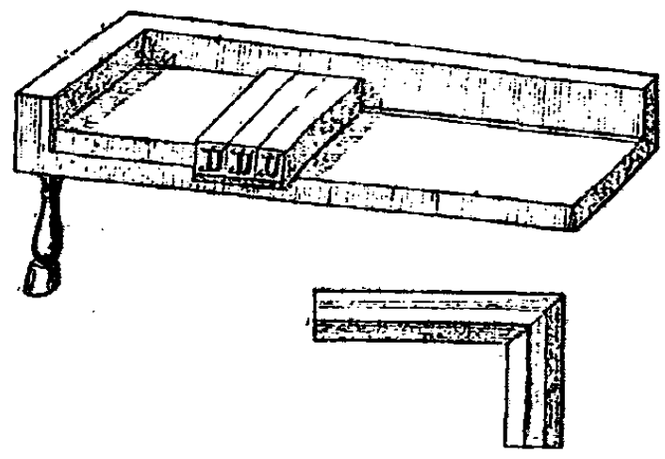
Comme on ne connaît pas généralement la partie la plus difficile à venir, c'est en fondant aux différents jets qu'on parvient à voir celui qui réussit le mieux. On dit dans les ateliers, pour exprimer ces différentes manières: jeter droit ou au pied du crochet, par le coin du dessus, par le coin du dessous, en dessous, entre les deux crochets, et enfin en dessus, en retournant le moule; méthode qui fait perdre beaucoup de temps, puisqu'il *faut à chaque lettre retourner deux fois* le moule, car il faut que le moule soit à sa position naturelle pour ôter l'archet et ouvrir le moule.

Enfin, quand malgré tous ces essais on ne réussit pas, alors avec un canif on augmente les talus inférieurs de la matrice vers le haut, en prenant bien garde de ne pas en rayer le fond avec la pointe, et on donne ainsi plus d'entrée à la matière, car c'est ordinairement dans les lettres gravées avec des talus très faibles que la matière a le plus de peine à entrer, surtout si on a gravé les déliés et les empâtements trop fins. Un fait d'expérience assez remarquable, c'est que si on laisse trop peu de profondeur aux matrices, à un certain point il devient presque impossible de les fondre.

Un malheureux procédé a été introduit, dans ces dernières années, dans les ateliers, c'est celui du *cuissage*, qui consiste à faire seulement descendre le moule jusqu'à ce que l'archet rencontre le corps. Cet arrêt brusque fait très bien venir l'œil en même temps que l'ouvrier fatigue moins, mais cette secousse de l'archet tend toujours à déranger quelque peu le moule, et les caractères ainsi fondus sont toujours moins réguliers qu'en employant l'ancienne méthode.

De la ligne. L'alignement régulier des lettres est la condition la plus importante d'une belle impression. Pour l'obtenir, on commence par déterminer la ligne de la lettre m, celle qui est la plus commode à cause de la grande largeur de sa partie inférieure. Si rien ne détermine déjà la ligne, on met l'm dans le milieu du corps, c'est-à-dire de manière qu'en retournant une m entre deux autres les traits du pied de celle qu'on retourne forment une ligne droite avec les traits horizontaux supérieurs des deux autres. Pour voir si on a cet effet, on place les m sur une *justification* (instrument que chaque fondeur doit posséder) que représente la fig. 1014 et retournant celle du milieu (mum),

1014.



1015.

on vérifie avec un jeton si les traits forment bien une ligne droite. Les longues du haut et les longues du bas auront alors une place égale pour se loger.

La ligne de l'm étant déterminée, pour fondre une autre lettre on place la matrice sur le moule, puis fondant une lettre on la met dans la justification, entre les mm, et on juge dans quel sens on doit agir.

On fait varier la ligne en tournant, au moyen d'un tourne-vis à trois faces, la vis à tête creuse sur laquelle pose la matrice, que l'on fera ainsi monter ou descendre.

Pour toutes les lettres qui ont des traits horizontaux à la partie inférieure, comme n, u, b, l, l, etc., rien de plus aisé que de juger si elles sont bien en ligne avec les m, si les traits inférieurs sont bien sur la même ligne que ceux des m. Les lettres qui ont des traits carrés à la partie supérieure, comme p, q, t, etc., s'alignent avec les traits de la partie supérieure des m ; et si le graveur les a calibrées convenablement, elles doivent se trouver aussi en ligne par la partie inférieure.

On remarquera que le v et l'y, lettres qui s'alignent ainsi sur le haut, dépassent la ligne du bas d'une quantité notable, parce que finissant en pointe elles paraîtraient *monter* si elles n'arrivaient que juste sur la ligne.

Enfin les rondes o, c, e, etc., sont gravées un peu plus grandes que le premier jambage de l'm, afin qu'on puisse les faire dépasser également des deux côtés (ce qu'on juge facilement en en retournant une entre deux autres), parce que leurs extrémités s'écartant des autres lettres laissent sur la ligne un blanc qui tromperait l'œil et ferait paraître les rondes trop petites si elles étaient de calibre avec le premier jambage de l'm. Il faut donc que la rondeur dépasse un peu l'm, également par le haut et par le bas.

C'est toujours en employant les mêmes moyens qu'on parvient à établir la ligne des capitales, de l'italique, des caractères étrangers. Cela se réduit toujours à partir de la lettre la plus carrée du bas et la plus large, à mettre les autres lettres carrées du bas exactement de ligne, à faire dépasser quelque peu les rondes, opérations qui se font toujours à l'aide de la justification et du jeton.

De l'approche des caractères romains et italiques. L'approche est la distance qui sépare deux lettres consécutives. La condition la plus essentielle est que toutes les lettres d'un même caractère soient toutes séparées entr'elles par la même quantité de blanc ; cette régularité est la condition essentielle de la typographie.

Pour les lettres à traits carrés, m, n, h, u, etc., on parvient rigoureusement, par les procédés que nous allons décrire, à les mettre dans la même approche, c'est-à-dire à faire que la face latérale de chacune de ces lettres dépasse le jambage vertical de la moitié du blanc.

Pour les rondes comme l'o, ou le côté rond des lettres comme c, d, p, q, etc., on fait que l'écart de l'o avec l'm, au quart de sa hauteur, soit le même que celui de deux m ; par l'effet de la rondeur, le milieu de l'o sera plus rapproché et les extrémités plus éloignées sensiblement de la même quantité, l'effet moyen sera donc celui de l'écart voulu.

L'approche de l'o étant fixée, celle de toutes les autres rondeurs s'en déduisent. Les lettres finissant par des pointes, v, y, et qui, par leur forme, portent beaucoup de blanc, se mettent au vif des traits du haut, c'est-à-dire que le talus du poinçon déborde sur la tige de la lettre, de manière qu'en les frottant sur une lime, le talus disparaisse entièrement.

Pour les parties des lettres ayant des demi-rondeurs, comme a, g, e, l'écart doit être intermédiaire entre celui des rondeurs et celui des jambages droits.

Quel est cet écart qui doit séparer les différentes lettres ? Fournier dit qu'il doit être un peu moindre que l'écart des jambages de l'm, sans quoi les mots ne paraîtraient pas assez liés. Il est aisé de s'assurer, en consultant les plus belles éditions, que cette règle n'est pas absolue. Si même on devait poser une règle absolue, ce principe devrait être modifié.

La lettre m étant une lettre plus serrée que les lettres à deux jambages n, h, etc., dont le contre-poinçon est de la largeur du plus grand nombre de lettres, la régularité la plus parfaite sera obtenue du caractère fondu avec un écart égal à ce contre-poinçon. De cette manière, la distance des lettres paraîtra (vu la diminution d'écartement qui résulte pour l'œil de la réunion des deux jambages) quelque peu plus grande que celle qui sépare les jambages, ce qui doit être.

Voyons maintenant les moyens de mettre cette approche.

La matrice est retenue sur le devant du moule au moyen de deux registres formant l'arrêt qui empêche les deux pièces du moule, glissant l'une sur l'autre, de se fermer complétement, et fait qu'elles réservent entr'elles le vide que doit remplir la tige de la lettre pour avoir l'épaisseur voulue. Une matrice plus épaisse qu'une autre donnera donc une épaisseur plus considérable, ou, ce qui revient au même, on aura un accroissement ou une diminution d'épaisseur, d'un côté ou de l'autre, de la tige de la lettre, en faisant avancer ou reculer le registre de ce côté. Donc, en faisant mouvoir ces registres, on aura toute approche voulue.

L'instrument qui sert à voir les approches est le même que celui qui sert à voir la ligne. On commence toujours par mettre l'm d'approche. On en met trois sur la justification après les avoir frottés et coupés au pied, puis on retourne celle du milieu comme ceci mum, pour voir si la lettre est bien dans son milieu. Il est bien évident que les trois lettres fondues étant identiques, les deux écarts seraient égaux si elles étaient placées dans le même sens, mais en retournant celle du milieu chacun des écarts est formé de deux fois la distance d'un même jambage au bord de la tige. Le défaut est donc doublé pour chacun, et la différence plus aisée à apercevoir. On s'en assure encore au filé, procédé qui va nous servir pour mettre l'approche des autres lettres. Pour cela, on met les trois m à plat sur la justification en retournant celle du milieu, de la sorte m m m, si l'on est dans son milieu, les jambages doivent former exactement une ligne droite, ce dont on s'assure en faisant passer le jeton par les jambages des deux m des extrémités, et en voyant si celui du milieu coïncide bien avec cette ligne.

On emploie les termes *près du dessous* et *gros du dessous*, lorsque la lettre est trop près de la face de la tige qui a été formée sur le blanc de la pièce de dessous, ou lorsqu'elle est trop grosse et porte trop de blanc du côté de la matrice qui touche le registre de la pièce du dessous. On dit de même *près ou gros du dessus*, quand cela arrive relativement à la pièce du dessus. Ainsi, pour représenter les deux défauts, prenons trois m qui fassent cet effet, mum qui se rapprochent d'un côté, et portent un blanc considérable de l'autre ; elles sont trop près du dessous et trop grosses du dessus. Pour corriger le premier défaut, il faut repousser d'un petit coup de marteau le registre de la pièce du dessous pour que la matrice passe un peu plus en avant du blanc de cette pièce, ou grossir du dessous ; pour le deuxième défaut, il faut faire le contraire, c'est-à-dire repousser en arrière le registre de la pièce du dessus, ce qu'on appelle rapprocher du dessus.

Pour faire reculer le registre, on a un petit coin en bois dont on pose un bout sur la face du registre et que l'on tient appliqué contre les longues pièces ; on donne un petit coup de marteau sur l'autre bout, ce qui fait reculer le registre. Ce morceau de bois sert, comme on le voit, à garantir la face du registre contre laquelle pose la matrice.

L'approche des m étant décidée et satisfaisant à la condition que nous avons établie, on passe entre les m

toutes les lettres de la frappe pour que toutes les lettres aient l'écart des deux m. On emploie, comme nous l'avons déjà dit, le *filage* à cet effet. Ce procédé est extrêmement exact, puisque les deux m permettant de fixer parfaitement le jeton, on aperçoit aisément la moindre quantité dont le jambage d'une lettre entre deux m peut dépasser ou rentrer sur la ligne formée par le jeton.

Pour les rondeurs, après que l'approche de l'o a été fixée d'après le principe que nous avons posé, on s'en sert pour faire filer toutes les rondeurs sur les o.

Notons que les chiffres sont toujours tenus demi-quadratins (moitié du carré dont le côté est la force du corps); cette épaisseur constante permet de faire des opérations d'arithmétique qui exigent que les chiffres retombent les uns sous les autres.

Capitales. Les capitales grandes et petites, dont l'approche se met d'après les mêmes principes, puisque les formes sont semblables, sont tenues un peu plus grosses que les minuscules ; on met l'approche de l'H de manière que l'écart soit égal à celui des deux jambages. Les autres sortes se mettent soit *au filé*, soit d'après les mêmes principes que nous avons indiqués ci-dessus.

De l'approche de l'italique. L'approche de l'italique est donnée par la gravure même, au moins pour les italiques modernes, qui remplacent de jour en jour les italiques anciens; en effet, nombre de lettres commencent et finissent par des traits obliques qui forment liaison d'une lettre à l'autre; il faut donc que ces traits se fussent suite l'un à l'autre, de la sorte : *mmm*.

Une remarque à faire, c'est que l'*m* n'est plus tenue rigoureusement dans son milieu comme dans le caractère romain, c'est-à-dire qu'une *m* retournée entre les deux autres produit cet effet *mum*, elle est plus grosse du dessus. On y trouve l'avantage que, comme à cause de la pente du caractère, les accents, les longues (*f*, *l*) dépassent le corps, on est obligé de leur faire subir la façon de la crénerie, ces parties sont d'autant plus soutenues, qu'on tient plus gros du dessous, et qu'on se dispense ainsi de faire créner beaucoup de sortes.

Indépendamment de l'habitude qu'acquiert l'œil de juger l'égalité de l'écart, on voit que pour les italiques modernes, on peut vérifier si la lettre est bien d'approche, en considérant si le crochet du bas des lettres qui sont terminées ainsi, reprend bien avec le crochet du haut de l'*m*, ou l'inverse si c'était la lettre qui commençât par un crochet. L'œil permet d'estimer la régularité de l'écart pour les autres lettres.

Ces moyens de mettre l'approche de l'italique sont imparfaits; ce qui est d'autant plus regrettable, que, comme on n'a pas non plus de procédé qui permette de bien s'assurer des pentes à la justification des matrices, la plupart des italiques pèchent à la fois par la pente et par l'approche, et ce n'est qu'avec beaucoup de soins qu'on parvient à faire quelque chose de passable.

Aussi nous pensons avoir indiqué un moyen utile en inventant la justification brisée dont nous parlons à l'article de la justification des matrices, et qui, comme nous l'avons vu, permet d'appliquer à l'italique le moyen du filage (voyez GRAVURE). L'approche de l'italique se trouve alors aussi simple à mettre que celle du romain, et ce sont absolument les mêmes principes à appliquer.

Des grandes capitales italiques. L'emploi de notre justification brisée permet aussi de fondre les grandes capitales dans une approche rigoureuse; mais quand les matrices sont bien justifiées de pente, les procédés actuels permettent de les fondre suffisamment bien, les formes droites des capitales permettant de juger aisément l'écart.

Les *H* étant fondues de manière que leur écart soit égal à celui du contre-poinçon, le trait de la pièce du dessus étant au vif, on fait passer toutes les lettres entre ces *H*, de manière que les distances des traits du haut aux traits des *H* (ceci est le meilleur guide) soient égales aux distances des traits du haut des *H* entr'elles, en crénant, s'il y a lieu, de la sorte *HYHH*.

Des caractères étrangers. Au moyen des principes posés, on parvient à mettre d'approche les caractères étrangers, l'allemand, le grec, l'hébreu, etc.

Du moule américain, dit *lever-mould*. Depuis quelques années un célèbre fondeur anglais, M. A. Wilson, dont l'établissement est depuis longues années au premier rang, a adopté pour sa fabrication un moule américain auquel il a fait subir quelques modifications, et qui lui a permis de monter une fabrication extrêmement parfaite.

Les avantages de ce moule correspondent à presque toutes les imperfections qui se rencontrent dans la fabrication au moyen des moules ordinaires.

1° L'usure des moules est la cause la plus grave de l'altération des dimensions des lettres ; car la perfection des procédés de fonderie n'existe qu'autant qu'il s'agit du moule sortant des mains du mécanicien. Il est clair, en effet, que si le moule est usé, les dimensions du vide que remplit la matière varient. Or, cette usure résulte du choc des deux pièces du moule, qui disjointes pour faire sortir la lettre sont réunies avec rapidité pour en former une autre, mais surtout de ce que dans cette action l'extrémité de la pièce du dessus vient quelquefois toucher la vive arête de la pièce du dessous, l'abat, en formant des saillies qui dérangent quelquefois la force de corps, et font toujours que la lettre cesse d'être parfaitement rectangulaire.

Cette cause est tout à fait évitée avec le moule américain qu'il suffit d'entre-bâiller, sans qu'il y soit besoin de séparer entièrement les deux pièces du moule. L'usure du moule devenant moindre, les réparations deviennent moins fréquentes, ce qui permet de construire le moule en acier trempé, dressé au lapidaire, et par suite bien moins sujet à s'user par l'action du frottement.

2° La difficulté de mettre parfaitement l'approche et la ligne est assez grave, et demande des soins et des connaissances qu'on ne peut rencontrer que chez les bons ouvriers. Aussi est-ce là l'obstacle contre lequel lutte sans cesse le maître fondeur. Disons de plus que le moyen de faire varier l'épaisseur en frappant le registre avec un marteau, n'est pas assez délicat pour qu'on soit certain d'obtenir toujours la même épaisseur pour une lettre fondue à diverses reprises sur plusieurs moules, ce qui est un grand défaut.

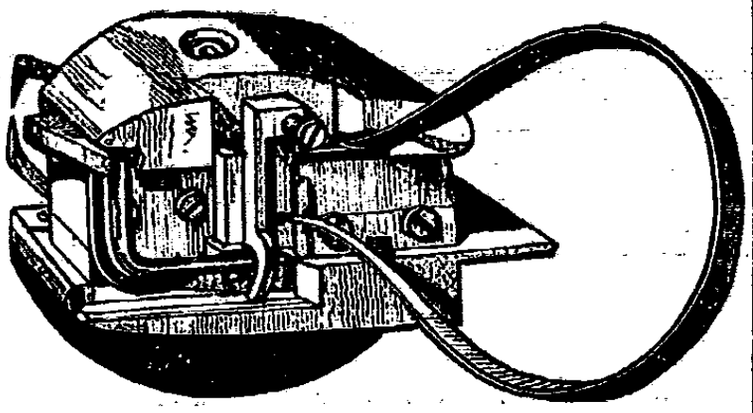
Au moyen du moule américain, ou plutôt de la justification à registre arrêté que l'ancienne fonderie avait jadis abandonnée, parce que la matrice s'usait rapidement, la précision du travail nécessaire pour l'approche et la ligne se trouve reportée sur le travail préparatoire de la matrice, qui une fois fait par d'habiles artistes permet d'obtenir des produits toujours identiques et d'une grande perfection. Enfin, la fixité des registres évite toute mauvaise pente résultant de leur rotation.

Le moule américain ne permet pas seulement un travail très parfait, il est encore très avantageux pour l'ouvrier, dont il accélère d'un tiers le travail en diminuant le nombre des opérations qu'il doit effectuer. C'est ce que fera bien sentir la description du moule et le mode de travail.

Ce moule, dont la fig. 1046 peut donner idée, diffère principalement du moule ordinaire par les registres, l'archet et la manière de déchausser.

Les registres fixés à demeure par deux vis servent à guider les longues pièces qui glissent entre eux et de petites pattes placées en face, en supprimant ainsi les potences et les fourchettes. Le registre de la pièce du dessus est terminé à sa partie inférieure par une équerre, sur laquelle porte le talon de la matrice. L'archet est un fort ressort d'acier qui, tenant à la pièce du dessus,

maintiendra toujours la matrice appuyée sur l'équerre dont nous venons de parler. Celle-ci ne pourra avoir qu'un petit mouvement de bascule, déterminé par le mécanisme dont nous allons parler.



4046.

Du bois de la pièce du dessus sort une touche que l'on saisit quand on entr'ouvre le moule. Cette touche fait mouvoir un levier coudé se terminant vers le bas du registre, fait incliner l'extrémité d'une barre mobile autour d'un point fixé sur ce registre, et qui est terminé à son extrémité supérieure par une partie carrée dans laquelle passe une petite vis qui touche le haut de la matrice.

Ceci bien compris, la fonte se réduit à entre-bâiller le moule ; en le faisant, la touche fait sortir de la matrice l'œil de la lettre, et celle-ci dont l'adhérence avec le moule très bien poli est très faible (et est d'ailleurs vaincue par une faible action de *tire à tire*, résultant dans le premier moment de l'ouverture de ce que l'œil de la lettre est encore dans la matrice, et que le jet de la pièce du dessous tient par une petite cavité oblique pratiquée dans l'angle du jet que la matière a remplie et qui n'est pas de dépouille), sort par une petite secousse en avant imprimée au moule. En laissant retomber la pièce du dessous le moule se ferme et est disposé de nouveau pour recevoir la matière.

La fonte est simplifiée et le travail devient plus rapide (par suite plus économique) par ce procédé. Les seuls défauts à lui reprocher, c'est que la *ligne* de la matrice s'use, et que les fortes sont des hors de ligne.

§ 6. OPÉRATIONS QUI SUIVENT LA FONTE DE LA LETTRE.

Romperie. Le vide que laisse le moule dans l'état de rapprochement convenable à la fonte d'une lettre, se compose de deux parties : celle où doit se former la lettre et le jet. Le jet dont l'ouverture du haut est assez large pour introduire aisément la matière, se resserre vers le bas de manière à n'avoir plus que le tiers de la force de corps de la lettre et la même épaisseur.

On commence par séparer le jet d'avec le corps, ce qui s'appelle rompre. Cette opération est très simple, il suffit de prendre la précaution de tenir la lettre entre les doigts près du pied et de manière que la force de corps soit verticale. Cette précaution est surtout nécessaire pour les lettres fines, qui ont toujours plus de résistance dans le sens de la force de corps, qui est celui de la plus grande épaisseur, et qu'on courberait si on voulait les rompre dans l'autre sens.

Frotterie. La lettre étant rompue, on la frotte sur son épaisseur pour la débarrasser des petites aspérités qui sont à sa surface toujours sur ce sens.

En effet, ces aspérités résultent de ce que les arêtes des blancs sont abattues, ou les blancs du moule usés inégale. :t par le frottement ; la matière dépasse donc les blancs en suivant les longues pièces. On frotte généralement les lettres sur une pierre de grès dressée par le frottement d'une autre pierre, en interposant entre les deux du grès sec. On produit ainsi un grain qui fait l'effet d'une lime. Une lime serait certainement meilleure que cette pierre, mais le métal se loge entre les tailles et empâte rapidement les limes, de sorte que leur entretien serait une dépense assez notable.

On frotte donc les lettres sur cette pierre des deux côtés par lesquels elles s'assemblent pour composer les mots. Comme cette opération est la dernière qu'on fait subir à la lettre sur ce sens, il faut que la frotteuse s'assure si le moule fond bien et qu'elle cherche à réparer les imperfections de la fonte autant qu'il lui est possible.

Pour s'assurer que les lettres sont bien d'égale épaisseur dans toute l'étendue de la tige, on en range une centaine les unes à côté des autres, sur un morceau de bois appelé *composteur*, qui est une règle de bois munie de talons pour empêcher les lettres de glisser. Si les tiges sont égales, la dernière est parallèle à la première. Si elles chassent plus du côté de l'œil, ce qu'on appelle aller en tête, c'est une marque qu'il y a plus d'épaisseur vers l'œil de la lettre que vers le pied, défaut que sa répétition rend très sensible. Si elles chassent davantage du côté du pied, c'est le contraire qui a lieu. On doit alors appuyer sur la pierre du côté qui a le plus d'épaisseur, on en enlève davantage à cette extrémité, et quand par plusieurs essais on s'est rendu compte de la pression nécessaire, on parvient assez bien, en conservant cette pression, à rétablir l'égalité des tiges.

L'épaisseur des lettres peut aussi varier d'un côté à l'autre de la force de corps, le moule peut être de carne. Ce défaut résulte le plus souvent de l'usure d'une des arêtes du moule, d'où naît une petite saillie sur la lettre, qu'on peut apercevoir à l'œil. Quand on a composé un essai de frotterie, on sent en pressant les lettres avec le moule sur le talon du composteur si elles forment un tout ; si au contraire il y a plus d'épaisseur dans un sens elles tendent à se former en cercle, en se fermant du côté de la moindre épaisseur. On doit appuyer davantage sur le côté de la plus grande épaisseur, ce qui demande beaucoup d'habileté pour les petits caractères.

Crénerie. Certaines lettres ne peuvent se frotter parce que l'œil de la lettre dépasse la tige qui la supporte, telles sont l'f et le j dans le caractère romain. La tête de l'f doit donc anticiper sur la lettre voisine. Créner c'est évider cette tête en dessous avec un canif, de manière qu'elle puisse se loger sur le haut de la tige de la lettre suivante. Remarquons ici qu'il faut pour cela que la partie supérieure de cette tige soit libre, ce qui force à faire les doubles fl, fl, l'l et l'l étant deux longues du haut qui peuvent se présenter après l'f

La tête étant crénée on ratisse avec le canif le côté de la lettre correspondant à la partie crénée, ce qui remplace la frotterie.

Dans l'italique il y a beaucoup plus de lettres crénées à cause de la pente qui fait sortir les lettres longues du corps ; l'opération dans ce cas, comme dans tous ceux qui peuvent se présenter, est toujours la même.

Composition. Cette opération n'a aucune influence sur la nature de la lettre, mais elle est nécessaire pour les opérations qui suivent et permet de passer du travail lettre à lettre au travail sur un certain nombre de lettres à la fois. Composer, c'est arranger les lettres sur des règles en bois de ¼ décimètres environ de longueur garnies d'un rebord qui soutient les lettres ; on les place les unes à côté des autres, le cran toujours du même côté. On compose ainsi successivement les différentes lettres d'une fonte, qui passent alors entre les mains du coupeur.

FONDERIE EN CARACTÈRES.

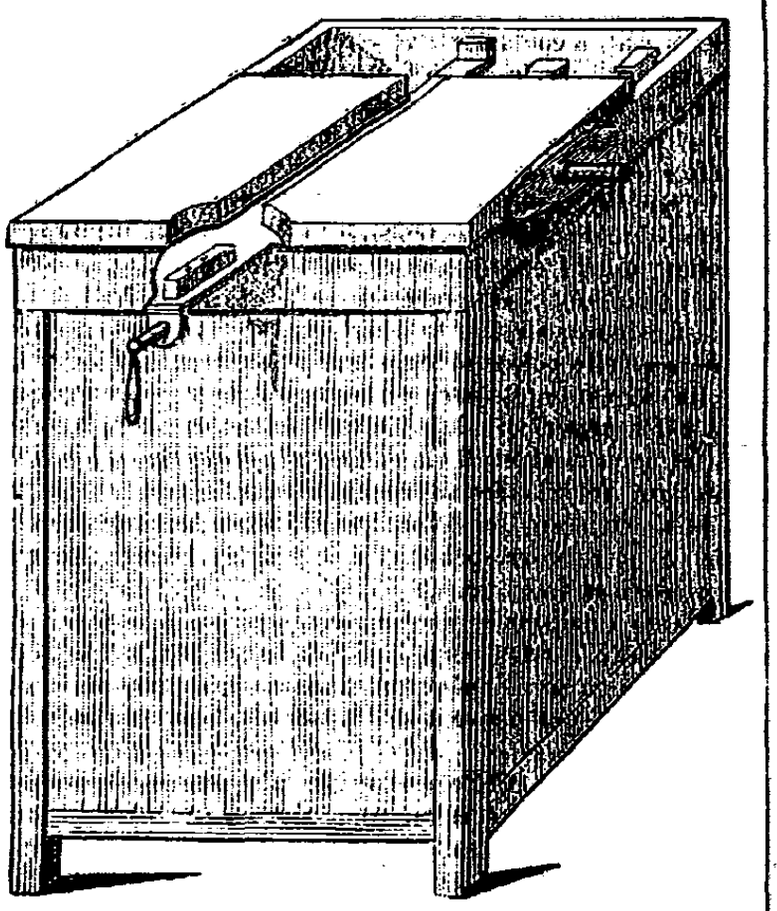
§ 7. DU COUPOIR.

La hauteur qu'on donne aux caractères n'est pas une quantité qu'on puisse fixer à priori ; elle est un résultat de l'expérience. Plus cette hauteur est grande, plus on a de facilité à serrer une page composée, moins il y a de chances par le serrage que les lettres ne prennent une position oblique.

D'un autre côté, trop de hauteur serait inutile, les fontes se trouveraient avoir inutilement un poids considérable qui augmenterait leur prix sans le moindre avantage; l'expérience a fait adopter la hauteur de dix lignes et demie, qui est bien suffisante. En Flandre, et dans le Midi, les hauteurs sont généralement plus grandes, elles varient de dix lignes et demie à onze et onze et demie. En Angleterre, la hauteur est un peu moindre.

Nous avons déjà insisté sur l'absolue nécessité que toutes les lettres soient identiquement de même hauteur, condition à laquelle il serait impossible de satisfaire si elle résultait d'une opération mécanique, et qu'on obtient au contraire aisément en faisant qu'elle soit donnée par l'opération même de la fonte. Nous avons vu que les deux jets du moule étaient en saillie sur la force de corps du tiers de celle-ci ; ces deux saillies forment le pied, et le jet de la lettre n'a d'épaisseur que ce troisième tiers.

Ce jet étant rompu il reste encore une petite saillie qui empêcherait la lettre de poser sur les deux pieds venus à la fonte par suite des recouvrements des deux jets. Il faut enlever cette saillie et faire en sa place une gouttière ; ce que l'on fait au coupoir d'un seul coup sur toutes les lettres qui tiennent sur un composteur. Donnons d'abord la description de cet outil que représente la fig. 4017.



4017.

Le coupoir est une espèce d'étau, dont les mâchoires ont une grande largeur, avec des dispositions particulières pour la commodité du travail, et des guides convenables, pour que les mâchoires marchent parallèlement.

Il consiste essentiellement dans un train en fer à cheval, dont les deux branches parallèles glissent dans des mortaises pratiquées dans des supports fixes, et qui, dans la partie transversale, a un renflement taraudé qui se monte sur une vis fixée après la partie droite du bâti où elle ne peut que tourner. Le mouvement de rotation de la vis fera marcher son écrou, et par suite le train. Sur la partie droite est fixée à demeure un plateau en fonte ou en bois recouvert de cuivre ; sur la partie gauche est fixée par quatre vis, sur le train, un plateau pareil ; ce plateau, marchant parallèlement au premier, opèrera une pression égale dans toute la longueur sur un objet placé entre les plateaux avec toute la force qu'on obtient d'un levier adapté à une vis, force bien plus grande qu'il n'est nécessaire.

Entre les deux plateaux et passant au-dessous d'eux est ajustée une plaque, bien d'équerre avec les faces intérieures des plateaux, qui porte à son extrémité en saillie un talon, qui sert de point d'appui dont nous verrons plus loin l'emploi, et sur le devant un autre talon qui se meut au moyen d'une vis qu'on nomme *vis de frotterie*, parce que, comme nous allons le voir, elle est destinée à serrer les lettres sur la frotterie, comme la vis qui fait marcher le train est appelée *vis de corps*, parce que c'est dans le sens du corps qu'elle opère une pression sur les lettres.

La pièce qu'on place entre les deux plateaux et qui renferme les lettres s'appelle *justifieur* ; elle est com-

4018.

posée de deux parties d'environ $0^m,65$ de longueur, $0^m,025$ de largeur et $0^m,022$ de hauteur. La pièce du dessous porte une platine qui est une bande plate parfaitement d'équerre avec la face contiguë, elle porte à son extrémité une noix, plaque de $0^m,054$ de long de l'épaisseur du plus petit caractère qu'on veut couper ; entre la platine et la pièce on pratique à chaque extrémité deux mortaises. La pièce du dessus porte une noix à son extrémité antérieure, et deux languettes étroites destinées à entrer et à glisser dans les mortaises de la pièce de dessous.

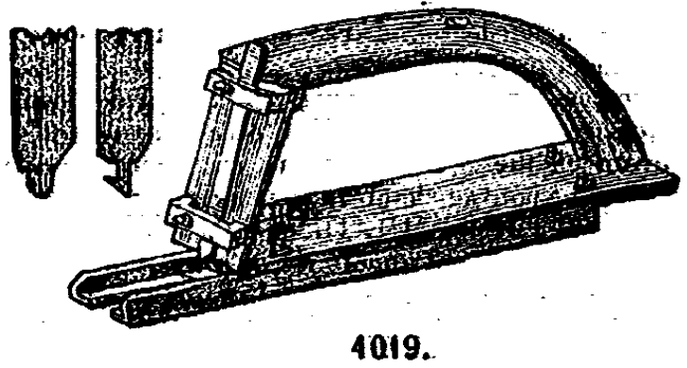
Le coupeur prenant un composteur de la main droite, l'applique sur le bord de la pièce du dessous du justifieur qu'il tient un peu incliné de la main gauche ; puis le faisant tourner un peu brusquement il fait tomber les lettres sur celui-ci, la tête en bas ; il met alors la pièce du dessus dans les languettes, puis place le justifieur entre les parois des plateaux. Serrant la vis de corps il fait appliquer les lettres contre les faces du justifieur, après avoir eu soin aussi de presser avec un petit morceau de bois sur le pied des lettres pour qu'elles portent bien au fond, puis desserrant un peu la vis de corps il fait marcher la vis de frotterie. La deuxième pièce du justifieur poussée par cette vis, avance ; et les lettres prises entre les deux noix se trouvent serrées sur la frotterie. Sans lâcher la vis de frotterie qu'il tient de la main gauche il serre fortement la vis de corps pour maintenir les lettres dans cette position.

Le justifieur doit être fait avec soin, les surfaces supérieures dressées en se guidant sur un marbre parfaitement droit ; il faut s'assurer avant de placer les noix si les deux pièces s'appliquent bien l'une sur l'autre dans toute leur longueur, et toutes les faces d'équerre entre elles. Tout cela est nécessaire pour que la lettre soit serrée également dans toute la longueur, autrement la lettre, ayant du jeu dans une partie du justifieur, tourne et se courbe.

Les lettres étant serrées dans le justifieur, forment un tout parfaitement solide, on prend un rabot (fig. 4019).

outil composé principalement de deux patins en cuivre qui peuvent se serrer près de la lettre par le mouvement des vis à large tête qui glissent dans une rainure et les fixent à une pièce plate en fer. Cette pièce est courbée du devant, et on peut avec deux vis y fixer un fer. Le rabot, guidé par l'épaisseur de la lettre fera donc suivre à ce fer une ligne droite, et par conséquent, quand il aura été adapté pour enlever la rompure, il suffira de pousser le rabot dans toute la longueur, et ce rabot une fois monté servira pour toutes les lettres de la même force de corps.

4021. 4020.



4019.

On fait encore au coupoir une autre opération qui consiste à enlever la partie supérieure du corps de la lettre qui n'est pas occupée par l'œil pour dégager celui-ci. A cet effet, on monte sur les rabots des fers, dont le tranchant est oblique, et qui sont placés l'un à droite et l'autre à gauche, et on enlève l'excédant en faisant mordre ce rabot de la quantité convenable. Mais il faut pour cela retourner la lettre, ce que l'on fait en la replaçant sur le composteur, en appliquant celui-ci sur le justifieur, le talon en haut, et donnant un mouvement de renversement ; puis retournant le composteur de droite à gauche et replaçant par le mouvement inverse dans le composteur la lettre, dont l'œil se trouve alors en haut.

Enfin, les imprimeurs demandent souvent qu'on ajoute des crans à celui du moule, afin de distinguer des fontes de même force de corps qui se trouvent dans leur imprimerie. On les pratique aux endroits convenables au moyen de fers portant des saillies latérales, qui correspondent aux crans voulus et qu'on monte sur rabots.

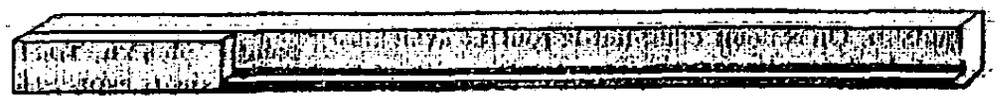
Voilà tout le travail qui devrait être fait au coupoir, mais quelquefois la hauteur d'un moule s'est dérangée, quelques matrices se trouvent mal justifiées ; on peut alors remettre la hauteur au coupoir en prenant les soins convenables.

Si la différence de hauteur est peu de chose, on se contente de frotter le pied de la lettre avec une lime qu'on tient horizontale, après qu'on a enlevé la rompure ; mais si la différence est très notable, alors, après avoir enlevé la rompure, on desserre la vis de corps, puis on renfonce avec soin les lettres en pressant fortement sur le pied, on serre les vis en s'assurant que les lettres ne se lèvent pas au milieu ; puis avec un rabot portant un fer plat, monté à la hauteur convenable, on enlève l'excédant de hauteur. Il est évident que pour que cette opération soit possible, il faut avoir un justifieur parfaitement bien calibré pour la hauteur, et dont la surface supérieure soit exactement plane.

§ 7. — DE L'APPRÊT.

L'apprêt est la dernière façon à donner aux caractères ; il a pour but principal de réparer les petites inégalités qui peuvent exister sur la force de corps des diverses sortes d'un même caractère fondu sur plusieurs moules, et de corriger les variations qu'éprouve chaque moule par l'effet de la dilatation et de l'usure.

L'apprêteur a, sur un râtelier placé à sa gauche, les rangées de composteurs qui viennent de sortir des mains du coupeur. Il prend successivement chaque composteur, en transporte les lettres sur un composteur d'apprêt fig. 1022, qui est plus fort et plus droit qu'un compos-



1022.

teur ordinaire, et celle-ci les appliquant l'un sur l'autre et les retournant ; puis au moyen d'un couteau plat de trois à quatre pouces de long, il râtisse la surface, de manière à enlever le morfil produit par la frotterie ; il reporte ensuite les lettres sur un second composteur d'apprêt, et fait la même opération sur l'autre face.

Il prend alors deux ou trois lettres sur le composteur, et les met entre les m sur une justification pour vérifier si l'approche est bonne (si elle est mauvaise, il ne peut que jeter la sorte), et si la sorte est bien en ligne. Il vérifie en même temps la force de corps par un parangonnage, s'il est nécessaire (voir plus loin *Typomètre*), et si le peu d'apprêt qu'il a donné est suffisant. S'il y a un peu de force, il apprête de nouveau (du côté opposé au cran, afin de ne pas changer la ligne) et de la quantité convenable ; car un bon apprêteur sait ce qu'il enlève par la manière dont il appuie le couteau d'apprêt ; puis il remet la force de corps entre les m. Quand il est arrivé, il continue alors toute la sorte, en ne vérifiant plus que de temps en temps et donnant le même apprêt à chaque composteur.

Nous avons admis, dans ce que nous avons dit, que la sorte que l'on apprêtait était en ligne avec les m ; mais il arrive quelquefois qu'elle monte ou qu'elle descend sur cette ligne ; c'est à quoi l'apprêteur peut remédier dans quelques limites fort restreintes. En effet, quand on compose les lignes, les lettres viennent s'appliquer les unes sur les autres par le côté de la lettre où est le cran (puisqu'on compose le cran dessous). Or, si on enlève un peu de métal de ce côté en tête ou en pied, on fera monter ou descendre la ligne. Il faut en ôter en même temps à l'extrémité inverse sur l'autre face. Les faces qu'on aura fait de la sorte à l'apprêt seront un peu obliques sur le pied de la lettre, ne seront plus parfaitement d'équerre ; mais cependant la lettre ne se redressera pas sur son pied, à cause du serrage de la ligne. Il va sans dire que ceci ne peut se faire que pour des variations extrêmement minimes de la ligne, et ne peut s'employer dès que la variation est notable.

Le composteur apprêté, l'apprêteur qui a dû déjà vérifier l'approche, la hauteur, la ligne, doit encore visiter le composteur et rejeter :

1° Les mauvaises d'œil qui auraient échappé à l'ouvrier, qui doit déjà avoir fait cette visite ;

2° Les épaisses, qui ont été fondues quand le moule était mal fermé ;

3° Les fortes de corps que l'apprêteur reconnaît en passant son couteau, qui les attaque avant toutes les autres ; elles résultent tant de ce que le moule a été mal fermé que d'un grain sur les blancs ou les longues pièces ; d'où la nécessité de brosser le moule de temps en temps pour le nettoyer ;

4° Les hors de ligne, qui se font quand on ne presse pas l'archet sur le talon de la matrice, ou que celui-ci n'a pas assez de ressort.

Les lettres ayant ces défauts étant ôtées, tout est fini, et le caractère est en état d'être livré à l'imprimeur. On en forme, à cet effet, des pages de dimensions égales qu'on serre avec une ficelle, et qu'on enveloppe de papier.

FONDERIE EN CARACTERES.

§ 8. DES POINTS TYPOGRAPHIQUES.

Avant Fournier jeune les forces de corps ne procédaient pas régulièrement; chaque imprimerie avait les siennes, et quand un imprimeur voulait un caractère nouveau, on le fondait sur la force de corps de quelque caractère analogue existant déjà dans son imprimerie, ou bien le fondeur suivait la force de corps habituelle de sa maison. On conçoit combien la routine avait ainsi accumulé de forces de corps différentes sans aucune relation entre elles. Or, il y avait à cela, outre plusieurs graves inconvénients, tels que celui de la confusion des caractères qui ne différaient que par des quantités très faibles, le grand désavantage de ne jamais arriver à un parangonnage exact.

Fournier, partant du plus petit corps habituellement en usage, appelé nonpareille, et pour lequel l'usage avait établi une dimension sensiblement fixe, en prit la sixième partie qu'il appela point typographique, et il assujettit tous les corps des caractères courants à se succéder par intervalles d'un point. Les corps sont ainsi classés régulièrement, et séparés par intervalles assez rapprochés pour que les différences de grandeur des caractères, de mêmes proportions, gravés sur deux forces de corps consécutives, soient très peu sensibles.

Fournier comprit fort bien toute l'importance des points typographiques, cette introduction d'une commune mesure dans les divers éléments du matériel d'une imprimerie.

Après avoir rappelé les efforts qui avaient été faits inutilement pour fixer les dimensions des caractères d'imprimerie, il ajoute dans son excellent *Manuel typographique* :

« Voilà ce qui m'a engagé à débrouiller ce chaos, en mettant dans cette partie un ordre qui n'y avait jamais régné : je crois avoir eu le bonheur d'y réussir avec une justesse et une précision qui ne laissent rien à désirer par l'invention des *points typographiques*. Ce n'est autre chose que la division des corps de caractères par degrés égaux que j'appelle *points*. Par ce moyen on connaîtra au juste les degrés de distance et les rapports des corps. On pourra les combiner ensemble de la même manière qu'on combine ensemble les signes numéraires, et comme deux et deux font quatre, ajoutez deux il viendra six, doublez ce tout, vous aurez douze, etc. De même une nonpareille qui porte six points, avec une autre nonpareille, feront ensemble le cicéro qui en a douze; ajoutez encore une nonpareille vous aurez dix-huit points ou le gros-romain; doublez ce tout qui fera trente-six points, ce sera le trismégiste qui porte ce nombre, et ainsi des autres, comme on le verra par la table des proportions. »

« Pour faire la combinaison des corps, il suffit de savoir le nombre de *points typographiques* dont ils sont composés. Il faut pour cela que ces points ou grandeurs données soient invariables, de manière qu'ils puissent servir de guides dans l'imprimerie, comme le *pied de roi*, les *pouces* et les *lignes* en servent dans la géométrie. »

Pour obtenir ce résultat, Fournier introduisit dans la fonderie l'instrument le plus précieux pour la perfection de la fabrication, c'est l'instrument de répétition qu'il nomma *prototype*. Cet outil est formé d'une équerre adaptée sur une surface plate. Un des côtés est de la hauteur du caractère qui est de dix lignes 1/2. La longueur du grand côté est de deux cent quarante points typographiques, et devait être prise sur un étalon déposé à la chambre syndicale.

Supposons qu'il s'agisse d'établir un moule pour fondre de la nonpareille, on ne vérifiera pas seulement la force de corps en plaçant la lettre d'essai entre deux *m* sur un marbre, mais en plaçant quarante de ces lettres à plat sur le prototype pour reformer les deux cent quarante points, et la différence répétée quarante fois indiquera comment le moule est défectueux. On arrivera donc ainsi à établir divers moules exactement de la même force de corps, qui sera en même temps la force de corps régulière.

Il en sera de même de chaque force de corps qui entre un certain nombre de fois dans deux cent quarante points, plus une fraction, en y ajoutant quelquefois une ou plusieurs espaces fines.

Cet instrument de répétition si ingénieux, appliqué aux diverses opérations de la fonderie, à la vérification des moules, à l'apprêt, est évidemment le meilleur moyen d'assurer la perfection du travail à un degré nécessaire pour le travail de la composition qui est une répétition perpétuelle et pour lequel, par suite, la précision de dimensions mesurée sur une lettre isolée est insuffisante.

Du typomètre. Les forces de corps de Fournier avaient un inconvénient : c'est qu'elles n'étaient pas réductibles aisément en mesures ordinaires; que la longueur du prototype ne pouvait s'établir avec les mesures connues; c'est ce qui a décidé MM. Didot à changer les dimensions du point; ils ont appelé six ou nonpareille la force de corps de six points typographiques, et ils ont donné au point typographique la longueur de deux points du pied de roi, de sorte que le six a précisément une ligne. Les avantages de ce changement ne compensaient peut-être pas la confusion qu'il a fait renaître pour les forces de corps, mais qui a disparu par l'adoption universelle aujourd'hui des points Didot.

Le prototype s'est transformé en typomètre, qui lui est entièrement semblable, sauf la longueur qui est de deux cent quatre-vingt-huit points typographiques nouveaux

Pour remplir le typomètre il faut :

Nonpareille ou corps	6	48	lettres.
Mignonne ou corps	7	41	et 1 p.
Petit-texte	7 1/2	38	et 3 p.
Gaillarde	8	36	
Petit-romain	9	32	
Philosophie	10	28	et 8 p
Cicéro	11	26	et 2 p.
Saint-Augustin	12	24	
Gros-texte	14	20	et 8 p.
Gros-romain	16	18	
Petit-parangon	18	16	
Gros-parangon	20	14	et 8 p.
Palestine	22	13	et 2 p.
Petit-canon	26	11	et 2 p.
Trismégiste	32	9	
Gros-canon	40	7	et 8 p.
Double-canon	52	5	et 28 p.
Triple-canon	66	4	et 24 p.

L'habitude des noms insignifiants rapportés ci-dessus commence à se passer. On se contente de désigner les caractères par le nombre de points contenus dans leur corps, comme M. Firmin Didot en a donné l'exemple.

On a essayé, dans ces derniers temps, de revenir aux points Fournier, en les mettant en rapport avec les nouvelles mesures. La base annoncée est que 100 points Fournier font juste 35 millim., ou que le point est égal à $0^{mm},35$ environ. Serait-il prudent et avantageux, quand la plupart des imprimeries sont parvenues, souvent au prix de grands sacrifices, à monter tout leur matériel sur points Didot, de modifier toutes les forces de corps? Que vaut le point Didot en millimètres? L'annuaire du bureau des longitudes donne, pour la ligne du pied de roi, $2^{mm},256$, dont le sixième est $0^{mm},376$. Un tel bouleversement doit-il être tenté pour que le point soit plutôt 0,35 que 0,376? Cette première division décimale n'est en rien supérieure à la seconde. Ce serait sur d'autres bases que devrait être établie une division

millimétrique exacte qui, au reste, bouleverserait tous les matériels existants, et cela avec bien peu d'utilité.

§ 9. DES LETTRES DE DEUX POINTS, DES FANTAISIES, DES CARACTÈRES D'AFFICHES.

Les titres des ouvrages, les annonces de journaux, exigeant des capitales de plus grandes dimensions que les grandes capitales des caractères qui servent à l'impression des textes, et dont la fonte offre beaucoup de difficultés, on facilite celle-ci, soit par l'emploi de la ponce dont nous parlerons ci-après, soit par le clichage. Ce procédé consiste à frapper vivement la matrice sur une petite quantité de métal fondu déposée sur une pierre plate. Le métal, projeté violemment au fond de la matrice, s'y moule avec une netteté extrême. Retirant ce cliché et en limant toutes les bavures, on le replace dans la matrice, et celle-ci étant placée sur un moule, on verse la matière pour former le corps, et la chaleur de celle-ci fondant une partie du cliché fait des deux pièces un tout rarement d'équerre sur le corps.

Caractères d'affiches. A partir des lettres de deux points de gros-canon, on a encore fait des lettres qui sont spécialement destinées aux affiches, ce sont les doubles de fonte, triples, quadruples de fonte, et enfin les caractères d'affiches proprement dits qu'on désigne par le nombre de points de leurs corps, et qu'on a poussé dans ces derniers temps à des proportions exagérées où elles deviennent du domaine de la gravure sur bois (voyez GRAVURE).

Pour rendre les grosses lettres moins pesantes, on les évide en dessous, ce qui les fait appeler, d'après leurs formes, lettres à ponts.

Le moule doit donc être fait de telle sorte que les jets pénètrent à l'intérieur de la tige par des parties circulaires, et la rompure se trouve au milieu de cet évidement. La matrice est pressée par une vis, et le moule est posé sur un support quand on fond, car le moule est trop long pour qu'on puisse songer à le tenir a la main. On ne peut donc plus pousser, et par conséquent les fins viennent difficilement. On y remédie en ponçant la matrice, c'est-à-dire en répandant à sa surface intérieure une petite couche de pierre-ponce, pulvérisée, très fine, et dont on fait un petit tampon en la renfermant dans un linge. Cette poussière empêche le refroidissement immédiat de la matière, mais les résultats sont imparfaits.

§ 10. DES ESSAIS DE CONQUÊTE DE LA TYPOGRAPHIE SUR LA TAILLE-DOUCE.

L'imprimerie a sur tous les moyens de reproduction deux très grands avantages qui doivent faire chercher à étendre autant que possible son domaine. Le plus important consiste dans son principe même, qui est celui de la composition et de la décomposition des diverses lettres, ce qui les fait servir à représenter une infinité de mots différents, tandis que les lettres d'une gravure sur cuivre ne peuvent servir que pour représenter ce pourquoi elles ont été spécialement gravées. C'est étendre à de nouveaux produits les grands avantages de la substitution de l'impression en caractères mobiles à l'impression tabellaire.

Le second consiste dans l'extrême économie du tirage des gravures en relief, qui, quand il s'agit de grands nombres, permet, surtout avec l'aide de la presse mécanique, d'obtenir les produits à un prix excessivement modique.

4° *Des caractères d'écritures.* On a souvent essayé de représenter les caractères d'écriture au moyen de l'imprimerie, ce qui était plus important encore avant l'invention de la lithographie qu'aujourd'hui, puisque pour avoir quelques exemplaires d'une circulaire on était obligé de la graver sur cuivre, travail dispendieux et qui ne pouvait plus servir à rien après l'impression.

FONDERIE EN CARACTÈRES.

On a donc gravé des caractères imités des formes de l'écriture que l'on compose comme à l'ordinaire. On représente ainsi très bien les caractères qu'on appelle *ronde*, *bâtarde*, dont les lettres commencent par des parties pleines. La jonction des lettres se faisant d'un délié à un trait fort est parfaite, et le trait noir de chaque lettre empêche l'œil de sentir que le fin de la lettre précédente n'arrive que très près; on obtient ainsi l'effet de la continuité de l'écriture.

Mais cet effet de continuité ne peut plus avoir lieu pour l'écriture courante, dite anglaise, dans laquelle le passage des pleins aux déliés se fait par transitions insensibles; aussi en composant lettre à lettre les jonctions se faisant à la rencontre de deux déliés, ne peuvent être jamais assez parfaites pour que l'œil ne les voie pas. C'est pour obvier à cet inconvénient que M. Firmin Didot a imaginé les anglaises, un des plus beaux travaux de leur auteur, typographe si justement célèbre. Nous allons exposer l'ingénieux système de combinaison qu'il a adopté, mais nous devons faire observer que la gravure des anglaises est un véritable chef-d'œuvre qui a fixé pour ainsi dire le type le plus parfait de l'écriture.

Si on considère les diverses lettres de l'écriture, on reconnaît qu'il n'y a que huit lettres qui se joignent aux lettres précédentes par un délié continu; ce sont *m*, *n*, *r*, *s*, *v*, *w*, *y*, *z*; pour toutes les autres le délié vient se perdre dans une partie pleine. Or, si nous faisons abstraction de ces lettres, il est évident que l'on obtiendra l'effet de continuité en faisant que chaque lettre soit terminée par le délié tout entier, puisque alors, comme nous l'avons dit plus haut, la lettre suivante venant présenter une partie pleine à son extrémité, la continuité de l'écriture est complétement obtenue pour l'œil.

C'est ce que l'on a fait pour l'anglaise, mais il restait encore à faire les liaisons des diverses lettres avec celles dont nous avons parlé plus haut. On pouvait y arriver en faisant des lettres doubles composées des autres lettres suivies de celles-ci et de leurs combinaisons entre elles; mais on serait arrivé à un nombre de signes trop considérable. Pour en diminuer le nombre, M. Didot a imaginé les passe-partout; ce sont les signes composés de la première partie d'une de ces lettres, commune à plusieurs suivant une autre lettre; comme, par exemple, *en*. Ce signe servira à faire *em*, *en*, *er*, en ayant le reste de ces lettres comme signe particulier qui viendra se joindre fin avec plein.

C'est en étudiant les divers cas qui peuvent se présenter que M. Didot arrive à satisfaire complétement au problème proposé avec un petit nombre de passe-partout et de lettres doubles. Un exemple fera bien comprendre ce mode de composition. Ainsi :

Admirablement

se compose,

Admirablement

La liaison a toujours lieu ainsi, de délié sur plein, au moyen de quelques signes particuliers dont l'emploi n'offre aucune difficulté à un compositeur de quelque habileté.

Les anglaises se fondent avec un moule différent du moule ordinaire. On conçoit que si on les fondait sur celui-ci le délié d'une lettre ne pourrait venir s'allonger le long du jambage de la lettre suivante sans créner pour venir se placer sur celle-ci, ce qui serait d'un ajustement difficile et exposerait ces parties à se casser trop aisément. On se sert d'un moule penché, c'est-à-dire d'un moule dont les blancs ont sur les longues pièces une inclinaison égale à celle de l'écriture sur la

ligne horizontale; de la sorte les jambages droits des lettres seront parallèles aux surfaces de frotterie. Ceux-ci sont au vif, et le délié vient se terminer presque parallèlement à la frotterie, l'assemblage imite tout à fait celui de l'écriture, en évitant beaucoup de crénerie. L'usure est peu considérable dans la casse, parce que les extrémités des traits sont obliques sur la frotterie et protégés par la tige de la lettre. Pour qu'on puisse serrer la forme il faut toujours qu'elle forme une surface rectangulaire sans vides, aussi place-t-on au commencement et à la fin de chaque ligne des quadratins triangulaires qui servent aussi à faire tenir la lettre dans le composteur.

Ce système, d'abord employé, avait un grand défaut; c'est qu'à cause de toutes ces surfaces obliques il était difficile de serrer la forme sans qu'il y eût quelque glissement qui vînt déranger les lignes. On y a remédié en faisant un cran dans le blanc du moule, qui fait que la frotterie est composée de deux losanges parallèles, réunis l'une en arrière de l'autre, de telle sorte que les lettres successives s'accrochent entre elles successivement et qu'aucun glissement ne saurait avoir lieu.

2° *De l'impression de la musique par les procédés typographiques.* La musique est habituellement imprimée au moyen d'une espèce particulière de gravure en taille-douce (voyez GRAVURE DE MUSIQUE).

Ce travail, ordinairement exécuté par des femmes qui acquièrent beaucoup d'habileté, est peu coûteux; il paraît donc de peu d'intérêt de s'occuper des essais qui ont été souvent répétés, de faire entrer l'impression de la musique dans le domaine de la typographie. Mais il faut remarquer :

1° Que la musique obtenue par les procédés typographiques doit surpasser en beauté et en régularité, quant à l'espacement et à la pente des signes fondus, celle obtenue par le procédé ordinaire, à cause des variations qui doivent toujours avoir lieu dans le placement des poinçons;

2° Que le procédé ordinaire devient tout à fait insuffisant, quand on désire joindre quelques exemples aux ouvrages qui traitent de la musique, et que ce serait un avantage réel que de pouvoir remplacer par de la lettre typographique le texte des romances, toujours fort disgracieux quand la gravure en est obtenue par le frappage par lettres séparées;

3° Que le prix du tirage de la gravure en taille-douce est très élevé en raison de sa difficulté et de tous les soins qu'il exige. Il coûte environ 1 fr. 50 c. le cent, soit 15 fr. le mille, tandis que le tirage de la typographie, surtout avec les presses mécaniques, ne coûte pas plus de 5 fr. le mille. Cette supériorité assure la préférence aux procédés typographiques, dans le cas de très grands tirages.

Ce qui fait la grande difficulté de l'impression de la musique par les procédés typographiques, c'est la nécessité d'obtenir des portées qui paraissent continues.

On peut classer les procédés, au moyen desquels on a cherché à lever cette difficulté, en deux séries :

1° Procédés qui ne comportent qu'une seule opération. Notes et portées toujours gravées ensemble;

2° Procédés qui comportent deux opérations, l'une pour les notes, l'autre pour les portées.

1° Le procédé le plus simple, celui qui résulte de la nature même de la typographie, consiste à composer la musique comme on a longtemps composé le plain-chant, sans employer de notes doubles. Chaque note est gravée avec les portées qui répondent à l'intervalle qu'elle occupe dans la composition, et leur réunion reforme les portées par parties successives. La multiplicité des signes qui seraient nécessaires pour la composition de la musique rendrait ce procédé peu commode; mais il serait surtout défectueux par l'effet désagréable des blancs toujours apparents aux jonctions des diverses notes; tellement que le procédé a même été abandonné pour la composition du plain-chant et remplacé par celui dont nous allons parler.

Procédé Fournier. Fournier, cherchant à améliorer ce procédé, imagina un autre système qui eut, pendant quelque temps, beaucoup de succès. Breitkopf, qui imagina un procédé analogue, à peu près à la même époque, entreprit de grands travaux, et ses descendants l'appliquent encore aujourd'hui, après y avoir apporté des perfectionnements de détail. Pour diminuer le nombre de jonctions, Fournier fondait la musique sur cinq corps, tous égaux à une, deux, trois, quatre, cinq fois le plus petit, qui était égal à l'épaisseur d'une portée. Chaque signe étant gravé seulement avec les portées qu'il rencontre, et fondu sur le corps correspondant à ce nombre de portées, on voit qu'un parangonnage sera nécessaire le plus souvent pour terminer la composition de chaque signe. Le nombre des interruptions dans les jonctions diminuera, parce que toutes les fois que ce parangonnage devra avoir lieu sur des signes consécutifs, on remplacera les filets élémentaires par des filets de grande longueur correspondant à plusieurs notes; toutefois, le nombre en sera toujours trop considérable pour que ce procédé puisse lutter avec la musique gravée.

Un autre avantage de ce système est de pouvoir faire bon nombre de signes composés, comme par exemple des croches réunies, par la composition des notes qui seules représentent les noires, et d'une barre transversale qui se place comme nous venons de le dire, pour les filets. La musique de Fournier n'en comporte pas moins plus de cent soixante signes différents (sans être aussi complète que celle qu'il faudrait employer aujourd'hui). Ce procédé n'est praticable que pour une musique simple.

2° La grande difficulté à résoudre étant de remplacer par une seule opération les deux gravures successives des portées et de la musique, on a cherché aussi, et avec plus de succès, à obtenir la musique par deux opérations.

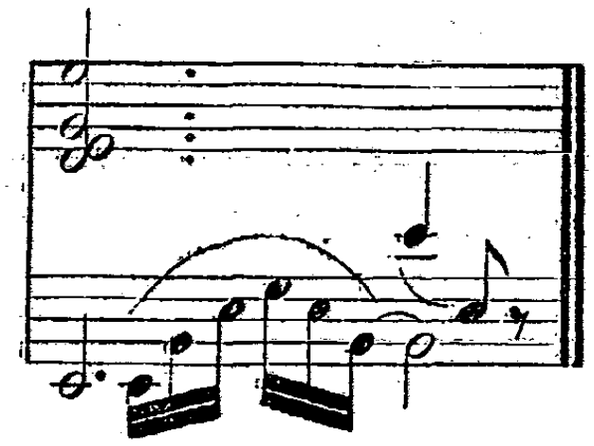
Double impression. On a souvent cherché à imprimer successivement les notes sans portées, puis les portées; ce fut même le premier procédé que Fournier tenta de réaliser. Mais si la composition devient alors d'une grande simplicité, la difficulté de retomber juste sur toutes les lignes à la fois, a fait renoncer à ce système tous ceux qui l'ont essayé.

Procédé Duverger. M. Duverger, imprimeur à Paris, est parvenu à tourner la difficulté qui s'attachait à l'impression de la musique par un procédé extrêmement ingénieux et qu'il exploite avec succès.

La composition se fait comme dans le procédé précédent, au moyen de notes sans portées. La composition faite est portée au clicheur, qui en prend une matrice en plâtre. C'est dans cette matrice qu'on trace les portées au moyen d'un instrument qui permet de descendre une griffe exactement à la profondeur de l'œil des notes, et de la faire mouvoir en ligne droite; de telle sorte qu'elle rencontre exactement par le milieu les notes sur portées. Cela fait, on coule le métal dans cette matrice, et on obtient ainsi en relief la planche de musique. Nous en donnons ci-contre une épreuve.

Avantages de ce procédé. Il est aisé de voir combien ce procédé offre d'avantages. — En fournissant le cliché, il permet de ne tirer que le nombre d'exemplaires dont on a besoin. — Le texte, joint à la musique obtenue par la typographie, est d'une netteté parfaite. — Les lignes de musique montées sur bois, comme M. Duverger les fournit à ses confrères, viennent se mêler facilement dans toutes les compositions. — Enfin le grand avantage du relief permet, par l'économie qu'offre le tirage,

d'obtenir les ouvrages populaires de musique à des prix extrêmement modérés.



Le *procédé Duverger* permet encore de résoudre une difficulté de l'impression de la musique, dont aucun autre système n'offre une solution quelque peu satisfaisante. On sait que les notes sont souvent réunies par un signe appelé coulée, qui vient rencontrer des portées sous toutes les inclinaisons, en variant de grandeur pour embrasser le nombre de notes voulu. Ces signes, qui ne peuvent entrer dans les compositions, se placent en général hors des portées dans les autres systèmes, ce qui n'est pas toujours admissible. Le *procédé Duverger* résout seul cette difficulté ; voici comment :

De petites coulées, faites avec de petits morceaux de cuivre, sont simplement collées sur la composition avant le clichage, et sont moulées dans le plâtre. En les enlevant, la matrice portera donc en creux ces coulées, qui, après la fonte, feront partie de la planche de musique.

Inconvénients du procédé. Ils ne consistent que dans le prix élevé de la planche, qui limite beaucoup le nombre de cas dans lesquels il serait avantageux de typographier la musique. Nous donnons au *Complément* la description du nouveau procédé dit Pyrostéréotypie, qui paraît plus économique.

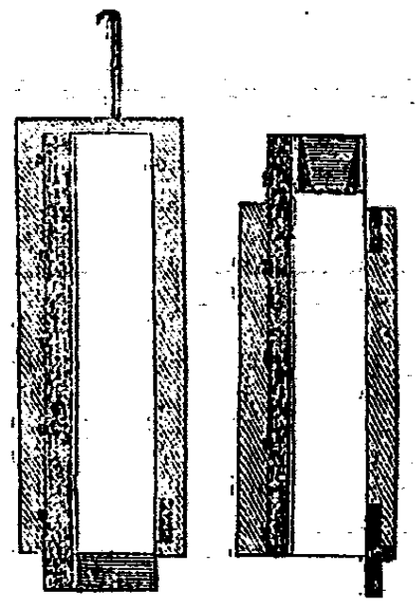
§ II. OBJETS ACCESSOIRES DE LA COMPOSITION.

Interlignes. Les interlignes sont des bandes de métal de la hauteur des espaces, qui servent à séparer les lignes. Ces bandes permettent d'obtenir avec un même caractère des effets différents, puisque, augmentant les blancs de la page, l'impression devient plus claire et plus agréable à l'œil ; elles consolident aussi la composition, et empêchent les chevauchages ou empiétements d'une ligne sur l'autre, qui peuvent provenir, soit des imperfections de la fonte du caractère, soit du mauvais serrage de la forme.

De l'emploi que les interlignes ont à remplir, il résulte : qu'elles doivent être parfaitement égales d'épaisseur dans toute leur longueur, identiques entre elles, parfaitement plates et exemptes de courbures qui feraient naître une élasticité qui rendrait le serrage régulier de la forme très difficile. La nécessité de remplir ces conditions aurait fait chercher à obtenir les interlignes par les procédés de fonderie, quand on n'y aurait pas été conduit par la simplicité et l'économie. Si l'on veut réfléchir, en effet, aux moyens mécaniques qu'il serait possible d'employer pour préparer des lames de métal, on verra qu'ils sont bien plus compliqués que ceux de la fonderie, outre que l'action mécanique du laminoir ou autre outil analogue engendre forcément l'élasticité que nous avons signalée comme un défaut. Aussi n'a-t-on jamais fait par ces procédés que quelques interlignes en cuivre d'un demi-point. Il va sans dire que des interlignes faites par des procédés mécaniques ne pourraient être faites avec le métal à caractères, qui a trop peu de résistance pour être travaillé au banc à tirer, et s'écrase trop facilement pour passer sous le laminoir. Donnons quelques détails

sur le moule au moyen duquel on fond les interlignes

Du moule à interlignes. Le moule à interlignes (fig. 1023) est composé de deux pièces de 0m 15 de long



1023.

environ, c'est toute la longueur sur laquelle on peut fondre les interlignes de peu d'épaisseur. Chacune de ces pièces est formée d'une bande de fer dressée avec soin, le long de laquelle s'applique une joue en équerre, de sorte que les deux pièces étant appliquées l'une sur l'autre, elles laissent entre elles un espace rectangulaire, dans lequel viendra se former l'interligne. Deux équerres placées sur chacune pièce sur le côté opposé à la joue, et dans chacune desquelles s'engage la joue de l'autre pièce, empêchent les pièces de tourner l'une sur l'autre. A l'extrémité supérieure de la pièce du dessous est appliqué le jet entaillé dans une partie qui peut glisser et dépasser la longue pièce de l'épaisseur de l'interligne à fondre. A l'extrémité inférieure de la pièce du dessus est un talon fixé de la même manière, et qui excède aussi la surface de l'épaisseur de l'interligne. Ce talon arrêtera la matière qui, entrant par le jet, devra venir remplir le vide. On voit que le mouvement du jet et du talon permettra de fondre avec le même moule toutes les épaisseurs dont on aura besoin. Quant aux longueurs, on les obtient, soit en rognant les bandes fondues au moyen de l'outil dont nous parlerons ci-après, soit en les fondant directement de longueur au moyen du moule, ce qui doit toujours se faire pour les lingots trop épais pour pouvoir être coupés facilement. Pour cela, on adapte, au moyen d'une vis, sur le côté de la pièce du dessous, qui ne porte pas de joue, un petit chariot sur lequel vient s'appuyer l'extrémité de la joue de la pièce du dessus. En repoussant ou éloignant ce chariot, on arrive à donner à l'interligne la longueur exacte qu'elle doit avoir ; mais alors, après avoir enlevé le jet, il faut limer le bout du côté du jet pour enlever l'excédant de la rompure. Ce moule, employé avec grand soin, peut servir à fabriquer d'assez bons produits ; néanmoins il laisse beaucoup à désirer, et en travail courant on peut dire qu'il ne fournit qu'une fabrication imparfaite, comme les imprimeurs en ont pu faire souvent l'expérience. Cela dépend de deux défauts principaux :

1° La joue d'une pièce ne peut s'appliquer bien exactement sur l'autre pièce, puisque le moule doit poser librement par ses extrémités pour que les interlignes soient identiques. Celles-ci viennent à la fonte avec deux barbes en équerre qui se forment par ce défaut d'ajustement, et ces barbes faisant tenir l'interligne, on la fausse en la sortant du moule, et aussi en

FONDERIE EN CARACTÈRES.

la ratissant pour enlever ces barbes, aussi ne sont-elles jamais bien plates.

2° Le moule s'échauffant peu, quand on fond des interlignes fines, l'ouvrier est forcé, surtout quand il faut des longueurs un peu grandes (et encore ne dépasse-t-on guère 0m,12 à 0m,13), d'enduire son moule avec un peu d'ocre ou de noir de fumée pour diminuer le refroidissement, ce qui fait naître de petites variations dans les épaisseurs.

Interlignes fondues par pression. Un nouveau moyen de fondre les interlignes, bien supérieur à l'ancien, s'est fait jour dans ces dernières années, c'est l'application d'un nouveau procédé de fonderie (voir FONDERIE MÉCANIQUE). La supériorité de cette nouvelle fabrication fut pleinement établie dès le premier jour, et le temps n'a fait que confirmer cette opinion.

Dans ce procédé, le jet se trouve sur la longueur de l'interligne au lieu d'être à l'extrémité, ce qui n'offre aucun inconvénient; la matière n'a donc plus que peu de chemin à parcourir, et il devient facile d'obtenir de grandes longueurs. Le métal est chassé avec une grande force au moyen d'un refouloir; il n'existe plus de soufflures ni de trous qui se forment quand le refroidissement empêche le métal d'arriver en certaines places en quantité suffisante.

L'interligne vient se former entre deux pièces; celle du dessus est entièrement plate, et celle du dessous se compose d'une pièce plate entourée en fer à cheval d'un rebord de l'épaisseur de l'interligne. Ces deux pièces sont unies ensemble par un serrage d'une force considérable, ce qui évite les variations qui naissent toujours de la manière dont l'ouvrier tient fermé le moule à main. La partie antérieure de la pièce du dessus porte une petite saillie dans toute la longueur, qui, empêchant l'interligne de sortir, permet de la séparer du jet par le mouvement d'un chariot sur lequel reposent les pièces entre lesquelles la matière a été refoulée; puis, soulevant la pièce du dessus, après avoir ouvert le serrage qui l'appliquait sur la pièce du dessous, l'interligne se trouve fondue et rompue, ne peut être que parfaitement plate, et il n'y a plus qu'à l'enlever du moule sur lequel rien ne la retient. Ce que nous venons de dire suffit pour comprendre que ce système offre tous les avantages qu'on peut désirer. Absence totale de soufflures et de parties creuses, identité dans les produits, toute variation étant impossible; facilité de fondre de grandes longueurs; les interlignes sont fondues par ce procédé sur 0m,30 de longueur.

Si l'on joint à cet avantage que la perfection de ces produits en a assuré la vente, et que chaque sorte d'interlignes devant être fondue par quantités considérables, permet d'apporter à la mise en train la plus grande précision, au moyen du calibre, instrument de répétition dont nous parlerons ci-après, on devra considérer ce procédé comme un véritable progrès.

Des épaisseurs. Pour les épaisseurs des interlignes, comme pour tout le matériel de l'imprimerie, le point, l'unité typographique doit être la mesure de l'épaisseur.

On compte cinq interlignes :

1 p., 1 p. 1/2, 2 p., 2 p. 1/2, 3 p.

Les interlignes d'épaisseurs supérieures se font en multipliant celles-ci, ce qui est toujours le plus avantageux, ou sont comptées comme lingots.

Cette progression par demi-points offre toutes les nuances désirables; mais on ne fond guère que des quatre sortes : 1 p., 1 p. 1/2, 2 p., 3 p. L'interligne 2 p. 1/2 se fait souvent en réunissant les deux premières, dont l'usage est bien plus fréquent.

Du calibre. Le calibre est un instrument qui permet de vérifier avec une grande précision l'épaisseur des interlignes, filets, etc. Il consiste en deux équerres larges de 0m,02, glissant l'une sur l'autre en conservant leurs faces parallèles et serrées au moyen d'un écrou. Si on fixe les deux pièces dans un écartement donné, par exemple, à 30 points de distance, au moyen de 3 m de dix qu'on placera dans ce calibre, il faudra que 10 interlignes de 3 points ou 30 interlignes d'un point entrent dans ce calibre avec la même résistance dans toutes leurs parties. C'est un instrument de répétition au moyen duquel on corrige des défauts très faibles, et les imperfections qui peuvent subsister ne sont qu'une quantité trop faible pour être nuisible. Comme pour tous les produits de fonderie, ce n'est que par la répétition qu'on peut obtenir une perfection suffisante, la composition étant elle-même une répétition perpétuelle qui multiplie les plus petits défauts.

Du rogne-interligne. L'outil qui sert à mettre les interlignes de longueur est un outil indispensable dans toutes les imprimeries, et qui s'y rencontre pour ainsi dire toujours. Il se compose d'un couteau descendant dans un plan vertical, placé à l'extrémité d'une bande de fer horizontale. Cette bande est munie, dans le sens de sa longueur, d'une partie formant un dos, contre lequel l'interligne vient s'appuyer. Un chariot fixé à plat au moyen d'une vis à tête plate, pour laquelle plusieurs trous, correspondant à des positions différentes, sont percés dans la partie horizontale, vient s'appuyer par son grand côté contre le dos et peut glisser horizontalement. Si on place une interligne appuyée à ce chariot et à la partie verticale de l'équerre et bien appliquée à plat, puis qu'on abaisse le couteau, en le serrant vers le chariot, on aura une interligne qui sera exactement de la longueur qui sépare le chariot du couteau; et, l'instrument une fois monté à la longueur convenable, en coupera de cette longueur le nombre d'interlignes dont on aura besoin en répétant l'opération.

Cet outil est nécessaire dans une imprimerie, puisque souvent on a besoin de remettre des interlignes qui deviennent inutiles sur une justification plus courte.

2° *Des filets.* Les filets sont des lames de métal de la hauteur des caractères, dont l'œil est produit par une opération mécanique. Cet œil, par la nature même du procédé de fabrication, est toujours une ligne droite, ou une combinaison de lignes droites de diverses largeurs. L'épaisseur des filets est ordinairement d'une nonpareille ou 6 points, pour ceux qui ont besoin d'un œil un peu fort, et sur demi-nonpareille ou 3 points pour les autres.

On a fait longtemps les filets en cuivre, mais ceux qu'on employait autrefois étaient mal fabriqués et n'avaient pas la justesse désirable, surtout pour la composition des tableaux où l'on en emploie beaucoup, et qui demande beaucoup de précision. Aujourd'hui on les fabrique beaucoup mieux, mais on les emploie cependant rarement à cause du bon marché auquel on peut établir ceux obtenus par la fonte.

Le moule à filets doit être le plus long possible, car comme on découpe dans les lames la longueur dont on a besoin, plus elles sont longues, moins il y a de déchet. On ne peut pourtant guère excéder un mètre de long, parce qu'il serait difficile de faire arriver la matière dans toute la longueur quand on fond les filets sur demi-nonpareille. Le moule à filets se compose de deux pièces assemblées à charnière par l'extrémité inférieure, qui pose à terre dans l'opération de la fonte.

La pièce du dessous est composée :

1° D'une pièce en fer, bien dressée, d'une épaisseur un peu plus grande que la hauteur des filets;

2° De deux bandes de fer d'épaisseur égale, qui posent sur deux saillies qui s'étendent dans toute la longueur de la première pièce et bien parallèlement à celle-ci à la partie inférieure. Ces deux bandes se fixent au moyen de vis à tête, traversant des trous oblongs qui permettent à ces pièces de monter.

Ces deux bandes étant bien dressées en même temps que la pièce principale, on voit que si on place entre elles et les saillies inférieures de petites cales de l'épaisseur exacte du filet qu'on veut fondre, elles déborderont précisément de cette quantité la partie sur laquelle doit se former le filet.

La pièce du dessus est une pièce en fer, plate, de la largeur des trois parties de celle du dessous. Elle viendra donc s'appliquer sur les deux bandes de la pièce du dessous, et le vide sera précisément tel, qu'étant rempli par la matière le filet ait les dimensions convenables. Il n'est pas besoin de dire que chaque pièce est garnie d'un bois, et qu'un jet est adapté à la partie supérieure.

Le moule est fermé par le milieu au moyen d'une griffe à vis ; cette griffe vient s'accrocher sur deux tenons en saillie sur la pièce du dessous; en faisant tourner la vis dont l'écrou se trouve au milieu de la griffe, on serre les deux pièces.

Voici en quoi consiste le moule à filets, mais on ne pourrait fondre sans une préparation préalable des filets un peu minces. Le fer refroidissant rapidement le métal, la partie qui parcourt successivement ces surfaces froides est figée bien avant d'être arrivée à l'extrémité du moule; et même, pour les filets plus épais, la surface étant rapidement refroidie, l'air forme des soufflures à l'intérieur qui le mettent souvent hors de service.

On emploie un moyen très simple pour parer à ces divers inconvénients : on colle, au moyen de colle de pâte, une bande de papier bien égale sur chacune des deux pièces; de cette manière le métal n'étant plus refroidi si rapidement, arrive aisément à l'extrémité du moule. La colle a souvent de la peine à prendre quelque adhérence avec le fer. On se trouve bien de frotter celui-ci avec une gousse d'ail; la surface est attaquée et devient gluante. La colle prend alors très bien.

L'inconvénient de ce procédé est que le papier se charbonnant assez promptement près du jet, le filet se trouve avoir plus d'épaisseur dans cette partie, et bientôt le papier se déchirant, il devient impossible de continuer. Il serait assez utile de chercher quelque dissolution qui rendît le papier moins combustible. On a employé l'alun avec quelque succès.

Du banc à tirer et du filetage des filets. Le filet sortant du moule n'est pas assez rigoureusement d'épaisseur ; les inégalités qui résultent de la combustion du papier et de l'épaisseur de la colle, rendent nécessaire de les passer au banc à tirer, entre deux couteaux qui se rapprochent, pour obtenir rigoureusement l'épaisseur convenable.

L'opération qui consiste à faire l'œil du filet se fait au coupoir. On serre dans un justificur le filet, puis au moyen d'un fer monté dans un robinet mécanique (qui est un rabot ordinaire, à la seule différence que le fer peut monter ou descendre au moyen d'une vis verticale), on enlève peu à peu du métal. Le rabot étant guidé par l'épaisseur constante du filet, sur lequel on a serré les patins, il est évident que, en chaque point, le filet présentera la contre-épreuve du fer du rabot, et que toutes ces contre-épreuves formeront des lignes droites. Ainsi si le fer (qui est en acier trempé) est simplement un fer en fourche avec une petite partie plate au fond, le filet sera simple, et l'épaisseur de l'œil sera celle de cette partie plate. En variant les fers on fera les divers filets, maigres, de cadre, azurés, etc.

Pour que le filet ait la hauteur exacte des caractères, on le retourne dans le justificur, on le taque pour forcer l'œil à arriver au fond, puis on serre fortement. On enlève l'excédant de hauteur avec le rabot mécanique et on termine, avec un rabot à fer fixe, dont les patins sont bien droits, et qui a été monté avec soin, pour obtenir une hauteur bien régulière.

Outils servant à couper et biseauter les filets. C'est à l'aide du couteau et de la lime que l'on coupe habituellement les filets et qu'on biseaute les extrémités qui doivent s'assembler pour former les cadres. On construit aussi à cet effet un outil dit *biseautier*, analogue au rogne-interligne, qui se compose d'un couteau tournant sur la surface inclinée d'une pièce en cuivre portant une rainure dans laquelle se place le filet. Celui-ci étant attaqué par le couteau dans le sens de la hauteur, et d'une quantité indéterminée, trop grande quelquefois pour que le couteau puisse l'enlever, les résultats de cet outil sont très imparfaits. Il n'en est pas de même d'un outil construit en Angleterre par M. Jehl, ancien directeur des ateliers de la fonderie F. Didot. Il se compose d'un fer vertical porté dans un chariot glissant à coulisses. Ce fer ne pouvant saillir que d'une faible quantité (réglable par une vis qui en change l'inclinaison), la quantité de matière enlevée est toujours convenable. Le filet présenté droit est coupé d'équerre; présenté à 45° par l'effet d'un guide oblique, il est biseauté à cette inclinaison et toujours mis à la longueur voulue, si l'outil porte un chariot à vis que nous y avons joint avec succès.

3° *Des garnitures.* Les garnitures servent à remplir les intervalles qui séparent les pages dans une forme et permettent de les serrer dans un châssis en laissant entre elles les séparations convenables, qui représentent les marges sur le papier.

On se servait autrefois, et aujourd'hui même on se sert encore, dans quelques imprimeries, de bois pour établir les garnitures. Ces bois étant rarement assez égaux en épaisseur pour que les intervalles fussent identiques, on ne pouvait obtenir un registre parfait; étant rarement d'équerre, les caractères suivant la direction des bois, penchant en pied ou en tête, ne pouvaient être parfaitement redressés. De plus, après le lavage de la forme, les bois d'abord gonflés se séchaient et se resserraient, ce qui leur donnait des courbures diverses, contraires à leur destination, et d'où résultaient de fréquentes décompositions de formes, surtout pendant les grandes chaleurs. Enfin, l'emploi des bois était encore assez coûteux, bien que le prix d'achat ne fût pas élevé, à cause de leur fréquent renouvellement, vu qu'une fois coupés pour un ouvrage, ils peuvent rarement être employés pour un autre.

C'est à M. Molé que revient l'honneur d'avoir remplacé ces bois par des garnitures en métal. Le problème à résoudre consistait à obtenir des plans parallèles destinés à soutenir la lettre et à réunir ces plans par des compartiments disposés de la manière la plus convenable pour résister à la pression résultant du serrage de la forme avec le minimum de poids. Le lingot plein, offrant inutilement une résistance bien supérieure à la pression qu'il doit supporter, était un moyen quelque peu barbare; la garniture à jour forme au contraire un moyen parfait d'atteindre le but, puisqu'on peut proportionner les épaisseurs de métal de manière à obtenir une résistance suffisante et non un excès inutile.

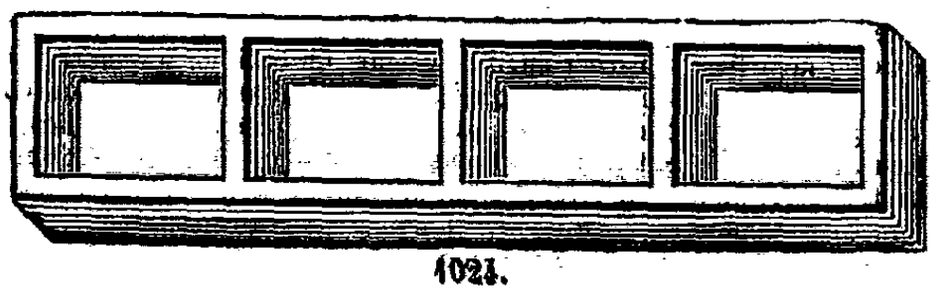
La forme la plus parfaite à donner aux garnitures, pour obtenir la résistance convenable avec le moindre poids, sera évidemment la disposition dans laquelle le métal résistera partout directement, et non par une action indirecte qui, multipliant l'effort par un bras de levier, forcerait à employer de grandes épaisseurs de métal pour résister à cette action.

Nous nous contenterons de donner le système le plus parfait de garnitures à jour qui existe aujourd'hui et qui est dû à un habile fondeur, M. Lion.

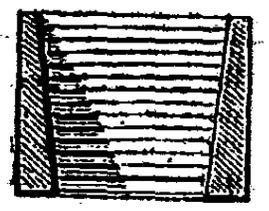
Les fig. 1024 et 1025 représentent la forme de cette garniture fondue au moyen d'un moule fort ingénieux qu'il serait trop long de décrire ici. Dans ce système, les séparations sont verticales, et se prolongent jus-

FONDERIE EN CARACTÈRES.

qu'à la partie supérieure de la garniture, où elles ont une épaisseur convenable.



1024.



1025.

Dans ce système, on obtient le maximum de résistance relative au poids du métal employé. En effet, la résistance qu'opposent les séparations est toujours directe. L'épaisseur des côtés de la garniture et des cloisons, à la partie inférieure, est peu différente de celle qui existe à la partie supérieure, parce que dans ce moule le noyau se retire de la garniture, pendant que celle-ci reste dans le moule, au moyen de l'action d'une vis et de guides qui forcent le noyau à sortir en ligne droite; si bien qu'il ne faut plus que peu de dépouille pour qu'il sorte facilement. Il en résulte encore cet avantage que les garnitures, maintenues dans le moule à ce moment, puis s'en détachant avec une grande facilité, ne peuvent jamais être faussées.

§ 11. DE LA POLICE DES CARACTÈRES.

La police des caractères est la liste des sortes nécessaires à la composition, avec l'indication de leur proportion respective pour un nombre de lettres déterminé, et par suite pour un poids donné, autrement dit, pour une *fonte*. Cette proportion s'établit habituellement sur 100,000 lettres, et forme un tableau dont on répète les nombres autant de fois qu'il est nécessaire. Une fonte se demande habituellement par poids, quelquefois par feuille, et dans ce cas, on estime la feuille de 80 à 100 kilogr., soit 40 à 50 kilogr. par forme, en comptant dans le poids des feuilles les sortes qui restent nécessairement dans la casse, et qui ne pourraient être levées à cause de l'épuisement d'une d'elles. Cette seconde manière de demander une fonte se ramène donc facilement à la première.

Une fonte étant demandée en poids, le fondeur doit en déduire le nombre de lettres qu'il doit fondre, sans qu'il soit possible d'arriver au poids déterminé d'une manière absolue, à cause des variations des divers poids du même nombre de lettres de caractères d'un même corps, suivant la grosseur de l'œil, l'approche, etc., qu'il est impossible d'évaluer d'une manière absolue. L'imprimeur doit donc laisser au fondeur une latitude du dixième environ sur le poids, soit en plus, soit en moins.

La détermination d'une police exacte serait un travail d'une extrême importance, s'il était possible; mais malheureusement il n'en est rien, et quelque soin que le fondeur puisse apporter à l'établir, il est bien rare qu'une fonte puisse être complétement utilisée, sans qu'on ait besoin d'y ajouter de nombreux assortiments qui sont souvent une source de reproches pour le fondeur. Cela résulte des variations très considérables dans l'emploi des diverses sortes, suivant la nature du travail auquel on applique une fonte. Ainsi, suivant qu'elle servira à l'impression d'un ouvrage de jurisprudence ou de médecine, certaines sortes surabondantes dans un cas seront insuffisantes dans l'autre. Il en sera de même si elle doit servir à imprimer un journal ou un labeur. Fournier recommande de faire dans chaque cas la police, en comptant toutes les lettres comprises dans un passage de l'ouvrage que l'on doit imprimer; mais un semblable travail serait bien souvent inutile, parce qu'une fonte appliquée un jour à un travail d'une certaine nature devra faire le lendemain un travail tout différent. La police ne peut donc être qu'une moyenne, qui ne varie qu'avec les grandes révolutions de l'orthographe, comme quand l'a a remplacé l'o dans un grand nombre de mots.

Nous terminerons par l'observation de Fournier, qu'il n'est pas surprenant que les grandes capitales nécessitent une police différente de celle des minuscules, puisque étant plus communément employées à commencer les mots qu'à les former, certaines consonnes ont un emploi égal à celui des voyelles.

Nous ne pouvons donner ici les polices convenables pour les langues étrangères qui se trouvent dans les principales fonderies; c'est ce que l'on a fait dans la police que nous donnons pour le français, qui est celle adoptée par plusieurs fonderies et qui n'est guère que la police Didot ramenée à 100,000 lettres, en y faisant quelques corrections indiquées par l'expérience.

Police française pour 100,000 lettres.

a	5,000	é	1,600	A	400	A	250	1	450		
b	1,100			B	250	B	150	2	350		
c	2,500	à	500	C	350	C	200	3	300		
d	3,000	è	300	D	350	D	200	4	300		
e	9,500	ì	100	E	500	E	400	5	350		
f	1,200	ù	200	F	200	F	125	6	250		
g	1,000			G	200	G	125	7	250		
h	1,000	â	150	H	200	H	125	8	250		
i	5,000	ê	400	I	500	I	250	9	250		
j	500	î	100	J	250	J	100	0	450		
k	200	ô	100	K	75	K	50		3,200		
l	4,000	û	150	L	400	L	200				
m	2,400			M	400	M	300				
n	4,500	ë	150	N	350	N	200				
o	4,700	ï	100	O	350	O	250				
p	1,800	ü	100	P	300	P	150				
q	1,300		4,150	Q	200	Q	100				
r	4,500			R	400	R	200				
s	5,500			S	400	S	250				
t	5,000			T	350	T	250				
u	4,500	.	4,600	U	300	U	250				
v	4,200	,	2,000	V	250	V	150				
x	500	-	1,000	X	150	X	100				
y	400	'	1,000	Y	100	Y	75				
z	400	;	400	Z	400	Z	50				
	70,500	:	350								
		!	150	Æ	75	Æ	50	Bas de casse.		70,500	
æ	100	?	200	Œ	75	Œ	50	Doubles. .		4,650	
œ	200	«	250	W	75	W	50	Accents. . .		4,150	
w	200	*	50	Ç	75	ç	50	Ponctuations.		7,500	
ç	150	( )	200					Gr. capitales.		8,000	
fi	400	[ ]	50	É	200	é	150	Pet. capitales.		5,000	
fl	200	—	200					Chiffres. . .		3,200	
ff	200	§	50	È	100	è	100			100,000	
ffi	100		7,500								
ffl	100			Ê	75	ê	50				
	4,650				8,000		5,000				

Nous ne pouvons donner ici une idée de tous les produits qui se rencontrent dans un établissement important; on en juge par tous les produits de la typographie, l'imprimerie ne pouvant que reproduire les types que lui fournit la fonderie. Nous reviendrons sur ce sujet en traitant la question d'art à l'article ART INDUSTRIEL du *Complément*.

FONDERIE EN CARACTERES.

FONDERIE MÉCANIQUE. Le moule ordinaire, qui est, à bien peu près, le même que celui employé à l'origine de l'imprimerie, peut, comme l'a montré une longue expérience, donner avec des soins convenables une fabrication parfaite. Les améliorations qu'on pourrait y introduire encore ne doivent donc pas changer les principes fondamentaux du moule ; elles ne doivent tendre qu'à rendre son usure moins prompte, moins nuisible à la qualité des lettres, et à rendre le jeu des pièces plus régulier. Nous avons vu l'important progrès réalisé dans cette voie par l'intervention du *moule américain*. Aussi n'est-ce pas pour obtenir une fabrication plus parfaite qu'on a cherché à entrer dans une voie toute différente, mais pour fabriquer plus économiquement. Les produits ainsi fabriqués ont été, en effet, livrés à des prix inférieurs à ceux de la fonderie ordinaire, mais n'ont pas cependant, jusqu'à ce jour, pris une part considérable de la fabrication à cause de leur imperfection.

Les seuls systèmes exploités commercialement jusqu'en 1850, reposent sur un principe nouveau fort ingénieux, qu'on doit à M. Henri Didot, et qui permet d'obtenir avec bien plus d'énergie, dans un système fixe, l'effet que l'ouvrier fondeur produit par la secousse qu'il donne au moule.

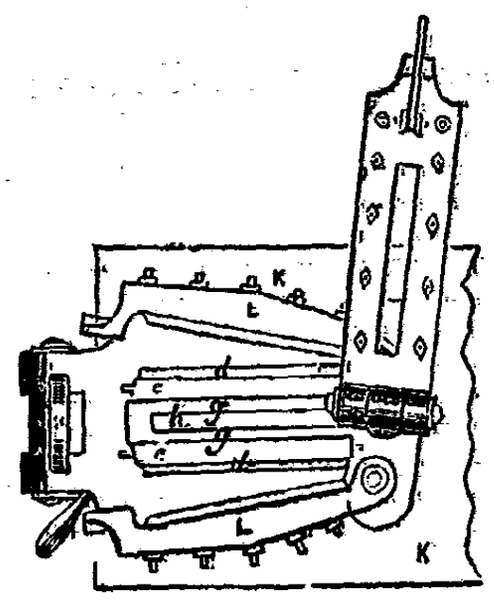
M. Henri Didot transporte l'opération du clichage (voyez POLYTYPIE) sur une masse de métal placée à côté de la partie où se forment les lettres ; la masse liquide choquée violemment tend à s'échapper en tous sens, mais elle ne trouve d'issue que dans des vides nombreux où viennent se former les lettres.

Nous avons vu qu'un des grands avantages du moule à main était que, par sa composition en deux pièces symétriques, il suffisait de l'ouvrir pour que par la plus faible pression la lettre tombât sans pouvoir être faussée. Mais si on veut former un grand nombre de lettres à la fois, il est impossible de pouvoir ouvrir les pièces qui enveloppent les lettres, de manière à laisser sortir celles-ci librement. Il faut donc retirer par traction les lettres formées (inconvénient assez grand) ; tout ce qu'il est possible de faire, c'est de rendre mobile la pièce qui s'applique sur l'espèce de peigne entre les dents duquel les lettres viennent se former, ce qui permet de les retirer.

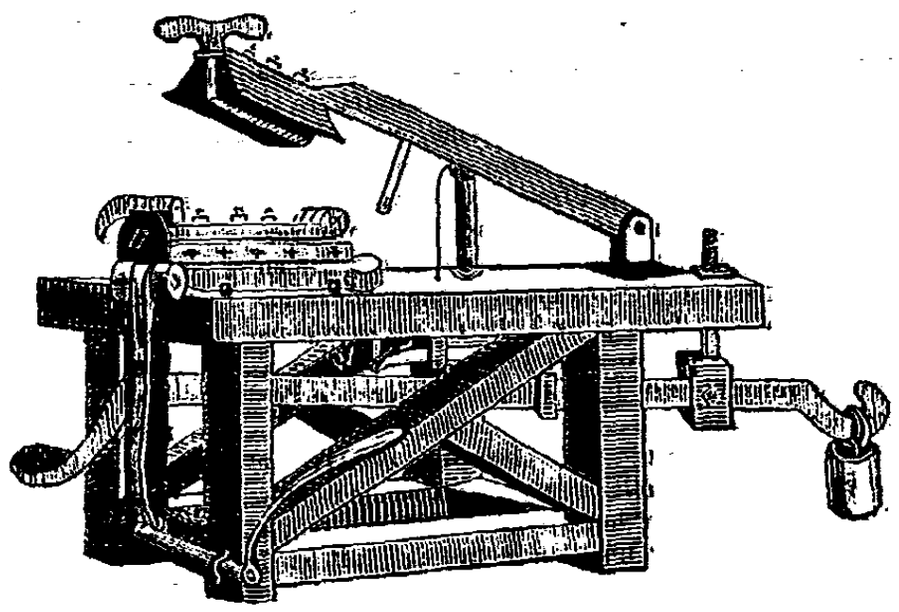
Dans l'invention de M. Didot on a rendu cette adhérence un minimum, en faisant que les lettres touchent cette bande de recouvrement par la frotterie ; dans le système Herhan, c'est par la force de corps.

Invention H. Didot. Fonderie polyamatype. La pièce principale du moule est une longue pièce de fer parfaitement plate, dans laquelle sont faites, au moyen d'une espèce de machine à raboter d'une grande précision, des entailles ayant toutes la même largeur, qui est égale à la force de corps des caractères que l'on veut fondre, dimension donnée par la largeur du fer. Ces entailles doivent être parfaitement parallèles et leur profondeur doit être égale à l'épaisseur que doit avoir la lettre, dont la matrice est fixée à l'extrémité, dans une pièce appliquée d'équerre, où se trouvent pratiquées des rainures plus larges qui reçoivent les matrices (voyez fig. 1026). Une plaque de recouvrement s'applique avant le clichage et applique sur le peigne, au moyen de vis, les deux pièces qui recouvrent sur deux bandes placées en face l'une de l'autre (fig. 1027) ; au milieu se trouve un espace dans lequel on verse la matière sur laquelle on fait tomber un poids qui chasse fortement la lettre de droite à gauche, et remplit les intervalles des deux moules (voyez figure 1028).

1026.



1027.



1028

Une première infériorité des caractères fondus par ce procédé résulte de ce que l'air n'ayant plus d'issues, occasionne des soufflures nombreuses à l'intérieur des lettres, ce qui fait qu'ils peuvent manquer de solidité et s'affaisser inégalement par l'effort de la presse. Mais ce n'est pas seulement à l'action de l'air qu'il faut attribuer l'infériorité qu'ont les caractères fabriqués sur ces moules sur ceux de la fabrication ordinaire. La matière ne coule plus liquide de la cuillère dans le moule, elle se trouve agitée violemment et amenée presque instantanément, par le refroidissement des parois du moule (toujours moins échauffé, et plus difficile à échauffer que le moule ordinaire), à un état pâteux ; elle ne passe pas naturellement de l'état liquide à l'état solide, elle semble passer par l'état intermédiaire, qui détruit l'adhérence des molécules et désagrége en quelque sorte la matière ; aussi les caractères, quoique fondus avec un bon métal, ont-ils peu de consistance, et le grain de leur cassure est très gros.

Après la fonte le peigne est retiré parallèlement au sens des lettres, puis on enlève le tout.

Comme dans ce procédé on fait un grand nombre de lettres en même temps, il faut qu'en faisant jouer le moule un certain nombre de fois, la fonte se trouve faite suivant la police. Il faut donc qu'il y ait toujours plusieurs matrices d'*e*, d'*a*, d'*s*, etc., pour une de *k*, par exemple. Or, quelque soin que l'on prenne, il y a ton-

jours quelque différence dans la justification des diverses matrices d'une même sorte, différence toujours sensible quand, par le mélange, deux lettres semblables, des r par exemple, se suivent.

Il est évident, d'après la description que nous avons donnée de ces moules, que les lettres ne peuvent pas en sortir avec des talus débordant la tige de la lettre. Aussi doit-on graver les poinçons absolument à pic, de telle sorte qu'ils représentent la lettre frottée et apprêtée.

Système où les lettres touchent la bande de recouvrement par la force du corps Ce système n'a été inventé que plusieurs années après celui dont nous venons de parler, et, il faut le dire, bien évidemment en profitant des idées de M. H. Didot.

Dans la bande d'acier dans laquelle doivent se former les lettres, on pratique des entailles bien parallèles entre elles, dont la profondeur doit être égale à la force de corps, et dont la largeur, variable pour chacune, est égale à la largeur de la lettre qui doit y être fondue. On voit par le nombre de conditions à remplir, quelles difficultés on doit éprouver à dresser cette pièce, qui doit être renouvelée pour chaque caractère, et cependant il est impossible d'obtenir le moindre résultat passable si, par exemple, quelques entailles sont quelque peu obliques; car en retirant les lettres dans le sens de leur longueur, celles-ci seront nécessairement courbées sur la frotterie. A l'extrémité de chaque entaille est encastrée la matrice. Le placement des matrices, qui est une des difficultés de ce système, est résolu ici d'une manière ingénieuse, mais qui offre de grandes difficultés d'exécution. C'est une suite des travaux de M. Herhan, lors de l'invention de son système de stéréotypie. Etant parvenu à fabriquer des matrices en cuivre, justifiées, et précisément de même dimension en tous sens que la lettre même, il plaça cette matrice dans la rainure faite pour la lettre, en la repoussant plus ou moins pour donner la hauteur, et il suffit du moindre refoulement du cuivre en arrière de l'œil pour lui donner une résistance suffisante.

Cette bande, recouverte d'une pièce de recouvrement serrée fortement contre elle au moyen d'une vis adaptée à l'extrémité d'un levier horizontal, au moyen duquel on fait monter la vis sur un plan incliné qui fait partie de la pièce de recouvrement, est placée sur un chariot qui s'avance au moyen d'une vis agissant sur un écrou adapté à la surface inférieure, vis que fait mouvoir une manivelle. Ce train est guidé convenablement sur une plate-forme qui s'étend sous tout le moule.

La partie antérieure du moule se compose d'une large pièce sur laquelle glisse un piston plat, mis en mouvement par une crémaillère placée sur son prolongement postérieur. Cette crémaillère engrène avec un pignon vertical, sur l'axe duquel est monté un balancier. Une pièce de recouvrement s'ouvrant à charnière vient couvrir le piston quand il s'approche de la bande où les lettres doivent se former, et intercepte toute communication avec l'extérieur. Si donc avant d'abaisser cette bande de recouvrement, on a versé du métal à caractères dans l'intervalle laissé libre entre le piston et la bande (après avoir garni la surface métallique d'un papier pour éviter le refroidissement immédiat), et qu'on donne une forte percussion au moyen du balancier, après l'avoir abaissée (elle est maintenue dans cette position par un serrage à plan incliné), le piston chassera fortement la matière et la forcera à remplir les vides et à former les lettres.

Cela fait on enlève la bande qui recouvre les lettres, et on la retire en faisant mouvoir en arrière le chariot qui la porte. Les lettres tenant après le jet forment un peigne, qu'on retire ensuite du godet après avoir enlevé la bande de recouvrement de celui-ci et fait reculer le piston.

Ce système de fonte par pression, dû à un savant officier du génie, M. Choumara, est très remarquable. L'air n'étant plus forcé de traverser le peigne, les lettres sont plus pleines; aussi a-t-on réussi à fondre ainsi des interlignes très parfaites, pour lesquelles la difficulté de la fabrication des bandes n'existe plus.

En employant du papier d'amiante pour préserver la surface métallique, nous sommes parvenus à fondre avec ce moule des lettres en cuivre, de petites médailles parfaitement exemptes de soufflures. Ce même procédé pourrait peut-être être employé pour fondre des balles bien pleines, tant par l'absence de l'air que par suite du refoulement qu'éprouve la matière qui a rempli le vide.

Ce procédé a atteint le but pour lequel il a été établi, c'est-à-dire d'éviter les soufflures inhérentes au procédé H. Didot, non seulement par l'effet des dispositions du refouloir, mais aussi parce que l'on peut creuser dans la pièce du dessus un large évent que vient remplir l'air, puis la matière attachée alors à chaque lettre, ce qui fait naître une saillie placée sur le corps et par suite ne gênant pas la composition. On peut alors la faire disparaître au coupoir avec une grande facilité.

Malgré cela, ce système n'a jamais pu donner que des produits défectueux. Il est facile d'en montrer les causes.

Les lettres tenant dans leurs entailles par leurs deux grandes faces, l'effort nécessaire pour les retirer est considérable. Les lettres tendront par suite à se courber en sortant des entailles, ce qui arrive aux lettres fines surtout; et cela non pas d'une manière constante, mais en proportion de l'huile qu'on aura mis pour graisser les entailles.

Les deux procédés de fonderie mécanique dont nous venons de donner idée sont tous deux, mais surtout le dernier, dans une voie fausse, qui est la négation du principe sur lequel repose la précision qu'on se propose d'obtenir en fonderie; c'est-à-dire au lieu d'opérer avec un seul moule invariable quand à la force du corps, de manière à obtenir des produits toujours identiques quant à cette dimension, d'employer pour chaque fonte 200 entailles au moins, c'est-à-dire 200 moules différents, qui ne peuvent jamais avoir une égalité parfaite.

Il est même un obstacle qui empêche qu'on obtienne le degré de précision que des moyens mécaniques perfectionnés paraîtraient pouvoir fournir. Cet obstacle réside dans la trempe des bandes.

En effet, celles-ci s'usent par l'usage, et beaucoup plus rapidement qu'on ne pourrait croire, par la nécessité de nettoyages répétés plusieurs fois à chaque opération, pour éviter qu'aucun grain de matière ne reste entre la bande rainée et la pièce de recouvrement. Le passage de la main peut seul éviter cet inconvénient; mais le frottement détruit bientôt les arêtes et affaiblit la bande. Il en résulte des barbes qui, dans le système H. Didot, rendent l'apprêt défectueux après quelques fontes, et, dans le système Herhan, affaiblissent la force de corps.

Pour diminuer cet inconvénient, il a fallu faire les bandes en acier ou en étoffe d'acier, et les tremper. Mais alors les irrégularités du travail mécanique sont tellement accrues par les déformations de tout genre qui résultent toujours de la trempe de pièces d'acier d'un aussi fort volume, que la précision devient tout à fait insuffisante. Nous croyons donc pouvoir affirmer (ce que prouve l'expérience de 20 années), que ce n'est pas dans cette voie que se trouve la solution du problème de la fonderie mécanique des caractères.

Fonte par pression. Le procédé que nous venons d'analyser est un des derniers progrès qu'ait accompli la fonderie en caractères, et s'il n'est pas applicable avec avantage à la fonte des petits caractères, il n'a pas moins été fort utilement employé pour la fonte des vi-

gnettes et ornements typographiques. En effet, lorsqu'une lettre atteint des proportions un peu grandes, le moule devient très lourd; il est impossible de le manier à la main et d'agir comme on le fait pour la fonte d'une petite lettre.

Dans la plupart des fonderies, on ne dispose alors que de deux procédés, tous deux insuffisants : 1° on ponce la matrice, c'est-à-dire qu'on frappe la surface de la matrice avec un petit tampon en linge renfermant de la pierre-ponce réduite en poussière extrêmement fine. Une petite partie de cette poussière s'attache aux parois de la matrice (préalablement frottée avec une brosse grasse). Le métal se trouve coulé dans un moule qui participe de la non conductibilité pour la chaleur d'un moule en sable. Il n'est pas besoin d'observer qu'un semblable procédé offre l'inconvénient de donner des surfaces piquées, qui ne peuvent plus avoir le brillant métallique d'un moulage obtenu sur une partie parfaitement plate. Aussi ce procédé, qui employé par de bons ouvriers donne des résultats précieux pour la fonte des grosses lettres, est-il tout à fait insuffisant pour la fonte des vignettes et ornements de gravures délicates.

Le second procédé employé par le fondeur consiste dans le clichage. Voici en quoi il consiste : l'ouvrier verse sur un marbre une goutte de matière sur laquelle il projette la matrice par un mouvement brusque, il retire avec un couteau, à l'aide des barbes qui dépassent l'œil, le cliché, qui donne avec une netteté parfaite les détails de la gravure; il lime les contours de ce cliché, de manière qu'aucune partie ne déborde le corps de la vignette supposée complète. Cela fait, il renfonce le cliché dans l'œil de la matrice et place celle-ci dans le moule pour fondre le corps de la vignette. En employant le métal à une température convenable, le versant s'il est nécessaire à plusieurs reprises, on parvient à fondre la partie du cliché opposée à l'œil sans atteindre ce dernier; on a donc ainsi en un seul morceau une vignette fondue selon toutes les conditions nécessaires pour la composition, et en même temps une netteté parfaite dans la reproduction. Outre que ce procédé est coûteux, il offre deux écueils : l'un, que la soudure du cliché soit imparfaite, et que l'œil se détache au tirage; l'autre, que le cliché ait été mal enfoncé dans la matière, et que par suite il ne soit plus d'aplomb avec le corps.

De ce que nous venons de dire résulte clairement qu'il y avait un progrès réel à accomplir, en créant des procédés assez puissants pour fondre convenablement et d'un seul coup les lettres et vignettes de fortes dimensions. Ce progrès a été réalisé par la fonderie française, en utilisant l'ingénieux procédé de fondre par pression, dont nous avons parlé plus haut. Si l'on réfléchit qu'un moule mécanique capable de satisfaire aux conditions dont nous parlons, se compose en outre du système servant à chasser la matière : 1° d'une bande portant l'entaille dans laquelle le corps se formera; 2° d'une pièce du dessus qui viendra fermer cette entaille; et enfin, 3°, d'un chariot porte-matrice avançant à vis, on comprendra facilement que l'on peut par ce procédé obtenir les formes les plus compliquées, telles que équerres pour porter des coins, pièces à passe-partout portant des vides rectangulaires, rectilignes ou circulaires. Parmi de curieuses applications, nous citerons la fonte des balles pour fusils à tiges, portant les rainures multiples nécessaires pour guider leur direction, genre de moulage qu'on ne pourrait obtenir par le simple moulage du plomb. Nous citerons encore des vignettes dont le corps est de forme pyramidale, avec lesquelles nous sommes parvenus à fabriquer d'une multitude de pièces un rouleau gravé en relief, et d'une solidité parfaite lorsqu'on serre un simple écrou.

Ce genre de rouleau, qui peut permettre des applications précieuses dans l'industrie des toiles peintes, n'est pas appelé à faire dans la typographie une révolution radicale, comme l'ont supposé bien des inventeurs, qui ont cru obtenir un résultat merveilleux par la facilité qu'offre ce système d'obtenir une presse mécanique à action continue, en rapport avec la fabrication mécanique du papier continu; mais on doit y renoncer, à notre avis, à cause de la complication qui en résulte pour la composition, qui devient sinon impossible, au moins extrêmement difficile. Le problème d'obtenir une forme cylindrique consistait évidemment à effectuer un serrage suivant la génératrice rectiligne, un autre suivant la génératrice circulaire, avec enchevêtrement des pièces contiguës par la venue à la fonte d'une saillie d'un côté et d'un creux correspondant de l'autre.

Pompe. En Allemagne, on emploie pour la fonte des gros caractères une pompe formée par une capacité cylindrique placée au milieu du vase qui renferme le métal fondu. Du fond de la partie inférieure de ce corps de pompe part un tuyau qui débouche à l'extérieur par un ajutage de forme variable. Dans ce corps de pompe se meut un piston percé en son centre d'un trou, qui par une ouverture transversale laisse arriver le métal jusqu'à la partie inférieure quand il est soulevé, et qui le comprime sans qu'il puisse s'échapper autrement que par le tube dont nous avons parlé, quand on le fait descendre brusquement à l'aide d'un levier transversal avec lequel il est assemblé.

Ce système, comme celui qui fut essayé il y a quelques années par M. Tarbé, d'utiliser simplement la pression du métal contenu dans un réservoir, lorsque l'on ouvrait un orifice pratiqué à la partie inférieure, offre ce grand inconvénient que la matière projetée en filets fluides avec une grande vitesse, vient ricocher sur le fond et tapisser les parois du moule. L'air se trouve donc emprisonné et le métal arrêté par une enveloppe déjà refroidie. Aussi les lettres ainsi fondues ne sont-elles en quelque sorte que des squelettes de lettres complétement creuses à l'intérieur.

Fonderie mécanique (système américain). Lorsque l'on emploie une pompe assez forte pour un caractère de petite dimension, que le métal est très fluide, on peut obtenir des caractères qui n'ont qu'à un faible degré les inconvénients dont nous venons de parler. Si l'on joint à cette observation ce que nous avons dit plus haut de la simplicité du moule américain, on se rendra compte comment c'est en Amérique qu'on a perfectionné et rendu possible un système de fonderie mécanique inventé vers 1814 par Didot Saint-Léger, et qui, importé d'Angleterre par M. F. Didot, n'a eu alors aucun succès. Le métal, placé dans un cylindre, y était chassé par un piston dans un moule composé de pièces compliquées s'éloignant et s'approchant successivement.

Malgré les inconvénients qui résultent de l'emploi de la pompe, si l'on admet avec nous que la précision de la fonderie ne peut se rencontrer en dehors de la fabrication au moyen du petit moule, qui fournit toujours des produits identiques quant à la force du corps, on arrivera à ce résultat que la fonderie mécanique n'est possible que dans la voie que nous indiquons ici. Sans doute la nécessité d'avoir une pompe fonctionnant au milieu du métal fondu ne permettra jamais d'employer des alliages très résistants, et par suite peu fusibles, pour fabriquer des caractères qui seront toujours un peu creux dans leur intérieur. Mais, comme l'a montré l'expérience, l'économie dans la fabrication et l'abaissement du prix de revient pourront compenser ces inconvénients, surtout lorsqu'on aura perfectionné ce procédé. (Voy. FONDERIE EN CARACTÈRES. *Complément.*)

Caractères apyrotypes. Nous terminerons cet article en disant quelques mots d'un procédé tenté sans suc-

cès en France dans ces dernières années. On a voulu fabriquer des caractères par procédés entièrement mécaniques et abandonner complétement la voie de la fonderie. A cet effet, on étirait des bandes métalliques ayant exactement les dimensions que devaient avoir les lettres, travail déjà extrêmement difficile pour obtenir des produits d'une précision comparable à ceux de la fonderie. Après avoir découpé les bandes de métal en petites longueurs presque égales à la hauteur des caractères, on les introduisait successivement dans une machine analogue à celle qui sert à fabriquer les pointes de Paris avec du fil de fer. La petite pièce métallique, maintenue entre deux joues en acier, était écrasée vers la partie supérieure par deux petites pièces d'acier mues par des excentriques. Le métal ainsi refoulé venait se mouler dans une matrice en fer fortement maintenue à la partie supérieure, et la lettre était terminée, après toutefois qu'on avait enlevé les barbes qui se projetaient entre les joues d'acier et la matrice. Sans insister sur ce curieux essai, qui ne pouvait réussir, malgré l'habileté des inventeurs, qui ont résolu le problème difficile d'obtenir mécaniquement un moulage d'une grande pureté sans altérer les dimensions des tiges qui devaient former le corps des lettres, nous dirons que la solution complète du problème les eût peut-être menés à faire, suivant leur espoir, des caractères en cuivre deux ou trois fois plus résistants que ceux qu'on peut obtenir par les procédés de la fonderie, mais que certainement ils eussent été bien imparfaits et auraient coûté au moins dix fois plus cher.

CH. LABOULAYE.

FONTAINE FILTRANTE. Voyez FILTRATION.

FONTAINE DE HÉRON. La *Fontaine de Héron* se compose de trois vases, un vase supérieur, un vase moyen, un vase inférieur; et de trois tubes, le premier descendant du fond du vase supérieur au fond du vase inférieur, le second s'élevant du sommet du vase inférieur au-dessus du vase moyen, et le troisième s'élevant du fond du vase moyen jusqu'à deux ou trois décimètres au-dessus du vase supérieur; c'est celui-ci qui forme le jet de la fontaine de Héron. On met de l'eau dans le vase moyen, au moyen d'un bouchon que l'on ferme ensuite; on met pareillement de l'eau dans le vase supérieur, on ouvre un robinet placé sur le premier tube, et le liquide s'élance en un point qui est d'autant plus élevé au-dessus du niveau du vase moyen que le niveau du vase supérieur est lui-même plus élevé au-dessus du niveau du vase inférieur.

C'est avec un appareil construit sur ces principes qu'on fait l'épuisement des eaux des galeries de la mine de sulfure de plomb, à Schemnitz, en Hongrie. (Fig. 1029.) Un réservoir d'eau supérieur est alimenté par une source et sert à alimenter un réservoir A placé au niveau du sol ou d'une galerie d'écoulement; un deuxième réservoir fermé B est placé au fond de la mine et rempli d'eau à épuiser. L'air chassé de A lors de l'arrivée de l'eau du réservoir supérieur exerce une pression sur la surface de l'eau, et la force s'échappe par un tuyau d'ascension *l*.

Pour recommencer cette opération, il faut rétablir les choses dans l'état primitif, c'est-à-dire vider le réservoir A actuellement rempli d'eau, et remplir d'eau le réservoir B. C'est à quoi l'on parvient par le jeu des robinets S S', S'' S''' et r r', liés deux à deux.

Il existe entre les capacités des réservoirs A et B un rapport dépendant de la pression exercée par la colonne d'eau qui tombe du niveau supérieur dans le réservoir A et qui en chasse l'air dans le réservoir B. Soit *h* la hauteur de cette colonne, H la hauteur d'une colonne d'eau faisant équilibre à la pression atmosphérique, A et B les capacités des deux réservoirs. Quand l'air introduit est dans le premier, son volume est A, et son élasticité a pour expression Hpg, p étant la densité de l'eau; quand il a passé dans le réservoir B, son volume est B (abstraction faite de la capacité du tuyau de communication, et du poids de l'air qui y est renfermé), et cet air fait équilibre à la colonne *h*, plus à la pression atmosphérique (si le mouvement se continue jusqu'à ce que le réservoir se vide), on a donc : $AH = B(H + h)$, l'élasticité étant $(H + h)p$, équation qui donne le rapport des capacités des deux vases et montre qu'on doit avoir $A > B$.

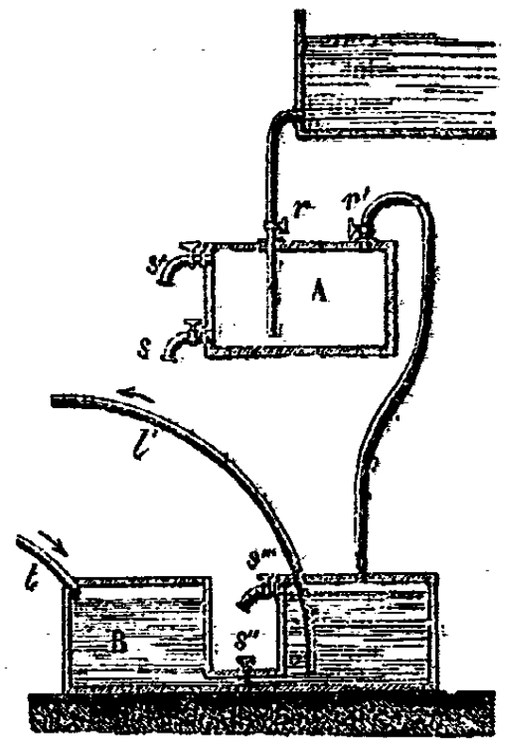


Fig. 1029.

FONTE (*angl.* cast-iron, *all.* roheisen). Voyez FER et FONDERIE DE FER.

FONTE MALLÉABLE. Voyez *Complément*.

FORCE D'UN CHEVAL-VAPEUR. Dans la mesure du travail des forces en général, on prend pour unité la force qui est capable d'élever, en 1 seconde, un poids de 1 kilog. à une hauteur verticale de 1 mètre; cette unité porte le nom de *dynamie* ou *kilogrammètre*. Pour évaluer le travail des forces des machines à vapeur, on prend une unité plus grande, appelée *cheval-vapeur*, qui correspond à 75 dynamies, c'est-à-dire à 75 kilog. élevés, par seconde, à 1 mètre de hauteur verticale, et qui équivaut à très-peu près à l'estimation introduite en Angleterre par le célèbre Watt. Le cheval-vapeur ainsi défini exprime un travail à peu près double de celui que peut fournir un cheval de force ordinaire dans le même temps.

FORÊT. Les forêts occupent une part importante du sol de la France, comme on en jugera par les données statistiques ci-après :

En 1791, les forêts de la France avaient une étendue de 9,589,869 hectares, dont 1,360,492 appartenaient à l'Etat; en 1851, la totalité était de 8,967,000 hectares, dont 1,226,090 à l'Etat. Ce dernier chiffre est descendu à 1,007,046. Ainsi, dans l'espace de sept années, les forêts de l'Etat ont diminué de 283,446, compensation faite des reboisements, qui ont été, en moyenne, de 860 hectares par année, de 1821 à 1837; de 1,300 dans la période 1838 à 1854, elle s'est élevée à 6,270 de 1855 à 1857, inclusivement, et cette opération se poursuit toujours dans de larges proportions. La loi du 28 juillet 1860 a affecté une somme annuelle d'un million, pendant dix ans, au reboisement des montagnes. Pour 1862, les produits des forêts sont évalués à 38 millions, dont 32 1/2 à provenir des coupes de bois.

Plusieurs des considérations qui se rapportent aux forêts ont été exposées à l'article BOIS. Nous ne parlerons ici que de l'estimation du prix des bois

sur pied. Le tableau suivant, donné par M. Deperthuis, apprend ce que l'expérience a fait connaître sur le produit d'un arpent de bois destiné au chauffage.

Table du produit d'un arpent de bois selon l'âge de la coupe et la nature du terrain.

AGE de la coupe.	SOL		
	mauvais.	médiocre.	excellent.
ans.	stères.	stères.	stères.
10	9 1/2	16 1/2	24 1/2
15	12	27 1/2	43
20	18	46 1/2	71
25	25	68	100
30	34	80	129
35	33 1/2	100	167
40	33 1/2	118	200
50	28 1/2	148	267
60	24	180	334
70	14	198	382
80	9 1/2	220	430
90	4 1/2	229	456
100	»	243	487

L'arpent de 100 perches carrées de 22 pieds vaut 51 ares.

Le tableau ci-dessus suppose que le bois est bien garni ; s'il en est autrement il faut en réduire les nombres dans un rapport dépendant de l'étendue des vides ou clairières dont il faut d'abord déterminer la proportion.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'acheter 5 hectares 95 ares de bois de 25 ans, dans un sol de qualité moyenne et que les clairières soient de 1/7e. Les 5 hectares 95 ares ne vaudront réellement, déduction faite du septième, que 5 hectares 10 ares ou 10 arpents, ce qui, à raison de 63 stères de bois par arpent (voir le tableau), donne 630 stères pour l'équivalent de la coupe; si le prix du stère, dans le lieu de l'exploitation, est porté à 10 francs, l'enchère ne devra pas dépasser 6,300 francs.

Jusqu'à 30 ans le bois porte le nom de *taillis*, au-delà il prend successivement ceux de *demi-futaie*, *haute futaie* et *vieille futaie*.

L'estimation de la valeur d'une futaie est principalement basée sur la quantité de pièces de charpente qu'on peut en tirer. On range les arbres par classes, qu'on nombre et qu'on estime à part : la somme donne le prix total. Pour estimer le prix d'un arbre on en mesure la circonférence à 2 mètres de terre, au moyen d'un ruban, et on en déduit le quart pour tenir compte des déchets dus à la présence de l'écorce et de l'aubier; à cet effet, les divisions du ruban sont espacées de telle sorte que 4 mètres n'y sont comptés que pour 3; on prend ordinairement le cinquième du contour ainsi obtenu pour représenter l'équarrissage de la solive que l'on peut en retirer. On mesure ensuite la hauteur de la *pile*, c'est-à-dire de la portion d'arbre susceptible d'être convertie en bois de charpente, en tenant à la main et à la hauteur de l'œil un triangle rectangle isocèle (sorte d'équerre dont un côté est vertical et l'autre horizontal), et s'éloignant de l'arbre à une distance telle que le sommet de la pile se trouve sur l'alignement de l'hypoténuse : la distance à laquelle on se trouve alors de l'arbre augmentée de 1m,50 donne approximativement la hauteur de la pile. On a ainsi les 3 dimensions de la solive, et il est facile d'en déterminer le cube et par suite le prix; il faut encore tenir compte des branches capables de produire du bois de corde ou des fagots, ce

qui varie avec l'âge, l'essence, etc., et que l'expérience apprend à connaître.

FORET (*angl.* borer, *all.* bohrer). On donne ce nom à divers outils de dimensions variables qui servent à percer les métaux, la pierre, le bois. La partie travaillante ou la mèche est en acier, et se fait ordinairement pour les forets de faible dimension, avec des tronçons de fleurets ou de vieilles limes.

Les forets destinés à percer un premier trou, par un mouvement de rotation alternatif, tel que celui qu'on imprime avec un archet, ont leurs bouts aplatis et taillés en grain d'orge, avec deux biseaux qu'on fait sur la meule après la trempe. La pointe doit correspondre exactement au centre, sans quoi le trou qu'on perce n'est point rond. Lorsque le foret a pour objet d'agrandir un trou, on fait précéder son tranchant d'un goujon du calibre du premier trou; il prend alors le nom de *foret* ou *mèche à goujon*. Il faut plusieurs assortiments des uns et des autres dans un atelier. Le bout opposé à celui qui perce est façonné en pivot, en carré, etc., suivant le mode de communication du mouvement.

Les tranchants des forets qui percent en tournant toujours dans le même sens, sont également à pointes angulaires plus ou moins obtuses, mais ils sont à biseau simple. On se sert ordinairement d'huile pour forer le fer et l'acier. La fonte, le fer, le cuivre, le bronze, la pierre, etc., se percent à sec; il faut seulement avoir soin de ne pas trop précipiter le mouvement, afin de ne pas détremper l'outil. Cette vitesse peut aller à 35 à 40 tours par minute pour des trous d'un diamètre de 25 millimètres et au-dessous, et doit diminuer au fur et à mesure que le diamètre augmente.

FORGE. On distingue deux espèces de forges, savoir : les *grosses forges* (*forges à l'allemande*, *forges à l'anglaise* : voyez ACIER et FER), où l'on fabrique le fer et l'acier et où on les tire en barres de tout échantillon au moyen de martinets et de laminoirs; et les *forges maréchales* (*angl.* smith's forge, *all.* schmiede-feuer), où l'on façonne à bras d'hommes les innombrables pièces de fer et d'acier que consomment les diverses branches de l'économie industrielle.

La disposition des forges maréchales varie suivant l'usage auquel elles sont destinées, ainsi on distingue les forges de serruriers, de mécaniciens, de cloutiers, de maréchaux, les forges portatives, etc.; mais toutes se ressemblent, en ce qu'elles sont principalement formées d'un soufflet, d'une tuyère placée horizontalement, d'un foyer, d'une hotte et d'une cheminée. On les chauffe au charbon de bois ou le plus souvent à la houille et particulièrement avec cette variété grasse et collante qui a reçu le nom de *houille maréchale*. On emploie ordinairement le menu dont on forme au-dessus du feu une voûte, qui se soutient par suite de la propriété collante de la houille, et qui sert à concentrer la chaleur. Avant la chaude, on détache de la voûte les parties les plus calcinées, pour former le fond du feu sur lequel on place le fer au-dessus de la tuyère; de telle sorte que le vent traverse du coke enflammé, puis se réfléchit sur la voûte embrasée, avant de venir en contact avec le fer sur lequel il n'exerce plus alors qu'une action à peine oxydante.

La fig. 1030 représente une forge portative très simple avec ses principaux accessoires : A, soufflet cylindrique en cuir, qui se manœuvre au moyen du levier B, qui fait mouvoir l'axe C, portant deux secteurs sur lesquels s'enroulent des chaînes qui viennent s'attacher au fond inférieur du soufflet; D, porte-vent qui vient aboutir à la tuyère en E; le foyer est recouvert avec des briques réfractaires minces; F, étau. Cette forge est surtout employée sur les vaisseaux; elle a 0m,75 de hauteur sur 0m,60 de large et 0m,80 de long, et pèse environ 100 kilogr.

La question du travail de la forge a été traitée avec trop de soin par notre collaborateur A. Faure, dans son bel article CONSTRUCTION DES MACHINES, pour que nous ayons à y revenir ici. Il a parfaitement indiqué la révolution qu'apportait dans l'art de la forge l'admirable invention du marteau à vapeur, qui a permis de mouler des masses de fer de dimensions énormes et d'attaquer des constructions gigantesques.

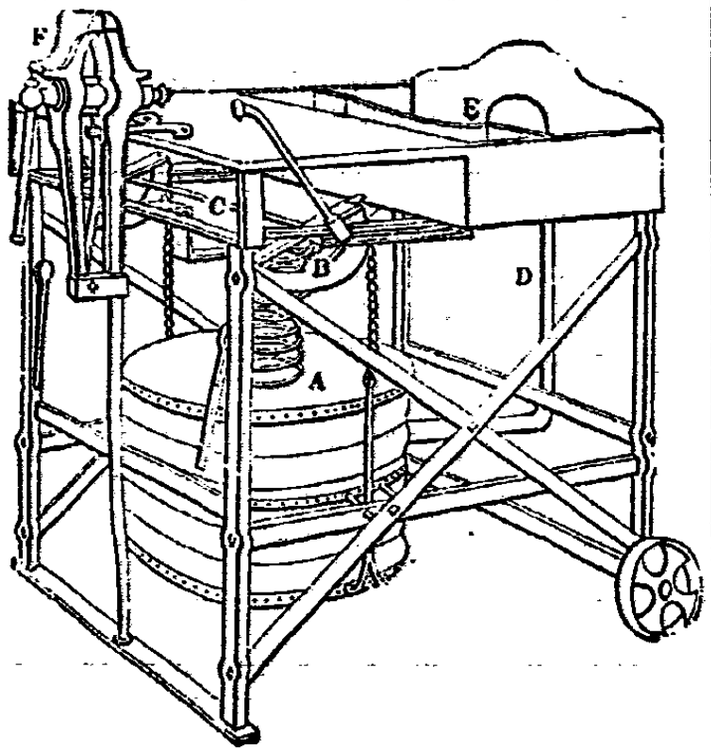


Fig. 4030.

Nous chercherons à le compléter sur un seul point qu'il n'a peut-être pas assez mis en lumière ; je veux parler de l'emploi des étampes. Lorsqu'un grand nombre de pièces semblables doivent être obtenues par la forge, on comprend toutes les économies que peut procurer, pour les opérations ultérieures, le forgeage dans un creux de la forme qu'il s'agit d'obtenir.

Ceci revient à modifier l'enclume. Une modification générale est celle qui consiste à lui donner la forme d'un V pour le forgeage des arbres et en général des pièces de fer cylindriques. Au lieu de s'écraser comme sur une enclume plate, l'arbre reste toujours sous l'axe du marteau, et il ne tend pas à s'y former un centre, un noyau poreux. On est allé plus loin que le simple emploi des étampes pour les pièces à multiplier; on a construit en Angleterre une machine à forger qui a eu un grand et légitime succès. Cette machine, inventée par M. Ryder pour la confection de petits articles de consommation courante, les broches de filature, par exemple, fonctionne avec une rapidité et une précision remarquables. Elle se compose essentiellement d'une série de petites enclumes de 20 cent. carrés environ, maintenues par-dessous au moyen de larges vis qui traversent le bâti de la machine, et qui servent à régler d'une manière exacte la distance qui doit exister entre chacune d'elles et le marteau correspondant. Une garniture en liége est interposée entre la vis et l'enclume pour amortir les chocs. Quant aux marteaux, ils sont respectivement disposés au-dessus des enclumes, et accomplissent leur chute en glissant de haut en bas et réciproquement entre des coulisses verticales ménagées dans le bâti de la machine. Chacun d'eux est maintenu relevé par un fort ressort à boudin, et l'abaissement qui produit le choc est obtenu au moyen d'un excentrique circulaire, abaissant une espèce de came agissant par pression sur la tête du marteau. Le nombre des coups par minute est de 700.

MM. Platt frères, d'Oldham, les célèbres constructeurs de métiers à filer, ont perfectionné cette machine, dont ils ont apprécié la grande utilité pour produire les nombreuses pièces semblables qui entrent dans ces appareils. Au lieu de faire porter les enclumes sur des vis dont les pas étaient forcés en peu de temps par les chocs répétés, il les font porter sur des plans inclinés en forme de coin que l'on déplace à l'aide d'une vis horizontale. On a également remplacé la garniture de liége par un fort ressort spiral. Le matriçage des enclumes et des marteaux permet d'obtenir telle forme que l'on désire, avec une perfection qui n'est pas moins remarquable que la rapidité de la production. Tous les petits articles, tels que boulons, écrous, broches, etc., ainsi fabriqués paraissent presque produits au tour, tant ils présentent de perfection au double point de vue des dimensions et du poids.

FORGES CATALANES ET CORSES. Dans ces forges on extrait du fer malléable de ses minerais dans une seule opération. Cette méthode, par la simplicité de ses appareils et de son roulement, peut offrir quelques avantages dans des contrées montagneuses, où les communications sont difficiles, où les fortunes sont médiocres et où les forêts sont disséminées sur une grande étendue. Le fer qu'elle donne est plus pur que celui que l'on obtient par les autres méthodes, non-seulement parce que les matières premières de la fabrication se distinguent par leur bonne qualité, mais encore parce que la réduction précède la fusion et s'opère à une température peu élevée à laquelle les matières étrangères qui peuvent se trouver dans les minerais sont irréductibles. D'ailleurs, les scories de l'opération renfermant une grande quantité d'oxyde de fer, la réduction, si elle pouvait faire de plus grands progrès que ceux que l'on observe, s'exercerait de préférence sur l'oxyde de fer, qui est plus facile à réduire que les autres éléments des scories. Cela explique pourquoi les fers produits par la méthode directe sont très-estimés pour la fabrication des pièces de résistance, pour la cémentation, etc.; cette méthode fournit en outre des aciers naturels qui sont une seconde source de bénéfices pour les maîtres de forges. Enfin, la dépense en combustible est généralement un peu inférieure au chiffre total des consommations dans les différents traitements habituellement usités au charbon de bois. Mais, d'un autre côté, cette méthode exige l'emploi de minerais qui ne se trouvent que dans peu de localités, le travail est difficile et la main-d'œuvre infiniment plus considérable que dans tous les autres procédés de fabrication du fer. Aussi est-elle exclusivement concentrée dans les Pyrénées et en Corse, pays où les conditions établies ci-dessus se trouvent remplies.

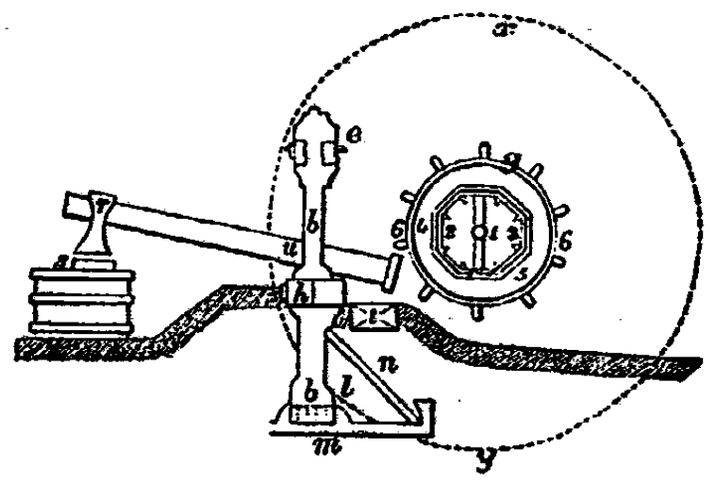


Fig. 4031.

L'ensemble d'une forge catalane comprend un feu ou foyer pour l'élaboration du minerai, une machine soufflante d'une construction particulière dite *trompe*, fournissant au maximum 8^{l},9 d'air par minute sous une pression de 0^{m},08 de mercure, et un marteau à queue,

du poids de 650ᵏ, mû par une roue hydraulique. Le foyer se trouve entre la machine soufflante et le marteau, et tous les trois sont placés à peu près sur la même ligne droite.

La fig. 4034 est l'élévation du marteau employé dans les foyers pyrénéens : 1, axe de rotation de la roue hydraulique motrice *xy*, sur lequel est monté le collier 2 3, de l'arbre des cames 4 5 6; *h*, *l*, *m*, *n*, fondations supportant les jambes *b* du marteau, qui sont réunies à la partie supérieure par les traverses *e*; *u*, manche, et *r*, tête du marteau; *s*, enclume; *t*, tas destiné à limiter la levée du marteau et formé par l'extrémité d'une solive en bois élastique.

La machine soufflante ou *trompe* a été donnée à l'article MACHINES SOUFFLANTES. Nous n'en reproduirons pas ici la description, nous contentant de faire remarquer la simplicité, la rusticité d'un genre d'appareil fondé sur des phénomènes curieux.

La chute totale d'une trompe est de 6 à 7 mètres, et cet appareil, lorsqu'il est bien construit, emploie moyennement 12/100ᵉˢ de mètre cube d'eau par seconde et par feu.

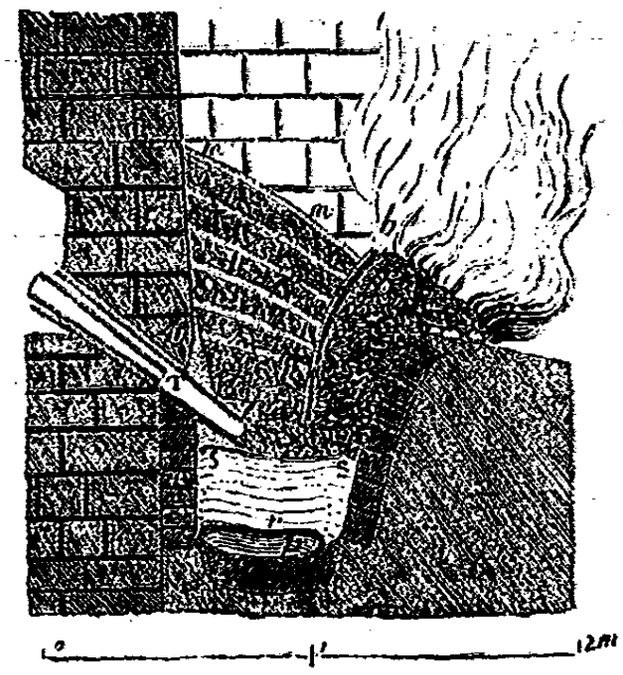
Le personnel d'un feu catalan se compose de 8 ouvriers formant 2 brigades qui se relaient par postes de 6 heures environ, jour et nuit, en se réunissant toutefois pendant un temps assez court, à la fin de chaque opération, pour retirer la loupe du feu. Chaque brigade se compose d'un maître affineur ou marteleur dit *foyer* ou *maillé*, et de son aide ou *pique-mine*, et d'un fondeur ou *escola*, avec son aide ou *miaillou*. Outre ces ouvriers, il y a, par usine, un *garde-forge* qui livre aux fondeurs le minerai et le charbon, et un *commis* chargé de la comptabilité et de la haute surveillance.

Les minerais que l'on traite dans les forges catalanes doivent être en roche, purs, riches et fusibles; il faut qu'ils contiennent au moins 40 à 50 p. 100 de fer métallique et que par leur nature ils puissent donner lieu à la formation facile d'un silicate neutre. Voici, du reste, d'après M. François, la composition moyenne des minerais employés dans l'Ariége :

Peroxyde de fer. . . .	62,474
Peroxyde de manganèse. . .	6,213
Chaux.	2,790
Alumine.	1,014
Magnésie.	0,545
Silice.	14,715
Eau.	12,112
Perte.	0,137
	100,000

Le minerai à traiter en une opération est partagé en deux parties : l'une, composée de morceaux débarrassés au moyen d'un crible, de la poussière et des menus fragments, est placée en *mm* (fig. 4035), et séparée du combustible chargé en *cc*, par plusieurs couches soigneusement battues *aa*, de fraisil humecté et de charbon menu; l'autre, réduite en poussière et portant le nom de *greillade*, formant au moins le tiers et quelquefois la moitié de la masse totale, et fortement humectée d'eau, est chargée successivement, et par petites portions, pendant toute la durée de la réduction du minerai *m*; ces petites couches *m'm'* de minerai, stratifiées avec le charbon de bois *c*, descendent en même temps que ce charbon s'affaisse par la combustion qui a constamment lieu devant la tuyère. Les massiaux de fer brut *f*,*f*, sont placés au-dessus de la tuyère T, dans l'espace disponible compris entre le minerai *m* et la warme *r*. La chaleur, dégagée par la combustion, est employée en partie à échauffer par contact et par rayonnement les massiaux *f*,*f*, et en partie entraînée par les gaz que cette combustion produit. L'air projeté de haut en bas circule dans les charbons incandescents tout le temps nécessaire pour perdre sa vitesse initiale; par suite de cette disposition, l'oxygène atmosphérique est déjà converti en oxyde de carbone, lorsque les gaz sont chassés au travers du minerai *mm* par le courant que ne cesse de projeter la tuyère. L'oxyde de carbone

FORGES CATALANES ET CORSES.



4035.

sort du foyer en traversant le minerai *mm*, et non le charbon *cc*, par plusieurs raisons; les interstices qui existent entre les charbons laissent au gaz un passage moins facile que ceux du minerai *mm*, préalablement débarrassé de tous les menus fragments; la hauteur de la masse de ce charbon *cc* est ordinairement plus grande que celle du minerai *mm*; les massiaux placés au-dessus de la tuyère gênent la sortie des gaz dans cette direction; enfin, les couches de minerai pulvérulent et humecté *m'm'*, qu'on stratifie continuellement avec le charbon, tendent encore à empêcher la circulation des gaz dans cette partie du foyer. Par ces divers motifs, le minerai *mm* offre le point de moindre résistance, et donne seul issue aux gaz, que l'on peut effectivement embraser en *tb*, par l'approche d'un corps enflammé à la surface du tas de minerai, dès qu'on commence à donner le vent; la disposition du foyer pyrénéen est donc telle, que le minerai y est soumis, depuis le commencement de l'opération, à l'influence simultanée de tout l'oxyde de carbone qui se forme dans le foyer, et de toute la chaleur qui n'est point employée dans le fond du foyer à échauffer les massiaux et à élaborer le minerai menu. L'élaboration du minerai gros et menu en *m* et en *m'*, et la conversion de toutes les matières fixes en une loupe de fer malléable *r*, et en scories *ss*, comprennent d'ailleurs une foule de phénomènes que nous allons examiner succinctement.

La sole du foyer est ordinairement une pierre de granite : trois de ses parois sont formées de barres de fer superposées; la *rustine* ou *haire* est seule en maçonnerie réfractaire; la tuyère est en cuivre rouge. Les dimensions de ces diverses parties étant données par la figure 4035, nous passerons immédiatement à la description d'une opération.

Après avoir retiré la loupe ou *massé* du feu, et rejeté dans le creuset le charbon réuni sur l'aire, l'ouvrier jette par-dessus du charbon frais qu'il égalise et presse au moyen d'une pelle. Arrivé un peu au-dessous du niveau de l'extrémité de la tuyère, on partage le creuset, à l'aide d'une planche placée à peu près parallèlement à la warme et aux 2/3 environ du creuset à partir de cette face, en deux parties que l'on remplit, l'une de minerai, l'autre de charbon tassé et recouvert d'une couche

de fraisil humide et également tassé, comme l'indique la figure 1035.

On donne alors pendant le vent au maximum de tension (0m,084), afin de dégager la tuyère et d'aviver le feu, et après 10 minutes environ, on abaisse le vent à une pression de 0m,036, que l'on maintient pendant toute la durée de cette période. L'escola ajoute du charbon et par-dessus de la greillade à peu près toutes les 8 minutes, en arrosant cette dernière, après la charge, avec une certaine quantité d'eau. La durée moyenne de cette période est de 73 minutes.

Dans la seconde période, dont la durée moyenne est de 69 minutes, on porte la tension du vent à 0m,045 de mercure, et l'on fait deux percées de scories, l'une à la fin de cette période, l'autre 20 minutes avant.

Dans la troisième période, dont la durée moyenne est de 42 minutes, on porte la pression du vent à 0m,063, et l'on fait deux percées pour faire écouler les scories. L'escola *donne* deux fois *la mine* dans cette période, au commencement et à la fin. Donner la mine, c'est faire descendre le minerai à l'aide d'un ringard que l'on introduit entre celui-ci et le contrevent. Lorsque l'escola donne la mine pour la première fois, il pousse son ringard droit au fond, sans qu'aucun des points de la partie plongée de l'outil cesse d'être en contact avec le contrevent, et cela dans le plan vertical qui passe par l'axe de la tuyère; il répète la même opération dans l'angle du creuset formé par le contrevent et le laiterol. Il ne la donne pas encore dans l'angle formé par le contrevent et la rustine. Lorsqu'il donne la mine pour la seconde fois, il enfonce son ringard à l'extrémité du contrevent; puis, l'extrémité inférieure de l'outil restant fixe, il lui imprime un mouvement de va et vient parallèle au contrevent avec lequel il reste constamment en contact.

Dans la quatrième période, dont la durée est de 45 minutes, on porte la tension du vent à 0m,072; on rejette sur le feu, avec la greillade, les scories lourdes des coulées précédentes; on perce quatre fois pour donner écoulement aux scories; on donne trois fois la mine, principalement dans l'angle formé par le contrevent et la rustine. L'étirage du fer provenant de la loupe précédente s'achève vers le milieu de cette période, et l'on y épuise aussi la greillade.

Dans la cinquième et dernière période, dont la durée moyenne est de 133 minutes, et où la tension du vent a été portée à 0m,081, le charbon est presque partout enflammé à la surface du creuset, et tout le mur de minerai a disparu sous le charbon. On perce environ douze fois pour faire écouler les scories, et, après chaque percée, on donne la mine; mais le ringard s'enfonce de moins en moins, parce que la loupe ou massé qui occupe le fond du creuset grossit de plus en plus. Le pied du mur de minerai est fortement aciéreux. En donnant la mine, on fait glisser la partie aciéreuse sur le massé, pour qu'elle s'y soude et s'affine sous la tuyère. La chaleur étant très forte, le valet jette 1 litre 1/2 d'eau sur le feu, chaque fois que le maître donne la mine. Environ 30 minutes avant la fin de cette période, on fait le dernier chargement de charbon; il n'y a plus alors de minerai dans le creuset. Alors, au lieu de donner la mine, après le percement du chio, l'escola rassemble les morceaux de fer épars dans le creuset pour les souder au massé, et il cherche à arrondir et à dégager celui-ci avec son ringard. Arrivé à ce point, et lorsque le charbon s'est affaissé jusqu'aux approches de la surface supérieure du massé, on arrête le vent, et l'on se hâte d'enlever à la pelle les charbons embrasés qui recouvrent le massé : celui-ci adhère ordinairement au fond du creuset. Pour l'en détacher, on introduit par le trou du chio un fort ringard que l'on enfonce à coups de masse entre la loupe et la pierre du fond, et dont on se sert pour soulever le massé; tous les ouvriers se réunissent alors pour le saisir à l'aide de crochets, et le faire rouler sur le sol de l'atelier.

Le cinglage de la loupe et son étirage se faisant de la même manière que dans les feux d'affinerie (voyez FER), nous ne reviendrons pas ici sur ces détails.

Avant de terminer, nous dirons quelques mots sur les diverses réactions qui se passent dans le feu et qui ont été observées directement par M. François.

Dans la partie supérieure du feu, le minerai perd son eau, les carbonates sont partiellement décomposés, et l'oxyde de fer passe successivement à l'état d'oxyde magnétique et d'oxyde des battitures. Plus bas, on remarque, autour des noyaux de minerai, l'apparition de pellicules de fer métallique, et, dans le voisinage de ces pellicules, la formation de matières scoriacées et boursouflées. Une réduction plus active, la scorification et la liquation des terres et un commencement de carburation, marquent la troisième région du feu à partir du sommet du mur du minerai. La liquation s'opère toujours à l'état de silicate neutre, que l'on remarque partout où s'exerce la réduction. Enfin, la liquation continue à s'opérer dans les proportions définies du silicate neutre, si l'allure est modérée, dans la portion du mur du minerai la plus rapprochée de la tuyère suivant la verticale; de plus, la réduction s'achève et la carburation s'exerce avec une grande activité, si l'allure est lente et soutenue.

Pendant la période de l'étirage, la greillade et le charbon n'atteignent dans le feu qu'une hauteur de 0m,50 au-dessus du nez de la tuyère; dans la période qui suit, au contraire, le foyer est entièrement rempli, et la greillade doit descendre d'une hauteur d'environ 1m,00 pour arriver sous le vent; aussi, la réduction se fait moins complétement dans la première période que dans la seconde, et les premières coulées de scories sont assez basiques pour pouvoir être rejetées dans le fourneau, si l'allure et le charbon le permettent. En général, on obtient des scories d'autant plus riches et par suite un fer d'autant plus doux que la rapidité avec laquelle on fait fondre la greillade est plus grande. Lorsque la greillade arrive sous le vent, elle y donne naissance à un noyau métallique d'une forme concave, dit *principe du massé*, parce qu'il sert en effet à asseoir le massé, et que l'ouvrier nourrit pendant l'étirage et le travail en donnant de la mine.

La durée ordinaire d'un feu ou d'une opération est de 5 heures 3/4. On peut admettre que, dans une campagne entière et dans une forge bien conduite, on consomme par feu 485k de minerai renfermant 210k de fer métallique et 405k de charbon, et que l'on obtient 148k de fer en barres.

On obtient dans les forges catalanes trois espèces de fer : le *fer ordinaire*, le *fer fort* et l'*acier naturel ou fer cédat*. Le fer ordinaire est dur, nerveux, plus ou moins aciéreux, difficile à travailler à la lime et au marteau. Le fer fort est un acier ferreux qui a une couleur blanche dans sa cassure. Le fer cédat est noir ou violet et constitue la qualité supérieure d'acier naturel. Le fer fort se trouve généralement à l'extrémité du massé; plutôt à la surface qu'au centre, et plutôt sur les bords qu'au milieu, et surtout du côté du laiterol ou chio.

Pour obtenir de l'acier, il faut observer les règles suivantes : 1° employer moins de greillade pour obtenir des scories moins riches en oxydes de fer; 2° pousser plus fréquemment la mine vers la tuyère et avec moins de force, afin que le massé, qui n'est plus protégé par les scories, échappe à l'action du vent; 3° donner plus de charbon ou moins de mine; 4° multiplier les percées du chio; 5° prolonger le travail, renverser le contrevent en arrière et rendre la tuyère plus rasante, 6° donner moins de vent vers la fin de l'opération que pour la production du fer doux; 8° employer des char-

bons lourds; 9° employer des minerais ou des fondants manganésifères.

L'acier des forges catalanes s'emploie, sans affinage préalable, à la confection des faux, des socs de charrue, etc.

D'après M. François, le prix de revient des 100ᵏ de fer forgé à l'usine de Viedessos (Ariége), pour l'année 1840, pendant laquelle on a fait 1000 feux, a été comme suit, de 40ᶠ,63ᶜ :

310ᵏ de minerai, à 2ᶠ les 100ᵏ.	6ᶠ,20
302ᵏ de charbon à 8ᶠ,20 les 100ᵏ. . . .	24ᶠ,76
Main-d'œuvre.	5ᶠ,95
Garde-forge et commis, 1500ᶠ par an. .	0ᶠ,93
Entretien de l'usine, 1200ᶠ.	0ᶠ,80
Intérêt à 5 p. 100 de la valeur de l'usine (25000ᶠ).	0ᶠ,83
Intérêt à 6 p. 100 du fonds de roulement (29000ᶠ).	1ᶠ,16
Prix de revient des 100ᵏ de fer forgé. . .	40ᶠ,63

Nous renvoyons ceux de nos lecteurs qui désireraient plus de détails sur les forges catalanes à l'excellent ouvrage que vient de publier sur ce sujet M. François (*Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées*, etc.).

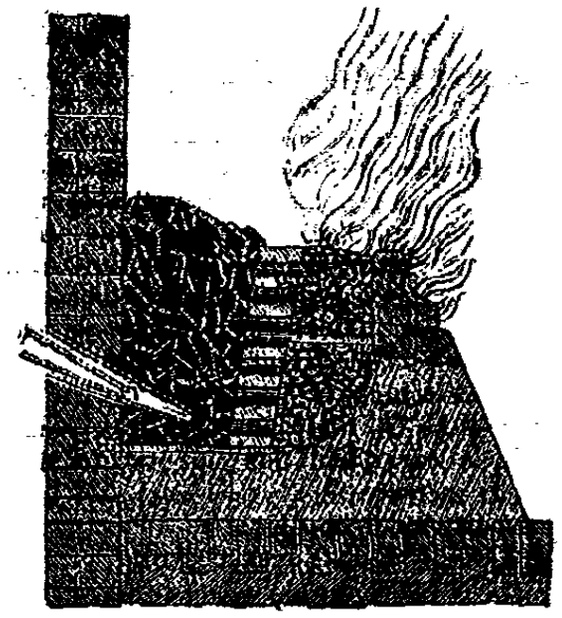
FOYERS CORSES. La fabrication du fer par la méthode corse diffère de la fabrication pyrénéenne en ce que la simplicité apparente des moyens y est poussée moins loin, et notamment en ce que la réduction du minerai se fait dans un foyer distinct de celui où ont lieu la formation des loupes et le corroyage du fer brut. Dans la première opération, on emploie, pour diriger l'oxyde de carbone sur le minerai à réduire, un moyen aussi simple qu'ingénieux, dont les fig. 1036 et 1037 offrent les principaux détails.

Le foyer n'offre d'autre construction fixe que la warme *v v*, qui supporte la tuyère, et le laiterol *l l*, qui ne joue aucun rôle dans la première opération. Ce foyer est reconstruit à neuf chaque fois de la manière suivante : sur un fond de brasque battue, *a a a*, on élève au devant de la tuyère une enceinte composée de gros charbons bien droits, C C, longs de 0ᵐ,16 et disposés horizontalement. La base de cette sorte de mur d'enceinte est limitée intérieurement par deux droites parallèles *b b*, perpendiculaires à la warme, distantes de 0ᵐ,18, et situées à égale distance du plan passant par l'axe de la tuyère; ces deux droites s'appuient contre la warme par l'une de leurs extrémités, et sont raccordées à l'autre extrémité par un demi-cercle *b d b*, dont le point *d*, situé dans le plan de l'axe de la tuyère, est à 0ᵐ,40 de la warme. La limite extérieure du mur d'enceinte est une figure *b' d' b'*, entièrement semblable à celle que nous venons de décrire, et est distante de 0ᵐ,16 de tous les points correspondants de la limite extérieure; l'espace compris est occupé par des charbons disposés horizontalement, et toujours normalement aux deux limites. Sur l'assise inférieure, établie comme il vient d'être dit, on place d'autres charbons de même longueur, offrant une certaine retraite à mesure qu'ils s'élèvent, de telle sorte que l'enceinte ait en tout 0ᵐ,75 de hauteur, et offre à son orifice supérieur des dimensions de 0ᵐ,48 et 0ᵐ,55. Le minerai à réduire, concassé en fragments, est placé en *m*, entre le mur de charbon et de gros fragments M de minerai, qui doivent servir à une opération subséquente, et qui reçoivent ainsi une sorte de préparation. Le combustible chargé en *c* s'élève ordinairement au-dessus du niveau du minerai. On lance moyennement dans l'enceinte 5ᵏ d'air par minute, avec une pression de 0ᵐ,04 à 0ᵐ,05.

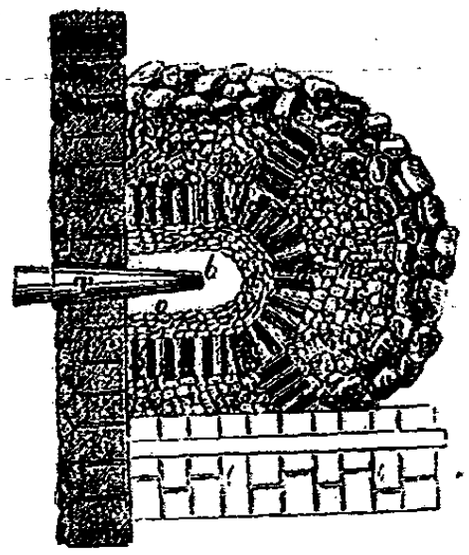
Ici, comme dans le cas des foyers pyrénéens, la masse du minerai à réduire offre aux gaz réductifs formés dans l'enceinte, une moindre résistance que le charbon

FORGES CATALANES ET CORSES.

accumulé au-dessus de la tuyère. On charge à la fois 530ᵏ de minerai et l'opération dure quatre heures.



1037.



1036.

On retire le minerai réduit, mélangé de brasque, et on l'affine par petites parties dans le même foyer, au moyen de scories riches, après avoir détruit le mur de charbon CC. Chaque affinage dure environ quatre heures, et produit de 30 à 35ᵏ de fer doux d'excellente qualité. Malheureusement, dans ce procédé, la main-d'œuvre, et surtout la consommation en combustible (qui s'élève à plus de 700 de charbon pour 100 de fer produit), sont si considérables, que cette méthode disparaît de plus en plus.

Statistique. En résumé, en 1843, il y avait en France 427 foyers catalans et 8 foyers corses, en tout 435 foyers, dont 407 en activité ont produit 108,451ᵗᵐ de fer forgé, ayant une valeur de 4,906,597 francs. P. DEBETTE.

FORMIATES. Nom donné aux sels formés par l'acide formique; ils sont tous solubles, et précipitent de leurs dissolutions l'argent et le mercure à l'état métallique.

ACIDE FORMIQUE. Cet acide existe naturellement dans le corps des fourmis, ce qui lui a valu le nom qu'il porte, et dont on l'extrayait autrefois par distillation; actuellement on le prépare directement en exerçant une action oxydante sur un grand nombre de matières organiques, et ne poussant pas la réaction jusqu'au bout; on prend ordinairement, à cet effet, une grande cornue tubulée, dans laquelle on met 1 partie de sucre

dissoute dans 2 p. d'eau ; on y ajoute 3 p. de peroxyde de manganèse, et puis on verse par la tubulure 3 p. d'acide sulfurique à 66°, que l'on étend préalablement de trois fois son poids d'eau ; il faut que le tout ne remplisse que 1/15e à 1/20e de la cornue. Vers 50 à 60°, l'action devient très tumultueuse et il se dégage beaucoup d'acide carbonique, puis en continuant à chauffer il distille de l'acide formique étendu ; on reçoit ordinairement cet acide dans un lait de chaux. On obtient ainsi du formiate de chaux que l'on fait cristalliser par évaporation, et que l'on traite par de l'acide sulfurique à 66° pour obtenir de l'acide formique concentré ; on l'obtient encore plus concentré, et ne renfermant qu'un équivalent d'eau, en décomposant à chaud par l'hydrogène sulfuré gazeux le formiate de plomb anhydre. Dans cet état, il renferme environ 19 3/4 p. 100 d'eau, et sa composition est exprimée par la formule $C^2H^2O^3 + H^2O$. C'est un corps très réducteur qui précipite de leurs dissolutions, à l'état métallique, l'argent et le mercure ; il n'a reçu du reste, jusqu'à présent, aucun emploi dans les arts.

FOULON (*terre à*). Voyez ARGILE.

FOULON (*moulins à*). Voyez LAINE.

FOURS A CHAUX. Voyez CHAUX.

FOURS A PLATRE. Voyez PLATRE.

FOURNEAUX (*angl.* oven, *all.* ofen). Voyez MÉTALLURGIE, et à l'article de chaque industrie en particulier, ainsi qu'aux articles ARGENT, CHAUDIÈRE A VAPEUR, CHEMINÉE, CUIVRE, FER, ÉTAIN, MERCURE, PAIN, ZINC, etc.

FOURNEAUX DE CUISINE (*angl. coaking stove, all.* küchenofen). Dans l'enfance des sociétés, les aliments étaient exposés à l'action directe du feu, c'est-à-dire rôtis et grillés sur des charbons ardents, par l'action de la flamme, ou cuits dans des fours sur des cendres chaudes, ou enfin entourés de cailloux préalablement chauffés, comme le font encore aujourd'hui la plupart des nations de l'Océan pacifique, et les peuplades sauvages de l'Amérique.

Homère, si fidèle dans les détails industriels qu'il nous a transmis, si utile à étudier pour l'histoire des arts, ne parle que de viandes rôties, aussi bien devant les murs de Troie, que dans les riches palais de Nestor, de Ménélas, d'Alcinoüs et d'Ulysse. Les chairs sont toujours rôties ou grillées sur le feu direct, au moyen de broches ou de lardoires à cinq pointes, analogues à celles dont on se sert aujourd'hui pour griller le pain. Une seule fois, sous la tente d'Achille, il est question de viandes cuites dans une chaudière d'airain ; mais il est évident que c'est dans le vase même d'airain, et dans la graisse, et non pas dans l'eau bouillante que les chairs étaient cuites : car Homère, qui n'oublie jamais un détail technique, ne dit pas que l'on ait rempli d'eau la chaudière où Achille jette divers animaux, et dans les vers suivants il ne parle que de chairs rôties.

On doit en conclure, comme l'a déjà dit Brillat-Savarin, que les chairs étaient cuites dans une chaudière d'airain, sans eau, et avec leur graisse ; procédé qui donne des viandes d'un goût excellent, et est employé encore aujourd'hui, notamment dans la Franche-Comté, en employant des vases en bronze, et dans la Lorraine, l'Alsace, et presque *toute* l'Allemagne, avec des marmites de fonte ou de fer battu.

Quelques vers que Lycophron met dans la bouche de Cassandre, et dans lesquels il décrit *une chaudière bouillant du fond par l'action du feu*, et où une vieille sorcière fait bouillir les chairs des morts, *comme on le fait dans l'art de la cuisine ;* et la fable du vieux Pélias, que ses filles coupent par morceaux, *et font bouillir* dans une chaudière pour le rajeunir, s'expliquent très bien par le même procédé ; et ne prouvent rien contre l'assertion que, dans les ouvrages anciens, il n'est nulle part question de viande bouillie, ni de bouillon.

Chez les Romains, en même temps que déjà les foyers de cuisine étaient installés dans l'intérieur des maisons, et que de nombreux perfectionnements et un grand luxe de variété avaient été introduits dans la préparation des mets, le fond du procédé était déjà amélioré. Les vases de bronze et de terre, les broches, les fours en briques étaient employés sous des formes diverses.

La simplicité des procédés des anciens se retrouve encore de nos jours ailleurs que chez les peuplades sauvages. Les Kalmoucks font leur cuisine dans des marmites de fer, et font bouillir dans l'eau la viande de mouton, de bœuf, de cheval et de chèvre, qu'ils mangent sans pain, en buvant le bouillon salé pour lequel ils paraissent avoir un *goût prononcé* ; et les *marchands nomades* du Tyrol, comme les bûcherons de la Bavière, n'ont pour toute batterie de cuisine, sur leurs chariots, qu'une poêle en fer, employée à la préparation de la soupe, aussi bien que des viandes.

Les fourneaux de cuisine sont restés les mêmes pendant des siècles, un foyer rempli de bois embrasé, d'abord en plein air, puis placé dans les *habitations*, mais sans cheminées, chez les Romains, au moins jusqu'à l'époque de leur décadence ; puis avec des cheminées et de vastes hottes comme on les voit dans les plus vieux châteaux de l'Europe ; et devant le feu ou au-dessus, la viande bouillie ou les ragoûts placés dans des vases. La viande rôtie et le gibier sur les broches, les grillades sur la braise, le pain, les gâteaux ou autres mets cuits dans les fours. Puis vint, avec la multiplication des mets, la découverte du charbon de bois. Mais, tandis que l'art de la cuisine du riche créait et multipliait ses méthodes, rien n'était fait pour la préparation en grand, pour l'amélioration et l'économie de la nourriture destinée aux pauvres, et aux nombreuses réunions d'hommes.

La science du chauffage domestique et industriel était encore ignorée.

C'est dans le nord de l'Europe que sont nés les procédés de cuisson des aliments en grand : là il faut des appareils qui servent à la fois à la cuisson et au chauffage. Là l'emploi de la tourbe, et surtout de la houille, ont fait chercher des dispositions plus heureuses ; et surtout par suite des désagréments de leur fumée, ils ont donné naissance aux foyers fermés, sans lesquels *il n'y a pas de bon fourneau de cuisine*, pas de bon appareil de chauffage.

L'homme qui a porté les lumières de la science dans cette industrie, jusque-là livrée à des maçons ignorants, c'est Rumford.

Avec le besoin d'être utile, l'esprit d'application qui donne un but pratique à toute découverte savante, et l'originalité d'*imagination qui multiplie les procédés*, Rumfort avait l'instinct du manufacturier qui juge d'avance les résultats et l'activité patiente qui exécute et améliore. Rang, fortune, talents, fonctions et réputation, tout fut par lui employé sans relâche dans un but unique, créer pour les pauvres, et pour l'amélioration du sort des masses, des institutions populaires conçues avant la révolution française, organisées au sein de l'Allemagne despotique, et devant lesquelles reculerait plus d'un philanthrope de nos jours.

En même temps qu'il instituait en Bavière de vastes établissements pour recevoir les pauvres, et y établissait le premier un travail utile et justement rétribué pour tous les âges, il analysait scientifiquement les principes mêmes de l'alimentation, et découvrait aussi de nouveaux procédés, auxquels il ajoutait une série également nouvelle d'instruments de préparation, tant pour les hospices et les casernes que pour les petits ménages. Ce fut la pensée dominante de sa vie : il y prodigua son temps et ses conseils, sa surveillance, son activité, son exemple, et provoqua pour tous ses petits appareils la libre concurrence du constructeur.

Les procédés complets importés par lui-même en France servent encore, dans nos bureaux de charité, à préparer des soupes économiques, auxquelles il ne manque pour devenir une excellente nourriture qu'un élément azoté puissamment nutritif, et qu'un savant du même ordre, d'Arcet, y a voulu porter sous la forme de la gélatine.

C'est surtout en Angleterre que, guidé par de rigoureuses expériences, Rumford a appliqué la houille dont il avait su apprécier les avantages.

La réduction des foyers à de très petites capacités; l'établissement sur un seul foyer de plusieurs marmites de dimensions modérées et de chaudières à eau, sous lesquelles il utilisait la chaleur perdue de la fumée; la découverte de procédés complets pour rôtir la viande dans des fours en tôle, sans goût désagréable, par l'introduction d'un léger courant d'air; des idées heureuses et larges sur les principes de cuisine, et surtout la préparation des soupes; telles sont les bases de son système de construction culinaire, qui a résolu le double problème d'une économie très grande de combustible et d'un emploi simple et facile.

Ses Mémoires, placés au premier rang des ouvrages industriels destinés à être le plus longtemps utiles, sont une mine féconde d'idées, d'expériences et de résultats, où, depuis cinquante ans, tous les constructeurs d'appareils économiques ont fouillé sans l'épuiser, pour s'assimiler les éléments qui leur sont nécessaires.

Pas un appareil de cuisine, jusqu'à ce jour, qui n'en soit sorti; et, dans nos plus grands établissements, les meilleurs fourneaux sont encore disposés d'après ses méthodes, complétées par quelques remarquables perfectionnements.

Rumford donnait un foyer séparé à chaque série de marmites, à chaque four à rôtir, quelquefois à chaque marmite. Il admettait encore les réchauds au charbon de bois. Aujourd'hui on a concentré dans un petit espace et réuni sur un seul fourneau et en un seul foyer, la préparation des soupes de légumes, la cuisson des viandes, la confection des rôtis et des grillades, celle de la petite cuisine, et le chauffage des plats de service.

Quelques mots rendront claires les dispositions fondamentales communes à tous les grands appareils de cuisine les mieux combinés.

On a d'abord remplacé complétement, par des plaques de fonte ou de fer empruntées à l'Allemagne, dont elles ont gardé le nom, placées au dehors du foyer, et rougies par l'action directe du feu, l'usage des réchauds et du charbon de bois, à peu près exclusif encore dans nos cuisines; pratique aussi onéreuse à la bourse que funeste à la santé. Les cuisinières y périssent, ou s'enivrent, et deviennent folles.

Le service des plaques allemandes, chauffées au bois ou à la houille, est économique et en même temps facile. On y prépare les grillades, les omelettes, les fritures, les ragoûts de viande, les légumes et les sauces; vingt mets différents sont conduits de front sans travail et sans variations sur des plaques, qui offrent toutes les températures dont on a besoin, depuis le rouge vif jusqu'à la douce température d'un four, sur les parties les plus éloignées de la plaque, et aujourd'hui on les voit adoptées avec plein succès, chez nos plus fameux restaurateurs.

A la suite des foyers ainsi recouverts de plaques allemandes, on établit tantôt circulairement autour du foyer, tantôt à droite et à gauche, d'abord la marmite à potage, puis celles aux légumes, aux ragoûts, puis le four à rôtir de Rumford, puis enfin la chaudière qui fournit constamment l'eau chaude nécessaire à la cuisson des aliments, au lavage de la vaisselle et au service entier de la cuisine. Des robinets versent dans chaque marmite l'eau venant d'un réservoir supérieur.

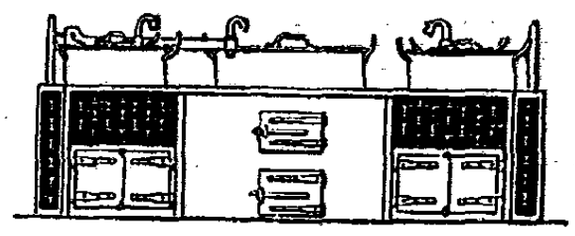
FOURNEAUX DE CUISINE.

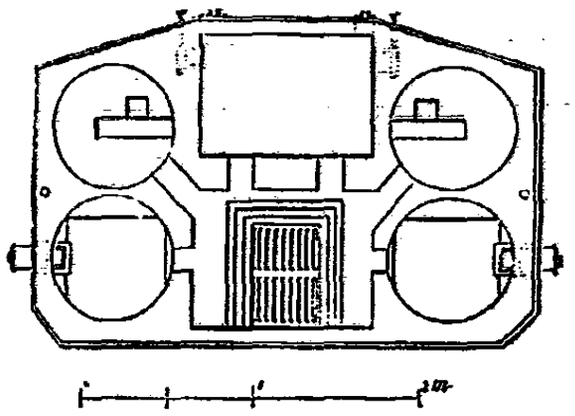
A l'hôpital Saint-Louis de Paris, le système est double. Les foyers, placés aux extrémités d'un fer à cheval, envoient leur flamme et leur fumée chauffer deux séries complètes d'appareils, comme nous venons de les décrire, et se réunissent sous une seule chaudière à eau, et dans une seule cheminée placée au centre du demi-cercle, disposition due aussi à Rumford.

D'autres appareils plus modernes, comme ceux de la Charité, de l'Hôtel-Dieu, ont un seul foyer, et toutes les marmites, chaudières et fours sont rassemblés à l'entour, de manière à occuper dans la cuisine un moindre espace, et à fonctionner plus activement

Les fig. 1038 et 1039 représentent les fourneaux de la Charité. Les deux parties circulaires antérieures por-

1039.





1038.

tent les marmites pour divers usages; elles sont chauffées par les produits de la combustion, qui ont déjà entouré deux fours en fonte. Les deux parties postérieures reçoivent des plaques à l'allemande. Enfin une grande chaudière (sous laquelle est un troisième four) renferme de l'eau chaude pour les besoins de la cuisine.

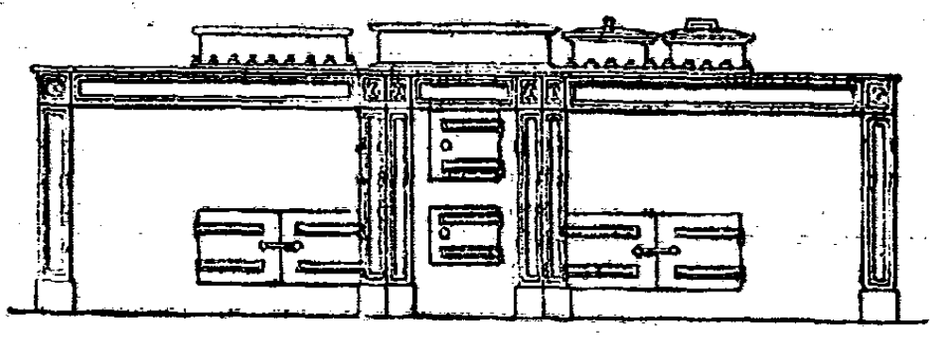
Les fig. 1040, 1041 et 1042 représentent les fourneaux à bain-marie (tels qu'ils sont établis à l'institution des Jeunes Aveugles, à Paris), à la construction desquels nous nous sommes surtout attaché, et qui nous ont donné des résultats très avantageux.

Les figures démontrent comment un seul foyer permet de chauffer toutes les marmites, ainsi que les étuves placées dans les parties latérales du fourneau. Au reste, pour ces divers appareils, les dispositions sont à peu près semblables, sauf les proportions plus ou moins bonnes, plus ou moins grandes des appareils des passages et des détails d'ajustement.

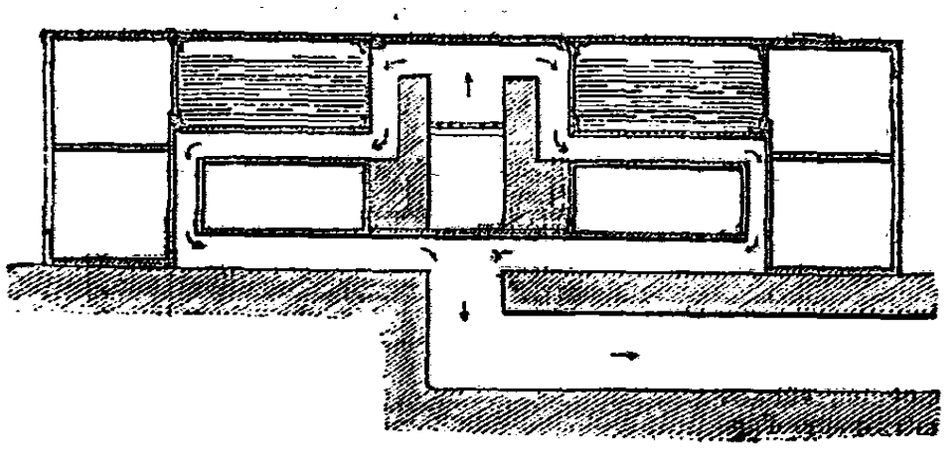
L'emploi d'enveloppes de fonte percées pour les portes et au milieu desquelles l'on bâtit solidement le fourneau, est une excellente addition qui a donné à ces fourneaux une apparence extérieure de propreté, et en réalité une solidité et une durée qu'ils n'avaient pas. Les ajustements aussi en sont beaucoup plus faciles que ceux de briques avec ceintures en fer. Tous les brevets pris chaque jour pour des fourneaux de cuisine, et qui servent d'enseigne à un nombre infini de constructeurs, n'ont d'autre système, d'autre origine, ni d'autres dispositions que celles qui précèdent, et ne présentent rien d'original.

Quant aux perfectionnements des petits appareils destinés aux cuisines particulières, il a été depuis quarante ans l'objet des travaux de quelques hommes de haute portée, Harel, Lemare et d'Arcet, et il faut le

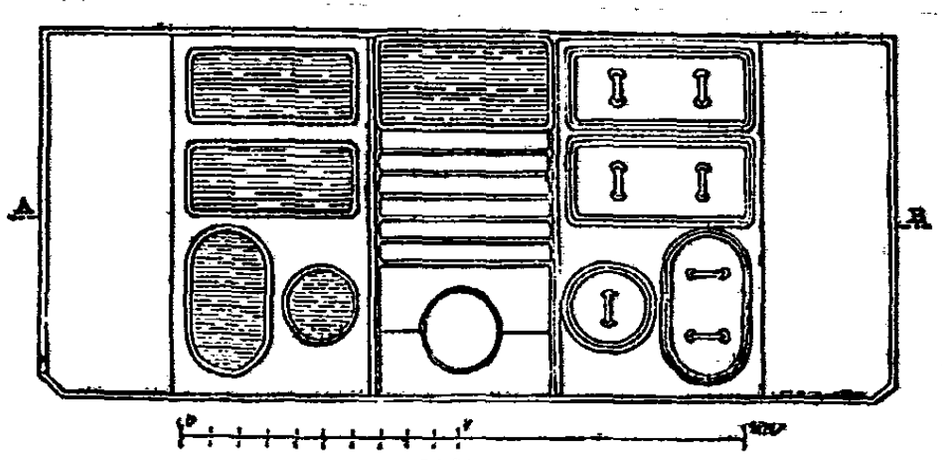
FOURNEAUX DE CUISINE



1042.



1041.



1040.

aire, ils ont trouvé chez les particuliers plus de bonne volonté que dans les administrations publiques : et cependant, c'est à ces dernières que devrait *toujours* appartenir l'initiative de l'exécution des inventions dues au progrès individuel. Que les chefs d'un établissement particulier hésitent à admettre un procédé nouveau, qui peut compromettre leur existence industrielle ; pour ma part, je trouve souvent qu'ils sont alors prudents et sages. Mais une administration doit oser entreprendre ce qui doit être utile à tous, et sans danger pour son service; sous ce rapport l'administration des hôpitaux de Paris est appelée à remplir de graves devoirs, et est responsable de ce qu'elle fait envers les pauvres si nombreux dans notre société; mais en même temps riche de puissantes ressources, de conseils et de talents; placée au centre de toutes les administrations municipales de la France, que pousse un même besoin de perfectionnement, et appelée chaque jour à leur donner des leçons et des exemples, l'administration des hôpitaux de Paris est peut-être trop prudente, trop méfiante envers ce qu'elle ne connaît pas encore : elle fait beaucoup chaque jour, mais sans oser ce qu'elle pourrait oser, et sans ouvrir assez hardiment des voies nouvelles à tous ceux qui la voudraient suivre.

M. Harel a le premier entrepris d'opérer une révolution dans les petits appareils de cuisine.

Il a entrepris la tâche bien difficile d'introduire dans tous les petits ménages des appareils commodes, portatifs et économiques. La sagacité et la finesse de son esprit, qu'il a su plier pendant de longues années à cette œuvre, lui avaient d'avance montré le succès dans le bon marché de ces appareils et la perfection de leur exécution. Sa persévérance lui a donné le succès avec tous ses avantages.

Aux dispositions premières de Rumford, il a ajouté tout ce que la science et l'expérience lui ont enseigné, et sous toutes les formes, toutes les dimensions, pour toutes les fortunes, surtout les plus modestes, auxquelles il s'adressait de préférence. Il a varié ses marmites à pot au feu placées sur de petits foyers formés, avec carneaux de fumée, où l'affluence de l'air et la combustion lente du charbon de bois sont réglées à volonté, de manière à n'obtenir que ce qu'exige la conduite d'un pot au feu abandonné à lui-même. De petits fours portatifs à rôtir servent à la préparation de la pâtisserie. D'autres grands fourneaux et des poêles portent aussi le caractère distinctif des travaux de M. Harel : haute intelligence et invention dans les combinaisons, étude profonde des besoins du public et bon marché des produits, surveillance rigoureuse de l'exécution, c'est ainsi qu'il a obtenu pendant longtemps une supériorité incontestée sur tous les appareils du même genre. Nous n'en connaissons pas encore de meilleurs dans ce système.

Citons comme un perfectionnement important, à cause de son utilité, celui apporté par M. Harel aux fourneaux ordinaires qui répandent dans les cuisines presque tous les produits de la combustion. Pour éviter cet inconvénient, M. Harel ferme les portes des cendriers et fait communiquer chaque fourneau par un orifice latéral avec une cheminée en tôle. Par cette disposition, l'air arrive sur le combustible par la partie supérieure du fourneau, et les produits de la combustion s'échappent par l'orifice latéral.

La cuisine salubre de d'Arcet porte le caractère de tous les ouvrages de ce savant : génie d'application des hautes sciences et emploi toujours puissant de la ventilation. Elle a fait pour l'ensemble de la cuisine ce que M. Harel avait fait pour son principal instrument, elle y a réuni tous les perfectionnements possibles dans la combinaison et le choix prévoyant des appareils les plus simples dans une ventilation régulière et énergique qui en assure la salubrité et la propreté. C'est un modèle complet offert à toutes les classes, et qui pour cela rendra de grands services aux architectes. Son principe consiste à réunir sur un seul fourneau une marmite à pot au feu de Harel, des réchauds bien disposés avec cendrier et porte à coulisse, un four à pâtisserie avec un foyer spécial recouvert d'une plaque de fonte chauffée doucement, enfin un foyer ordinaire à bois pour ne rien changer aux habitudes des cuisinières ; le tout est couvert d'une seule hotte, communiquant à une large cheminée, où la chaleur du four à rôtir et du pot au feu, déterminent un appel constant, qui emporte au dehors toute odeur de charbon ou de graisse. La fermeture de la hotte par un des rideaux favorise encore puissamment cet appel.

Qui n'a pas connu et employé le caléfacteur du savant et bon Lemare, à la tête carrée, à l'imagination puis-

FOURNEAUX DE CUISINE.

sante, d'où jaillissait instantanément la conception et l'exécution ; génie laborieux et inépuisable, qui, pendant qu'il créait le caléfacteur, les fours aérothermes, les couvoirs à circulation, ses cafetières et ses chocolatières, et tant d'autres appareils si utiles et si ingénieux, créait en même temps ses grammaires française et latine, monument admirable de méthode, de science et de richesse de faits ; âme droite et naïve que l'on ne pouvait connaître sans l'estimer et l'aimer, esprit toujours vert et original, qui remplissait encore les derniers moments d'une longue vie, avec ses trois pensées chéries, le bonheur et la liberté de sa patrie, la grammaire et les appareils de chauffage.

C'est un phénomène curieux que d'avoir vu deux hommes de même droiture et fermeté d'âme, de même élévation généreuse de pensée, avec un genre d'esprit tout différent, comme Harel et Lemare, consacrer tous deux une partie de leur vie à se créer une industrie productive avec les petits appareils de chauffage.

Le caléfacteur est un instrument complet et le meilleur de tous les appareils portatifs connus. Il est la première et la meilleure application du principe du foyer intérieur que Lemare a étudié et appliqué à tant d'usages.

Une expérience faite par M. Thénard a prouvé que le caléfacteur utilisait 0,80 de la valeur réelle du combustible ; c'est donc sous ce rapport un appareil d'une grande perfection.

Pour la cuisson des viandes et des légumes dans les petits ménages, surtout pour la confection du bouillon, ce principe est d'un emploi très heureux. Ici la combustion doit être lente, et son établissement avec la combustion du charbon de bois, au centre même du liquide à chauffer, permet de réduire la dépense de ce combustible à sa limite inférieure.

Le bouillon ainsi fabriqué est d'un goût excellent et les légumes sont très bien cuits, les ragoûts qui n'exigent pas une chaleur vive s'y font parfaitement, mais les rôtis ne peuvent pas s'y faire ; il paraît du reste fort difficile d'arriver à faire des rôtis sur le feu lent nécessaire au pot au feu ; car les efforts ingénieux de M. Sorel pour unir le rôtissage de la viande à la confection des bouillons au bain-marie, dans des appareils assez analogues aux caléfacteurs, n'ont donné que des rôtis desséchés et mous, parce qu'ils ne sont pas saisis et activement poussés, comme le veut le principe fondamental de cette opération.

Comme M. Harel, Lemare donnait des soins extrêmes à la construction de ses appareils : tous, jusqu'au plus petit, étaient construits sur des mandrins étalonnés.

Si le caléfacteur, malgré ses qualités réelles et pratiques, et bien qu'il ait été répandu partout, n'est pas définitivement adopté par la cuisine bourgeoise comme l'ont été les fourneaux de M. Harel c'est que sans doute il sort des habitudes des cuisinières, habitudes que M. Harel a su toujours avec raison respecter en les pliant lentement à ses perfectionnements ; c'est que réellement il demande dans son emploi et pour son nettoyage des soins minutieux.

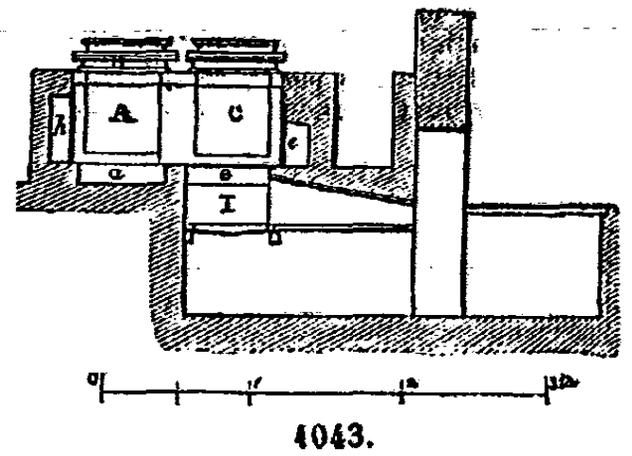
Construits aussi presque toujours en fer-blanc, ces appareils n'ont pas eu une grande durée ; la rouille les a détruits, et on ne les a pas renouvelés.

Appliqué en grand, le principe du caléfacteur présente les défauts des foyers intérieurs, refroidissement trop grand de la combustion et de la fumée et ralentissement du tirage, difficultés de construction et de nettoyage.

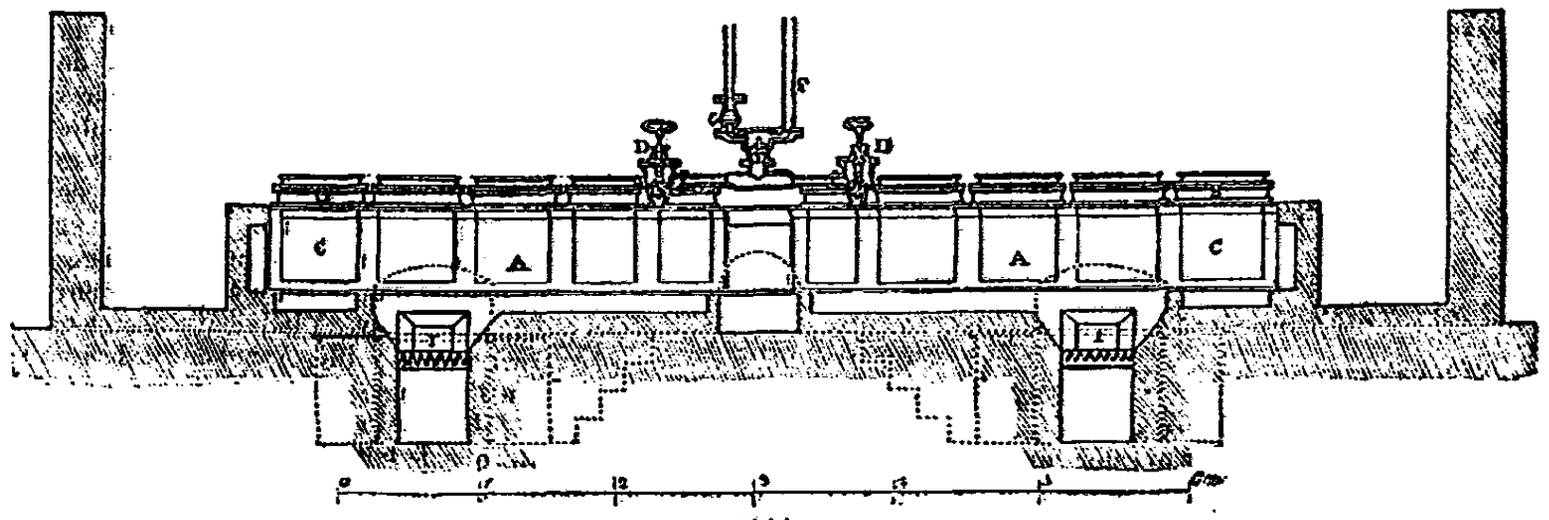
Quelques caléfacteurs à bouillon, de grandes dimensions, ont été employés par la compagnie hollandaise et divers hôpitaux ; mais tout en réduisant la dépense en combustible, ils n'ont pas été au fond de la question, le remplacement du charbon de bois par la houille, ni corrigé complétement le défaut des grandes marmites, celui d'altérer la qualité du bouillon par une ébullition inégale et souvent trop vive.

Le petit appareil régulateur de M. Sorel, dont nous parlerons plus loin à l'article INCUBATION ARTIFICIELLE, permet d'obtenir une plus grande régularité du feu.

Nous terminerons ce que nous avons à dire au sujet



4043.



4044.

des appareils relatifs à l'emploi de la chaleur dans l'économie domestique, en donnant le dessin de l'appareil à bain-marie employé à la Maison de Force de Gand pour la fabrication du bouillon.

C'est surtout dans ce cas que l'emploi du bain-marie est avantageux ; car chacun sait que le bouillon fait à feu nu et dans de grandes marmites, comme on le fait encore dans beaucoup d'hôpitaux, perd toute qualité et toute saveur par une ébullition trop vive et trop inégale. Avec la même quantité de viande et de légumes, des marmites moins grandes, et des appareils combinés pour obtenir une ébullition très lente et très régulière, on obtient du bouillon et du bouilli bien

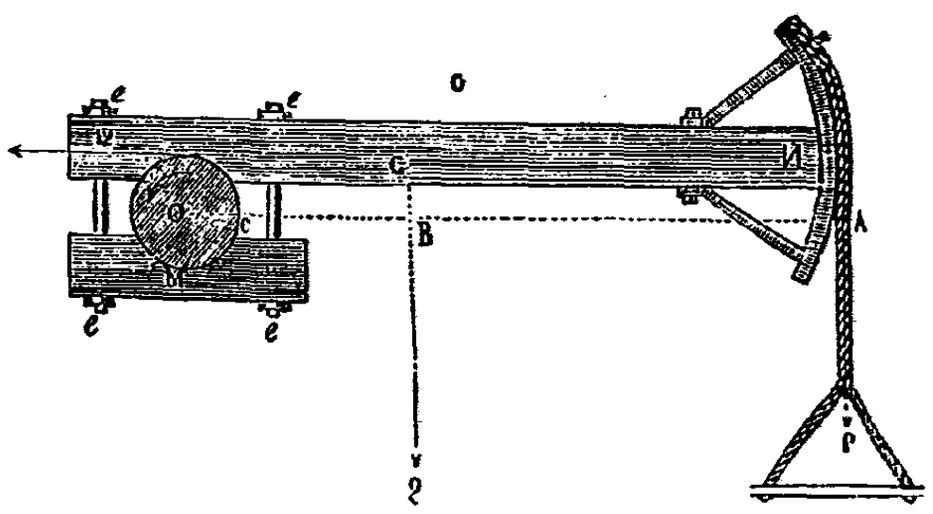
supérieur en qualité, et de plus une importante économie de combustible.

Les figures 1043 et 1044 montrent la disposition de cet appareil tel que nous l'avons monté à la prison de Gand, où il fonctionne avantageusement depuis plusieurs années. On voit sur la première la disposition des moyens d'alimentation convenables pour remplacer la petite quantité d'eau qui se vaporise. La vapeur qui se forme, et qui s'échappe en petite quantité, détermine une faible pression qu'on règle par une soupape, et qui est suffisante pour que la température du bain-marie dépasse assez 100°, pour que l'ébullition ait lieu facilement dans les marmites.

GROUVELLE.

FRAISE. On donne plus particulièrement ce nom à un outil, en forme de cône renversé, qui sert à évaser l'orifice d'un trou dans lequel doit entrer une vis, de manière à ce que la tête de celle-ci ne fasse pas saillie, ou à tout autre outil du même genre; mais on a nouvellement appliqué cette dénomination à une classe d'outils tout à fait différents : ce sont habituellement de petites roues dentées, en acier, destinées à couper les métaux et même le bois, à refendre les roues d'engrenages, etc., ce sont alors de véritables *scies circulaires*.

FREIN. Le frein dynamométrique de M. Prony est un appareil qui permet d'évaluer par une seule opération le travail transmis par un arbre d'une machine. Cette invention a été un pas immense pour les progrès de la mécanique pratique, en permettant d'évaluer directement le travail transmis par les récepteurs, et par suite, de comparer pratiquement les dispositions diverses de ceux-ci, pour s'arrêter aux plus convenables. Il consiste, comme le représente la fig. 1045, dans une barre de bois portant à une extrémité un plateau destiné à recevoir des poids, et à l'autre un collier formé de 2 coussinets serrés sur l'arbre par des boulons. En chargeant le plateau, et d'un autre côté en serrant graduellement les boulons, on arrive à l'équilibre dynamique, c'est-à-dire à un point tel que les poids faisant équilibre au frottement sur l'axe, l'arbre ayant à ce moment la vitesse du régime, faisant n tours par seconde, le travail du frottement sera égal au travail transmis à l'arbre par le moteur. (En serrant les boulons on parvient toujours à augmenter assez le frottement pour produire cet effet.) Or le frottement est égal au poids P placé sur le plateau multiplié par le bras de levier p, et le chemin parcouru par tour de l'axe r, $2\pi rn$, donc le travail transmis par l'arbre sera égal à



1045.

$P p \times 2\pi rn$, résultat indépendant du frottement, et dont toutes les quantités sont fournies par l'expérience.

En pratique, l'emploi du frein n'est pas sans difficulté. Les oscillations perpétuelles auxquelles il donne lieu rendent l'observation du moment d'équilibre un peu difficile. On y parvient cependant assez bien avec quelque habitude en ayant soin :

1° De limiter, par une corde ou des arrêts fixes, le mouvement de l'extrémité du bras de levier;

2° De faire varier le frottement, tant en serrant les boulons, qu'en versant soit de l'eau, soit du sable entre les surfaces flottantes, afin d'atteindre la position d'équilibre;

Et 3° de faire varier les poids, ou, ce qui est plus commode, la distance du poids à l'arbre, comme dans une romaine.

FROID ARTIFICIEL (V. *Compl.* PRODUCTION DU).

FROMAGE (*angl.* cheese, *all.* kæse). La substance caséeuse du lait, le *caséum* ou fromage, considérée sous le point de vue chimique, est un principe immédiat dont les propriétés les plus caractéristiques sont d'être d'un blanc mat dans son état frais, de devenir demi-transparent et légèrement jaunâtre, par la dessiccation, de n'avoir ni odeur ni saveur bien tranchée, de se dissoudre dans les alcalis et d'en être précipité par les acides. Nous ne nous en occuperons ici que sous le point de vue industriel.

Les fromages dont l'usage est le plus répandu sont ceux de Gruyère, de Parmesan, de Hollande, de Roquefort et de Brie.

La fabrication du fromage de Gruyère se fait, d'après M. Bonvié, de la manière suivante : on trait les vaches vers les 3 ou 4 heures du soir; on porte le lait dans des baquets en bois placés, les uns à côté des autres, dans la laiterie, sur des tablettes dont elle est garnie dans tout son pourtour. On a soin, en remplissant les baquets, de verser doucement le lait, afin de produire le moins de mousse possible, et on enlève celle-ci pendant que le lait est encore chaud, parce qu'on a remarqué qu'elle nuisait à l'ascension de la crème. Le lendemain, on trait de nouveau les vaches vers les 6 heures du matin, et le lait qui en résulte est immédiatement filtré à travers un entonnoir garni d'un bouchon de paille vers son orifice inférieur, et tombe de là dans une chaudière. Lorsque tout le lait a été réuni dans ce vase, on va à la laiterie chercher celui de la veille. Avant de l'enlever, on l'examine pour voir s'il est gras, et, dans ce cas, on l'écrème. Si l'on trouve, au contraire, que le lait n'est point assez gras, on laisse une partie des baquets sans les écrémer; la quantité ou l'épaisseur de la crème montée à la surface indique la qualité du lait.

Le mélange étant fini et la chaudière remplie, on la place sur un bon feu clair, et on laisse chauffer jusqu'à ce que tout le liquide ait atteint un degré de chaleur égal à celui du lait lorsqu'il sort de la mamelle, c'est-à-dire 25° environ; on retire alors la chaudière de dessus le feu, et l'on met toute la masse *en présure* pour le caillage.

La présure dont se sert M. Bonvié se prépare comme il suit : on prend une certaine quantité de petit lait qui reste après que la matière caséeuse a été retirée de la chaudière, on y ajoute un peu d'eau, et on le fait bouillir; d'autre part, on a du petit lait aigre, conservé à cet effet dans un petit tonneau où il fermente; on en prend

une quantité égale à celle de l'eau ajoutée précédemment, et on laisse sur le feu ; le petit lait se sépare alors d'une certaine quantité de matière caséeuse qu'il avait conservée et qu'on enlève à l'écumoir ; on soutient encore le feu quelque temps, puis on ajoute une caillette de veau, dans laquelle on a introduit une petite poignée de sel, et on laisse refroidir : cette liqueur forme la présure ; on en prépare environ 6 litres à la fois et on la renouvelle au besoin.

Dans une chaudière remplie de la quantité de lait nécessaire pour faire un fromage de 30 kilogr., on délaie 2 litres de présure préparée comme il vient d'être dit, on mêle le tout bien exactement, et on le laisse ainsi se prendre en masse, ce qui dure de 1/2 à 3/4 d'heure, selon la température du lieu où l'on opère. Quelquefois on ne chauffe pas le lait avant de le faire cailler, mais alors il faut employer une présure plus forte. Dans tous les cas, lorsqu'on juge que le lait est suffisamment caillé, on le coupe en plusieurs sens, à l'aide d'une grande lame de bois, et de manière à le réduire en grumeaux de la grosseur d'une fève. Lorsqu'ils sont à peu près tous parvenus au même volume, on commence à travailler la masse entière en la remuant constamment avec un bâton armé de petites broches qui le traversent de distance en distance : ce travail dure environ 10 minutes. On remet ensuite la chaudière sur un feu très doux, que l'on soutient jusqu'à ce que toute la masse ait acquis une température d'environ 40°, en continuant constamment à remuer avec le bâton agitateur. On juge que la pâte est assez cuite, lorsque les grumeaux qui nagent dans le petit lait ont pris une consistance un peu ferme, qu'ils font ressort sous les doigts, et qu'ils ont acquis un coup d'œil jaunâtre.

Quand on a travaillé ainsi la masse pendant le temps nécessaire et à la température convenable, on retire la chaudière de dessus le feu, sans pour cela cesser d'agiter, ce qui dure encore environ 3/4 d'heure, jusqu'à ce que la masse se soit agglomérée et ait acquis une sorte d'élasticité, ce que l'on reconnaît en la pressant entre les doigts ; l'ouvrier passe alors dans la chaudière, et dans la masse même, une étamine en toile claire, avec laquelle il l'enlève, et la porte dans un moule placé sur le plateau d'une presse. Quand il juge que le fromage est entièrement égoutté, il serre la presse, et la laisse en cet état pendant 24 heures. Après ce temps, le fromage est confectionné, et a acquis la forme qu'il doit conserver ; on le retire, et on le porte à la cave sur des tablettes qui y sont disposées à cet effet ; puis on procède à la salaison.

Le fromage étant placé sur les tablettes, on le saupoudre de sel pulvérisé, au moyen d'un tamis, sur chacune de ses faces. On réitère cette opération tous les jours pendant quatre à cinq mois ; et chaque fois, avant de répandre du nouveau sel, on a soin d'essuyer celui de la veille et de l'enlever, ainsi que de nettoyer les tablettes sur lesquelles reposent les fromages.

Dans la plupart des fromageries, on retire encore du petit lait une certaine quantité de matière caséeuse, en le soumettant à une sorte de clarification, qui consiste à le faire bouillir, à y ajouter alors une faible quantité de petit lait aigri, puis à calmer l'ébullition, en versant dans la chaudière, et à diverses reprises, du petit lait froid. La matière caséeuse restante se sépare, et vient nager à la surface, d'où on l'enlève avec une écumoire. Elle sert d'aliment aux bestiaux, ou à la fabrication de fromages de qualité inférieure consommés dans le pays.

Le *fromage de Parmesan* se prépare identiquement de la même manière que celui de Gruyère ; seulement, par suite d'un degré de cuisson plus avancé, la pâte du fromage de Parmesan est sèche et grenue, tandis que celle du Gruyère est unie, compacte et serrée.

Le *fromage de Hollande* se prépare d'une manière essentiellement différente. On fait cailler le lait à froid, et lorsqu'il est encore pourvu de toute sa crème. Lorsqu'on a obtenu le caillé par le procédé ordinaire, et qu'on l'a bien malaxé et réuni en une seule masse, on le met dans une espèce de passoire, où on le comprime fortement ; il s'en égoutte encore beaucoup de petit lait et une certaine quantité de crème, qui, malgré tout le soin qu'on a pu prendre de bien mélanger la pâte, n'y est pas uniformément répandue, et y est distribuée par veines. On continue toujours à pétrir le caillé ; et, lorsqu'on le juge suffisamment égoutté, on le met dans des cylindres creux, dont le fond est concave et percé de quatre trous. Aussitôt que cette espèce de moule en est remplie, on place sur le caillé bien tassé un couvercle d'un diamètre un peu plus petit que le cylindre, afin qu'il puisse y entrer, et on pose tout cet appareil sur une table munie d'une rigole tout autour ; on met sur le couvercle du moule une planche portée sur trois montants et chargée de pierres. Lorsque le pain a acquis une certaine consistance, on le tire de la forme, on le retourne, et on lui fait subir une nouvelle pression. Enfin, lorsque la masse est devenue plus homogène, et qu'il ne s'en écoule plus ni petit lait ni crème, on retire le pain, et on l'enveloppe dans une toile claire, qu'on enroule tout autour de la surface cylindrique. Le pain ainsi enveloppé est porté sous une forte presse, où on le comprime graduellement jusqu'à ce que la pâte ne présente plus d'interstices et soit bien homogène, ce qui exige environ 8 à 10 heures d'une pression soutenue. Après ce temps, on retire le fromage de la toile, et on l'immerge dans une eau légèrement salée ; quelques heures après, on le retire de l'eau salée pour le déposer dans une forme plus petite que la première, et percée seulement d'un trou au milieu d'un fond concave. On recouvre la surface supérieure d'une couche de sel blanc bien pur, qui se dissout peu à peu par l'humidité du fromage et pénètre en partie dans son intérieur.

Lorsqu'on juge que la salaison est achevée, on met de nouveau le fromage tremper dans l'eau, non seulement pour enlever l'excès de sel qui est à la surface, mais encore une croûte blanchâtre et butyreuse qui s'y est formée. Après 5 à 6 heures d'immersion, on le retire de l'eau ; on le lave avec du petit lait ; et en le râclant, on parvient à le dépouiller entièrement de la croûte qui le recouvre. Enfin, lorsque les fromages sont ainsi nettoyés, on les dépose dans un magasin frais, sur des tablettes bien propres, où on a soin de les retourner souvent ; là, ils acquièrent une couleur d'un beau jaune, et c'est alors qu'on les livre au commerce.

D'après Chaptal, le *fromage de Roquefort* se fabrique avec du lait de chèvre, et surtout avec du lait de brebis, de la manière suivante : on réunit le lait des deux traites du matin et du soir, et on y délaie, comme à l'ordinaire, la quantité de présure voulue. La coagulation s'opère en moins de 2 heures ; et aussitôt après, on brasse fortement le caillé, on le pétrit, et on l'exprime avec force ; il en résulte une pâte qu'on laisse reposer ; puis, on incline le vase pour faire écouler le petit lait qui surnage. On place ensuite la masse de caillé, qui s'est reprise de nouveau, dans une éclisse perforée à son fond ; on l'y pétrit une seconde fois, et on la recouvre d'une planche que l'on surcharge de poids ; on retourne de temps en temps les fromages et dans différents sens, afin que la masse s'égoutte aussi également que possible. Lorsque les fromages paraissent avoir rendu tout leur petit lait, ce qui a ordinairement lieu au bout de 12 heures de pression, on les porte au séchoir après en avoir essuyé la surface avec un linge ; là, on les place sur des tablettes les uns à côté des autres, on les remue et on les retourne de temps en temps, et on les essuie soigneusement pour

qu'ils se dessèchent sans s'échauffer. Assez ordinairement on entoure les fromages d'une grosse toile, afin d'éviter qu'ils puissent se gercer en séchant. Cette opération dure rarement plus de quinze jours dans la belle saison.

Aussitôt que les fromages sont suffisamment desséchés, on les porte dans des caves d'une température très fraîche et constante, creusées dans le roc, où, après les avoir placés sur des tablettes, on commence par les imprégner sur une de leurs surfaces de sel broyé; vingt quatre heures après, on les retourne et on les sale sur l'autre face. Au bout de deux jours on les frotte tout autour avec un morceau de grosse toile, puis le lendemain on les râcle fortement au couteau. La salaison achevée, on empile les fromages au nombre de dix à douze, et on les maintient ainsi pendant quinze jours environ. Dans cette période, le fromage acquiert de la fermeté et de la consistance, et il commence à se couvrir d'une espèce de moisissure blanche fort épaisse et d'une sorte d'efflorescence granulaire. On enlève de nouveau toutes ces productions à l'aide d'un couteau, et on replace les fromages sur les tablettes. On réitère ainsi cette même manœuvre tous les quinze jours, et même plus souvent, pendant l'espace de deux mois. La croûte qui se forme dans chaque intervalle est successivement blanche, verdâtre et rougeâtre; c'est à cette dernière nuance qu'on reconnaît que les fromages ont suffisamment séjourné dans les caves, et qu'ils sont en état d'être livrés aux consommateurs.

Le *fromage de Brie*, dont la consommation ne s'étend qu'à une assez faible distance des lieux de fabrication, par cela seul qu'il ne peut se conserver, n'en est pas moins d'une excellente qualité, lorsqu'il a été bien préparé et qu'il est pris au point convenable de sa fermentation. Sa fabrication n'offre d'ailleurs rien de particulier, et nous l'indiquerons en deux mots : le lait entier, une fois caillé par la méthode ordinaire, est mis à égoutter dans un lieu frais sur une claie d'osier. On le laisse ainsi égoutter plusieurs jours, jusqu'à ce qu'il ne s'en écoule plus de petit lait. Au bout de ce temps, on le sale et on l'expose au grand air, alors que la température est de 15 à 20°. Tous les deux jours au plus tard on le retourne, et à chaque fois on sale de nouveau la partie supérieure. Lorsqu'on a atteint le degré que l'habitude a fait reconnaître pour le plus convenable, on le porte à la cave et on le place sur un lit de foin; enfin, on le retourne de temps à autre, jusqu'à ce qu'il s'amollisse et devienne gras.

Cette espèce de fromage doit être consommée aussitôt qu'il commence à s'affaisser et à couler comme de la crème, parce qu'à ce point, où il est exquis, il est très voisin de l'état de putréfaction.

FROMENT (*angl.* wheat, *all.* weitzen): Le froment tient le premier rang parmi les céréales. Son grain est celui qui renferme le plus de farine, la plus agréable, la plus nourrissante et la plus propre à la panification (voyez FARINE et PAIN). On peut ranger toutes les variétés de froments en deux classes : les froments à *grains tendres* et à chaume creux, qui sont les plus anciens et les plus communs, et les froments à *grains durs* et à chaume solide, qui ont été importés d'Afrique, et dont la culture se répand de jour en jour, surtout dans nos départements méridionaux.

FROTTEMENT (*angl.* friction, *all.* reibung). Voyez RÉSISTANCES PASSIVES.

FULMINATES (*angl.* fulminates, *all.* knallsaüre salze). Parmi les fulminates, sels formés par l'acide fulminique, les principaux sont les deux suivants :

FULMINATE DE MERCURE (*angl.* fulminate of mercury, *all.* knallquecksilber). Ce sel, qui se compose de 0,24 d'acide fulminique et de 0,76 d'oxyde de mercure, et qui est aussi connu sous le nom de *poudre fulminante de Howard*, est actuellement exclusivement employé pour la fabrication des capsules et amorces fulminantes.

Le procédé de préparation le plus convenable, tant sous le rapport de la qualité du produit que sous celui de l'économie industrielle et de la sûreté de l'opérateur, est le suivant :

On dissout à une douce chaleur 100 parties en poids de mercure dans 1000 parties d'acide nitrique ayant une densité de 1,40, et on verse cette dissolution, préalablement portée à 55° C, dans 830 p. d'alcool ayant une densité de 0,83. Si l'on mesure le mercure, l'acide nitrique et l'alcool au volume, ce qui est plus commode, il faudra, pour 1 partie du premier, prendre 7 p. 1/2 du second et 10 p. du dernier de ces corps.

La dissolution du mercure dans l'acide nitrique se fait dans une cornue en verre tubulée, dont le col plonge dans un ballon à deux tubulures, placé dans un vase où arrive constamment de l'eau fraîche, et dans lequel se condensent une grande partie des vapeurs acides qui se dégagent de la cornue; la liqueur ainsi condensée est plus tard reversée dans la cornue. Quand tout le mercure est dissous, et que la dissolution a atteint la température de 55°, on la verse lentement à l'aide d'un entonnoir en verre dans l'alcool renfermé dans un matras en verre, dont le volume soit au moins six fois plus considérable que celui de la liqueur qu'il doit contenir. Au bout de quelques minutes, il commence à se former, sur le fond du matras, un léger dégagement de gaz, dont la quantité augmente peu à peu, jusqu'à produire un bouillonnement très vif et à donner au liquide une apparence mousseuse. Il se dégage alors, par le col du matras, une vapeur épaisse et blanchâtre qui est extrêmement inflammable, et qui, par conséquent, doit être conduite au dehors et rejetée dans l'atmosphère, en ayant bien soin qu'elle ne rencontre aucun corps enflammé. Cette vapeur est en grande partie composée d'éther nitreux, qui entraîne avec lui, probablement d'une manière mécanique, une certaine quantité de mercure. Les essais faits pour condenser ce dernier, en faisant passer cette vapeur à travers une dissolution de sous-carbonate de soude, rendant la formation du fulminate beaucoup plus difficile et altérant sa qualité, par suite du léger excès de pression qui en résulte, on a été obligé d'y renoncer.

Quand le bouillonnement et le dégagement des vapeurs blanchâtres ont cessé, on jette le contenu du matras sur un filtre en double papier sans colle, et on lave le précipité de fulminate à l'eau pure et froide, jusqu'à ce que les eaux de lavage n'exercent plus aucune réaction acide sur le papier du tournesol. On enlève alors le filtre de l'entonnoir et on l'étend sur une plaque de cuivre laminé ou de faïence chauffée en dessous à 100° par un courant de vapeur. On partage ensuite le précipité desséché en portions de 5 à 6 grammes, que l'on renferme chacune dans un papier, et que l'on introduit après dans une caisse ou un grand bocal en verre fermé avec un bouchon.

Lorsque le fulminate a été bien préparé, il se présente sous la forme de petits cristaux brillants d'un gris-brunâtre, qui paraissent transparents lorsqu'on les place sur un verre de montre et qu'on les humecte de quelques gouttes d'eau; ils se dissolvent sans résidu dans 130 parties d'eau bouillante, et se précipitent de nouveau à l'état cristallin par le refroidissement.

En suivant le procédé que nous venons de décrire, et qui est celui qui a été adopté en Angleterre à la suite des recherches du docteur Ure, faites en 1831 au nom de la commission d'enquête, instituée lors du remplacement, dans l'armée anglaise, des fusils à pierre pour les fusils à piston, et qui est celui qui donne la plus forte proportion de fulminate, on obtient de 100 parties en poids de mercure, 130 p. de fulminate; or, comme 100 p. de mercure correspondent à 142 de fulminate, la

porte en mercure est de 8 1/2 p. 100 du mercure employé.

Le fulminate de mercure se décompose avec flamme et explosion, soit par le choc, soit lorsqu'on le chauffe à la température de 188°; il se dégage de l'azote, de l'acide carbonique et des vapeurs d'eau et de mercure. Il est nécessaire pour que le choc donne lieu à une explosion, que les corps choqués possèdent une certaine dureté, ainsi : le choc du bois contre du bois, ou même du fer contre du bois, ne détermine pas l'explosion. Elle n'arrive que très rarement entre le fer et le plomb; plus facilement, quoique avec difficulté, entre le verre et le verre, le marbre et le marbre. Elle se produit toujours entre le fer et le fer, un peu moins facilement entre le fer et le bronze, le fer et le cuivre; par le frottement, on la détermine aisément entre deux plaques de bois, un peu moins facilement entre deux plaques de marbre ou de fer, ou entre le fer et le marbre ou le bois. Les cristaux les plus gros sont ceux qui détonnent le plus facilement. Lorsqu'on humecte le fulminate de 5 p. 100 de son poids d'eau, la partie la plus violemment choquée détonne seule; l'inflammation ne se propage pas. Lorsqu'on l'humecte avec 30 p. 100 d'eau, on peut sans danger le broyer sur une table de marbre avec une molette en bois. Lorsqu'on le recouvre d'une traînée de poudre ordinaire, celle-ci est projetée par l'explosion sans s'enflammer; mais si la poudre est renfermée dans une cartouche, elle s'enflamme à coup sûr. Aussi on pourrait n'employer que du fulminate pur pour la confection des capsules fulminantes, mais il vaut mieux le mélanger, dans le but d'assurer complétement l'inflammation de la charge, avec une petite quantité de poudre ordinaire ou de toute autre matière combustible analogue, qui s'enflamme infailliblement par son mélange intime avec le fulminate, et qui, projetée violemment entre les grains de poudre qui composent la charge, en détermine à son tour l'inflammation. L'expérience, du reste, a montré que dans les nouveaux fusils à percussion, on obtenait la même portée que dans les anciens fusils à pierre, en réduisant la charge de poudre aux 85 centièmes de ce qu'elle était primitivement.

En France on calcule que, en moyenne, 1^k de mercure produit 1^k 1/4 de fulminate, qui suffit pour préparer 40,000 capsules. A cet effet on broie le fulminate avec 30 p. 100 de son poids d'eau, sur une table en marbre, avec une molette en bois, et on y incorpore 6/10^mes de son poids de poudre ordinaire. On introduit ensuite cette pâte dans les capsules. Pour prévenir l'action de l'humidité, on recouvre la pâte ou on la broie avec de la teinture de benjoin, ou mieux, suivant les essais faits par la commission d'enquête que nous avons déjà citée, avec une dissolution de mastic dans de l'huile essentielle de térébenthine.

Les capsules se font en cuivre mince embouti à la mécanique; pour empêcher le crachement, on refend ordinairement les bords en quatre jusqu'à la moitié de leur hauteur, et on pratique dans le piston une échancrure dirigée en avant du côté du canon du fusil.

L'expérience a montré que lorsque, par un choc ou au moyen d'une tige de fer rouge, on fait détonner une ou plusieurs capsules au milieu d'une caisse qui en est remplie, les capsules touchées détonnent seules et l'inflammation ne se propage pas, à moins que l'on n'ait jeté de la poudre à tirer entre les capsules.

FULMINATE D'ARGENT (*angl.* fulminating silver, *all.* knallsilber). Le fulminate d'argent se prépare absolument de la même manière que le fulminate de mercure, à cette différence près, que l'on remplace le mercure par de l'argent fin, et que l'on laisse refroidir la dissolution d'argent dans l'acide nitrique avant de la verser dans l'alcool. Une autre méthode très simple de le préparer, est la suivante : On prend du nitrate d'argent réduit en poudre fine que l'on introduit dans un matras avec de l'alcool concentré, on agite, et on y ajoute une quantité d'acide nitrique fumant égale à celle de l'alcool. La liqueur se met à bouillonner, le nitrate d'argent se dissout d'abord, puis il se décompose, et il se sépare un précipité floconneux formé d'une agglomération de petites aiguilles de fulminate d'argent. Lorsqu'il ne se forme plus de précipité, on étend d'eau, on filtre, on lave jusqu'à ce que les eaux de lavage n'aient plus de réaction acide, et on dessèche le précipité avec précaution.

Le fulminate d'argent est encore beaucoup plus explosif que celui de mercure, et n'est pas par suite employé dans la confection des capsules et amorces fulminantes; sa préparation exige les plus grandes précautions, et on ne doit opérer à la fois que sur des quantités extrêmement minimes; elle a donné lieu à beaucoup d'accidents; le plus récent est celui du chimiste anglais *Hennet*, qui, en en préparant 1/2 kilogr. à la fois, y trouva la mort. L'explosion de cette masse le mit en pièces et ses membres séparés furent projetés à des distances considérables les uns des autres.

On n'emploie guère le fulminate d'argent que pour la préparation des pois fulminants et autres objets analogues; pour préparer les pois fulminants, on prend de petites perles en verre creux de la grosseur d'un petit pois, on y introduit un peu de fulminate d'argent humide, et on enveloppe la perle d'un morceau de papier brouillard, puis on laisse sécher; lorsqu'on jette ce pois par terre avec force ou qu'on le brise de tout autre manière le frottement des esquilles de verre sur le fulminate en détermine l'explosion.

ACIDE FULMINIQUE. Cet acide isomère avec l'acide cyanique n'a pu encore être obtenu à l'état libre; on ne connaît que ses combinaisons avec les bases; à cet état, il est représenté par la formule $C^4\,Az^4\,O^2$, et ses sels par la formule $C^4\,Az^4\,O^2 + 2\,MO$; les fulminates renferment, tantôt 2 atomes de base fixe, et ils sont alors neutres au papier, tantôt 1 atome de base fixe et 1 atome d'eau; dans ce dernier cas, ils possèdent une réaction acide.

FUMÉE (*moyens de prévenir la*). On sait que la plupart des foyers alimentés à la houille rejettent dans l'atmosphère une proportion considérable de charbon très divisé sous la forme d'une fumée plus ou moins épaisse, dont les inconvénients sont bien connus, et qui donnent lieu à de vives oppositions de la part des voisins toutes les fois qu'il s'agit d'établir, dans l'intérieur des villes, des chaudières à vapeur. Pour éviter autant que possible la dépréciation de la propriété, l'administration supérieure s'était contentée jusqu'ici d'obliger les fabricants à construire des cheminées d'une hauteur considérable et supérieure à celle des constructions environnantes, afin d'entraîner au loin la fumée et d'en diminuer les inconvénients en la répartissant ainsi sur une plus grande surface. Ce moyen devenant de plus en plus insuffisant à mesure que le nombre des établissements à vapeur établis dans l'intérieur des villes augmentait dans une proportion rapide, l'administration a dû se préoccuper de l'intérêt des particuliers, tout en continuant à protéger l'industrie, et par conséquent chercher si, par des moyens simples, des appareils peu onéreux et non brevetés, il était possible de prévenir la production de la fumée dans les foyers des chaudières à vapeur, sans augmenter la consommation en combustible ou la rapidité avec laquelle les chaudières se brûlent; à cet effet, une commission fut nommée l'année dernière, et son travail est assez avancé pour qu'on puisse déjà affirmer qu'elle a atteint le but qu'elle s'était proposé. Le rapport qu'elle a adressé à ce sujet au sous-secrétaire des travaux publics, n'ayant pas encore été publié, et devant, sous peu, après l'achèvement des travaux de la commission, servir de base à la rédaction d'un projet d'ordonnance interdisant à l'avenir aux propriétaires de

chaudières à vapeur de produire une fumée qui puisse être incommode ou nuisible au voisinage, et d'une instruction ministérielle indiquant d'une manière numérique et précise les modifications qu'il convient d'apporter aux appareils existant pour arriver à ce résultat (il va sans dire que les industriels seront libres d'employer tel autre procédé qui leur conviendra, pourvu qu'ils arrivent au même but), nous regrettons de ne pouvoir en donner ici un extrait, et nous nous contenterons d'indiquer d'une manière générale quels sont les principaux procédés qui ont été essayés, soit en France, soit en Angleterre, pour prévenir les inconvénients qui résultent du déversement de la fumée dans l'atmosphère. Ces procédés se distinguent en deux classes tout à fait distinctes : dans la première, on condense la fumée tenue en suspension dans les gaz qui s'échappent par la cheminée ; dans la seconde, on brûle la fumée dans l'intérieur même du fourneau.

Plusieurs personnes, nous citerons par ordre chronologique MM. Ward, Vivian, etc., se sont occupées des moyens de condenser la fumée au moyen d'eau lancée sous forme de pluie dans les canaux où circulent les produits de la combustion avant de se rendre à la cheminée ; mais elles faisaient indistinctement arriver de l'eau dans toute l'étendue de ces canaux, ce qui diminuait considérablement le tirage, qu'il fallait rétablir au moyen d'immenses cheminées d'appel d'une construction très coûteuse. M. Hedley, maître de forges à Newcastle-sur-Tyne (Angleterre), a résolu cette difficulté d'une manière fort ingénieuse qui consiste à faire circuler la fumée dans une conduite repliée sur elle-même de manière à former une série de petites cheminées verticales accolées dans lesquelles les gaz circulent successivement de haut en bas et de bas en haut. On fait tomber de l'eau divisée en pluie, par une plaque percée d'une multitude de petits trous, dans les parties de la conduite où la fumée circule en descendant. La fumée est obligée de traverser une couche mince d'eau pour passer d'une partie de la conduite où elle a circulé en descendant, à la partie suivante où elle circule en montant. De cette manière, l'eau et la fumée circulant toujours dans le même sens, il en résulte, pour le fourneau, une augmentation considérable du tirage, qui devient très actif, sans qu'il soit nécessaire d'avoir des cheminées de plus de 3 à 4 mètres de hauteur. L'eau dissout les sels ammoniacaux et retient le noir de fumée, qui surnage, qui peut être recueilli et qui est de très bonne qualité. Ce procédé a été appliqué avec le plus grand succès à une chaudière de machine à vapeur fixe établie sur la ligne du chemin de fer allant de Sunderland à Durham. Ce procédé n'est pas seulement restreint aux foyers alimentés avec la houille, mais il s'applique encore plus particulièrement à la condensation de fumées bien autrement nuisibles que celles que produisent les combustibles minéraux ou végétaux, telles que celles des fourneaux de grillage dans les usines métallurgiques, celles des fours à réverbère pour la fabrication du sulfate de soude qui vomissent dans l'atmosphère des torrents d'acide hydrochlorique gazeux, et autres du même genre, dont les effets se font souvent sentir à des distances considérables. C'est ainsi qu'il commence à se répandre en Angleterre dans les usines à cuivre et dans les fabriques de soude. On peut aussi utiliser ce procédé pour la condensation des fumées métalliques ou cadmies qui donnent lieu à une perte très notable dans certaines industries, puisque pour le plomb, par exemple, les chambres de condensation ordinaires retiennent au plus 6 à 8 p. 100 du plomb volatilisé ou entraîné par le courant gazeux ; aussi s'est-il rapidement introduit dans une grande partie des usines à plomb et à zinc de l'Angleterre.

Avant de parler de la seconde classe de procédés relatifs à la destruction de la fumée, il est nécessaire d'indiquer la manière dont celle-ci se forme. Lorsqu'on vient de charger du combustible frais sur la grille, celle-ci se trouve presque complétement obstruée, et, comme l'ont montré des expériences directes et multipliées faites par la commission centrale des machines à vapeur avec l'anémomètre de M. Combes (voyez VENTILATION), ne laisse passer qu'une quantité d'air presque insignifiante ; le combustible éprouve alors une véritable distillation en vase clos et très brusque ; il se forme des produits pyrogénés riches en carbone et en hydrogène qui, en passant sur la sole où la température est assez élevée, se décomposent en donnant lieu à de la vapeur d'eau, à un peu d'oxyde de carbone et d'hydrogène libre, à de l'acide carbonique venant en partie de la faible quantité d'air qui est passée à travers les barreaux de la grille, et à un dépôt de charbon en particules très ténues qui sont entraînées par le courant gazeux et qui, suivant leur plus ou moins d'abondance, constituent la fumée noire opaque et la fumée légère translucide et jaunâtre. A mesure que l'on s'éloigne du moment de la charge, et que par suite la distillation avance, la quantité d'oxygène et d'hydrogène diminue dans le combustible ainsi que la fumée ; d'un autre côté, comme la grille se dégage, il passe de plus en plus d'air entre les barreaux, et cet air, en déterminant la combustion d'une partie de plus en plus considérable des produits de la distillation, tend aussi à diminuer la proportion de fumée. Enfin, il arrive un point où, par ces deux causes réunies, on n'aperçoit plus de fumée au sommet de la cheminée, et cet état de choses durera jusqu'à la fin de la charge : nous ne parlons ici que des fourneaux desservis chacun par une cheminée spéciale. Pour donner une idée de ce qui se passe pendant la durée d'une charge, nous rappellerons que, d'après les expériences précitées de la commission centrale des machines à vapeur, la quantité d'air qui passe à travers les barreaux de la grille d'un foyer alimenté avec de la houille de Mons, varie dans le rapport de 1 à 4, depuis le commencement jusqu'à la fin d'une charge, 2 représentant la quantité moyenne d'air qui serait nécessaire pour opérer la combustion complète du charbon dépensé, en supposant cette dépense proportionnelle au temps. On voit donc que la quantité d'air qui traverse la grille aussitôt après une charge est tout à fait insuffisante pour opérer la combustion complète des produits de la distillation.

Tous les procédés employés pour rendre cette combustion complète peuvent se ranger en trois classes :

1° Ceux dans lesquels, sans rien changer d'ailleurs au fourneau, on brûle la fumée par un ou plusieurs jets d'air arrivant, par des ouvertures ménagées en diverses parties du fourneau, par l'appel de la cheminée ;

2° Ceux dans lesquels on fait usage de courants d'air forcé ou de jets de vapeur ;

3° Ceux où l'on fait usage de plusieurs grilles, ou d'une seule grille disposée de manière que le charbon distille avant de brûler.

Les appareils de la première classe sont les plus simples, les moins coûteux, et peuvent donner des résultats très satisfaisants.

Nous nous contenterons de dire que la commission s'est assurée que dans les chaudières cylindriques à bouilleurs et foyer extérieur, telles qu'on les emploie ordinairement en France, il suffirait de faire arriver de l'air sur la sole par deux ouvertures placées à une faible distance au-delà de l'autel et au-dessus du niveau de ce dernier, et présentant une section telle qu'elle fût 1/6 à 1/4, de celle du vide entre les barreaux de la grille s'ils restaient constamment ouverts, et 1/2 à 1/3 si on les fermait au tiers ou à la moitié de l'intervalle qui sépare deux charges pour qu'il ne se produisît plus du tout de fumée noire et seulement, avec du charbon très fumeux, une faible quantité de fumée légère tout à fait

sans inconvénients pourvu que la cheminée dominât les maisons voisines, sans que la consommation en combustible fût augmentée; d'après la théorie, on devrait même réaliser une certaine économie sur le combustible, ce qui est arrivé dans certains cas, mais ce qui n'est pas ici le fait principal. Avec du charbon plus sec, on pourrait sans inconvénient diminuer les dimensions des ouvreaux : ceux ci étaient pratiqués dans le massif même en briques du fourneau, et n'ont exigé qu'une journée de travail du maçon.

On peut également disséminer l'air par des plaques métalliques percées de trous, mais cela n'est pas nécessaire.

Nous ne parlerons pas ici de l'emploi d'un courant d'air forcé pour brûler la fumée, et nous renverrons à l'article COMBUSTIBLES, où M. Ébelmen a traité ce sujet d'une manière aussi claire que précise et savante. Nous rappellerons seulement que, dans ce cas, il faut employer un générateur à courant d'air forcé et brûler les gaz combustibles résultants par un courant d'air également forcé; ce procédé est tout à fait fumivore et on peut employer des cheminées de 2 à 3m seulement de hauteur, mais il exige une force motrice et ne peut, par suite, être appliqué dans beaucoup de cas; il faut d'ailleurs avoir soin de préserver les bouilleurs ou les chaudières, sur une partie de leur surface, au moyen d'un revêtement en briques réfractaires, afin de les préserver de la destruction rapide qui résulterait du contact des gaz et de l'air non encore brûlés à une température extrêmement élevée. On peut aussi, d'après M. Ébelmen, employer un générateur à combustion renversée et à grille inférieure, ce qui éviterait l'emploi d'une machine soufflante, tout en prévenant la production de la fumée; ces générateurs seraient analogues aux alandiers des fours à faïence et à porcelaine.

L'emploi de la vapeur d'eau indiqué d'abord par M. Fyfe, d'Édimbourg, pour brûler les houilles sèches et les anthracites, a été depuis appliqué avec succès sur les mines de houille du nord de la France; dans ce cas, on fait arriver au moyen d'une buse en tôle, dans le cendrier, qui est hermétiquement fermé, un filet de vapeur pris à la chaudière; il en résulte un courant d'*air très actif affluant par la buse*, et qui détermine une combustion très vive. Probablement aussi, une partie de la vapeur d'eau, en passant à travers le charbon incandescent, se décompose, et donne alors naissance à des gaz combustibles qui, en brûlant ensuite, produisent de la flamme : toujours est-il que celle-ci s'allonge considérablement et qu'il en résulte une économie très notable sur le combustible.

Ce système, tel que nous venons de le décrire, n'a aucun rapport avec la fumée, puisqu'il ne s'en produit pas avec les houilles sèches et anthraciteuses; mais, M. Jvison a imaginé de l'appliquer aux fourneaux alimentés avec des houilles grasses, comme moyen de prévenir la fumée, en faisant arriver un jet de vapeur non plus dans le cendrier, mais bien au-dessus de la grille. La vapeur est amenée dans le foyer par un petit tuyau adapté à la chaudière et qui se termine dans le foyer par une sorte d'éventail creux percé d'une dixaine de petits trous qui la disséminent au milieu du courant gazeux. La vapeur agit, comme dans le cas précédent, en déterminant un appel d'air, par des ouvertures ménagées exprès, suffisant pour produire la combustion de la fumée; l'effet de la vapeur est plutôt ici mécanique que chimique. D'après l'enquête anglaise on fait disparaître la fumée par l'emploi de ce procédé, selon les uns avec économie de combustible, selon les autres sans économie aucune, en tenant compte de la quantité de vapeur dépensée dans le foyer.

Cet appareil perfectionné par M. Thierry a un véritable succès. Ce constructeur (fig. 1032), empruntant de la vapeur à la chaudière, vient la faire se surchauffer à une haute température, dans des tubes en fer placés près du foyer, puis la projette sur le combustible par de petits orifices percés dans un des tubes en fer de l'appareil surchauffeur placé un peu au-dessus de la porte des fourneaux, dans laquelle sont percées des ouvertures.

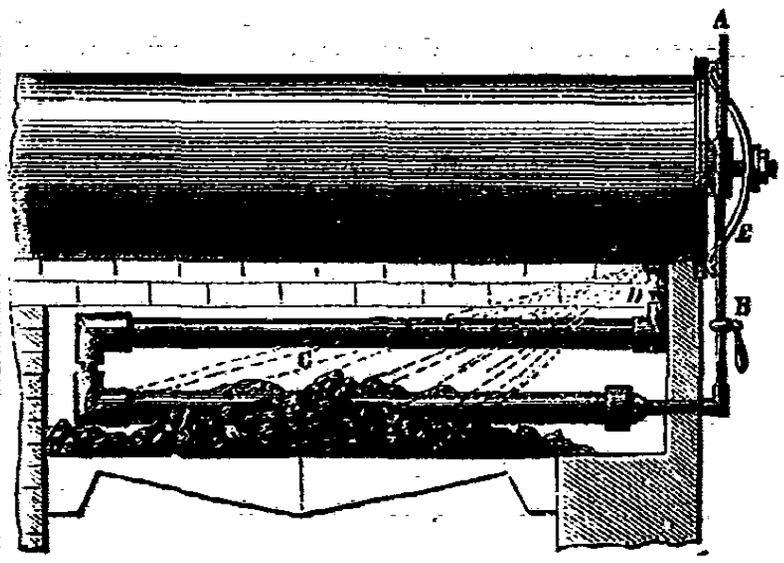


Fig. 1032.

On voit que, par cet appareil, plusieurs buts sont atteints : d'abord, une économie relative dans la dépense de la vapeur lancée dans le foyer qui n'est employée qu'en petite quantité; elle devient parfaitement sèche, l'eau qu'elle emportait étant complétement vaporisée, et fait plus que doubler de volume par la température élevée qu'elle acquiert. Mais, en outre, la vapeur surchauffée jouit de cette propriété remarquable, de ne plus refroidir le combustible comme la vapeur saturée et humide, mais d'agir comme un gaz combustible et de se décomposer sur le devant du foyer pour produire sous la chaudière une chaleur intense.

Les expériences ont constaté que l'appareil Thierry était plutôt économique que dispendieux et toujours parfaitement fumivore. L'arrivée d'air par des orifices est toujours, au contraire, la cause d'un accroissement de consommation. C'est un fait que l'expérience a mis hors de doute.

Parmi les procédés où l'on fait usage de plusieurs grilles, nous ne citerons que celui de M. Chanter, qui consiste essentiellement en ce qu'il fait usage de deux grilles fixes distinctes placées à la suite l'une de l'autre, et dont la dernière est *généralement à un niveau plus bas* que la première. On charge la houille crue sur la première grille et lorsqu'elle est réduite à l'état de coke, en partie consommée, on la fait tomber sur la seconde; l'air passe aisément à travers cette dernière grille et sert à la combustion des gaz qui arrivent de la *première grille*; enfin, s'il n'arrive pas ainsi assez d'air, on en fait affluer une certaine quantité dans l'intérieur du fourneau par des ouvertures ménagées au-delà de la seconde grille. Ce procédé peut réussir, mais nous pensons que la seconde grille est superflue, et qu'une seule grille à gradins est préférable.

Telle est la solution fournie par les *Grilles à gradins de MM. de Marsilly et Chobrziaski*. La donnée de ces grilles, dit M. Grouvelle dans son excellent *Guide du Chauffeur*, se trouve dans un appareil appliqué depuis longtemps en Russie à un petit four de dessiccation du bois. Elle est construite là pour brûler un combustible pulvérulent et sans ténacité. En y ajoutant l'introduction de l'air en lames minces et horizontales donnée par la plaque, elle devait réaliser la combustion de la houille dans les conditions les plus favorables, et donner une fumivorité presque complète. L'appareil consiste en une

grille à gradins ou inclinée (fig. 1033), dont les barreaux plats et larges sont disposés à la manière des marches d'un escalier, et se recouvrent les uns les autres. A la suite de cette grille sont quelques barreaux à la manière ordinaire; le nombre et l'écartement de ces barreaux dépendent de la pureté et de la nature du combustible.

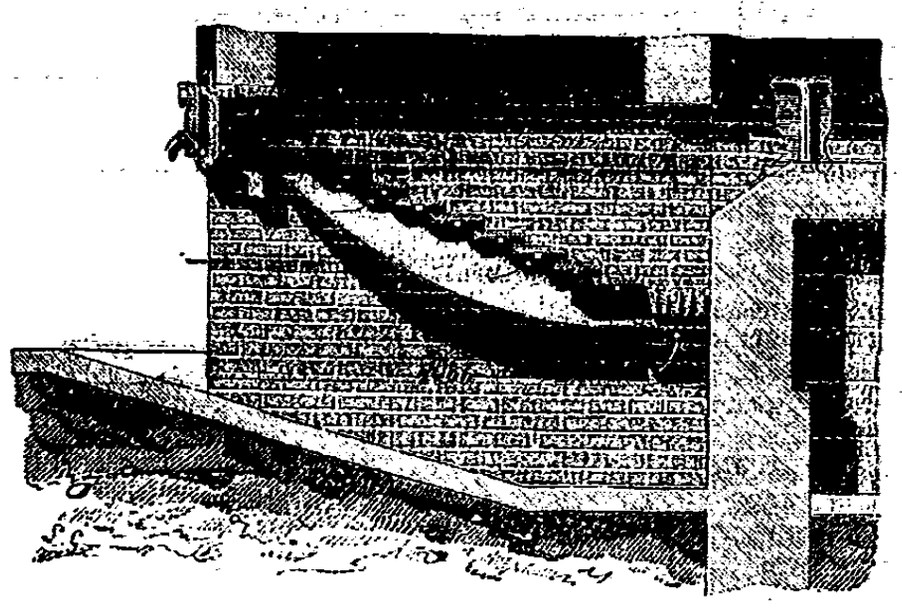


Fig. 1033.

Ce système est appliqué dans des foyers de chaudières à vapeur fixes et aux foyers des locomotives, et dans ce dernier cas il permet, sans trop d'inconvénients, la substitution complète de la houille au coke, avec une légère économie en poids, à travail égal. Sur le chemin de fer d'Orléans 105 locomotives à marchandises brûlent exclusivement de la houille avec des grilles à gradins, 66 de même espèce et 7 à voyageurs fonctionnent au chemin du Nord.

D'après des rapports faits sur un service de 19,524 kilomètres, par cinq locomotives avec grilles à gradins, au chemin du Nord, l'économie sur les mêmes machines, avec grilles ordinaires, est par kilomètre, en argent, de 7 centimes.

Les règles principales pour l'établissement de ces grilles, sont :

1° De donner aux grilles environ 1 mètre carré par 60 kil. de houille à brûler à l'heure;

2° La section entre les barreaux doit être d'autant plus grande que la houille est plus grasse; on ne peut pas descendre au-dessous de 0m,48 par kil. de houille brûlée à l'heure;

3° Le premier barreau doit être à 0m,25 de la chaudière en hauteur;

4° Le chauffeur doit toujours charger près de la porte le combustible frais, après avoir refoulé au fond la houille embrasée.

Perfectionnements apportés à cette grille dans l'atelier de la Compagnie coloniale de chocolat, d'après M. Grouvelle. — On a remarqué, sur une grille appliquée à une machine de 20 chevaux de la Compagnie coloniale, que les ouvertures transversales des barreaux en gradins rendaient difficile le service du ringard du chauffeur.

On trouvait aussi que l'air n'arrivait pas assez abondamment au combustible; on fit alors la même grille en gradin, mais avec les ouvertures des barreaux dans le sens du grand axe du fourneau, ce qui a donné de meilleurs résultats. Nous avons vu marcher cette grille dans l'atelier de la Compagnie coloniale, et avec de la houille de Charleroi la fumée était nulle et la chaudière montait très-vite en vapeur. Cette disposition se rapproche à celle que Watt avait proposée et du moyen de diminuer la fumée que l'habileté d'ouvriers chauffeurs avait su trouver. Il consiste simplement à charger toujours le combustible frais près de la porte pour lui faire subir un commencement de distillation avant de le pousser au milieu de la grille.

Il faut remarquer que chaque nature de combustible exige pour sa combustion complète un volume d'air différent, par suite que le rapport du plein au vide, dans une grille, doit varier avec la nature du combustible dont on la charge. Les bons constructeurs de chaudières obéissent à cette nécessité et font varier le rapport dont il s'agit suivant que la grille doit brûler de la houille, du coke, de la tourbe ou de la sciure de bois. Ce qui est pratiqué pour des combustibles de nature aussi différente devrait être également usité pour une grille qui, chargée d'abord de houille, se trouve, après un certain temps, chargée de houille et de coke; c'est là l'avantage qu'offre l'inclinaison des grilles qui permet une classification du combustible dans le sens de la longueur de la grille, et aussi de faire varier facilement et graduellement la hauteur du combustible, afin de compenser par l'épaisseur de la couche l'inconvénient qui résulte de barreaux également espacés, livrant accès à des quantités d'air à peu près égales, alors qu'il s'agit de brûler des combustibles qui en exigent des quantités différentes.

Il nous reste à dire quelques mots sur les distributeurs mécaniques et les grilles mobiles avec trémies.

La production de la fumée dans les fourneaux où la charge est intermittente tient, comme nous l'avons dit, à ce que la quantité d'air qui passe à travers les barreaux de la grille est un minimum immédiatement après la charge et pendant la période de distillation du combustible, précisément au moment où cette quantité devrait être un maximum; tandis qu'au contraire, à la fin de la charge, elle est un maximum et devrait être un minimum : un palliatif très-simple consiste à alimenter la grille d'une manière continue au moyen de distributeurs mécaniques, qui n'ont d'autre inconvénient que d'être d'un prix élevé et d'exiger une certaine quantité de force motrice, et par suite la présence d'une machine pour les mettre en mouvement. Ces distributeurs dus à M. Collier, et suivant les Anglais à M. Stanley, se composent essentiellement d'une trémie à débit continu, d'où la houille tombe entre deux cylindres broyeurs horizontaux, puis de là dans l'espace compris entre les deux axes de deux projecteurs circulaires contigus, placés dans le même plan horizontal, et qui, tournant en sens inverse l'un de l'autre, projettent continuellement la houille menue sur le foyer. La forme de ces projecteurs est ordinairement celle d'une roue composée d'une coquille conique droite et de six palettes trapézoïdales verticalement implantées autour de la coquille. Leur vitesse est considérable, de 200 tours environ par minute, plus ou moins, et on conçoit qu'ils doivent introduire une certaine quantité d'air au-dessus du combustible. En outre, chez M. Collier, on a remplacé le tisage du charbon par un mouvement oscillatoire de chacun des barreaux qui composent la grille. On fait varier la quantité de houille lancée sur la grille, en rapprochant ou éloignant l'un des cylindres broyeurs de l'autre.

Enfin, M. Juckes a imaginé d'employer une grille sans fin articulée, à peu près comme une large *chaîne sans fin*, de M. Gallo, et qui passe sur deux lanternes mobiles sur leurs axes, et placées, l'une à l'avant en dehors du fourneau, et l'autre au delà de l'extrémité du foyer. La grille est animée d'un mouvement de progres-

sion très-lent de 2 à 3m par heure environ. Le mouvement est communiqué par la machine à vapeur que dessert la chaudière, ou par tout autre moteur, à l'aide de courroies, à l'axe de la lanterne de devant. Le combustible est chargé sur la partie antérieure de la grille au moyen d'une trémie fixe. La quantité de combustible entraînée par la grille est déterminée par la position de la porte du foyer, formant la paroi postérieure de la trémie, qui est mobile dans des coulisses verticales, et dont on règle la hauteur à volonté suivant l'épaisseur de combustible que l'on veut avoir sur la grille; l'air ne pénètre ainsi jamais dans le foyer qu'en passant entre les barreaux de la grille. Ceux-ci s'échauffent peu, il se forme peu de mâchefer, et celui-ci se détache, ainsi que les cendres, des barreaux de la grille, en passant sur la seconde lanterne; il faut que le mouvement soit assez lent pour que le combustible se consomme entièrement en parcourant l'étendue de la grille; aussi est-il nécessaire d'augmenter les dimensions de la grille, d'en faire varier la vitesse de translation et l'écartement des barreaux, suivant les cas. Le procédé est ingénieux, mais ne fournit pas une solution complète du problème; nous ne parlons pas sous le rapport de la fumée (nous nous sommes assurés que cet appareil est complétement fumivore dans tous les cas), mais bien sous celui de la production de vapeur : ainsi, ces appareils de ce genre, toujours fumivores, donnent tantôt des résultats très-satisfaisants, tantôt la chaudière ne peut plus produire qu'une quantité bien moindre de vapeur qu'avec une grille ordinaire et dans le même temps, avec une plus grande dépense en combustible.

Pour expliquer la fumivorité de cet appareil il suffit de se rappeler que l'adoption d'une grille animée d'un mouvement de rotation régulier, et desservie par une trémie, produit une alimentation tout aussi régulière et continue que celle que donnent les distributeurs mécaniques, et que la couche de combustible qui recouvre la grille va sans cesse en diminuant du commencement à l'extrémité de la grille, où elle est pour ainsi dire nulle; de telle sorte qu'il doit arriver dans le fourneau à travers la grille une quantité d'air considérable, et probablement bien plus que suffisante pour produire la combustion complète de la fumée. Voir *Complément*, FUMÉE.

FUMIGATIONS. Dans un grand nombre de circonstances, telles que la décomposition des matières organiques ou l'accumulation d'un grand nombre d'individus dans un lieu resserré, l'atmosphère devient plus ou moins impropre à la respiration, et il est alors nécessaire, soit de recourir à l'effet d'une ventilation énergique, ce qui est encore ce qu'il y a de mieux, soit d'employer des *fumigations*, qui décomposent les miasmes répandus dans l'air.

Le chlore est sans contredit le meilleur moyen pour parvenir à ce dernier effet; mais, répandu en trop grande quantité dans l'atmosphère, il peut devenir nuisible par l'action irritante qu'il exerce sur l'économie animale; il vaut beaucoup mieux, sous ce rapport, se servir de *chlorures alcalins* (voyez CHLORURES DÉCOLORANTS), du *chlorure de chaux*, par exemple, dont le prix est peu élevé, et que l'on peut aisément se procurer; l'emploi des chlorures alcalins présente cet avantage, que le chlore ne se dégage que lentement et au fur et à mesure qu'il est déplacé par l'acide carbonique existant dans l'air ou provenant de la décomposition des miasmes. On dissout ordinairement le chlorure de chaux dans environ cent fois son poids d'eau.

FUSÉE A LA CONGRÈVE. Voyez ARTIFICES.

FUSIBILITÉ (*angl.* fusibility, *all.* schmelzbarkeit). La difficulté d'apprécier exactement les hautes températures ne permet pas d'indiquer d'une manière précise la température de fusion de la plupart des métaux; nous allons cependant donner ces températures, en degrés du thermomètre centigrade, telles qu'elles sont généralement admises, en indiquant à la suite le nom de l'observateur.

Mercure. . . .	— 39°	Gay-Lussac.
Potassium. . .	+ 58	Gay-Lussac.
Sodium.	90	Gay-Lussac.
Etain.	230	Kupfer.
Dito.	239	Daniell.
Bismuth. . . .	246	Daniell.
Plomb.	312	Guyton-Morveau.
Dito.	322	Dalton et Crighton.
Dito.	354,5	Daniell.
Tellure.	entre le plomb et l'antimoine.	
Arsenic. . . .	fusible et volatil au-dessous du rouge.	
Cadmium . . .	360	
Zinc.	370	Brongniart.
Dito.	411	Daniell.
Antimoine. . .	432	Daniell.
Argent.	1022	Daniell.
Cuivre.	1092	Daniell.
Or.	1102	Daniell.
Fonte grise. . .	1587	Daniell.
Acier.	entre la fonte et le fer.	
Manganèse. . .	entre la fonte et le fer.	
Nickel.	entre la fonte et le fer.	
Fer forgé. . . .	2118	Clément-Désormes.
Palladium, Molybdène, Urane, Tungstène, Chrôme, Titane,	presque infusibles et s'agglomérant seulement en petits globules fondus au feu de forge le plus violent.	
Cérium, Osmium, Iridium, Rhodium, Platine,	infusibles au feu de forge le plus violent; fusibles au chalumeau à gaz oxygène et hydrogène.	

FUSIL. Voyez ARMES A FEU

G

GAIAC (*angl.* guaiac, *all.* guaja harz). Résine qui exsude de l'arbre appelé *guaiac officinalis*, qui croît dans les îles de l'Inde occidentale, et qui n'est guère employée que dans les pharmacies.

GALBANUM. Gomme-résine qui exsude spontanément ou par des incisions du *bubon galbanum*, plante de la famille des Ombellifères, qui croît en Afrique et particulièrement en Éthiopie.

GALÈNE (*angl.* galena, *all.* bleiglanz). Nom donné au plomb sulfuré. Voyez PLOMB.

GALIPOT. Nom donné à la térébenthine du *pinus maritima*, solidifiée sur l'arbre. Lorsqu'il se trouve mélangé de débris d'écorces et plus impur, il prend le nom de *barras* (voyez TÉRÉBENTHINE).

GALLATES. Sels formés par l'acide gallique. Voyez l'article suivant.

NOIX DE GALLE (*ang.* gall-nuts, *all.* gallæpfel). On donne ce nom à des excroissances que l'on trouve sur les feuilles et les menues branches de la variété de chêne dit *quercus infectoria*, qui croît dans le Levant. Elles sont produites par la piqûre d'un insecte du genre *cynips* de Linné et de l'ordre des hyménoptères, qui y dépose ses œufs; ils se développent en s'entourant d'une espèce de tubercule qui est la galle elle-même, qui s'accroît jusqu'à ce qu'ils aient subi leur métamorphose; alors ils en percent la paroi et s'échappent; passé cette époque la galle pâlit, devient moins dense, moins astringente, et perd ainsi successivement les qualités qui la font rechercher.

Il résulte du mode de formation des galles, qu'elles sont dues à une extravasion des sucs végétaux et qu'elles doivent présenter une organisation ou au moins un tissu homogène; c'est en effet ce que l'on observe : une galle de bonne nature présente une cassure entièrement grenue, brillante au soleil, et qui offre à peine quelques différences vers la périphérie, où les matériaux extravasés ont dû subir une altération de la part de l'air.

Les galles, quelles qu'elles soient, renferment toutes beaucoup de *tannin*, ce qui les rend propres à être employées dans la fabrication des ENCRES, la TEINTURE en noir, le tannage des PEAUX, etc.

Les *galles d'Alep* sont les plus estimées; on en distingue trois sortes : les galles noires qui forment la qualité supérieure sont petites, très-denses et très-raboteuses. Elles renferment presque toujours l'insecte avec lequel elles se sont développées, ce qui se reconnaît à ce qu'elles n'offrent aucune perforation; les galles blanches, plus grosses, moins denses et moins raboteuses que les galles noires, sont beaucoup moins estimées; les galles vertes ont un aspect et des qualités intermédiaires à celles des deux espèces précédentes.

Les *galles de Smyrne* sont comparables aux galles d'Alep sous tous les rapports, mais elles leur sont inférieures en qualité. La Dalmatie, l'Illyrie, la Calabre, etc., produisent des galles inférieures aux précédentes, plus petites, et qui croissent sur le *quercus cerris*. Enfin, on trouve en France, et généralement presque partout, des galles de qualités très-inférieures, qui croissent sur le chêne vert (*quercus ilex*) et le chêne ordinaire (*quercus robur*), et qui ne sont guère employées que pour le tannage.

Le principe utile et astringent des noix de galle est le *tannin*, que l'on en retire aisément comme il suit : on prend un tube de verre droit, long et étroit, que l'on étire légèrement à l'extrémité inférieure, dans laquelle on place ensuite une mèche de coton, et que l'on introduit dans le col d'un flacon; on remplit à moitié le tube de noix de galle grossièrement pilée et légèrement tassée, puis on verse par dessus de l'éther sulfurique hydraté, et on ferme le tube avec un bouchon. La liqueur qui s'est rassemblée au bout de 24 heures dans le flacon forme deux couches : la couche supérieure, qui est de l'éther presque pur que l'on enlève et qui peut servir pour une autre opération, et la couche inférieure, qui est une dissolution de tannin dans l'eau provenant de l'éther et de la noix de galle non desséchée. La dissolution est presque sirupeuse; en l'évaporant à sec, sous le récipient d'une machine pneumatique, on a une matière boursouflée et incristallisable, qui est du tannin dans le plus grand état de pureté que l'on ait pu obtenir.

En épuisant la noix de galle par l'éther, on en retire de 40 à 45 p. 100 de tannin.

Le tannin ou acide tannique (*all.* gerbsaure) est un véritable acide, rougissant la teinture de tournesol et se combinant avec les bases pour former des *tannates*. Il est très-soluble dans l'eau et l'alcool, moins dans l'éther; il possède une saveur très-astringente. Le tannin ou l'*infusion* aqueuse de la noix de galle précipite un grand nombre de sels métalliques, et cette propriété est quelquefois employée dans l'analyse qualitative.

Avec les sels de protoxyde de fer, il n'y a pas de précipité; avec les sels de peroxyde de fer, il y a un précipité d'un noir bleu intense (encre) qui reste en suspension dans l'eau; avec les sels de titane, le précipité est d'un rouge de sang; enfin, la plupart des précipités par les sels métalliques incolores sont d'un blanc sale. Le tannin précipite complétement la gélatine, et réciproquement; le précipité est caséeux; c'est lui qui se forme dans le tannage des peaux. La composition du tannin est représentée par la formule $C^{18}\ H^{16}\ O^{19}$. A l'état sec, le tannin se conserve indéfiniment, mais à l'état de dissolution, il s'altère assez promptement et passe à l'état d'acide gallique (*all.* gallæpfel saure), même hors du contact de l'air.

L'*acide gallique* se produit, comme nous venons de le dire, par la décomposition spontanée de la dissolution de tannin; pour le préparer, on fait une infusion à chaud de noix de galle, on concentre par l'ébullition la liqueur qui est d'un brun très-foncé, on ajoute du noir animal pour la décolorer, on filtre, on fait cristalliser, et on purifie les cristaux obtenus par plusieurs cristallisations successives; on a ainsi de l'acide gallique incolore, lorsqu'il est parfaitement pur, et en aiguilles soyeuses. Il se distingue du tannin en ce qu'il peut cristalliser et en ce qu'il ne précipite point la gélatine; avec les sels de peroxyde de fer, l'acide gallique donne un précipité d'un bleu noir très-intense (encre) beaucoup plus soluble dans l'eau que le précipité analogue produit par le tannin. La composition de l'acide gallique est représentée par la formule $C^7\ H^6\ O^5$; par l'action de la chaleur, il perd successivement un atome d'acide carbonique CO^2 et un atome d'eau $H^2\ O$, en donnant naissance à deux nouveaux acides, l'acide pyrogallique $C^6\ H^6\ O^3$ et l'acide méta-gallique $C^6\ H^4\ O^2$, qui n'ont aucun emploi dans les arts.

M. Michel, chimiste praticien distingué et habile teinturier de Lyon, a conçu l'heureuse pensée de fabriquer l'acide gallique avec de vieux châtaigniers en faisant bouillir à la vapeur ce bois réduit en copeaux.

100 de copeaux de vieux châtaigniers donnent 16 à 18 de décoction à 20° Baumé, que l'on désigne dans le commerce sous le nom d'acide gallique liquide.

ACIDE GALLIQUE. Voyez *noix de* GALLE.

GALVANOPLASTIE. Le but que l'on cherche à atteindre par la galvanoplastie est de précipiter, par l'action d'un courant galvanique, un métal de sa dissolution, sur un objet donné, en couche continue, mais non adhérente, de manière que cette couche représente exactement tous les détails de l'objet avec toutes leurs dimensions et leurs courbures. Quelquefois la couche doit être adhérente, mais dans ce cas on ne fait réellement pas de la galvanoplastie; on fait de la dorure, du cuivrage, etc.

Le courant électrique que l'on emploie provient, soit d'un appareil simple, soit d'un appareil composé. Dans un appareil simple, le moule, l'objet sur lequel doit se déposer le métal précipité, fait partie essentielle du circuit galvanique. Dans l'appareil composé, la pile est en dehors du bain à décomposer, et le moule est attaché au pôle zinc; le pôle cuivre, charbon, etc., est mis d'ailleurs en communication avec le bain; l'avantage que l'on trouve à employer un appareil composé consiste en ce que l'on peut attacher au pôle cuivre ce que l'on appelle un électrode soluble, c'est-à-dire une lame du métal même, qui est en dissolution dans le bain qui entre en dissolution

en quantité à peu près égale à celle qui se dépose sur le moule.

Les inventeurs de la galvanoplastie, Spencer et Jacobi, qui, le premier en Angleterre, le second en Russie, firent la découverte de cet art nouveau en 1838, à peu près simultanément, et sans aucun doute en travaillant chacun de leur côté dans la plus complète ignorance des travaux de l'autre, exécutèrent leurs opérations galvanoplastiques avec des appareils simples. Les appareils qu'ils employèrent dans l'origine étaient sans doute fort imparfaits, et depuis l'époque de leur invention, quoiqu'elle soit si rapprochée de nous, ils ont été grandement perfectionnés. Cependant, afin de faire voir comment avec les premiers vases venus, sans avoir recours à des appareils coûteux, on peut arriver aux plus beaux et plus utiles résultats, nous décrirons, d'après M. Becquerel (*Éléments d'électro-chimie*), l'observation fondamentale qui a engendré toute la galvanoplastie, exactement comme l'a faite Spencer pour la première fois. Une plaque carrée de cuivre fut mise en communication avec une plaque de zinc de même forme et de même grandeur, au moyen d'un fil de cuivre. La plaque de cuivre fut recouverte à chaud d'une couche de vernis, composé de cire jaune, de résine et d'ocre rouge; avec une pointe métallique on traça des lettres dans ce vernis, en mettant à nu le cuivre, comme dans la gravure à l'eau forte. Cette préparation faite, on prit un vase rempli à moitié d'une solution saturée de sulfate de cuivre, dans laquelle on plongea la plaque de cuivre, ainsi que le verre d'un bec à gaz, fermé à l'une de ses extrémités par un tampon de plâtre de 0m,02 d'épaisseur, et rempli aux deux tiers d'une solution étendue de sulfate de soude. L'élément zinc du couple fut plongé dans cette dernière dissolution, la face inférieure du disque placée parallèlement à la face supérieure de la cloison perméable; et le fil conjonctif fut recourbé de manière que la plaque de cuivre fut opposée par la surface gravée à la face inférieure de la même cloison. Dès l'instant que le circuit fut fermé, le cuivre provenant de la décomposition du sulfate de cuivre vint remplir les sillons tracés par la pointe dans le vernis, de manière à produire les caractères en relief. M. Spencer eut aussitôt l'idée de faire servir ces caractères à l'impression typographique, et il prépara une plaque en cuivre avec laquelle il obtint des épreuves qui furent distribuées dans le public. C'est de là que partit ce savant pour mouler des médailles en opérant exactement, comme nous venons de le dire. Voici comment il décrit lui-même son expérience :

« Je formai, avec la médaille et une rondelle de zinc, un couple voltaïque, comme auparavant; j'y fis déposer une couche de cuivre d'un millimètre d'épaisseur environ; puis je détachai avec soin, mais non sans quelque peine, le dépôt formé. J'examinai le résultat à la loupe, et je vis tous les détails de ma médaille reproduits avec une merveilleuse fidélité sur la contre-épreuve voltaïque. Je renouvelai de nouveau la même expérience avec la même médaille, car je voulais obtenir un moule plus épais et plus résistant. Je laissai donc le dépôt procéder lentement et atteindre une épaisseur considérable; mais lorsque je voulus le détacher de la médaille, je trouvai les deux surfaces intimement soudées entre elles. »

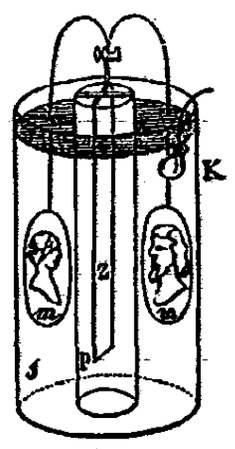
Il n'y a pas très loin de là aux dépôts faits sur des empreintes ou des moules seulement, au lieu des pièces mêmes, pour éviter cet inconvénient. M. Jacobi n'alla pas tout de suite aussi vite que M. Spencer dans la généralisation du procédé; il se contentait, dans ses premières publications, « d'obtenir, à l'aide d'un courant voltaïque, des épreuves en relief de planches de cuivre gravées, et une contre-épreuve de ces mêmes épreuves, de telle sorte qu'il pouvait multiplier ainsi à l'infini les exemplaires d'une planche de cuivre gravée. » Mais on doit en outre à M. Jacobi l'emploi de l'électrode positif de même nature que le métal qui est en dissolution, afin d'avoir une dissolution toujours au même degré de concentration.

Après ces premières et fondamentales notions historiques, nous nous contenterons de dire que MM. Becquerel, Boquillon, Elsner, Grove, Mason, Smee, Elkington, Solly, Sorel, Ch. Chevalier, et beaucoup d'autres encore, se sont occupés de faire avancer l'art de la galvanoplastie, sans qu'il soit toujours facile de rapporter chaque perfectionnement à son auteur propre; c'est notre excuse pour ne pas entrer dans une discussion où des noms propres, mais non la science, se trouvent intéressés.

Nous allons commencer par la description des appareils galvaniques qu'il convient d'employer quel que soit d'ailleurs le métal qu'il s'agisse de déposer.

APPAREILS GALVANIQUES.

Appareils simples. Parmi ces appareils, celui que l'on emploie le plus ordinairement est représenté fig. 1046. Dans un vase en verre, en porcelaine ou en faïence, on met la dissolution convenable du métal qu'on veut déposer, par exemple, du sulfate de cuivre *s*, pour recouvrir de cuivre les moules *m*. Au centre de ce premier vase, on en place un autre P, d'un diamètre beaucoup moindre, poreux, fait, par exemple, en porcelaine dégourdie. Dans ce vase P, on met de l'acide sulfurique étendu, de douze ou quinze fois de son poids d'eau, et on y plonge une lame ou un cylindre Z de zinc, amalgamé ou non. Les moules *m* sont mis en communication avec le zinc Z, par un fil de laiton. La dissolution du sulfate de cuivre devant s'épuiser à mesure que le dépôt métallique s'effectue sur les moules, il faut l'entretenir à un degré de saturation constante en y ajoutant de temps à autre des cristaux de sulfate de cuivre, ou mieux en plaçant à la partie supérieure de la dissolution un petit panier ou un sac en toile K rempli de cristaux.



1046.

Au lieu d'employer l'appareil précédent, on peut se servir du suivant, que M. Becquerel décrit à peu près ainsi que nous allons le faire.

On prend une caisse rectangulaire en bois lutée intérieurement avec une substance peu susceptible d'être attaquée par les dissolutions, par exemple avec de la gutta percha (voyez ce mot). On partage cette caisse en deux compartiments par une cloison perméable au liquide et appelée diaphragme. Ce diaphragme peut être en baudruche ou en parchemin, mais il est plus convenable de le faire en gros plâtre de mouleur; il ne faut lui donner que peu d'épaisseur, afin de diminuer le moins possible l'intensité du courant.

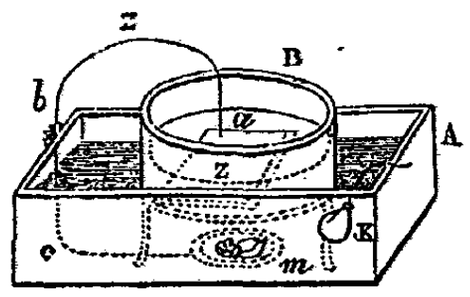
Le premier compartiment contient une dissolution faite à froid de sulfate de cuivre ou de tout autre sel qu'il s'agit de décomposer; dans cette dissolution on fait plonger les moules à quelques centimètres de distance du diaphragme. Dans le deuxième compartiment se trouve de l'eau légèrement acidulée en contact avec une lame de zinc d'une surface à peu près égale à celle des moules, lame qui est placée à un centimètre environ du diaphragme. Quand tout est ainsi arrangé, on établit la conductibilité métallique entre les moules et le zinc.

On entretient le sel constamment au même degré

de saturation, comme dans le cas précédent. Il est bon d'entretenir la température de 40 à 70° pour éviter la cristallisation, et comme, malgré toutes les précautions, la saturation est toujours plus grande au fond que dans le haut, il faut retourner le moule de temps en temps, et cela avec rapidité afin d'éviter toute oxydation.

Un autre inconvénient est l'épaisseur inégale du dépôt, toujours plus abondant à l'extrémité opposée au point d'attache qu'à ce point même. On cherche à y remédier en plaçant plusieurs conducteurs suffisamment longs aux deux extrémités du moule, et en ayant soin de relever derrière ceux qui sont fixés au bord inférieur.

C'est dans le but d'échapper à cet inconvénient d'un dépôt irréguiier qu'on se sert souvent de l'appareil suivant (fig. 1047); il est formé d'une caisse rectangu-



1047.

laire ou cylindrique A, dans laquelle on en met une autre B, dont le fond est un diaphragme maintenu convenablement aux parois de la caisse. Ce dernier vase B est supporté à une dixaine de centimètres du fond du vase A. Le moule *m* est placé horizontalement sur un support à 7 ou 8 centimètres du diaphragme qui fait le fond du vase B. Dans ce vase, rempli d'eau acidulée par l'acide sulfurique, on met horizontalement une lame de zinc Z, ayant à peu près les mêmes dimensions que le moule. Le vase A étant aussi plein du sel à décomposer, on établit le circuit par le fil conducteur *a b c*. Il ne se forme plus alors que quelquefois un bourrelet sur les bords du moule. Cependant pour que le dépôt fût rigoureusement égal en tous les points, il faudrait que toutes les parties du moule fussent à égale distance du zinc, ce qui ne peut s'obtenir qu'en donnant au zinc la forme générale des saillies ou dépressions du moule, ou bien en prêtant cette même forme à la cloison perméable. Sans ces précautions le dépôt est toujours plus considérable sur les saillies que sur les creux.

Quand on juge que le dépôt a acquis une épaisseur suffisante, on lave les pièces à grande eau et on les sèche avec du papier buvard. On détache ensuite les pièces des moules, ce qui se fait facilement quand on a préparé les moules en prenant les précautions que nous indiquerons plus loin.

Appareils composés. Nous avons dit plus haut que l'appareil était composé quand le courant galvanique était produit dans un vase séparé de celui qui contient la dissolution à décomposer. On peut alors employer un courant aussi faible ou aussi énergique que l'on veut en employant un ou plusieurs éléments voltaïques de formes et de grandeurs diverses. On dispose l'opération de la manière suivante (fig. 1048) : A est la pile, B la caisse où on verse la liqueur, le sulfate de cuivre par exemple.

On suspend les moules qu'on veut recouvrir à une tige *a b*; en face, on met une plaque *f d*, du métal qu'on doit faire déposer, une plaque de cuivre dans la circonstance actuelle, pour servir d'électrode soluble. La pile étant chargée on met *f d*, en communication par un fil de laiton avec le pôle cuivre C, et *a b*, en communication avec le pôle zinc Z.

Nous n'avons rien à dire sur la disposition particulière des moules, ni sur l'emploi de la dissolution à décomposer, si ce n'est qu'il est bon d'opérer à une tempé-

rature de 40 à 70°. L'emploi seul de la pile a besoin d'être fait avec discernement ; aussi allons-nous décrire les principaux instruments voltaïques dont on peut se servir dans la galvanoplastie.

1048.

Nous commencerons par parler de l'emploi du zinc amalgamé imaginé par Kemp ; il présente trois avantages importants. Le premier, dit M. Becquerel, est que l'équivalent complet d'électricité s'obtient par l'oxydation d'une certaine quantité de zinc, c'est-à-dire que si l'on opère avec l'appareil simple la décomposition d'un sel métallique en dissolution, on obtient un équivalent de zinc consommé, c'est-à-dire, ajouterons-nous, que l'électricité produite dans l'action chimique est tout entière portée sur son récipient quand on emploie le zinc amalgamé, tandis qu'avec le zinc ordinaire il s'en perd une partie. Le second avantage est que le zinc n'est pas attaqué quand le circuit n'est pas fermé, tandis qu'avec le zinc ordinaire l'acide étendu agit constamment. Enfin, le troisième avantage, ainsi qu'il résulte des expériences de M. Faraday, est qu'on obtient une action régulière, tandis que, avec le zinc ordinaire, l'action est très capricieuse et procède par saccades. La régularité de l'action électrique dépend aussi du reste de l'état de pureté de l'acide ; on conseille, pour le moment, d'employer de l'acide le plus pur possible, parce que, s'il s'y trouvait de l'acide nitrique, le zinc, quoique amalgamé avec grand soin, serait bientôt détruit sans avoir produit tout son effet utile.

L'amalgamation de toute la surface du zinc s'effectue d'une manière très-simple. Dans une soucoupe on verse de l'eau, de l'acide sulfurique pur et du mercure ; ensuite, avec une brosse, on prend un peu de ce mélange et on frictionne la surface du zinc jusqu'à ce qu'elle soit devenue brillante, qu'elle soit recouverte d'une couche d'amalgame.

Les piles qu'il est le plus convenable d'employer sont celle de Daniell et celle de Bunsen, la plus employée aujourd'hui pour la production de l'électricité, mais qui a l'inconvénient d'être un peu chère et de dégager des vapeurs nitreuses.

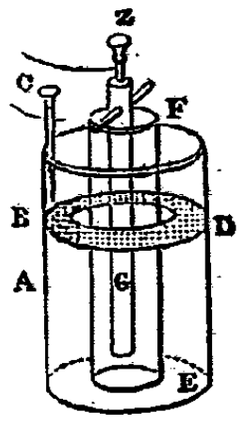


Fig. 1050.

Pile de Daniell. La pile à courant constant de Daniell, telle que la dispose M. Becquerel, est représentée fig. 1051. Elle consiste en une auge en cuivre A B D, ayant 0m,48 de hauteur, 0m,14 de largeur et 0m,03 d'écartement, munie de deux appendices A et B formant biseau, communiquant avec l'intérieur de l'auge par plusieurs ouvertures, et remplis de sulfate de cuivre. Dans cette auge, on verse une dissolution saturée de sulfate de cuivre, et on y plonge un sac de toile à

voile F G K (fig. 1052), contenant une lame de zinc Z K, de 0m,12 de largeur. Deux vis de pression L et E permettent, soit d'assujettir aux deux pôles obtenus les fils conducteurs du courant, soit de serrer le cuivre d'un élément avec le zinc du suivant. On voit que chaque face de la lame de zinc y est en présence d'une surface de cuivre.

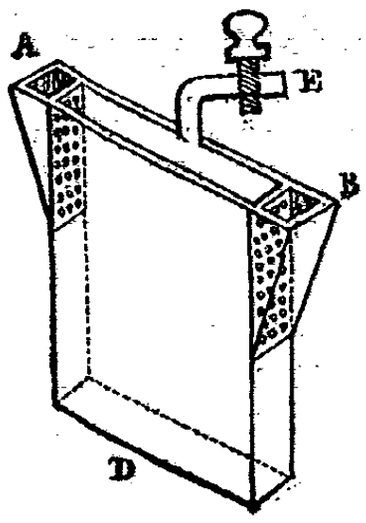


Fig. 1051.

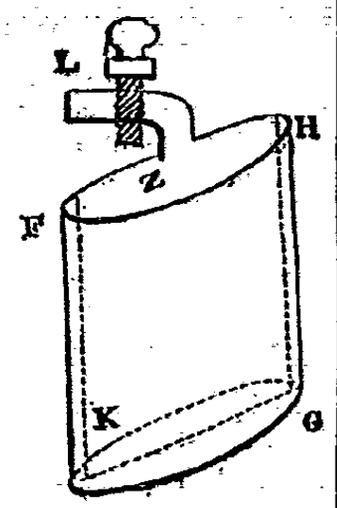


Fig. 1052.

On a fait subir plusieurs changements de forme à la pile de Daniell; nous ne citerons que le suivant, qui est avantageux et donne la forme usitée aujourd'hui représentée fig. 1050. A, vase de cuivre; B D, tablette percée de trous pour recevoir les cristaux de sulfate de cuivre qui doivent entretenir à un degré de saturation constante la dissolution de ce sel contenu dans le vase A; E F, vase poreux où se trouve de l'eau faiblement acidulée par l'acide sulfurique ou le sel marin, et où plonge un cylindre de zinc amalgamé G; C et Z, deux vis de pression pour attacher les fils conducteurs des pôles-cuivre et zinc, ou pôles positif et négatif.

Pile de Bunsen. Nous avons donné à l'article ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE la description de cette pile fréquemment employée aujourd'hui.

DES BAINS.

Les appareils à l'aide desquels on doit décomposer les diverses combinaisons métalliques employées dans la galvanoplastie, étant maintenant décrits, nous allons donner quelques détails sur les combinaisons elles-mêmes.

Bains d'or. On n'emploie dans la galvanoplastie que les bains que nous avons décrits à l'article DORURE, soit pour la dorure galvanique, soit même pour la dorure par immersion; d'ailleurs, on ne dépose l'or qu'exceptionnellement, afin de dorer les précipités de cuivre qu'on cherche à obtenir plus généralement.

Bains d'argent. Les bains dont on se sert dans l'argenture peuvent tous être employés en galvanoplastie. De tous les sels dont on peut se servir, le nitrate d'argent est le moins convenable. Le sulfate d'argent convient bien pour les métaux qui ont plus d'affinité pour l'oxygène que l'argent. Le choix du sel que l'on doit employer dépend donc de la nature du moule, qui peut être d'or, de platine, d'argent, de cuivre, de charbon, ou d'une matière plastique recouverte d'une de ces substances.

Bains de platine. Les dissolutions du platine sont celles du platinage (voir DORURE). Nous ajouterons seulement que M. Boettger annonce qu'il est parvenu à obtenir un dépôt de platine d'une grande adhérence, d'un éclat spéculaire, et résistant à l'action des acides, même bouillants, au moyen d'une solution de chlorure double d'ammoniaque et de platine dans l'eau bouillante, à laquelle on ajoute quelques gouttes d'ammoniaque liquide quand elle est arrivée à une température modérée, et que l'on soumet à l'action de la pile quand elle est encore chaude; cela mérite confirmation.

Bains de nickel. Le nitrate de nickel ou le sulfate ammoniacal de protoxyde de ce métal peuvent être employés.

Bains de cuivre. Voici ce qu'en dit M. Becquerel: « Le sulfate, le chlorure, le nitrate et l'acétate, sont les combinaisons employées, mais surtout le premier sel, en raison de son prix peu élevé. Ce sel offre une résistance considérable au passage du courant galvanique, aussi augmente-t-on le pouvoir conducteur de la dissolution en y ajoutant une petite quantité d'acide sulfurique ou nitrique. Suivant M. Smee, une dissolution qui renferme 500 grammes de ce sel, 2 kilogr. d'eau, et un tiers à moitié de son volume d'acide sulfurique étendu de huit parties d'eau, est d'un bon usage, surtout quand on opère sur des substances non conductrices, recouvertes d'une couche de plombagine.

« L'addition d'acide nitrique a cela d'avantageux, que l'acide attaque l'électrode soluble, ce qui facilite le passage du courant en rendant la dissolution plus forte. Il faut bien se garder d'ajouter un acide quand la matière du moule est plus oxydable que le cuivre. MM. Jacobi et Spencer ont émis l'opinion qu'il y a toujours inconvénient à se servir d'une dissolution acide; cependant beaucoup de personnes en font usage.

« Le nitrate de cuivre exige un courant initial moins fort pour être décomposé; mais son prix élevé ne permet pas de l'employer dans les opérations en grand. M. Smee emploie 500 grammes de ce sel et un litre d'eau acidulée, avec 16 grammes d'acide nitrique concentré. Avec cette dissolution, on peut obtenir très promptement une plaque de cuivre. L'électrode soluble en cuivre doit être de la même dimension que le moule, et ils doivent être placés à un centimètre de distance.

« Le chlorure ne présente aucun avantage, ainsi que les autres sels solubles de cuivre.

« L'électrode soluble est toujours en cuivre; quant au moule, il peut être fait de plombagine, de charbon, d'or, d'argent, de platine, de palladium, de nickel, et même de cuivre. »

Bains de zinc. Le sulfate de zinc est le bain qu'on emploie ordinairement.

Bains de plomb. L'acétate très étendu, aciduié avec de l'acide acétique, ou une petite quantité d'acide nitrique, est le sel que M. Becquerel conseille d'employer.

Bains d'étain. L'étain, ainsi que le plomb, présente beaucoup de difficultés à la réduction par la pile. On peut se servir de la dissolution d'étain dans l'eau régale, acidulée par l'acide nitrique.

Dans ces courts détails sur les dissolutions à employer en galvanoplastie, nous n'avons pas attiré expressément l'attention du lecteur sur quatre conditions essentielles, d'où dépend complétement le succès de l'opération, et qui malheureusement n'ont pas encore été clairement formulées en lois nettes et précises. Ce sont: 1° l'intensité de la pile; 2° le degré de concentration et de conductibilité de la dissolution; 3° sa température; 4° la disposition et la grandeur relatives des deux électrodes. Ainsi que l'a remarqué M. Boquillon, qui est, de tous ceux qui se sont occupés de galvanoplastie, celui qui a fait les observations les plus circonstanciées sur l'état moléculaire des dépôts métalliques, ces dépôts peuvent être durs et cassants comme de l'acier, mous et flexibles comme du plomb, posséder des qualités intermédiaires, ou bien être formés d'une poudre noire ou de cristaux plus ou moins considérables, selon que les quatre conditions sont entre elles dans certaines relations. Ces relations sont encore mal définies, et nous nous fions bien mieux à l'habitude acquise au bout de quelques jours d'essai, qu'à toutes les règles vagues fournies jusqu'à présent.

GALVANOPLASTIE.

Dans tous les cas, voici ce que M. Boquillon a observé. Toutes choses égales d'ailleurs, un électrode positif plus grand que l'électrode négatif ou moule, tend à produire sur ce dernier un dépôt cristallin, qui va jusqu'à l'état pulvérulent, si la différence de leurs dimensions est très considérable. Le contraire a lieu si l'électrode négatif est plus grand que l'électrode positif. L'élévation de la température tend à produire de semblables effets.

Si l'on considère trois cas, que dans le premier la dissolution soit complétement saturée, que dans le second elle le soit moins, et que dans le troisième le sel ne se trouve qu'en très petite quantité, ainsi que l'a fait M. Boquillon, il pourra arriver que le dépôt obtenu dans le premier cas soit dur, cassant, que celui du second cas soit plus flexible, et que le dépôt du troisième cas soit formé d'une masse spongieuse de cristaux non agrégés, et finisse par ne présenter qu'une poudre noire très divisée, n'ayant aucune adhérence. Eh bien, si l'on affaiblit l'intensité du courant, le troisième dépôt deviendra ce qu'était le second dans la première expérience. Le second dépôt sera plus mou, et enfin le premier pourra avoir les propriétés du second.

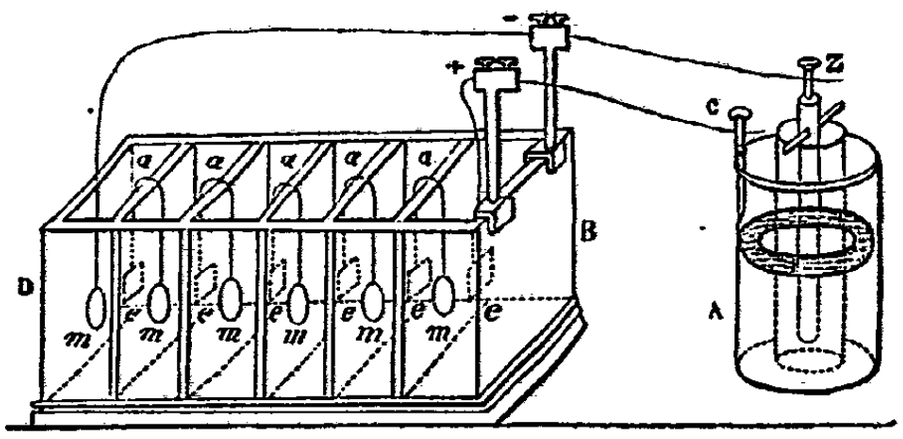
Cela donne un exemple des nombreux phénomènes qui se passent dans ces actions, encore trop peu étudiées.

On peut augmenter l'intensité du courant galvanique, tout en conservant la même pile, extérieure à la dissolution, par le procédé suivant, qui est surtout employé quand on agit sur une dissolution difficile à réduire; ce sont plusieurs appareils simples (fig. 1058) réunis en pile :

A, élément de Daniell.

B, auge divisée en six compartiments au moyen de diaphragmes poreux.

Sur ces diaphragmes sont placés à cheval cinq fils métalliques pliés, *a a a*, supportant à une extrémité un moule *m*, plongeant dans l'un des compartiments, et à l'autre extrémité un électrode soluble *e*, plongeant dans le compartiment voisin, de l'autre côté de la cloison poreuse.



1058.

Toutes les auges sont pleines de sulfate de cuivre, par exemple, et l'élément voltaïque A est chargé. Alors on met le pôle positif C en communication avec un électrode *e*, dans le compartiment extrême B, qui fait communiquer le compartiment B et le compartiment D, et alors on fait arriver dans ce dernier sur le moule *m* le conducteur négatif attaché au pôle zinc Z; au bout de deux minutes ce moule sera recouvert, et on n'aura plus à craindre l'action chimique qu'il aurait pu subir. Cela fait, on retire du compartiment D, l'extrémité du fil qui reliait les deux compartiments extrêmes, on le plonge dans le compartiment voisin de D, et on place le premier fil plié, *eam*; au bout de quelques instants, le nouveau moule sera encore recouvert. On agit de même pour le troisième compartiment, et ainsi de suite. Toutes ces précautions étant prises, on comprend bien comment il se fait que l'intensité du courant soit multipliée, puisque deux compartiments voisins, séparés par une cloison supportant un fil *e a m*, constituent un appareil simple.

DES MOULES.

Tout corps conducteur du courant électrique peut être employé à former un moule propre à la galvanoplastie, pourvu qu'il ne soit pas de nature à être attaqué par la dissolution, et à réagir sur le métal précipité. Un moule non conducteur, satisfaisant à ces mêmes conditions, peut aussi être employé quand on prend la précaution de donner à sa surface la faculté conductrice par une couverte très mince d'un corps conducteur en poudre.

Moules métalliques. Les corps conducteurs susceptibles de donner des moules sont : les métaux, le charbon bien calciné et la plombagine. Or, la dissolution la plus communément employée dans les opérations galvanoplastiques est le sulfate de cuivre, sur lequel, comme on sait, agissent le zinc, l'étain et le fer. Ces trois métaux usuels ne pourront donc pas être employés pour faire des moules. Le platine et l'or réunissent bien toutes les conditions voulues, mais leur prix élevé ne permettra pas qu'on les emploie dans des opérations en grand.

Ces exceptions posées, il ne reste parmi les métaux usuels que l'argent, le cuivre et le plomb, ainsi que les alliages de ce dernier pour la fabrication des moules métalliques.

L'argent, ne pouvant être précipité que par l'or et le platine, doit être employé pour réduire les métaux, quand on veut que le dépôt précipité soit d'une grande pureté.

Les feuilles d'argent pur, dit M. Smee dans ses éléments de galvanoplastie traduits par M. de Valicourt, dont l'épaisseur est calculée de manière à peser 3 grammes 333 milligr. par décimètre carré de surface sont employées par les faux monnoyeurs dans leur coupable industrie; le procédé qu'ils suivent consiste à mettre la pièce de monnaie qu'ils veulent imiter sur une planche de bois; sur cette monnaie, ils appliquent une feuille d'argent, puis ils frappent doucement sur cette dernière jusqu'à ce qu'elle présente une copie fidèle de l'original, résultat qui ne tarde pas à être obtenu : cela fait, ils recommencent la même opération pour la face opposée. Les deux disques d'argent sont ensuite soudés par leurs bords; et le fabricant commet un crime et risque sa tête pour la pièce de fausse monnaie qui lui a coûté tant de peine. Sans doute le lecteur n'aura pas même l'idée de recourir à cette fraude, et il n'est pas nécessaire d'en dire davantage; mais on comprendra facilement que le même procédé peut être mis en usage, avec une meilleure intention, par l'électro-métallurgiste, pour obtenir un moule.

On obtient des moules très avantageux avec le cuivre en opérant un dépôt électro-chimique de ce métal sur la pièce originale ou sur un plâtre convenablement métallisé comme il sera dit plus loin.

Le plomb en feuilles préalablement dépouillé à l'aide du raclage de l'oxyde qui le ternit, puis aplati en le mettant sur une plaque de fer qu'on soumet à l'action d'une presse, peut recevoir l'empreinte de la gravure la plus délicate; il suffit pour cela d'appliquer l'objet à copier sur la feuille de plomb, et cette dernière sur la plaque de fer, et de comprimer le tout à l'aide du cylindre d'une presse. Cette méthode est parfaite et suffit pour tous les cas. La pression à l'aide d'un rouleau est beaucoup plus forte qu'une pression directe, quoique

les instruments employés par les estampeurs soient doués d'une grande énergie.

Cette méthode revient à faire un *clichage par compression;* elle exige que les objets dont on veut avoir une empreinte soient composés d'une matière assez résistante pour supporter la pression à laquelle ils sont soumis. Il est préférable, pour cette raison, de faire un *clichage par percussion à froid*. Un coup de poing ou de marteau appliqué sur une médaille placée sur une lame de plomb bien nettoyée et brillante suffit pour donner une empreinte parfaitement nette, et on peut copier de la même manière un cachet en cire à cacheter. On ne pourrait obtenir ce résultat par une simple pression, mais on y parvient par un coup sec.

Les alliages de plomb que l'on peut employer sont la soudure des plombiers, le métal fusible de d'Arcet, le métal fusible de Newton, l'alliage qui sert à la fonte des caractères typographiques, et le métal en usage en stéréotypie. Nous renvoyons pour la fabrication de ces composés aux mots ALLIAGES et STÉRÉOTYPIE.

Pour fabriquer des moules avec tous les alliages fusibles il faut avoir recours aux procédés du clichage par fusion seule, ou par fusion et percussion, procédés qu'on trouvera décrits aux articles POLYTYPIE, STÉRÉOTYPIE et MOULAGE EN MÉDAILLES.

Toutefois pour les personnes qui tiendraient à ne pas avoir recours aux clicheurs de profession, nous dirons quelques mots des moyens qu'elles peuvent employer pour clicher des médailles à la main.

Afin d'obtenir des empreintes avec la soudure des plombiers, il suffit de prendre une partie de cet alliage en fusion, de le verser sur un morceau de papier placé lui-même sur un morceau de drap, d'appliquer la médaille sur l'alliage, de mettre par-dessus une planchette de bois et de frapper un coup sec.

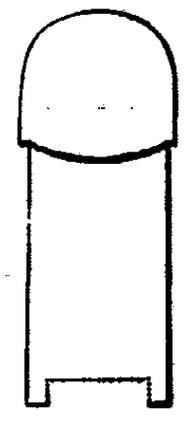
Avec l'alliage de d'Arcet, ainsi que l'indique M. Walker, il suffit de le couler liquide dans le couvercle d'une boîte en carton, et quand il est dur ou pâteux, prêt à se solidifier, ce qu'on reconnaît quand sa couleur passe du brillant au mat, on laisse tomber dessus, de 8 à 10 centimètres de hauteur, la médaille qui doit être froide. On doit avoir eu soin, avant de laisser tomber la médaille, de débarrasser la superficie du métal de la couche d'oxyde qui a pu s'y former, en la raclant avec une carte.

M. Walker a perfectionné son procédé de clichage de la manière suivante :

« Formez un alliage, ainsi qu'il a été dit précédemment, avec les métaux ci-après :

Bismuth.	8 parties
Etain.	4
Plomb.	5
Antimoine	1

« Tournez alors un mandrin cylindrique de bois et creusez, à l'une de ses extrémités, une cavité du diamètre exact de la médaille et un peu moins profonde que son épaisseur (fig. 1059).



1059.

« Faites-y entrer cette médaille en l'assujettissant, s'il le faut, avec un peu de papier.

« Placez sur une table une petite capsule de fort papier ayant des bords de 6 à 8 millimètres de hauteur. Huilez légèrement le fond de cette capsule, et versez-y une certaine quantité d'alliage en fusion. Remuez le métal avec deux cartes jusqu'à ce qu'il prenne une consistance pâteuse, et qu'il paraisse sur le point de se cristalliser. Ayez alors une gaîne cylindrique de carton de 7 à 8 centimètres de hauteur et d'un diamètre plus grand que le mandrin, placez-la vivement au-dessus de la capsule, et prenant rapidement le mandrin d'une main, frappez un coup léger et bien d'aplomb sur le métal contenu dans la capsule. La gaîne de carton a pour but d'empêcher le métal de s'éparpiller au moment de la percussion, ce qui pourrait brûler l'opérateur. »

GALVANOPLASTIE.

Enfin M. Bœttger propose d'employer un alliage fondant à 108 degrés et composé de :

Plomb.	8 parties
Bismuth.	8
Etain.	3

Lorsque la combinaison des métaux a été bien opérée au moyen de plusieurs fontes répétées, on verse une partie de l'alliage dans une petite capsule de carton; on l'agite avec un fil de fer chauffé au rouge jusqu'à ce qu'il soit prêt à se solidifier; puis, au moment précis où le métal forme une pâte homogène, on y applique la médaille préalablement chauffée au point de pouvoir la tenir encore dans la main; on l'appuie alors fortement au moyen d'un tampon de bois garni d'un disque de liége, et on maintient la pression jusqu'à ce que le métal soit presque entièrement refroidi.

Dans tous ces procédés, du reste, le moule ne doit être séparé de la médaille qu'après son entier refroidissement.

L'imperfection de ces méthodes et le manque d'habitude de ces opérations, qui exigent de la précision, doivent engager les opérateurs à avoir recours aux procédés exacts des clicheurs pour tous les ouvrages soignés, comme planches typographiques, etc.

Moules plastiques. Ces moules sont faits en cire à cacheter, cire vierge, cire composée, stéarine, papier, plâtre, soufre, gutta-percha, gélatine.

Cire à cacheter. Il importe d'employer de la cire à cacheter de la meilleure qualité (voir ce mot) pour obtenir des empreintes exactes. Les graveurs prennent les empreintes de la manière suivante : ils présentent une carte au-dessus de la flamme d'une bougie, en frottant doucement la partie chauffée avec un bâton de cire. Quand ils jugent qu'il y en a assez de déposée, ils appliquent le cachet. Pour obtenir de larges empreintes, on enflamme, au moyen d'une bougie, un bâton de cire sur une longueur de 8 à 10 centimètres. On reçoit ensuite sur une carte les gouttes de cire fondue. Quand on en a une quantité suffisante, on éteint, on remue en tournant jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles d'air, et alors on applique l'objet qu'on veut reproduire, en le maintenant sur la cire avec une forte pression. Si l'objet est en métal, il absorbe la chaleur et n'adhère point à la cire; mais si l'objet n'est pas métallique, il faut plonger le tout dans l'eau froide, afin de pouvoir faire la séparation. Si l'objet est en bois, il faut le frotter préalablement avec de l'huile d'olive.

Cire vierge. On place l'objet légèrement huilé à la surface d'une espèce de sac en papier, et on y verse ensuite la cire fondue, en ayant soin qu'aucune bulle d'air n'adhère au modèle.

Quand le modèle est en plâtre, on lui fait absorber à saturation de l'eau chaude, mais pas cependant au point que cette eau paraisse à la surface; on met alors le plâtre dans l'espèce de sac dont nous avons parlé, et on verse la cire. On laisse refroidir dans un endroit frais, et la cire se sépare ensuite facilement du plâtre.

Comme la cire et les substances analogues éprouvent un retrait notable en se refroidissant, il est bon d'employer un mélange de parties égales de cire jaune et de résine. On le fait d'abord fondre, puis on le laisse reposer jusqu'à ce que toutes les bulles aient disparu, et que la composition ait acquis la consistance de la mélasse. On la coule alors sur l'objet, comme on le fait pour la cire.

Stéarine. Au lieu de cire, on peut employer la stéarine, ou mieux encore un mélange de 32 parties de blanc de baleine, 7 de cire, et 7 de graisse de mouton fondue et passée; il est bon d'ajouter au mélange une petite quantité de plombagine.

Cette plombagine est introduite, afin de donner au moule une certaine conductibilité. C'est pour cette raison que M. Lockey conseille d'employer : cire et stéarine, parties égales; plombagine lavée et tamisée, une demi-partie. C'est encore pour cela que M. Mayo fait un mélange de cire blanche et de blanc de céruse broyé très fin.

Papier et plâtre. Nous ne dirons rien ici des moyens de couler le plâtre, et de faire des moules en papier, carton pierre, etc.; on trouvera sur cet objet les détails nécessaires à l'article MOULAGE. Mais ce que nous devons donner, ce sont les moyens d'empêcher les moules faits avec les substances d'absorber les dissolutions métalliques.

Après avoir bien nettoyé les surfaces, on les brosse avec un peu d'huile siccative de lin ou de noix, qu'on a fait chauffer jusqu'à l'ébullition, afin qu'elle sèche le plus promptement possible, quand elle est appliquée sur l'objet. Il faut bien prendre garde d'en employer une trop grande quantité; car, en se desséchant, l'huile superflue remplirait les petites cavités du modèle et en altérerait le dessin. Lorsque les moules en papier ont été ainsi traités, et qu'ils ont séché pendant 24 heures, ils sont tout à fait propres à recevoir les substances conductrices dont nous parlerons tout à l'heure.

Le meilleur moyen de traiter les moules en plâtre consiste à les passer à la stéarine.

Soufre. Le soufre donne des empreintes fines.

Gutta-percha. La gutta-percha est éminemment propre aux opérations galvanoplastiques et s'emploie aujourd'hui presque exclusivement. Sa mollesse à chaud et sa résistance à froid, son inaltérabilité par les acides font qu'elle satisfait à toutes les conditions. (Voyez GALVANOPLASTIE, *Complément.*) Seulement elle exige des modèles résistants, qu'on puisse soumettre à une pression sans craindre de les altérer. Si le modèle est en plâtre ou en cire, on a recours au moulage à la gélatine.

Gélatine. La gélatine se moule sans opposer aucune résistance et permet d'exécuter les moules des objets les plus fouillés. Mais elle a l'inconvénient de s'altérer dans les bains acides et de fournir un métal très-cassant, par suite de la nécessité où l'on est de faire un dépôt rapide pour éviter l'altération de la surface du moule. Elle devient à peu près imperméable en ajoutant à sa dissolution dans l'eau chaude 2 pour 100 d'acide tannique dissous dans l'alcool et 10 pour 100 de mélasse. Mais elle s'altérerait encore dans les bains, si on n'avait pas soin de préserver la surface extérieure du moule par une enveloppe en feuilles minces de gutta-percha ou par un vernis épais. Elle s'emploie par voie de coulage entre deux *chapes* en plâtre, épousant à distance les sinuosités du modèle et demande un temps assez long pour son complet refroidissement.

MÉTALLISATION DES MOULES.

Une fois le moule plastique formé, il faut métalliser sa surface pour qu'il devienne conducteur du courant galvanique. La couche conductrice doit être excessivement mince, afin de n'altérer en rien les reliefs et les creux de l'objet que l'on veut représenter. On métallise les moules soit par les solutions, soit par les poudres métalliques.

Solutions métalliques. On imbibe la surface du moule d'une solution métallique, et on réduit ensuite le métal, soit par l'action de la lumière, soit au moyen d'une vapeur ou d'un gaz que l'on fait arriver sur la surface.

GALVANOPLASTIE.

M. Boquillon applique sur le moule toute la quantité de la solution de nitrate d'argent que celui-ci peut retenir, et laisse le liquide s'évaporer sous l'influence de la lumière; il répète cette opération aussi souvent qu'il est nécessaire pour avoir une surface continue et d'un beau noir. Il lave légèrement la surface du moule avec de l'ammoniaque faible, et trempe celui-ci dans le nitrate d'argent, qui le mouille alors parfaitement; il traite ensuite par la manière de M. Spencer, que nous allons donner. Au lieu de laver avec l'ammoniaque, on peut employer le chlorure ou le nitrate d'argent dissous dans l'ammoniaque.

M. Spencer opère de la manière suivante :

Dans un flacon contenant un peu d'essence de térébenthine, d'alcool absolu ou d'éther sulfurique, on fait dissoudre un peu de phosphore, et on garde ce flacon bouché. D'un autre côté, on prépare aussi une solution étendue de nitrate d'argent cristallisé, ou bien encore de chlorure d'or ou de platine, que l'on conserve également dans un flacon.

Lorsqu'on veut métalliser un moule, on y applique, au moyen d'un pinceau très-doux, une couche de la dissolution métallique. On verse alors dans une capsule, ou simplement dans un verre de montre, quelques gouttes de la préparation phosphorée; on chauffe doucement sur un bain de sable, et dès qu'il commence à se dégager des vapeurs, on expose à leur action le moule enduit de la solution métallique, qui à l'instant même change de couleur, devient brun, et bientôt d'un noir de plus en plus foncé. Le moule peut alors être employé.

Pour préparer ainsi de petits objets, tels que des médailles, on peut les fixer, soit au fond d'un verre, d'un entonnoir, d'une cloche de verre ou de tout autre vase, suivant leurs dimensions; on place au-dessous de ce vase la capsule qui contient la préparation phosphorée, de manière à ce que toutes les vapeurs se trouvent recueillies sous cette espèce de récipient.

On peut même se dispenser de l'action des vapeurs de phosphore, il suffit d'exposer les moules à l'influence de la chaleur ou des rayons solaires pour déterminer la revivification du métal à leur superficie. Ce moyen n'est pas applicable aux moules en cire.

On peut aussi remplacer la préparation de phosphore par un courant de gaz hydrogène sulfuré qu'on fait arriver sous le récipient où est placé l'objet à métalliser, car l'argent sulfuré rend la surface conductrice.

Poudres métalliques. Les préparations précédentes ne réussissent pas toujours, car on observe souvent, sur les moules, des fissures qui détruisent la conductibilité électrique. Il est préférable d'employer la métallisation par les poudres métalliques, et surtout par la plombagine ou graphite.

De toutes les poudres conductrices appliquées par voie sèche, la plombagine est la meilleure. Sa nature onctueuse rend son application facile; elle se fait au moyen d'un pinceau en blaireau qui amène la plombagine dans les parties les plus fouillées, et d'une brosse très-douce pour rendre les surfaces brillantes. Toutes les plombagines ne donnant pas également une bonne métallisation. Celle qu'on doit préférer doit être légère, pas trop dure, nette, unie, luisante, argentée et d'un grain fin et serré.

Les poudres métalliques quelquefois employées sont celles de cuivre et d'argent.

Pour avoir une poudre de cuivre très-divisée, on précipite le cuivre d'une solution bouillante de son sulfate par du zinc métallique; on sépare ensuite le cuivre du zinc en excès par l'acide sulfurique étendu, et on sèche, à une douce chaleur, la poudre obtenue.

Quant à la poudre d'argent, on la prépare en faisant bouillir avec de l'eau aciduléo par de l'acide sulfurique

et du zinc pur, du chlorure d'argent récemment précipité du nitrate par du sel marin et bien lavé.

Voici un autre moyen, indiqué par M. Oechsle, pour obtenir l'argent en poudre à l'aide de la pile galvanique. Nous en empruntons la description au *Manuel Roret*.

Après avoir lavé du chlorure d'argent jusqu'à ce qu'il ne renferme plus de traces d'acide, on le fait sécher jusqu'à consistance d'une bouillie épaisse, et on le mélange en cet état avec une solution saturée de sel marin ; on le verse alors dans une capsule ou autre vase en terre poreuse. Dans un second vase en porcelaine et assez grand pour contenir le premier, on place sur deux tasseaux en verre une plaque de zinc amalgamé, puis on y verse de l'acide sulfurique étendu de 20 à 25 fois son poids d'eau. On met alors sur la plaque de zinc deux autres tasseaux de verre sur lesquels on place le tube poreux contenant le chlorure d'argent. La lame de zinc est mise en communication avec le liquide du tube poreux, au moyen d'un fil d'argent ou de platine qui plonge dans ce dernier. Il se manifeste aussitôt une action galvanique. Au bout d'une demi-heure, on remarque que le chlorure d'argent a pris une teinte grisâtre ; bientôt après il se réduit à l'état métallique. On laisse fonctionner l'appareil jusqu'à ce que tout le chlorure soit réduit, ce que l'on reconnaît à ce que, en l'agitant, la liqueur ne prend plus une apparence laiteuse et reste parfaitement limpide ; on décante alors la solution de sel commun, et l'on fait sécher la poudre d'argent.

La plombagine qu'on doit préférer doit être légère, pas trop dure, nette, unie, luisante, argentée et d'un grain fin et serré ; sa pesanteur spécifique est alors d'environ 2,089. Souvent, dans le commerce, elle est falsifiée par du molybdène sulfuré, et alors elle n'est pas suffisamment conductrice et efficace.

M. Boquillon applique de la manière suivante les poudres conductrices. Le plâtre et les matières poreuses qui ont été imprégnées d'une substance grasse ou résineuse sont dans un état favorable à l'application. Si l'on chauffe modérément le moule de manière à rendre la surface légèrement onctueuse, on peut appliquer la poudre métallique avec un pinceau fin de blaireau. On peut encore placer le moule au milieu de la fumée peu dense produite par la combustion imparfaite d'un corps gras, tel qu'un mélange de cire et de résine. La couche infiniment mince qui se dépose sur la surface conserve assez longtemps la propriété de happer les poudres métalliques ou la plombagine appliquée avec un pinceau. On peut aussi employer l'huile grasse des mouleurs en plâtre, en en faisant prendre au moule autant qu'il est possible, et en desséchant l'huile avant l'immersion dans la dissolution à décomposer. Les parties du moule qui ne doivent pas recevoir de dépôt doivent être recouvertes d'un vernis.

Métallisation des poteries et du verre. Dès qu'une surface est rendue conductrice, quelle que soit la nature du corps qu'elle recouvre, on peut la revêtir d'une couche métallique par les procédés de la galvanoplastie ; on peut donc, par ces procédés, recouvrir les diverses poteries et le verre de couches d'argent, de cuivre, etc., si, à l'avance, on les a recouverts d'une couche de plombagine ou d'une poudre métallique. Or, il suffit, pour cette dernière opération, de répandre sur les poteries et le verre une couche de vernis capable de happer les poudres conductrices.

Selon M. Simson, on peut employer avec succès un autre procédé pour métalliser le verre, procédé qui évite l'inconvénient d'avoir une substance étrangère, un vernis, entre le verre et le métal.

L'objet en verre que l'on veut recouvrir de métal est soumis à la vapeur de l'acide hydro-fluorique, jusqu'à ce que sa surface prenne un aspect mat et dépoli. Il est alors facile d'y appliquer, au moyen d'une estompe de liége ou de peau, une couche excessivement mince de graphite qui y adhérera avec la plus grande force, grâce aux aspérités du verre.

Dérochage et décapage. Les moules plastiques, recouverts d'une couche conductrice par les procédés précédents, sont en état d'être plongés dans les bains à décomposer. Quant aux moules métalliques, ils doivent être d'abord dérochés et ensuite décapés. Nous n'avons rien à ajouter aux procédés de décapage donnés à l'article DORURE. Pour le dérochage on ne pourra pas employer celui que nous avons indiqué, et qui commence par un recuit, lorsqu'on aura affaire à des moules fusibles ou très délicats. Dans ce cas, et surtout lorsqu'on aura des soudures à l'étain, il faudra dérocher simplement avec une eau légèrement acidulée par de l'acide hydrochlorique, et laver dans une eau chaude acidulée par un peu d'acide sulfurique.

DES SOUDURES.

Pour établir la communication entre le moule et le pôle négatif de l'appareil voltaïque, on prend pour conducteur une bande de cuivre ou de plomb, et si le moule est métallique, on le soude sur les bords de la manière suivante :

Soudure au chlorure de zinc et à l'étain. On commence par faire du chlorure de zinc en attaquant le zinc par l'acide hydro-chlorique, et évaporant jusqu'à consistance sirupeuse ; on renferme la liqueur dans un flacon bouché à l'émeri. Pour s'en servir pour souder, on en humecte légèrement, avec un pinceau, les deux surfaces à réunir, préalablement grattées avec un râcloir ; on les étame ensuite facilement avec le fer à souder et un peu de soudure d'étain ; puis, après les avoir mises exactement en contact, on achève la soudure, soit avec le fer, soit au moyen d'une lampe à esprit-de-vin.

Soudure à la stéarine. Le procédé de soudure employé par M. Lockey est encore plus simple et plus facile que le précédent, puisque chacun a sous la main la stéarine, seul corps qui soit nécessaire pour désoxyder les métaux, et déterminer leur adhérence à l'aide de la soudure d'étain.

On commence par nettoyer les pièces qu'on veut souder, soit avec un grattoir, ou même avec du papier de verre. On chauffe ensuite l'objet sur la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, et on le frotte légèrement avec un morceau de stéarine. On applique alors, sur le point chauffé, un morceau de soudure très mince, qui s'étend aussitôt et se combine intimement avec la surface du cuivre. La même opération est répétée sur la pièce qu'on veut souder avec la première. On maintient ensuite les deux objets en contact à l'aide d'une pince plate, on les chauffe simultanément, et on continue de les maintenir avec la pince jusqu'à ce qu'ils soient refroidis.

Quand le moule est formé avec une matière non conductrice, on pratique des ouvertures dans son intérieur, afin d'y introduire des conducteurs après y avoir amené la métallisation ; les précautions à prendre dépendent des pièces sur lesquelles on opère.

APPLICATIONS DE LA GALVANOPLASTIE.

§ 1. *Reproduction des monnaies et médailles.*

Pour reproduire une monnaie ou une médaille, on peut opérer de trois manières :

1° On opère directement sur la pièce en la plaçant au pôle négatif, après avoir pris des précautions suffisantes pour empêcher l'adhérence, précautions qui consistent à passer sur l'original une couche très légère d'une substance grasse, telle que l'huile, la cire, la stéarine, le suif, etc., que l'on enlève ensuite le plus possible en essuyant avec un linge fin. On obtient ainsi en creux une image, sur laquelle on opère de nouveau pour avoir une reproduction en relief ;

GALVANOPLASTIE.

2° On prend l'empreinte de la pièce avec un alliage fusible, de sorte que la première opération galvanoplastique donne le relief ;

3° On prend l'empreinte avec une des substances plastiques précédemment indiquées.

Dans les trois cas, il faut éviter avec le plus grand soin l'adhérence des bulles d'air au moule ; car, sans cela, on ne pourrait pas en reproduire toute la délicatesse. Les bulles se présentent surtout quand on opère sur des moules en verre. Pour parer à cet inconvénient, il faut examiner la pièce après l'avoir mise pendant quelque temps dans la dissolution, pour voir s'il y a des bulles, et chauffer légèrement pour les faire disparaître.

Quand on agit directement sur la médaille, il faut recouvrir le revers, sur lequel il ne doit pas y avoir de dépôt, d'une matière grasse ou de cire, puis on la met en rapport avec le pôle négatif au moyen d'un fil de métal très fin fixé autour. Le revers peut être reproduit de la même manière en recouvrant la face déjà prise avec une matière grasse. L'opération étant achevée, on sépare la pièce de l'original en enlevant d'abord le cuivre qui recouvre le moule vers ses bouts, et ensuite les faces se séparent avec une grande facilité. Si parfois il y a adhérence, on peut vaincre la difficulté en chauffant ; la différence de dilatabilité opère la séparation.

Il est préférable, lorsqu'on tient à n'altérer en aucune façon une pièce originale précieuse, d'employer l'une des deux dernières méthodes. Les moules en métal fusible se détachent souvent avec peine du dépôt métallique. Dans le cas où l'adhérence ne pourrait être vaincue qu'en détériorant le dépôt, on doit fondre le moule, qui entre en fusion à une température bien inférieure à celle qui altérerait le cuivre déposé. Quant aux empreintes obtenues avec la plupart des substances non conductrices, elles se détachent si facilement que le moule n'en éprouve jamais aucune atteinte.

Chaque fois que l'on veut prendre l'empreinte de grandes médailles, comme celles de 15 centimètres de diamètre, par exemple, il est nécessaire d'employer un appareil composé, dont l'emploi, d'ailleurs, est préférable pour la plupart des opérations galvanoplastiques. La médaille *m* doit être mise à plat au fond du vase (fig. 1047) ; on l'empêche de surnager en la fixant au fond par des chevilles de bois, ou bien en faisant adhérer un morceau de plomb au revers du moule. Au-dessus de la médaille, on place une plaque de cuivre Z, de dimensions un peu plus grandes que les siennes. Enfin le moule est mis en communication avec le pôle zinc de la pile, et le cuivre avec l'autre pôle.

Cinquante ou soixante heures d'immersion donnent une épaisseur convenable aux dépôts métalliques.

Lorsque les empreintes des deux faces d'une médaille sont obtenues, un petit artifice fort simple, dit M. de Vulicourt, permet d'imiter l'original au point de tromper l'œil du connaisseur le plus exercé. On fait avec du cuivre rouge une virole du diamètre de la médaille qu'on veut imiter et de la hauteur de cette médaille. Sur cette virole, tournée et polie avec soin, on soude promptement à l'étain, ou de toute autre manière, les deux empreintes galvanoplastiques. On bronze ensuite l'ensemble obtenu, par les procédés que l'on trouve à l'article BRONZAGE.

§ 2. *Galvanisation des statuettes, des bas-reliefs,* etc.

Pour recouvrir d'une couche de cuivre une statuette, un bas-relief, ou tout autre objet en plâtre, on la place dans un appareil simple, dans lequel la statuette est placée verticalement, un conducteur venant toucher les deux extrémités de la statuette.

Lorsque l'appareil sera monté, la statuette devra se trouver placée exactement au centre d'un anneau de zinc, dont la surface sera au moins égale à celle de l'objet qu'on veut recouvrir de cuivre et ne pas être trop éloignée des parois du diaphragme poreux dans lequel se place la statue ; les cristaux de sulfate de cuivre garnissant la partie inférieure.

Cuivrage galvanique. Les bains acides de sulfate de cuivre employés pour la galvanoplastie ne peuvent servir à déposer du cuivre adhérent à la surface des métaux ; de plus, ils attaquent le fer, l'acier, la fonte, le zinc, métaux sur lesquels le dépôt du cuivre, comme métal protecteur et décoratif, est le plus souvent appliqué. Dans ce cas, il faut, comme pour la dorure, avoir recours à des bains alcalins, au cyanure double de potassium et de cuivre, pour le cuivrage, ce qui donne des dépôts dispendieux pour de très-grandes pièces. Pour de fortes épaisseurs, on peut passer par des bains d'étamage et de plombage, qui permettent l'emploi du bain galvanoplastique sans crainte d'altérer le métal sous-jacent.

Le bain acide de sulfate de cuivre a été employé par M. Oudry au cuivrage de la fonte destinée à l'ornementation des rues et des places publiques, mais en faisant disparaître en quelque sorte le métal de l'objet.

C'est au moyen d'un vernis isolant, composé de matières résineuses, d'une peinture au minium, qu'il s'est dispensé du cuivrage préalable dans un bain de cuivre alcalin ; ce vernis supprime aussi le décapage difficile de la fonte, et, dans le cas d'une rupture de la couche métallique enveloppante, rend, par son interposition entre le cuivre et la fonte, l'oxydation du métal sous-jacent moins rapide.

L'enduit est séché à l'étuve, puis frotté avec la plombagine pour le rendre conducteur, et porté au bain de sulfate de cuivre, et enfin recouvert de cuivre par l'action de la pile.

Les fontaines des Champs-Elysées, des places Louvois et de la Concorde, les candélabres des voies principales de Paris, etc., montrent tout le parti que l'art monumental peut tirer du cuivrage galvanique de la fonte.

M. Weil a obtenu des dépôts très-adhérents sur la fonte de fer, sans couche isolante, qui empâte toujours les contours, en employant des dissolutions alcalino-organiques, avec l'aide du contact d'un peu de zinc. Voici la manière d'opérer.

On décape la fonte et le fer dans de l'eau fortement acidulée, ce qui n'exige que cinq à dix minutes. On passe à l'eau, puis à l'eau faiblement alcalisée ; on lave, on gratte-bosse au fil de fer et non pas au fil de laiton, et l'on suspend les pièces ainsi préparées, au moyen d'un fil de zinc, dans la dissolution renfermée dans un vase inattaquable aux alcalis caustiques. Ces vases doivent être par conséquent en grès céramique, ou en caoutchouc durci, ou en bois doublé intérieurement de gutta-percha, etc.

Les pièces cuivrées sont lavées, gratte-bossées, desséchées à la sciure de bois et ensuite à l'étuve.

Voici une des dissolutions qui donnent de bons résultats, — *Sur 10 litres d'eau* :

350 grammes de sulfate de cuivre cristallisé ;

1,500 grammes de sel de seignette cristallisé ;

800 grammes de soude caustique à la chaux, renfermant environ 50 à 60 pour 100 de soude libre.

Cette dissolution renferme à peu près 2 équivalents d'acide tartrique pour 1 équivalent d'oxyde de cuivre.

Le dépôt de cuivre ne se produit que lorsque le zinc entre dans le bain, et la couche augmente, dans certaines limites, avec le temps de l'immersion. Ce dernier effet n'a pas lieu pour le plomb, l'étain, métaux dont les oxydes sont solubles dans l'alcali froid.

§ 3. *Reproduction des fruits, légumes, végétaux.*

En cuivrant, par les méthodes décrites dans cet article, des fruits, des légumes, des feuilles, des graines et d'autres produits naturels, on peut fabriquer, soit des ornements, en conservant exactement la forme,

le volume et toutes les particularités, tous les détails les plus fins de l'objet galvanisé, soit des moules qui serviront à reproduire les objets primitifs; dans ce dernier but, il suffit d'augmenter l'épaisseur de la couche métallique déposée. Par exemple, pour reproduire une pomme, une poire, une graine, etc., on frotte le fruit avec de la plombagine, et on enfonce vers la queue ou vers le germe une petite épingle qui sert à établir la communication avec le pôle zinc de l'appareil électro-chimique; le reste de l'opération s'effectue comme nous l'avons dit plus haut. Lorsque le cuivrage est achevé, on retire l'épingle qui laisse un petit trou par lequel on peut chasser l'eau du fruit, pousser l'évaporation jusqu'à siccité, et éviter ensuite toute fermentation ultérieure.

§ 4. *Application de la galvanoplastie à l'art du fondeur.*

On sait que pour obtenir une statue en fonte de bronze, de fer, de zinc, le sculpteur ayant fourni son modèle exécuté en terre, on en tire une épreuve en plâtre ou en cire, et que c'est sur cette dernière épreuve qu'est fait le moule en sable qui doit recevoir le métal fondu. Par la galvanoplastie, au lieu de faire un moule en relief avec de la cire ou du plâtre, et ensuite un moule en creux avec du sable, on commence par faire un moule en creux avec du plâtre, et on le revêt intérieurement de plombagine avec beaucoup de soin. Alors on le plonge dans la dissolution de cuivre et on fait passer le courant électrique; quand la couche déposée est assez épaisse, on enlève le moule qui laisse à découvert l'objet parfaitement reproduit.

S'il s'agit d'une statuette en ronde-bosse de petite dimension, on prend les creux de chaque moitié, on les prépare avec de la plombagine, et on rapproche ensuite les deux moitiés que l'on soude avec du plâtre; on établit les communications avec l'appareil voltaïque, en essayant de s'arranger de façon à ce que le liquide puisse pénétrer à l'intérieur du moule et que le dépôt puisse s'y effectuer.

Si l'original a de grandes dimensions, il faut en général fabriquer des parties séparées que l'on soude soit à l'argent, soit à l'étain, en ayant soin de recouvrir ensuite électro-chimiquement la surface des soudures d'une couche du métal qui constitue la ronde-bosse. On avive la surface de la soudure, on la circonscrit au moyen de mastic de vitrier, de manière à former une espèce d'auge que l'on remplit de la solution métallique où plonge un fil de même métal en relation avec le pôle positif d'un couple voltaïque, la ronde-bosse communiquant avec le pôle négatif. Quand la soudure est recouverte du dépôt métallique, s'il se présente quelques protubérances, on les avive avec une lime douce.

Galvanoplastie ronde-bosse. Il était intéressant d'obtenir, à l'aide de la galvanoplastie, des sujets entiers, de s'affranchir de tout le travail de réunion des parties du modèle, qui est la cause de grandes dépenses. Parkes y parvint en Angleterre dès 1841 par un procédé qui consiste à introduire dans l'intérieur d'un moule fait en plusieurs pièces, et ouvert à sa partie inférieure de manière à permettre le renouvellement du liquide épuisé, une anode soluble en fil métallique représentant grossièrement la forme de l'objet. En conduisant l'électricité dans les parties les plus fouillées, elle se dissout et maintient la saturation du bain; mais ce moule avait l'inconvénient de ne permettre la production de rondes-bosses qu'avec de faibles épaisseurs, la destruction de l'anode arrêtant promptement le courant.

M. Lenoir a eu l'idée de substituer l'anode insoluble en fil de platine à l'anode soluble, ce qui remédie à l'inconvénient signalé. Dans ce procédé, la carcasse de fils de platine est le siége d'un dégagement de gaz hydrogène dont il faut ménager l'échappement par des ouvertures placées dans tous les points culminants du moule. Les fils divergents sont tous reliés à deux ou trois axes communs en fil de platine, isolés du moule, à leur sortie, par de petits tubes de verre mince. Ces derniers fils communiquent au pôle charbon de la pile, tandis que le moule est en contact avec le pôle zinc.

Quant à l'application des procédés galvanoplastiques à la typographie, et par conséquent à l'art du fondeur en caractères, elle offre surtout des avantages pour la production des moules ou matrices dans lesquels on fond les caractères d'imprimerie. Quant aux planches stéréotypées, elles s'obtiennent à si bon marché que la galvanoplastie, bien plus chère, ne peut les remplacer que quand on cherche la perfection absolue qu'elle fournit. Tel est le cas des gravures sur bois. Voyez STÉRÉOTYPIE et *Complément*, art. GALVANOPLASTIE.

§ 5. *Application de la galvanoplastie à la métallurgie.*

M. Becquerel avait annoncé être parvenu, à l'aide d'un procédé électro-chimique très-simple, à extraire l'argent, le cuivre et le plomb de leurs minerais respectifs, sans avoir recours à des appareils composés, mais bien en employant des appareils simples avec du fer ou du zinc. MM. Dechaud et Gaultier de Claubry présentèrent plus tard à l'Académie des sciences la description d'un procédé à l'aide duquel ils voulurent exploiter galvaniquement les mines de cuivre de Mouzaïa, en Algérie. Comme renseignement, je reproduirai ici le rapport de M. Becquerel.

« Avant tout, dit M. Becquerel, ce procédé exige la transformation du minerai en un composé soluble dans un liquide facile à se procurer dans le lieu de l'exploitation : c'est à cette condition-là seulement que les forces électriques peuvent agir pour séparer le métal de ses combinaisons. S'agit-il de minerais de cuivre, tels que le carbonate, l'oxyde, le sulfure ou les sulfures multiples, qui sont les plus communs, on transforme en sulfate les deux premiers, avec l'acide sulfurique, et les deux derniers en les grillant, opération qui s'exécute avec une grande perfection au Mexique, pour la préparation du magistral, agent indispensable dans l'amalgamation au patio. Une fois la sulfatisation effectuée, on lessive le minerai, et la solution est soumise à la décomposition électro-chimique dans des appareils simples. Si l'on veut obtenir le cuivre en lames, il faut disposer l'appareil pour que la solution soit constamment au maximum de saturation. MM. Gaultier de Claubry et Dechaud ont rempli cette condition, au moyen de dispositions très simples que nous allons décrire.

« Lorsque l'on superpose, dans un vase, deux dissolutions, l'une saturée de sulfate de cuivre plus dense, l'autre de sulfate de fer moins dense, si dans la première on place une lame de cuivre, dans l'autre une lame de fonte communiquant avec la première au moyen d'un conducteur métallique, on a un couple voltaïque dont l'action est suffisante pour décomposer le sulfate de cuivre; l'oxygène et l'acide du sulfate se portent sur la fonte, d'où résulte du sulfate de fer, tandis que le cuivre se dépose sur la lame de cuivre formant le pôle négatif. Le cuivre déposé dans les premiers instants est à l'état de pureté chimique; mais le fer devenant de plus en plus abondant, le cuivre, en se précipitant, entraîne avec lui du fer; il devient peu à peu cassant, puis pulvérulent, à mesure que la dissolution s'appauvrit davantage. Mais, tandis que cette dissolution devient moins dense, celle du sulfate du fer, au contraire, augmente en densité; il en résulte : 1° une dissolution de cuivre normale occupant la partie inférieure du vase; 2° une dissolution du même sel un peu moins dense surnageant la première; 3° une dissolution de sulfate de fer très dense; 4° une

autre normale. Pour rester toujours dans les conditions primitives, et obtenir le cuivre en feuilles, il fallait enlever la solution de sulfate de cuivre moins dense, et celle de sulfate de fer plus dense; c'est en cela que consiste le principal perfectionnement apporté au traitement électro-chimique des minerais de cuivre, par MM. Gaultier de Claubry et Dechaud.

« Leur appareil se compose des parties que nous allons indiquer : d'une caisse en bois doublée de plomb recouvert ensuite de cire ou de tout autre substance analogue, et destinée à recevoir la dissolution de sulfate de fer. Cette caisse est pourvue de deux ouvertures : l'une supérieure, pour l'introduction de la liqueur normale; l'autre inférieure, servant à expulser la liqueur dense au moyen de syphons. Dans son intérieur, et à distance convenable, plongent des cases en cuivre ou tôle plombée, dont les extrémités et la partie inférieure sont en métal, tandis que les parois latérales sont à jour et garnies de feuilles de carton fixées solidement. Une ouverture inférieure amène également, au moyen de syphons, la dissolution concentrée de cuivre, et une autre, placée presque à la partie supérieure, permet l'écoulement de la dissolution faible.

« Dans ces cases, on place le métal négatif destiné à recevoir le dépôt de cuivre, et entre chacune d'elles, ainsi qu'à l'extérieur des deux cases extrêmes, se trouvent à demeure des plaques en fonte destinées à produire l'action voltaïque.

« Des conducteurs métalliques servent à établir la communication entre toutes les parties du couple; et on règle l'appareil de manière qu'il arrive à chaque instant autant de dissolution forte de sulfate de cuivre et de dissolution faible de fer, qu'il sort de liqueur faible de cuivre et de liqueur forte de fer : l'action se continue sans aucune main-d'œuvre.

« D'un autre côté, pour faciliter le passage du courant entre les deux dissolutions en contact et séparées par des diaphragmes en carton, ceux-ci sont percés de petites ouvertures au-dessus du niveau supérieur de la plaque négative; au moyen de cette disposition, la dissolution de sulfate de fer normale occupant la partie supérieure de la case vient s'étendre sur celle de cuivre, de sorte que l'appareil est ramené à ses conditions premières.

« Une fois l'appareil monté, on n'a besoin que d'enlever les feuilles de cuivre, quand elles ont une épaisseur convenable, et de remplacer les plaques de fonte, quand elles ont été dissoutes.

« Le mouvement des liquides s'opère au moyen de syphons en rapport avec des bassins à niveau constant; peu importe la qualité de la fonte employée; celle de la plus mauvaise qualité réussit également bien. Les feuilles de cuivre peuvent être livrées de suite au commerce; passées au laminoir, elles acquièrent la densité de celles de cuivre obtenue au laminage. »

Nous interromperons quelques instants le rapport de M. Becquerel pour puiser dans le Mémoire de MM. Dechaud et Gaultier de Claubry quelques chiffres sur les rendements du procédé de métallurgie électro-chimique ci-dessus.

« A une température de 20 degrés centigrades, disent les auteurs du Mémoire, 1 mètre carré de surface reçoit jusqu'à 1 kilogramme de cuivre en 24 heures.

« Le cuivre précipité est pur, à un état physique constant; les feuilles peuvent être immédiatement travaillées au marteau ou passées au laminoir. Dans ce cas, quatre à cinq passes amènent le métal à la densité de 0,894, et l'on évite par là toutes les opérations nécessaires pour le faire passer de l'état de plateaux à celui de feuilles. Le travail n'offre aucune difficulté, ne demande point d'affinage, ne donne pas de scories. »

GALVANOPLASTIE.

Malheureusement tout ne se présente pas avec autant d'avantage que la phrase précédente semble le faire croire. Les auteurs, en effet, sont bientôt conduits à avouer qu'il faut partager les produits de la manière suivante :

50 pour 100 de feuilles de cuivre pur;

25 pour 100 de cuivre divisé pur, qui ne demande qu'une fusion pour être amené à l'état de plateaux ou de lingots;

25 pour 100 de cuivre divisé exigeant un affinage.

Ainsi donc on aura encore besoin de l'action du feu dans ce procédé. Or, voyons quelles quantités, quelles masses de liquide il faudra remuer pour obtenir 1,000 kilogrammes de cuivre en feuilles.

Il sera d'abord nécessaire d'employer une quantité double de cuivre dissous, soit 2,000 kilogrammes, qui, à l'état de sulfate, représentent 5,000 kilogrammes.

Or, une partie de sulfate exige 4 parties d'eau pour être dissoute; il faudra donc 20,000 kilogr. d'eau, ce qui fera une masse de 25,000 kilogr. de liquide, ou environ de 25 mètres cubes pour le sulfate de cuivre.

On doit évaluer à une quantité à peu près équivalente le sulfate de fer nécessaire pour que l'action électro-chimique se produise.

C'est donc 50 mètres cubes de liquide au moins qu'il faut manier pour obtenir une si petite quantité de cuivre; savoir 1,000 kilogrammes en feuilles, 500 en poudre pure, 500 en poudre impure.

Pour que cette quantité fût obtenue en 24 heures, il faudrait, en outre, que les appareils offrissent une surface de dépôt d'un développement de 1,000 mètres carrés.

Ainsi, une usine devrait être montée sur un pied énorme pour opérer par le procédé électro-chimique de MM. Dechaud et Gaultier de Claubry; cette énormité des appareils, des masses d'eau à remuer, etc., est un obstacle dont ne nous semble pas s'être occupé le savant rapporteur de la commission académique, car il continue simplement à dire :

« Tout le cuivre précipité n'est pas obtenu en feuilles, il n'y a guère que les trois cinquièmes et même la moitié; le reste est à l'état de poudre ou de fragments que l'on soumet à la fonte.

« Le procédé électro-chimique pour le traitement des minerais de cuivre avec le perfectionnement de MM. Gaultier de Claubry et Dechaud paraît présenter des avantages sur les anciennes méthodes de traitement; mais il exige que les minerais puissent être transformés entièrement, et à bon marché en sulfate; toute la question industrielle est là. D'un autre côté, la dissolution de cuivre, en partie épuisée, se charge de plus en plus de fer; de sorte qu'en la repassant de nouveau sur les minerais pour la saturer de sulfate, et la faisant rentrer dans l'appareil, il arrive un instant où la quantité de fer qu'elle renferme est telle que le cuivre précipité contient une certaine proportion de ce métal qui en altère la qualité : pour parer à cet inconvénient, on se trouvera dans la nécessité de ne plus repasser les dissolutions trop ferrifères sur ce minerai et de précipiter le cuivre qu'elles renferment avec du fer.

« A en juger par les expériences dont nous avons été témoins, il nous est permis de croire que l'application en grand du procédé électro-chimique, pour le traitement des minerais de cuivre, présente des chances de succès. »

Nous ne pouvons nous empêcher d'ajouter que si le succès en petit est à peu près certain, le succès en grand ne nous en semble pas moins très douteux, et nous croyons être en cela de l'avis de l'un des membres de la commission de l'Académie, car M. Dumas, après avoir lu le rapport de M. Becquerel, absent ce

jour-là de l'Institut, a cru devoir ajouter : « Je ferai remarquer à l'Académie que nous ne préjugeons rien sur l'emploi du procédé de MM. Dechaud et Gaultier de Claubry dans la métallurgie ; nous parlons seulement des expériences de laboratoire faites en notre présence. » C'était bien prévoir le résultat négatif qu'a fourni l'expérience.

§ 6. *Étamages des glaces par l'argent.*

Dans l'article ÉTAMAGE DES GLACES, nous avons dit que sans doute la galvanoplastie donnerait prochainement le moyen de substituer à l'amalgame d'étain, si dangereux pour les ouvriers exposés à absorber le mercure par tous les pores, un autre métal nullement insalubre. Notre prédiction s'est accomplie, et l'étamage a été obtenu sinon par courant électrique direct, au moins par une réaction chimique qui dispense de l'emploi du mercure.

Un Anglais, M. Drayton, utilisant une réaction découverte par Liébig, a trouvé le moyen de déposer sur le verre une couche d'argent qui donne à la glace une pureté de réflexion admirable.

Son procédé consiste à dissoudre, dans l'eau distillée, du nitrate d'argent, à y ajouter de l'alcool, du carbonate d'ammoniaque, de l'ammoniaque et de l'huile essentielle de Cassia, à verser la liqueur ainsi préparée sur la glace en y ajoutant, au moment de l'opération, de l'huile essentielle de girofle. Au bout de deux heures, l'argent réduit par ces huiles essentielles couvre la glace d'une couche parfaitement homogène de l'argent le plus pur.

Ce procédé offrait quelques imperfections dans la pratique. Nous dirons à l'article VERRE comment on y a remédié et comment, par des modifications, on l'a amené à l'état industriel. Les globes argentés que l'on voit aujourd'hui partout sont étamés par ce procédé. Les procédés de l'étamage au mercure ne permettraient pas de les fabriquer.

§ 7. *Reproduction des planches gravées.*

La planche de cuivre que l'on veut reproduire doit être d'abord soudée par sa face postérieure à une lame de métal, étain, plomb ou zinc, qui sert à établir la communication avec le zinc, de la batterie voltaïque. La température qu'exige cette opération chasse l'air qui revêt la surface de la plaque, en sorte que si on la plaçait de suite dans la dissolution de cuivre, l'original et la copie pourraient adhérer fortement. Pour éviter cet accident, la plaque soudée doit être placée durant vingt-quatre heures dans un lieu frais, ce qui lui permet de se revêtir de nouveau d'une couche d'air. On peut d'ailleurs, comme M. Spencer, frotter la surface à chaud avec de la cire, et l'essuyer jusqu'à ce qu'il n'en reste plus qu'une pellicule infiniment mince, ou bien, comme M. Boquillon, recevoir dessus la fumée blanche d'un corps résineux, après y avoir déposé une couche d'or ou d'argent. Les personnes qui ne sont pas habiles à souder les métaux peuvent se servir tout simplement, pour établir le courant, d'un fil métallique ou d'un fragment de métal qu'on met en contact avec la face postérieure du moule.

La densité de la dissolution de sulfate de cuivre que l'on emploie dépend de la force de l'appareil voltaïque. Si on n'emploie qu'un seul couple, on opère avec une dissolution saturée de sulfate de cuivre, étendue d'un peu plus d'un tiers de son volume d'acide sulfurique, ou bien d'une dissolution de 500 gr. de nitrate de cuivre dans 1 litre 1/2 d'eau. Avec quatre ou cinq couples, on peut parfaitement se servir d'une dissolution presque saturée de sulfate ou de nitrate de cuivre.

L'appareil voltaïque le plus convenable, dont on se sert pour fabriquer les planches, est celui de M. Smee, que nous avons déjà décrit.

GALVANOPLASTIE.

A (fig. 1064), est le couple voltaïque qui se compose d'une lame d'argent platinisé, placée au milieu d'une

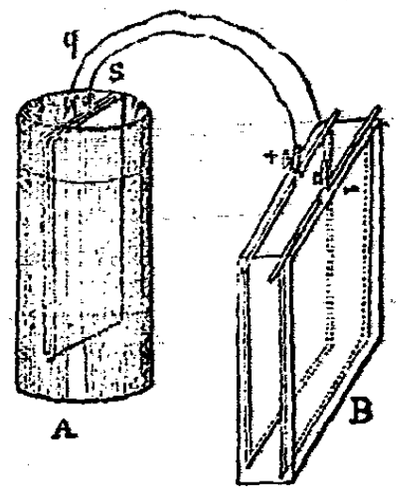


Fig. 1064.

lame de zinc recourbée, et communiquant par un fil S, avec le pôle positif de l'appareil à décomposition, c'est-à-dire avec l'électrode soluble en cuivre qui doit avoir une surface égale à celle du moule. La lame de zinc est unie, par un fil q, serré par une vis, au moule placé au pôle négatif de l'appareil de décomposition.

L'appareil à décomposition est une auge verticale B en bois revêtu d'un enduit isolant, de forme parallélipipédique, à la partie supérieure de laquelle deux tiges ou lames servent à fixer les fils métalliques conducteurs et les électrodes.

Cet appareil peut aussi être horizontal ; alors il faut avoir soin de placer le moule au fond, sans quoi la couche déposée n'aurait pas une dureté uniforme.

La première auge à décomposition est préférée pour une précipitation lente, mais la seconde paraît plus appropriée pour une précipitation rapide du cuivre.

L'appareil voltaïque doit être chargé avec de l'acide sulfurique étendu de 15 à 16 fois son poids d'eau.

Voici comment on doit disposer l'opération, d'après M. Smee :

« Quand on a rempli l'auge avec le liquide, on prend un morceau de cuivre de même dimension que celle de la planche, et on le fait communiquer avec l'argent de la batterie. Celle-ci étant amorcée, l'auge à précipiter étant remplie par la dissolution, et le fragment de cuivre à dissoudre étant plongé dans l'auge et uni à l'argent de la batterie, on doit faire communiquer le fil qui est soudé sur la plaque où le dépôt doit s'effectuer, avec le zinc de la batterie, et l'opérateur doit surtout avoir soin de ne plonger qu'en dernier lieu la plaque de cuivre dans l'auge à précipiter, pour compléter le circuit ; ces dispositions achevées, on voit un

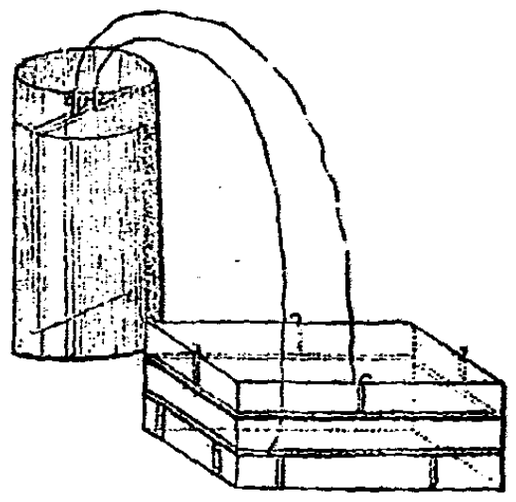


Fig. 1065.

dépôt de cuivre pur se former (fig. 1065 et 1066) ; ce dépôt n'adhère pas à l'original, à cause de la couche

d'air qui les sépare, ou de la très-mince couche de cire qu'on a interposée. »

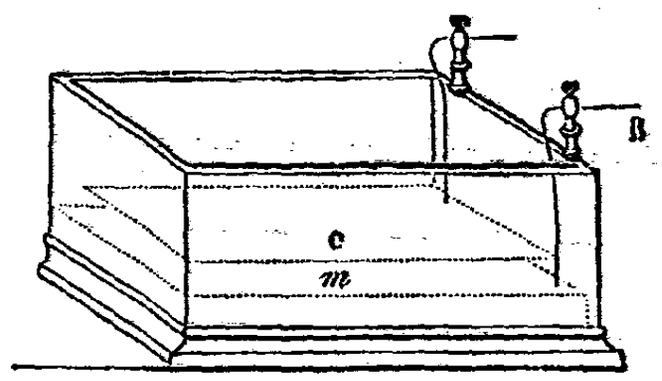


Fig. 1066.

Le dessin étant gravé en creux dans la pièce originale, on l'obtiendrait en relief dans l'épreuve galvanoplastique, si on ne prenait la précaution de se servir comme moule de l'épreuve galvanoplastique en relief, obtenue directement sur la planche originale. Dans tous les cas, le moule étant obtenu, on procède comme pour les planches unies, en prenant toutes les précautions recommandées dans les principes généraux de galvanoplastie qui précèdent ces applications.

Dans la pratique, on a peu utilisé ce mode de multiplication du travail du graveur, bien qu'on soit parvenu à l'exécuter avec une grande perfection. On est arrivé à un résultat équivalent en couvrant la surface de cuivre d'une couche de fer extrêmement résistante au frottement (voy. *Complément* GALVANOPLASTIE), ce qui s'obtient encore, par une action galvanique, à l'aide d'un bain de chlorure de fer ammoniacal.

§ 8. *Gravure des épreuves daguerriennes.*

M. Grove est le premier qui se soit occupé de ce problème intéressant. Il s'agit de trouver un moyen d'obtenir une gravure dans laquelle le crayon ou le burin de l'artiste ne sera point intervenu, où l'on pourra écrire, dessiné *par la lumière*, et gravé par *l'électricité*.

On sait que les images daguerriennes sont composées de saillies dues au dépôt de mercure, formant les clairs, et de parties planes formant les ombres, et qui ne sont autres que l'argent du plaqué. Les dégradations de teinte proviennent du mélange des saillies et des parties planes. Si sur ces images, considérées comme moule, on dépose du cuivre, il arrivera que les reliefs deviendront des creux, et réciproquement, de sorte qu'en tirant des épreuves de ces planches, les clairs deviendront des ombres, et *vice versâ*. Mais les saillies daguerriennes sont si faibles, que les planches de cuivre n'offriront pas assez de résistance pour qu'on puisse tirer plusieurs épreuves. Aussi le problème à résoudre consiste-t-il à se servir des planches daguerriennes comme électrodes positifs solubles dans des liquides attaquant le mercure, et laissant l'argent, afin que les clairs des épreuves soient les mêmes que sur la plaque. Par ce procédé, on pourra graver assez profondément la planche pour qu'elle puisse servir à un tirage suffisamment nombreux. La liqueur satisfaisant à la condition imposée de laisser l'argent et d'attaquer le mercure, est l'acide hydro-chlorique ; et voici comment M. Grove, conjointement avec M. Gassiot, dispose l'appareil :

Dans un bâti en bois on pratique deux cavités placées à 5 millimètres de distance l'une de l'autre, et dans lesquelles on glisse : 1° la plaque qu'il s'agit de graver ; 2° une plaque de platine de même dimension. Le dos et les bords de la plaque daguerrienne sont vernis avec une solution de gomme-laque ; on laisse seulement libre une portion du bord pour établir le contact métallique avec le conducteur voltaïque. Le bâti en bois, chargé de ses deux plaques, est ensuite placé dans un vase de verre ou de porcelaine rempli d'une solution de 2 volumes d'acide hydro-chlorique et de 1 volume d'eau distillée. Deux fils assez forts en platine arrivant d'un simple couple de la pile de Grove, sont mis en contact avec les deux électrodes durant 30 secondes.

« On retire alors la plaque daguerrienne, on la lave dans de l'eau distillée, et si l'argent était bien homogène et ne présentait point de stries, le dessin original aura pris une belle couleur de terre de Sienne, produite par la couche d'oxy-chlorure formée pendant l'opération. On place l'épreuve dans un plat contenant une solution très-faible d'ammoniaque, et on frotte légèrement sa surface avec du coton bien doux, jusqu'à ce que tout le dépôt ait disparu ; on replonge aussitôt dans de l'eau distillée et on fait sécher avec soin. L'opération est alors terminée, et l'on obtient une gravure parfaite du dessin original, dessin qui donnera une épreuve *positive*, c'est-à-dire dont les lumières et les ombres seront disposées comme dans la nature. Sous ce rapport, cette épreuve sera plus correcte que l'original, car elle ne sera pas renversée. Les caractères d'imprimerie sont dans leur position normale, ainsi que les côtés droit et gauche de la face, lorsqu'on opère sur un portrait.

« Toutefois, la gravure des épreuves daguerriennes offre une difficulté insurmontable. Si les plaques sont gravées assez profondément pour donner une bonne épreuve, quelques-unes des lignes les plus délicates de l'original se confondront nécessairement, et la beauté principale de ces délicieux dessins sera détruite. Mais si, au contraire, on n'a continué l'opération que pendant le temps nécessaire pour produire la gravure exacte de l'épreuve, ainsi qu'on peut le faire parfaitement, le nettoyage que l'imprimeur lui fait subir suffit pour détruire sa beauté, et l'on n'obtient qu'une épreuve très-imparfaite, parce que les molécules de l'encre d'imprimerie sont trop grosses pour la profondeur du trait gravé. (*Proceedings electrical society*, 1er vol., p. 98.) »

Nous donnons à l'article PHOTOGRAPHIE les améliorations que M. Fizeau avait apportées à ce procédé, mais sans pouvoir atteindre des résultats pratiques. Nous disons ci-après comment c'était en quittant la plaque métallique de Daguerre qu'on y devait parvenir.

Héliographie. L'invention de la gravure par l'action de la lumière remonte déjà à 40 ans. Elle est due à Nicéphore Niepce, qui la trouva avant 1822 ; ce fut son premier pas vers la merveilleuse découverte de la photographie.

La propriété que possède le bitume de Judée, de former avec les essences un vernis que l'impression de la lumière rend insoluble dans les mêmes essences, fit naître à M. Niepce la pensée d'appliquer sur une plaque métallique une couche d'un vernis de ce bitume dissous dans l'essence de lavande, de placer sur cette plaque ainsi préparée une gravure rendue transparente et d'exposer le tout à la lumière ; l'action des rayons lumineux achevée, il dissolvait avec l'essence de lavande la partie du vernis que les noirs de la gravure avaient préservée de l'action solaire, et soumettant la planche à l'eau-forte, il avait une reproduction en creux du dessin de la gravure originale. Grâce à des perfectionnements (Voy. PHOTOGRAPHIE), l'*héliographie* est acquise maintenant à l'art de la gravure, et, si elle n'est pas encore parvenue au dernier degré de perfection, elle rend dès aujourd'hui de grands services aux graveurs qui savent retoucher les planches obtenues directement.

Procédé Dulos. En réalité, le problème se trouvait attaqué par les premiers inventeurs avec une connaissance trop imparfaite des conditions auxquelles une gravure, soit en creux, soit en relief, doit satisfaire pour permettre le tirage de nombreuses épreuves,

pour remplir complétement son rôle. M. Dulos, dont nous donnons ci-après les curieux procédés de gravure dans lesquels les dépôts galvaniques sont si heureusement utilisés (voy. GRAVURE), a pu, grâce à son expérience de graveur, réduire le problème à obtenir sur le cuivre des parties conductrices ou non conductrices, ce que l'application d'épreuves photographiques de nature convenable permet d'obtenir pour les noirs et les blancs d'une épreuve.

Si la solution du problème n'est pas encore complète, on peut dire qu'elle est bien avancée, et, s'il est certain qu'on n'obtiendra jamais ainsi des gravures semblables à celles dont l'artiste anime chaque trait par l'action intelligente de son burin, on peut être également assuré de parvenir à un moyen de vulgarisation des reproductions de vues et d'objets de tout genre que la photographie permet de multiplier si aisément.

GANGUE (*angl.* veinstone, *all.* gangart). Les minéraux métalliques qui sont traités en grand dans l'industrie métallurgique sont dits des *minerais*. Les minerais ne se rencontrent pas généralement isolés dans la nature; ils sont ordinairement associés à d'autres minerais d'une valeur secondaire ou à des matières pierreuses; ces minerais accessoires portent le nom de *gangues*. Les gangues métalliques les plus communes sont les pyrites de fer, le fer spathique, les divers oxydes de fer et la blende; les gangues pierreuses sont le quarz, le feldspath, le carbonate de chaux pur ou combiné avec d'autres carbonates, l'arragonite, le sulfate de chaux et le spath-fluor, le sulfate et le carbonate de baryte. Comme nous parlons de ces divers minéraux, soit à leur nom, soit aux articles GÉOLOGIE et MINÉRALOGIE, nous n'y reviendrons pas ici, et nous nous contenterons de dire quelques mots sur les *feldspaths* qui abondent dans certaines roches, telles que les *granites*, etc., et se trouvent quelquefois dans les filons d'étain.

Il y a un assez grand nombre d'espèces de *feldspaths*, mais nous ne parlerons ici que des deux espèces les plus abondantes, le feldspath proprement dit ou *orthose*, et l'*albite*. Le *feldspath orthose* est l'espèce la plus commune, il a une cassure lamelleuse et raie le verre; sa densité est de 2,37 à 2,39; il est inattaquable par les acides, et fond au chalumeau en un émail blanc. Les cristaux sont très souvent hémitropes, mais ne présentent jamais d'angles rentrants. Sa composition est représentée par la formule minéralogique $KSi^3 + 3AlSi^3$. *L'albite* a un certain éclat que ne possède pas le feldspath; elle s'en distingue principalement en ce que les cristaux, presque toujours hémitropes, présentent alors un angle rentrant; elle est inattaquable par les acides, et fusible au chalumeau en émail blanc; sa composition est représentée par la formule minéralogique $NaSi^3 + 3AlSi^3$, qui ne diffère de celle de l'orthose que par le remplacement de la potasse par son équivalent de soude.

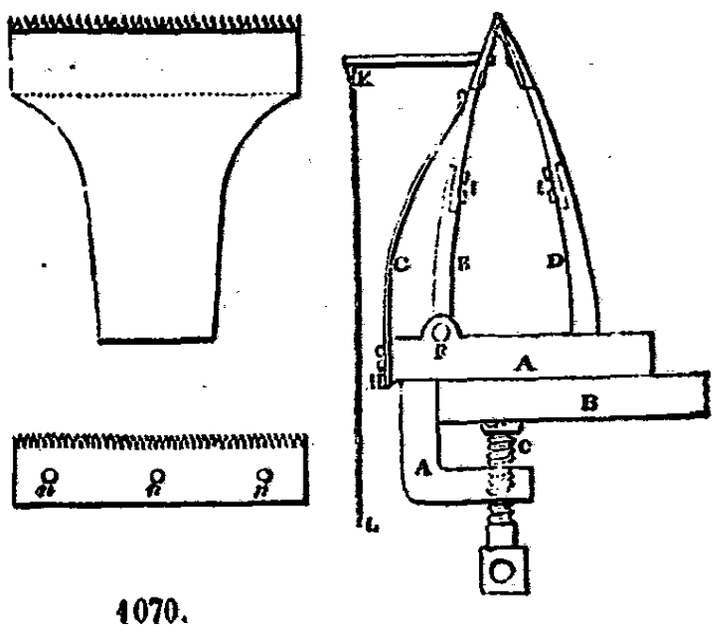
Avant de soumettre les minerais au traitement métallurgique, il est nécessaire de les débarrasser autant que possible de leurs gangues, ce qui se fait en les soumettant à une *préparation mécanique* que nous décrirons à l'article MÉTALLURGIE.

GANCE. Petit cordonnet d'or, d'argent, de soie, de coton ou de fil plus ou moins gros, rond, carré ou même plat. Il se fabrique à la *machine à faire les lacets* (voyez CORDONNET), lorsqu'il est rond ou plat, et surtout lorsqu'il n'est pas large. On le fait quelquefois au boisseau, d'autres fois à la navette sur le métier, et lorsqu'il est façonné, on le travaille comme les rubans et galons.

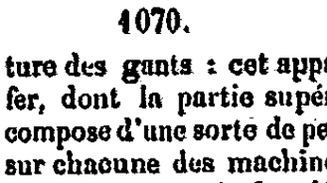
GANTS (*angl.* gloves, *all.* handschuhe). La fabrication des gants en peau est très simple : on prend ordinairement de la peau de chevreau convenablement préparée, on la découpe à la main ou le plus souvent à l'aide d'emporte-pièces, dont on a un assortiment de diverses grandeurs, qui portent des numéros différents, et on fait ensuite les coutures, soit à la main, soit à la mécanique.

Un Anglais a introduit à Paris un appareil très simple, représenté en profil fig. 1068, pour faciliter la cou-

1069. 1068.



1070.



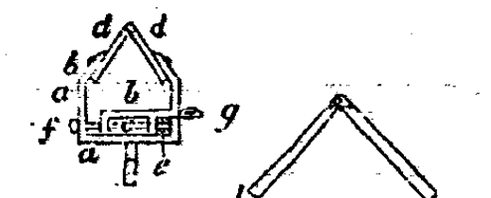
ture des gants : cet appareil ressemble à une pince en fer, dont la partie supérieure des deux mâchoires se compose d'une sorte de peigne en laiton (fig. 1070), fixé sur chacune des machines au moyen des vis *n*, *n*, *n*, comme on le voit fig. 1069 et 1070. Les dents de ce peigne n'ont que 2 1/2 à 3 millimètres de long, et sont parfaitement régulières. La pince A A est fixée sur le bord de l'établi B au moyen de la vis C; l'une des mâchoires D est fixée, l'autre E, est mobile à charnière autour du point F. La partie supérieure en laiton des deux machines est fixée en I, I, au moyen de fortes vis, à la partie inférieure en fer. La machine mobile E est naturellement pressée contre la machine fixe D, par un ressort G, fixé en H sur le bâti A. Un levier K, que l'on fait mouvoir à l'aide d'une tringle L et d'une pédale, sert à desserrer les mâchoires afin d'introduire entre elles la pièce à coudre. Celle-ci étant placée dans une position convenable, l'ouvrière retire son pied de dessus la pédale, et passe successivement son fil à travers toutes les dents des peignes, en faisant glisser son aiguille sur le fond de chaque entaille. Dès que la partie engagée entre les peignes est cousue, l'ouvrière la dégage en mettant le pied sur la pédale, engage la partie suivante et continue son travail. La couture ainsi exécutée est très régulière et va extrêmement vite. Il va sans dire que le profil des peignes et l'écartement de leurs dents doit varier suivant la forme des parties à réunir par une couture, et selon que le point doit être plus ou moins serré.

La machine de M. J. Winter est analogue à la précédente, mais un peu plus compliquée, et est représentée fig. 1071. La mâchoire fixe *a a*, porte un tenon qui sert à la fixer sur le pied, fig. 1072, portant deux guides fixes *c*, sur lesquels glisse, à mouvement d'étau parallèle, la mâchoire mobile *b b*. Les deux mâchoires sont placées l'une contre l'autre par un ressort placé en *e*, et représenté fig. 1076. La mâchoire *b*, porte en *g*, un anneau serré par l'une des extrémités d'un levier *h*, qu'on manœuvre à l'aide d'une tringle en fer et d'une pédale *i*, et qui permet d'ouvrir les mâchoires pour y introduire la partie du gant à coudre. Les parties supérieures, *d*, *d*, des deux mâchoires ont des formes variables, dont les fig. 1073 à 1075 donneront une idée.

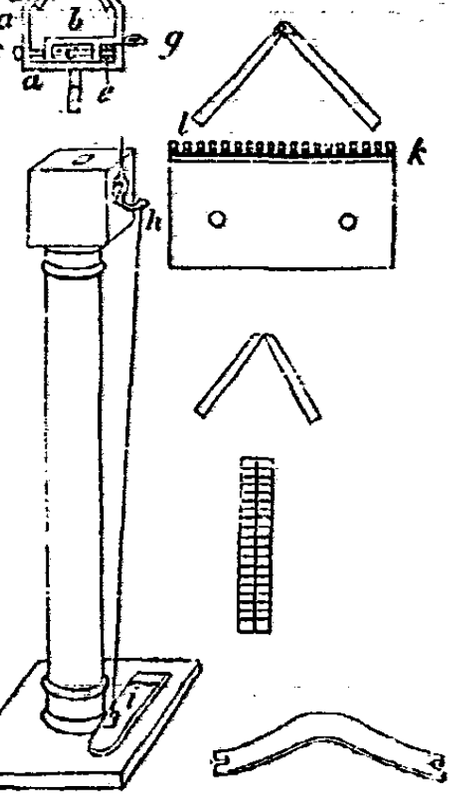
Au lieu de ces appareils, on emploie dans quelques localités des emporte-pièces, qui en découpant les gants

font du même coup les trous par où doit passer la soie qui sert à faire les coutures, au moyen de sortes de peignes placés en arrière des tranchants de l'outil, ce qui facilite et abrége beaucoup le travail ultérieur.

1071.



1073.



1072.

1074.

1075.

1076.

Anciennement le pouce était une pièce rapportée; M. Jouvin est parvenu dans ces derniers temps à le confectionner comme les autres doigts, faisant corps avec le reste du gant. C'est cette absence de couture de rapport du pouce qui caractérise les gants Jouvin.

Les gants une fois cousus, on les étire, on les enveloppe dans un linge légèrement humecté d'eau, et on les bat pour leur donner de la souplesse et du moelleux, puis on les met en presse.

GARANCE (*angl.* Madder, *all.* Fœrberrothe). La garance (*rubia tinctorum*) est la racine préparée d'une plante qui a donné son nom à la famille des rubiacés.

Cette plante, qui était connue des Grecs et des Romains, passe pour être originaire de l'Asie et du Midi: mais comme elle supporte les climats du Nord, sa culture s'est propagée dans presque toute l'Europe. Aujourd'hui, on cultive la garance dans l'île de Chypre, dans le Levant, en France, en Angleterre, en Hollande, en Suisse et en Allemagne.

Cette plante se multiplie par graine; cependant il est avantageux de la replanter avec les jets enracinés qui poussent au printemps.

La culture de la garance se fait généralement dans les terrains meubles et légèrement humides; cependant cette racine peut prospérer également dans tous les terrains, quand ils ont été parfaitement fumés.

D'après M. de Gasparin, il faut par hectare 57,000 kilogr. d'engrais normal pour cette culture, et dans les terrains secs on retire 1700 kilogr. de garance, ce qui fait un rendement de 2k,93 de garance pour 100 kilogr. de fumier.

Le terrain destiné à la plantation de la garance est préalablement défoncé à la bêche ou à l'aide d'un labour profond. les rejetons sont plongés dans l'eau avant d'être mis en terre.

En Alsace on plante ces rejetons en lignes espacées de 0m,35, et les plants sont eux-mêmes séparés par un intervalle de 0m,15 à 0m,18.

Ce n'est qu'au bout de trois ans qu'on tire la plante de terre, mais dans les pays, comme l'Alsace, où les gelées sont à craindre, il est prudent d'enlever les récoltes au bout de deux années, car un hiver rigoureux pourrait détruire la récolte. Dans le Levant, où on n'a pas à redouter les gelées, la récolte ne se fait qu'au bout de 5 à 6 ans, les produits s'accroissant avec le temps et cela d'une manière sensible. Dans le Midi, par exemple, une récolte de quatrième année pèse 4 à 500 kilogr. de plus qu'une de troisième année; peut-être cet excès de produit ne compense-t-il pas la prolongation de la culture.

La récolte de la garance est pénible et longue, car il faut à l'aide de la houe, et une à une, dégager les racines de la terre qui les environne.

La racine de garance est composée de trois parties distinctes : d'un cœur ligneux jaune, qui en occupe le centre dans toute la longueur; d'une partie corticale rouge; et enfin d'une pellicule légère et rougeâtre appelée épiderme.

C'est surtout dans la partie corticale que réside le principe colorant le plus utile, aussi cherche-t-on à l'isoler le plus possible; pour cela, les racines séchées à l'air, sur des filets ou dans des fours, sont remuées souvent, puis battues pour en séparer l'épiderme, la terre et les autres matières étrangères. Les débris qui résultent de ce traitement sont criblés, et ce qui reste sur le crible est un mélange d'écorces et de racines menues auquel on a donné le nom de *billon* ou de *mulle*. Ainsi épluchées, les racines sont broyées sous une meule de pierre, ou bien encore à l'aide de pilons armés de couteaux; un blutage on sépare ce qui reste de terre et d'épiderme : on a alors la garance nommée *non-robée;* après une seconde mouture, on en sépare comme précédemment la garance *mi-robée;* enfin la troisième mouture donne la garance *robée;* cette dernière passe pour la meilleure; cependant la garance mi-robée provenant de grosses racines est préférable. Quelquefois on ne fait qu'une seule qualité, mais alors on enlève la partie la plus pauvre par une première mouture; une seconde mouture donnera la garance appelée *garance grappe*. Dans le commerce, on a depuis longtemps réservé le nom spécial d'*alizari* aux racines entières, et le nom de *garance* aux racines pulvérisées. En teinture on recherche peu les alizaris, et en France celui d'Avignon est le seul employé.

Quant aux poudres ou garances, on les distingue, d'après leur provenance, en *garance de Hollande, garance d'Alsace* et *garance d'Avignon*. Avant l'apparition du mémoire de M. Girardin sur la garance, aucun des nombreux ouvrages qui ont parlé de cette matière n'a fait l'histoire de ces poudres; aussi est-ce à ce savant chimiste que nous emprunterons la description de ces trois sortes de garance du commerce, nous regrettons seulement de ne pouvoir donner qu'un résumé de son travail remarquable.

1° *Garance de Hollande*. La garance de Hollande dont l'emploi était jadis considérable en France, a disparu de nos marchés, par suite du droit élevé dont le gouvernement l'a frappée, pour encourager les cultures de l'Alsace et d'Avignon. Cette garance serait encore employée sans cela, car elle jouissait d'une vogue méritée.

L'odeur de la garance hollandaise est forte et nauséabonde, sa saveur est sucrée et amère, sa couleur varie du rouge-brun au rouge-orangé; elle est triturée grossièrement et sa poudre est grasse au toucher. A l'air cette garance absorbe facilement l'humidité (cette propriété de la garance exige que sa mouture se fasse dans des étuves chauffées à 40 degrés centigr.), propriété qu'elle doit au sucre qu'elle renferme; cette matière colorante offre avec le temps des modifications de couleur très prononcées, surtout si le contact de l'air humide est facile; elle exige avant son emploi au moins une année de tonneau, et c'est à trois ans qu'elle possède son maximum de vigueur tinctoriale; passé cet

âge sa fermentation continue, elle brunit et perd de plus en plus de sa valeur.

Les marques connues sur nos marchés sont :

Mulle O, Surfine, Non robée ou robée,	ou bien	Mulle, Fine grappe, Surfine grappe.

Le mot *grappe* indique que la poudre est consistante et agglomérée.

Cette sorte de garance venait jadis de Hollande dans des fûts de chêne pesant pleins environ 600 kilogr.

2e *Garance d'Alsace.* Cette garance qui a remplacé chez nous la précédente est loin de la valoir.

Son odeur est plus pénétrante que celle de la garance hollandaise, et sa saveur amère est moins sucrée; sa trituration est assez grosse; sa couleur varie du brun au jaune vif; elle absorbe très facilement l'humidité et en fermentant elle devient rouge foncé, tandis que la garance précédente passe au rouge vif dans les mêmes circonstances.

La garance d'Alsace se durcit également dans les barriques; à mesure qu'elle vieillit, sa couleur se fonce. Quoique subissant le *robage*, cette garance n'est jamais désignée sous les noms de *robée* ou *non robée*. Les marques connues sont les suivantes :

O, mulle
MF, mi-fine.
FF, fine-fine.
SF, surfine.
SFF, surfine-fine.

On emploie généralement la marque FF.

Les garances alsaciennes viennent en fûts de chêne de 600 kilogr, en demi-barriques de 300 kilogr., en quarts de barriques de 150 kilogr., et quelquefois en barils de 100 kilogr. C'est à Strasbourg, Haguenau et Géïselbrunn que ces garances se préparent principalement.

3° *Garances d'Avignon.* Les garances du midi de la France sont généralement employées de préférence aux autres, car elles permettent au teinturier de varier plus facilement les couleurs. Les garances précédentes ont presque toujours la qualité indiquée par la marque, celles d'Avignon au contraire présentent de grandes différences pour une même marque, cela tient à ce que chaque fabricant a sa marque.

Les poudres du comtat Venaissin ont une odeur agréable, une saveur amère et sucrée, et leur aspect varie du rose au rouge-clair ou brun; leur trituration est très fine, on ne voit plus la texture de la racine, ce qui facilite les fraudes. La garance d'Avignon attire moins facilement l'humidité de l'atmosphère, mais elle fermente tout autant que les autres en devenant rouge tendre ou rouge foncé, suivant que la poudre est ou *rosée* ou *palus*.

La meilleure garance est faite avec les racines des *palus*, nom qu'on donne dans le Midi aux terres engraissées de détritus organiques provenant d'anciens marécages : ces terres fournissent des racines *rouges*, tandis que les autres terres les donnent *rosées*.

La garance moitié *rosée*, moitié *palus*, donne une matière colorante avantageuse à la vente, et le rouge qu'elle produit est brillant et corsé.

Les garances d'Avignon sont dites *epurées*. Une garance est épurée de 3 à 15 p. 100. Or, *l'épuration* d'une garance consiste dans l'extration de l'épiderme, il faudrait donc admettre qu'une racine contient plus ou moins d'épiderme, et cela dans un rapport tel que le poids de cet épiderme est à celui de la racine :: 1 : 7 ; 10 ; 15.

La garance d'Avignon peut s'employer en sortant des moulins, cependant un an de tonneau lui est favorable; cette garance fermente peu et ne s'agglutine pas, cependant elle se décompose à la longue comme les autres. Son peu de fermentation est dû à ce qu'elle renferme peu de matières azotées, matières abondantes dans les garances d'Alsace et de Hollande, où elles déterminent une fermentation acide en jouant le rôle de ferment.

La dessiccation qu'on fait subir aux garances d'Avignon est cause des différences de nuances qu'on y remarque. Si on sèche à une température trop élevée, la poudre se ternit, sans rien perdre de ses qualités.

Les garances sont : ou palus,
— — ou rosées,
— — ou mi-palus, mi-rosées; on ajoute un P pour désigner une garance palus.

Les marques actuelles sont les suivantes :

Mulle, En sorte,	sans marques distinctives.
FF, SF, SFF, SFFF, EXTF, EXTST, EXTSFF,	à chacune de ces marques on ajoute la lettre : P pour palus, R pour rosée, PP pour palus pur, RPP pour rouge palus pur, moitié palus, moitié rosée, sans distinction.

On rencontre quelquefois les marques ridicules de :

EXTSFFRPP,

qui signifient : *Extra surfine-fine, rouge palus pur.*

La garance *extra-fine* est obtenue par le broyage du cœur ou de la partie ligneuse des racines; la couleur qu'elle fournit est moins riche en principe colorant, mais sa teinte est beaucoup plus vive.

Les garances d'Avignon viennent en fûts de bois blanc du poids de 900 kilogr.; ces barriques sont doublées intérieurement de cartons épais qui empêchent l'entrée de l'air.

La production de la garance en France est des plus prospères, on peut dire qu'elle ira toujours en croissant. En 1837 la récolte des alizaris s'est élevée, dans le comtat Venaissin seulement, à 1,200,000 kilogr., représentant 48,000 à 50,000 barriques; en 1838 la récolte a été un peu moins abondante.

D'après les états des douanes ;

En 1840 on a exporté de France 2,161,158 kilogr. d'alizaris représentant une valeur de 1,620,869 fr., et 12,114,054 kilogr. de garance dont la valeur est représentée par 12,114,054 fr.

En 1841 l'exportation de ces deux matières a été un peu moindre.

L'importation des alizaris et des garances de l'étranger est presque nulle depuis que leur entrée est frappée d'un droit élevé.

En 1841, il est entré en France 156,053 kilogr. d'alizaris valant 117,040 fr., et 80,399 kilogr. de garance d une valeur de 80,399 fr.

La garance, comme tous les produits chimiques d'une grande importance, a fixé l'attention de la plupart des hommes remarquables voués à l'étude de la chimie, et malgré les savantes investigations qu'elle a subies, sa composition n'est pas encore bien connue; c'est ce qui atteste la difficulté des recherches faites sur un pareil corps.

La garance renferme plusieurs matières colorantes de nuances diverses, mais le principe rouge le plus important est *l'alizarine* découverte par Robiquet. Cette matière s'obtient en traitant la poudre de garance par l'acide sulfurique. Après un contact de plusieurs jours les matières organiques mêlées à l'alizarine sont carbonisées, et alors on enlève l'acide par de nombreux lavages à l'eau; le résidu séché est traité successivement par l'alcool froid qui enlève les matières grasses puis par l'alcool bouillant qui dissout le principe colo-

rant. L'alcool qui tient en dissolution l'alizarine est étendu d'eau, puis distillé : à mesure que la distillation s'opère, la matière colorante se dépose et on la sépare du liquide restant par une filtration.

L'alizarine ainsi obtenue est à peine soluble dans l'eau bouillante ; l'alcool et surtout l'éther la dissolvent facilement, elle colore ce dernier en jaune orangé. Dissoute dans les liqueurs alcalines, elle leur donne une coloration violette d'une grande beauté.

L'alizarine par l'action de la chaleur se sublime en beaux cristaux aiguillés, rouges et brillants ; elle est volatile et insoluble dans l'acide sulfurique, propriétés qui n'appartiennent qu'aux couleurs éminemment solides.

MM. Robiquet, Colin et Kuhlmann ont trouvé dans la garance :

Une matière colorante rouge, qui est l'alizarine.
— — rose, nommée purpurine.
— — jaune, — xanthine.
De la gomme,
Du sucre,
De la pectine,
Une résine odorante,
Une matière amère,
Une matière azotée,
Un acide organique,
Du ligneux,
Enfin des sels nombreux de potasse et de chaux.

D'après Robiquet, les couleurs formées par la matière rouge de la garance sont très solides ; celles au contraire qui ont pour base la matière rose, le sont fort peu.

M. Runge a trouvé dans la garance sept principes différents, qui sont :

Le pourpre de garance,
Le rouge de garance,
L'orange de garance,
Le brun de garance,
L'acide garancique,
Et l'acide rubiacique.

Ce chimiste allemand n'a pu économiquement obtenir purs les trois premiers produits qui seuls sont importants.

D'un autre côté, il semblerait résulter des expériences de M. Decaisne que la garance à l'état vivant ne contient qu'un principe colorant, liquide et jaune ; à l'air, ce liquide, de jaune qu'il était, passe au rouge, et cette transformation est d'autant plus rapide que la division de la plante est plus complète. Les expériences chimiques de M. Schwartz semblent confirmer l'opinion émise par M. Decaisne sur l'unité du principe colorant de la garance.

Depuis quelques années, on a livré au commerce de nouveaux produits obtenus à l'aide de la garance, ils sont connus sous les noms de *garancine* et de *colorine*.

La garancine est tout simplement le charbon sulfurique de MM. Robiquet et Colin, auquel on a enlevé les dernières traces d'acide par des lavages nombreux.

MM. Robiquet et Colin prirent en 1828 un brevet pour l'extraction de ce produit. Le but de ces chimistes était d'extraire toute la matière colorante de la garance, matière dont on n'utilise pas la moitié par les procédés ordinaires. Effectivement, dans le bain du teinturier, la garance se divise en deux portions, dont l'une est dissoute ou en suspension dans l'eau, tandis que l'autre demeure fixée dans le résidu ligneux et ne sert à rien.

Pour mettre la matière colorante à nu, et la séparer des corps qui pourraient la retenir malgré l'affinité des mordants, MM. Robiquet et Colin ont employé l'acide sulfurique concentré à forte dose : voici du reste, la description de leur procédé de fabrication telle qu'ils l'ont indiquée.

« On délaie la garance dans cinq à six parties d'eau froide, et on la laisse macérer du soir au lendemain, afin de donner le temps à la portion de matière colorante qui se dissout d'abord de pouvoir se précipiter ensuite, comme cela arrive dans la coagulation spontanée de la gelée ; alors on jette le tout sur des toiles, et quand le marc est suffisamment égoutté, on le soumet à la presse, puis on le reprend pour le délayer de nouveau dans une semblable quantité d'eau ; on remet immédiatement à la presse, et on réitère encore une fois cette même opération.

« Lorsque ces trois lavages sont terminés, on délaie ce marc encore humide et bien écrasé avec une demi-partie d'acide sulfurique, eu égard à la quantité primitive de garance employée ; mais il faut que cet acide soit étendu de plus ou moins d'eau suivant la température, et seulement au moment de l'employer, afin de mettre à profit la chaleur qui se dégage pendant le mélange. Cet acide, ainsi étendu, est donc versé tout chaud sur la garance, puis on brasse le tout avec autant de rapidité que possible, et quand on juge que le mélange est bien opéré, on élève la température à 100°, et on la maintient à ce degré pendant une heure environ. Au bout de ce temps, la matière est délayée de nouveau dans une quantité convenable d'eau, filtrée et lavée sur les toiles jusqu'à ce que le liquide soit parfaitement insipide. Alors on soumet la matière à la presse, puis on la fait sécher et passer au tamis.

« Dans cette opération, l'acide n'a subi d'autre altération que de s'affaiblir et de se charger de quelques sels calcaires, ce qui ne l'empêche pas d'être propre à la fabrication du sulfate de soude ; on pourra peut-être utiliser aussi le premier lavage aqueux, qui contient beaucoup de matière sucrée qu'on peut facilement transformer en alcool. »

Ce procédé fut d'abord mis en usage en 1829, mais la garancine n'a été employée d'une manière courante qu'en 1839, notamment à Rouen et en Alsace.

On compte aujourd'hui douze à quinze fabriques de garancine à Avignon, et une ou deux en Alsace. Les fabricants d'Avignon retirent ce produit des garances du comtat Venaissin même ; ceux d'Alsace sont obligés pour augmenter la force de leur garancine d'employer avec les garances alsaciennes une petite quantité de garance du Midi.

Les procédés de fabrication de la garancine varient un peu suivant les fabriques ; aujourd'hui cette nouvelle matière colorante vaut 4 fr. 50 c. à 5 fr. le kilogr avec escompte de 6 p. 100.

Les variétés de garancines sont nombreuses, on en rencontre dans le commerce qui rendent quatre fois la valeur de la matière colorante de la garance qui a servi à les obtenir, tandis que d'autres ne donnent que deux fois et demie cette valeur : on peut admettre qu'en général une bonne garancine vaut trois fois plus qu'une bonne garance.

La consommation de la garancine est en moyenne de 1600 à 1800 barriques de 300 kilogr. par an pour celle d'Avignon, et de 4 à 600 fûts de même contenance pour celle d'Alsace.

La quantité de garance employée en teinture a baissé de près de moitié depuis l'introduction de la garancine ; mais ce changement dans l'emploi de la matière colorante n'a pas changé le mode de garançage, et les mordants sont restés les mêmes.

Il existe des garancines mal lavées et acides avec lesquelles on emploie de la craie pour les neutraliser en partie, car une trop grande acidité est nuisible ; il faut éviter autant que possible cet emploi et même celui des alcalis.

Les garancines ont un grand avantage sur la garance,

elles ne *chargent* pas les blancs comme cette dernière, et le blanchiment des étoffes garancées devient alors presque nul.

Les nuances obtenues par la garancine sont plus brillantes et plus vives que celles fournies par la garance; cependant toutes les garancines ne donnent pas les mêmes nuances avec la même richesse et le même éclat.

M. Léonard Schwartz de Mulhausen a pris un brevet de 15 ans, en 1815, pour la fabrication d'une garancine préparée avec les résidus de garance qui a déjà servi à la teinture; ce produit qu'il a nommé *garanceux*, est beaucoup moins riche en principe colorant que les bonnes garancines ordinaires, il a à peu près la même valeur tinctoriale que les garances, et son prix d'achat est de 2 fr. 25 c. le kilogr.

M. Steiner a pris aussi la même année un brevet en Angleterre, pour la préparation de la garancine avec les résidus de garance; son procédé a une grande analogie avec celui de M. Schwartz, voici du reste comment il opère : En dehors des bâtiments où se trouvent les cuves de teinture on établit un grand filtre en creusant un trou dans la terre et en garnissant cette cavité, au fond et sur les parois, de briques sans mortier pour les unir. Sur les briques du fond on met une certaine quantité de pierres et de graviers, et sur ces derniers on pose une grosse toile à voile. Au dessous du fond en brique on a disposé un canal qui sert à évacuer les eaux de filtration. Près du filtre, se trouve dans un tonneau de l'acide sulfurique étendu d'eau et d'un poids spécifique de 105, celui de l'eau étant 100.

Des cuves de teinture, la garance est dirigée, par un conduit, dans le filtre, tandis qu'en même temps on verse une certaine quantité de l'acide étendu, dans le même conduit : la garance se colore alors en jaune orangé, et l'acide précipite la matière colorante qui était dissoute et l'empêche de fermenter. Une fois que le filtre a séparé les liquides des matières en suspension, on enlève ces dernières pour les mettre dans des sacs qui sont ensuite pressés entre les plateaux d'une presse hydraulique. Ces sacs perdent par cette pression une quantité d'eau égale à la moitié et quelquefois aux deux tiers de leur poids. Le résidu retiré des sacs est brisé, puis tamisé, et à cette matière, qu'on met dans une cuve en bois doublée de plomb, on ajoute le cinquième de son poids d'acide sulfurique à 60° qu'on répand uniformément sur la garance à l'aide d'un arrosoir en plomb. On brasse le mélange : quand le contact a été bien établi, on retire la garance pour la mettre dans une autre cuve sur un double-fond en plomb percé de trous; sous le faux-fond on introduit un courant de vapeur qui traverse ce faux-fond et imprègne la matière.

Pendant ce travail qui dure deux heures au plus, il se forme une substance brune qui est composée d'un mélange de garancine et de matières organiques carbonisées. Cette substance est alors étendue sur le sol où elle se refroidit, après quoi on la jette sur un filtre où on l'épuise par l'eau froide jusqu'à ce que l'eau de lavage ne soit plus acide. Remise en sacs et pressée de nouveau, cette garancine est séchée à l'étuve et réduite en poudre, puis passée au tamis.

Pour la neutraliser complétement, M. Steiner ajoute à cette substance la vingt-cinquième partie de son poids de carbonate de soude sec qu'on y mélange le plus intimement possible. C'est à cet état qu'on emploie cette garancine.

Le produit commercial connu sous le nom de *colorine* est le résidu de la distillation des teintures alcooliques provenant du traitement du *charbon sulfurique* par l'alcool. Le résidu qui est de l'alizarine mêlée d'un peu de matières grasses est retiré de l'alambic pour être délayé dans l'eau, puis pressé dans le but d'en éliminer la matière grasse; cela fait on le dessèche et on le réduit en poudre; la poudre qu'on obtient est jaune d'ocre, elle est sans odeur ni saveur marquées et possède toutes les propriétés chimiques de l'alizarine.

MM. Pariset, Gastard et Fauquet de Rouen furent les premiers qui firent l'application en teinture de la colorine; mais l'emploi véritablement manufacturier de ce produit est dû à MM. Girardin et Greiley. Cette nouvelle matière colorante portera, sans aucun doute, une grande simplification dans l'industrie des indiennes, et accélérera surtout les procédés d'impressions.

La colorine de ces messieurs se vend à Rouen 40 fr le kilogramme.

Comme tous les produits commerciaux dont le prix est élevé, les garances sont l'objet d'une foule de fraudes qu'il est bon de signaler. Tantôt on mélange à la poudre de garance des substances minérales, telles que la brique pilée, l'ocre rouge et jaune, le sable et l'argile jaunâtre; tantôt, au contraire, c'est avec des substances végétales qu'on altère les garances, et on a soin de choisir celles dont la couleur se rapproche de la nuance de cette racine. On emploie souvent de la sciure de bois, des coques d'amandes, du son, de l'écorce de pin, du bois d'acajou, du bois de santal, etc. Ces poudres étrangères non seulement diminuent d'autant la valeur des produits tinctoriaux, mais encore absorbent de la matière colorante, aussi nuisent-elles beaucoup plus à la teinture que les matières minérales.

Pour reconnaître l'adultération des garances, on est obligé d'essayer ces matières. Notre but n'est pas ici d'entrer dans les détails des procédés chimiques employés pour reconnaître ces fraudes et faire l'essai des garances; nous nous contenterons de renvoyer nos lecteurs aux procédés très simples dus à M. Girardin, et qui se trouvent décrits dans la *Technologie de la garance*, mémoire dont nous avons déjà parlé.

GARANTIE. Les matières d'or et d'argent, sous quelque forme qu'elles paraissent dans le commerce, doivent porter l'empreinte de leur titre, c'est-à-dire de la quantité proportionnelle de fin qu'elles renferment, c'est ce qu'on nomme la *garantie*, parce qu'en effet cette empreinte est dans la circulation le signe de reconnaissance, le gage de la fabrication qui garantit les droits entre l'acheteur et le vendeur.

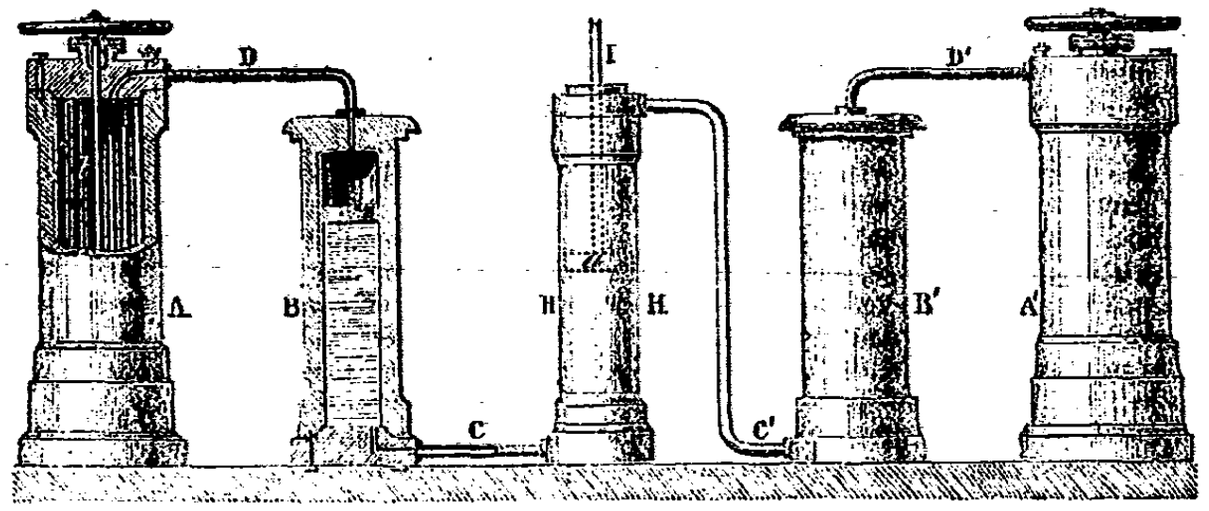
La matière est brute ou fabriquée : brute, elle est présentée en *lingots* sur lesquels on inscrit avec un *poinçon* le nom de l'essayeur ou des essayeurs, car l'acheteur et le vendeur emploient le plus souvent chacun leur essayeur, pour faire vérifier la teneur en argent ou en or fin. Si les essayeurs, qui sont des officiers de commerce, ne sont pas d'accord entre eux, on peut avoir recours à un essayeur de la garantie, qui est un officier de l'administration; et enfin, dans le cas où les parties ne s'en rapporteraient pas à ce dernier, l'administration des monnaies est appelée à juger en dernier ressort, en faisant faire l'essai dans les laboratoires : toutefois elle n'intervient que pour contrôler les opérations des essayeurs de la garantie, qui sont des agents sous sa dépendance, et non celles des essayeurs du commerce, qui exercent une profession libre, et qui ne sont soumis qu'à obtenir préalablement un brevet de capacité. La matière fabriquée constitue les *monnaies* et les *objets d'orfèvrerie ou de bijouterie*, et doit toujours être soumise, avant la mise en circulation, à une garantie légale, et ne peut donc, par conséquent, être contrôlée que par les seuls agents de l'administration, par les essayeurs de garantie. Les titres voulus par la loi, ainsi que la manière de procéder aux essais des matières d'or et d'argent, ayant été indiqués avec détails à l'article ESSAI, nous n'y reviendrons pas ici, et nous rappellerons seulement que la garantie est régie par la loi du 19 brumaire an VI.

GAUDE (*angl.* weld, *all*, wau). Plante herbacée qui croît naturellement dans toute l'Europe, mais particu-

lièrement dans les lieux sablonneux ; c'est une espèce de *réséda*, à laquelle Linnée a donné le nom de *luteola*, à cause de la couleur jaune qu'elle contient.

La gaude est employée en teinture pour teindre en jaune et en vert. On en fait aussi une laque jaune très solide employée dans la peinture. La matière colorante de la gaude a été isolée par M. Chevreul, qui lui a donné le nom de *lutéoline* ; elle cristallise en cristaux aciculaires, peu solubles dans l'eau, beaucoup plus dans l'alcool et l'éther, et qui se subliment par l'action de la chaleur sans se décomposer.

GAUFRAGE. On donne le nom de *gaufreur* à l'ouvrier qui imprime des figures en bas-relief sur une étoffe quelconque, avec des fers chauds ou des cylindres gravés ; les instruments gravés dont il se sert se nomment *gaufroirs*, et l'action d'appliquer les fers chauds sur l'étoffe, pendant un temps suffisant pour



que les diverses figures prennent la forme désirée et puissent la conserver, se nomme *gaufrage*.

Le *gaufroir* est ordinairement composé de deux parties : le gaufroir proprement dit, et sa contre-épreuve ; le premier est en laiton gravé en creux, et sa contre-partie peut être en carton qui se moule sur le gaufroir ; des chevilles de repere servent à les placer toujours l'un sur l'autre sans pouvoir se tromper. On humecte légèrement la substance qu'on veut gaufrer, on la place sur le dessin du gaufroir un peu échauffé, on recouvre avec la contre-partie et l'on met à la presse. On les laisse en repos jusqu'à ce que le gaufroir soit froid, et on retire alors la pièce à gaufrer qui a parfaitement pris l'empreinte.

Lorsqu'on gaufre au cylindre, celui-ci porte la gravure sur sa circonférence convexe ; des fers chauds sont placés dans l'intérieur du cylindre, et l'échauffent suffisamment. Le cylindre inférieur est recouvert de draps fortement tendus et élastiques, qui servent de contre-épreuve. L'étoffe légèrement humectée passe lentement et sous une forte pression entre les deux cylindres ; elle a le temps de s'y sécher et d'être fortement imprimée.

GAZ. Les gaz se distinguent des solides et des liquides par la tendance qu'ont leurs molécules à occuper tout l'espace qui leur est offert, et réciproquement à pouvoir se comprimer sous un très faible volume, en raison inverse de la pression à laquelle ils sont soumis, ce qui constitue la *loi de Mariotte*, et leur a fait donner le nom de *fluides élastiques*.

Les gaz se distinguent en gaz permanents et gaz coërcibles : ces derniers sont ceux que l'on est parvenu à liquéfier et même à solidifier par l'action d'un grand froid, d'une pression considérable, ou de l'un et de l'autre : ce sont le chlore gazeux, le gaz ammoniac, le protoxyde d'azote, l'hydrogène sulfuré, et les acides sulfureux, hydro-chlorique et carbonique (voyez pour les propriétés de chacun de ces gaz à leur nom).

Les vapeurs rentrent dans les gaz coërcibles.

GAZ (*éclairage au*). Voyez ÉCLAIRAGE.

GAZ LIQUÉFIÉ (MACHINE A). On s'est occupé beaucoup d'une machine à gaz acide carbonique de notre célèbre compatriote Brunel, remarquable par ses ingénieuses dispositions et que nous allons décrire.

L'acide carbonique, qui se liquéfie à 0° sous une pression de 40 atmosphères, développe à 80° (en redevenant gazeux) une énorme pression de 80 atmosphères au moins. C'est d'après cette donnée et en poursuivant une indication de Davy qui avait cru indiquer une route pouvant conduire à d'importants résultats au point de vue de la production économique du travail, que Brunel imagina de substituer l'acide carbonique à la vapeur d'eau pour faire mouvoir les machines.

Son appareil est formé de cinq cylindres A, B, H, B', A', (fig. 1077) verticaux, communiquant entre eux. Les cylindres extrêmes renferment l'acide carbonique, qui y est comprimé et liquéfié une fois pour toutes à l'aide d'une pompe. Chacun d'eux joue alternativement le rôle de chaudière et de condenseur, et à cet effet ils contiennent plusieurs tubes cylindriques longitudinaux *t*, dans lesquels on fait passer successivement de l'eau chaude et de l'eau froide. Cet acide passe dans les cylindres B, B', par les tuyaux D, D', et presse des pistons mobiles au-dessous desquels est située une masse d'huile. L'huile remplit le cylindre central HH, et communique la pression à son piston *a*, dont la tige I transmet le mouvement au reste de la machine. Pour concevoir le jeu de cet appareil, imaginons que l'eau chaude coule dans A, et l'eau froide dans A', l'acide carbonique pressera plus fortement le piston de B que celui de B', et le piston *a* de H montera. Lorsque celui-ci sera au haut de la course, on fera passer de l'eau froide dans A et de l'eau chaude dans A', et le piston *a* prendra un mouvement contraire au précédent. L'emploi des cylindres intermédiaires B, B' et de l'huile est motivé sur la nécessité d'éviter les fuites d'acide carbonique.

L'ordre de recherches inauguré par Brunel à la suggestion de Davy a été suivi par bien des inventeurs qui y ont perdu leur temps et leur argent.

C'est à propos d'une tentative de ce genre, présentée à la Société d'encouragement, que j'ai fait le rapport ci-après au comité des arts mécaniques, pensant qu'il était utile de bien établir les vrais principes sur ce genre de questions, afin d'empêcher des esprits distingués de s'engager dans une voie trop souvent poursuivie dans le monde des inventeurs, pour y chercher des résultats impossibles.

Dès 1823, Sadi-Carnot, dans son admirable brochure ayant pour titre *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, a établi qu'en principe la substitution d'un corps à un autre, dans une machine à feu, ne pouvait conduire à aucun avantage *théorique*. Il a démontré que dans une machine à feu supposée parfaite, c'est-à-dire dans laquelle aucune fraction de la chaleur n'est communiquée à un corps sans lui faire produire tout le travail extérieur qu'elle est susceptible d'engendrer, où le contact n'aura jamais lieu entre des corps possédant des températures sensiblement différentes, il fallait admettre, à moins de conclure à la possibilité du mouvement perpétuel, que la nature du corps échauffé est sans influence sur la quantité de travail, que celle-ci dépend entièrement et exclusivement de la quantité de chaleur utilisée.

Cet important principe n'est plus qu'une conséquence nécessaire de la notion sur laquelle repose la théorie mécanique de la chaleur aujourd'hui reconnue incontestable, à savoir l'équivalence de la chaleur et du travail. Puisque de la chaleur est consommée lorsqu'elle est communiquée à un corps pour produire du travail, qu'elle se transforme en travail, celle-ci seule est à considérer dans les machines à feu.

Nous nous trouvons, aujourd'hui, par suite du progrès scientifique que je viens de rappeler, en mesure de juger divers essais de transformation des machines à feu par changement du liquide employé, qui paraissaient reposer sur des principes exacts lorsque la science était moins avancée, mais dont les mauvais résultats pratiques paraissaient indiquer une lacune de la théorie, aujourd'hui heureusement comblée. Je rappellerai ici, comme exemple, la machine Perkins, combinée pour employer la vapeur d'eau à une pression très-élevée et à une très-haute température, et qui n'a offert aucun avantage sur la machine à vapeur ordinaire; et surtout la célèbre machine de Brunel à gaz carbonique alternativement liquéfié et gazéifié, fournissant des pressions considérables pour de faibles variations de température et qui cependant n'a pu donner de résultats qui justifiassent en rien les espérances du célèbre ingénieur.

Ces légères variations de température dont il s'agit ici consomment toujours la même quantité de chaleur que des variations plus considérables d'autres vapeurs pour produire une même quantité de travail, c'est ce qui condamne le genre de recherches dont il s'agit, ce qu'établit la théorie mécanique de la chaleur; c'est, au reste, ce qui se reconnaît assez bien par l'étude des faits.

S'il s'agit de l'action du corps à l'état gazeux, il a été établi par Dulong, alors qu'on ne parlait pas encore de la théorie mécanique de la chaleur, qu'un même travail de compression appliqué à divers gaz dégageait une même quantité de chaleur, ou inversement qu'un même travail engendré par la dilatation d'un gaz consommait toujours la même quantité de chaleur. Il n'y a donc nul intérêt à remplacer un gaz par un autre dans une machine à gaz échauffé.

Pour ce qui est des vapeurs, c'est une loi au moins approchée que la chaleur latente de vaporisation sous une même pression est en raison inverse de la densité de la vapeur formée, est proportionnelle au volume de la vapeur exprimée en fonction du volume du liquide et par suite que le travail d'action directe est le même par calorie. Cette loi se vérifie pour la vapeur d'eau, celle d'alcool, d'éther, d'essence de térébenthine, pour tous les corps bien étudiés. Ainsi, la vapeur d'eau produisant 1,700 litres par kil. à la pression ordinaire (ce qui se déduit des rapports des densités de l'eau et de la vapeur), et la chaleur latente étant 536, c'est $\frac{1700}{536} = 3^{k},17$ par calorie; l'alcool donne 520 fois le volume du liquide sa chaleur latente est 207, sa densité 0,8 et le rapport $\frac{520}{0,8 \times 207} = 3^{k},15$ par calorie. On arrive donc encore pour les vapeurs à la même conclusion que ci-dessus pour les gaz.

Pour le reste du travail que peut engendrer la chaleur incorporée dans la vapeur, au moyen de la détente: puisqu'une calorie engendre toujours un même volume à une même pression, celui-ci ne pouvant augmenter en produisant un travail sans qu'il se produise un refroidissement, et par suite une condensation partielle de la vapeur qui disparaît d'après ce qui précède en volume égal pour une même quantité de chaleur, on doit encore conclure qu'avec ce mode d'action une même quantité de chaleur disparaissant dans des conditions analogues produira un même travail.

L'illusion de Brunel, qui nous apparaît clairement aujourd'hui, c'est qu'en ne se préoccupant que des faibles variations de température qui ne produisaient, avec l'acide carbonique, que des variations de pression considérables, il négligeait un des éléments de la question, et raisonnait comme un ingénieur qui, pour évaluer une force vive, ne considérerait que la vitesse. La chaleur de vaporisation de l'acide liquéfié dont il ne se préoccupait pas est tellement grande qu'elle produit dans l'appareil Thilorier un froid suffisant pour solidifier l'acide carbonique sous la pression de l'atmosphère. En employant de petites quantités de chaleur, Brunel n'a obtenu et ne pouvait obtenir que des effets minimes.

Le remplacement de l'acide carbonique par l'ammoniaque, ou tout autre gaz liquéfiable, ne changerait rien au principe d'un genre de machines qui reste toujours sans aucun point de supériorité théorique sur la machine à vapeur; c'est dans tous ces cas la même machine dans laquelle le travail mécanique est produit de la même manière, en proportion d'autant plus grande relativement à la quantité de chaleur dépensée qu'on en perd inutilement une quantité moindre, ce qui ne dépend pas de la nature de la vapeur, mais du bon emploi de la détente, des moyens d'éviter les pertes de chaleur, etc..

En terminant, je ferai remarquer que les conclusions ci-dessus relatives à l'inutilité du genre de recherches tendant à substituer à la vapeur d'eau une autre vapeur, ne se rapportent qu'à la question économique, à la solution du problème de produire du travail mécanique artificiellement au plus bas prix possible, par la source de chaleur la plus avantageuse qui se représente dans la nature, par la combustion du combustible végétal et minéral. Si on laisse de côté le bon marché, s'il s'agit d'obtenir même à un prix relativement élevé du travail moteur, dans des conditions toutes particulières de légèreté, de facilité d'emploi, des gaz liquéfiés pourront peut-être être employés. C'est ainsi qu'à la guerre on emploie la poudre à canon dont le travail est, d'après M. Poncelet, 90 fois plus coûteux que celui de la vapeur d'eau, qu'on emploie l'acide sulfurique et le zinc dans des machines électro-magnétiques, etc. Un inventeur a proposé dans ces derniers temps l'emploi de l'ammoniaque successivement séparé de l'eau et liquéfié, puis agissant dans une machine et se combinant à l'eau pour produire de la chaleur. Dans cette voie d'utilisation de produits chimiques transportés sur le lieu où le travail est nécessaire, et de leur purification à l'atelier à l'aide de la chaleur, et surtout de leur liquéfaction à l'aide de pompes pour recommencer à nouveau, il y a peut-être des résultats intéressants de transport de travail à poursuivre, mais sans qu'on doive penser jamais atteindre par ces doubles opérations le bon marché de la production de travail que procure une bonne machine à vapeur. CH. LABOULAYE.

GAZE. Tissu léger fait en soie, ou en soie et fil de

lin, dont le caractère particulier, consiste dans l'écartement des fils de la trame, maintenus constamment à des distances égales, par le serpentement de deux fils de chaîne l'un sur l'autre, qui n'en présentent ensuite qu'un à l'œil, et dont l'ensemble avec le fil de trame forme un tissu criblé de trous. (Voyez LIN, SOIE).

GAZE MÉTALLIQUE. Toile en fil de métal, de fer ou de cuivre, dont le tissu est plus ou moins serré, et qui est employée à la confection des LAMPES DE SURETÉ. On s'en est aussi servi pour remplacer l'étamine dans les blutoirs à farine, etc., mais on y a actuellement généralement renoncé.

GAZOMÈTRE. Réservoir servant à emmagasiner le gaz destiné à l'éclairage, au fur et à mesure de sa production. (Voyez ÉCLAIRAGE).

GÉLATINE. Nous avons vu, en parlant de la fabrication des COLLES-FORTES, que la *gélatine* peut s'extraire des os par deux procédés différents; dans l'un, la gélatine reste pour résidu, tandis que la partie calcaire est dissoute; dans l'autre, au contraire, la gélatine est entraînée à l'état de dissolution, et le squelette osseux qui reste sert à fabriquer le noir animal, comme nous le verrons plus tard.

Gélatine par les acides. Cette préparation consiste à dissoudre, au moyen de l'acide hydro-chlorique, les sels calcaires contenus dans les os, et à mettre ainsi en liberté la matière animale qui n'est pas attaquée par cet acide étendu.

Les os sont à peu près composés de :

40 p. 100 de matières animales;
60 p. 100 de phosphate et de carbonate de chaux.

Dans les 60 p. 100 de sels calcaires, le phosphate de chaux entre pour les quatre cinquièmes, et le carbonate pour un cinquième seulement. L'acide dissout le carbonate en dégageant de l'acide carbonique, et transforme le phosphate neutre en bi-phosphate soluble en s'emparant d'une partie de sa base; il y a formation de chlorure de calcium, et tous les sels sont ainsi dissous.

En pratique, tous les os ne sont pas également bons pour la préparation de la gélatine; les uns, par leur extrême cohésion, s'attaquent trop lentement; les autres ne donnent pas une proportion de gélatine suffisante pour couvrir les frais de l'opération. Ainsi, tous les os qu'on appelle *os gras* sont abandonnés aux fabricants de noir animal; voici ceux dont on fait surtout usage :

1° *Les cornillons de bœuf ou de vache.* Ce sont les os qui garnissent l'intérieur des cornes, leur porosité les rend facilement attaquables par l'acide hydro-chlorique, et ils donnent une proportion de gélatine plus considérable que tous les autres os; le produit qu'on en retire est aussi de bonne qualité : ils valent à Paris de 14 à 16 fr. les 100 kilogr.;

2° *Les caboches.* Ce sont les os de la tête des bœufs ou des chevaux : comme ils sont très minces ils s'attaquent aussi très facilement et donnent une belle gélatine. Il faut, avant de les employer, en séparer à coups de hache les dents adhérentes à la mâchoire; ces dents emploieraient en pure perte de l'acide hydro-chlorique. Le prix de ces os est de 8 fr. les 100 kilogr.

3° *Les résidus des fabricants de boutons.* Ces déchets sont des os plats et très minces dans lesquels on a découpé les boutons; comme ils sont percés d'un grand nombre de trous, on leur a donné le nom de *dentelles;* ces résidus donnent une gélatine très blanche et de bonne qualité : on s'en procure des quantités considérables à Paris.

4° *Les têtes ou caboches de moutons.* Ces os donnent aussi une gélatine d'une grande blancheur, mais moins forte que celle des précédents et en plus faible proportion; cette gélatine a en outre une tendance à devenir laiteuse, aussi peu de fabricants emploient ces os, et leur prix est très bas. Voilà à peu près les seules variétés qui soient employées.

Généralement on ne fait subir à ces os aucun traitement préliminaire; il serait peut-être bon cependant, si l'on avait de l'eau en abondance, de les y plonger pendant quelque temps; on en séparerait ainsi les matières étrangères et ils seraient ensuite plus facilement attaquables par l'acide employé.

Il est rare qu'on les réduise en morceaux, et comme ils renferment peu de graisse on se dispense le plus souvent d'en extraire cette matière. Quoi qu'il en soit, voici comment on procède à l'amollissement de ces os.

Dans de grands cuviers en bois ou dans des bacs rectangulaires doublés en plomb, d'une capacité d'environ 2 mètres cubes, on met les os à traiter avec une quantité égale d'acide hydro-chlorique à 23° Beaumé, étendu de quatre fois son poids d'eau. Les os doivent toujours être recouverts de 2 à 3 centimètres de liquide.

Les cuviers où se fait cette première opération doivent, autant que possible, être à l'abri du soleil, car une température élevée pourrait occasionner l'attaque de la matière animale elle-même.

Au bout de sept à huit jours l'amollissement des os est complet; on les enlève avec une large écumoire en tôle, pour les porter de suite dans les cuviers en bois où on les lave à grande eau. Comme le bain acide n'est pas suffisamment épuisé par cette première immersion, on y ajoute une nouvelle quantité d'os égale à la première, et qui, en un jour ou deux, épuise complétement l'acide; ces os sont alors enlevés et portés immédiatement dans un bain neuf où ils restent comme les premiers, sept à huit jours. L'opération se continue ainsi toute l'année.

Cette manière d'opérer pourrait être plus méthodique en changeant plus souvent les os de bains acides; on devrait également, si on le pouvait, laver avec plus de soin les os épuisés; dans quelques usines on les expose à l'action d'un courant d'eau, et même on les plonge ensuite dans un bain d'eau de chaux pour saturer les dernières traces d'acide qu'ils pourraient renfermer encore.

Les eaux acides sont vendues, lorsque les localités le permettent, aux fabricants de phosphore qui en retirent le phosphate en dissolution. Ces mêmes eaux saturées par des eaux ammoniacales constituent un excellent engrais après leur évaporation.

Les os ramollis, après avoir été lavés à deux ou trois reprises, puis chaulés, sont exposés en plein air sur un sol pavé, ou mieux sur des filets à mailles solides et disposés en rayons, où ils se dessèchent; cette dessiccation n'est pas seulement nécessaire pour l'emmagasinage, mais elle est aussi indispensable à la bonne qualité de la colle.

Pour convertir en gélatine ou colle-forte les os ramollis et desséchés, on les fait digérer dans de l'eau bouillante. Cette dissolution qui se fait dans des chaudières en tôle ou en fonte, ne donne de bons produits peu colorés, que si on a soin d'opérer à une température à peine égale à 100°. Pour satisfaire à cette condition, on fait usage dans quelques fabriques de vases chauffés au bain-marie. Ces appareils se composent d'une chaudière en tôle munie d'un double-fond sous lequel on introduit, à l'aide d'un entonnoir à robinet, l'eau qui doit recevoir l'action directe du foyer et par son contact chauffer l'appareil. Une soupape communiquant avec l'espace réservé entre les deux fonds, permet de régler à volonté la température du bain d'eau chaude. Cette disposition évite les coups de feu qui peuvent, avec de simples chaudières, brûler leur fond et colorer les produits. L'emploi de chaudières à bascule chauffées par un serpentin de vapeur serait probablement avantageux.

La dissolution de gélatine s'obtient en ajoutant la quantité d'eau suffisante pour n'avoir qu'à chauffer sans

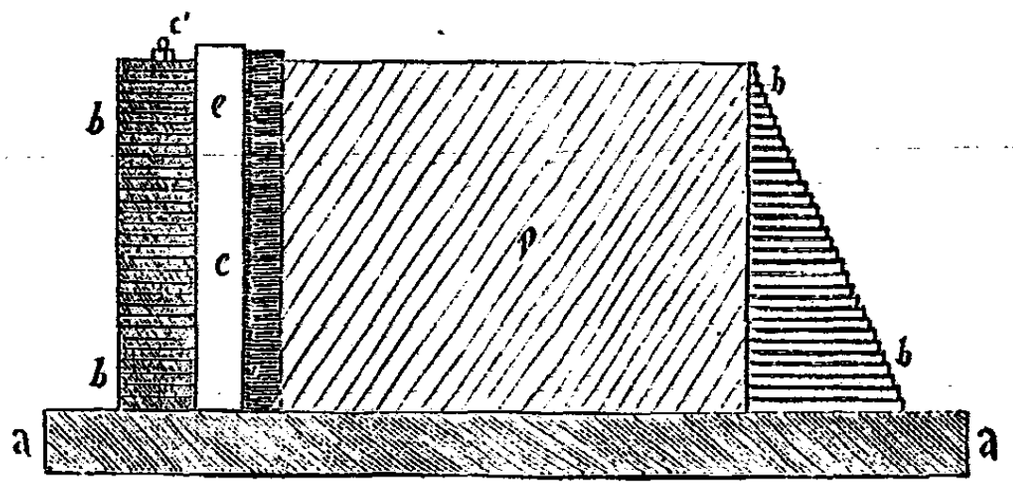
évaporer ; aussitôt qu'elle est terminée, on laisse déposer quelque temps, puis on soutire dans des moules en bois doublés de plomb ou de zinc. Avant de couler, on a soin de garnir le robinet de vidange d'un torchon de paille qui filtre en quelque sorte la dissolution et qui retient le marc de colle, c'est-à-dire les parties non dissoutes.

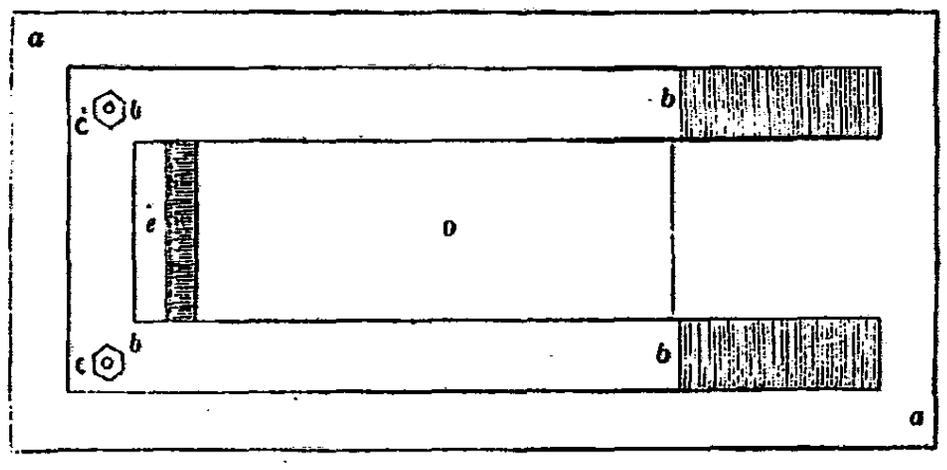
Quelquefois la solution gélatineuse est soutirée toute bouillante dans une seconde chaudière, enveloppée de corps mauvais conducteurs de la chaleur : c'est là que se fait la clarification. Après quelques heures de repos on coule dans les moules.

Les pains refroidis sont extraits des moules ; ils ont à peu près 0m,20 de longueur, 0m,08 de largeur et 0m,15 d'épaisseur, il s'agit de les découper en feuilles minces qui n'ont quelquefois que 4 millimètres d'épaisseur.

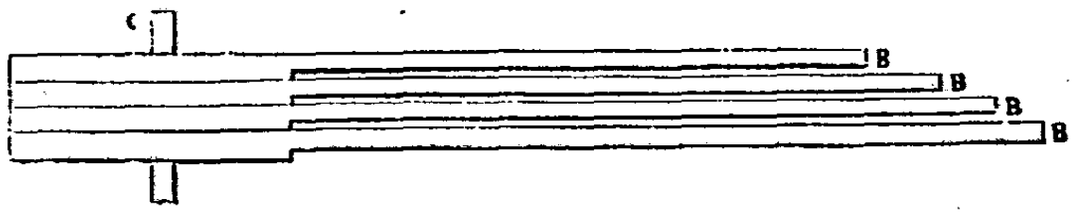
A cet effet, on emploie des appareils simples et ingénieux : en Angleterre on fait usage d'une boîte en bronze à fond mobile ; ce fond peut s'abaisser ou s'élever à volonté d'une quantité donnée, à l'aide d'une vis micrométrique. On dépose dans cette boîte le pain de gélatine à diviser, et on fait alors mouvoir le fond de l'appareil jusqu'à ce que le sommet du pain dépasse les bords supérieurs de la boîte d'une hauteur égale à l'épaisseur qu'on veut donner aux feuilles de colle ; puis à l'aide d'un fil de laiton tendu qu'on promène sur deux bords parallèles des faces de la caisse ; on enlève ce qui dépasse, on obtient ainsi une première tranche de gélatine. On soulève encore le fond de la même quantité, on coupe de nouveau ce qui dépasse la boîte et on continue de même jusqu'à ce que tout le pain soit divisé. La dernière tranche est mise de côté pour être refondue, car elle renferme les matières étrangères qui se sont déposées après le coulage en pains.

1079.





1078.



1080.

M. Grenet, de Rouen, emploie dans le même but un appareil dont nous donnons le dessin ci-dessous. La fig. 1078 en représente le plan, et la fig. 1079 la coupe verticale. Voici en quoi consiste cet appareil : sur une plate-forme en bronze *a*, est une série de plaques en laiton *b*, *b*, évidées à leur intérieur et posées les unes sur les autres ; chacune de ces plaques se trouve percée de deux trous, ce qui permet de les relier à l'aide de deux boulons *c*,*c'*, fixés au plateau en bronze. La plaque du bas est la plus longue, celles qui sont au-dessus ont une longueur graduellement moindre, elles ne sont en contact que par les faces de leur plus petit côté, c'est ce que montre d'ailleurs la figure 1080, qui représente l'assemblage de cinq de ces plaques : un espace égal à peu près au cinquième de leur épaisseur existe donc entre les faces des longs côtés de ces plaques.

Le vide existant au milieu de l'appareil reçoit le pain de gélatine D, qui a les mêmes dimensions ; ce pain s'appuie contre une brosse *e*, qui occupe le plus petit des trois côtés de cette espèce de boîte. L'appareil étant disposé comme l'indiquent les figures, rien n'est plus facile que de couper en feuilles la gélatine qui se trouve au centre ; pour cela on fait passer entre toutes les plaques (ce que permettent les vides qui s'y trouvent ménagés) un fil de laiton qu'on tient tendu et la division est opérée.

Comme toutes les plaques ont la même épaisseur (celle qu'on veut donner aux feuillets), on obtient une série de tranches gélatineuses égales.

La brosse *e*, est destinée à permettre au fil métallique de couper entièrement et d'une manière franche chaque feuille jusqu'au bout ; une fois la feuille coupée le fil qui est pris dans les crins de la brosse est retiré et engagé entre les deux plaques suivantes.

Enfin, nous dirons un mot de l'appareil à diviser de M. Pélier, fabricant de colle à Paris ; cet instrument est certainement celui qui opère le plus rapidement, car il suffit de couper une feuille pour les couper toutes à la fois.

M. Pélier met ses pains de colle dans un canal en

bois dont les faces sont à charnières et viennent, quand la division s'opère, serrer le pain qu'on découpe. Un cadre en fer portant 22 lames de couteau espacées d'une quantité égale à l'épaisseur à donner aux feuilles de gélatine, peut tourner autour d'un de ses côtés qui lui sert d'axe et vient s'abattre à volonté sur le pain de colle de telle manière que les lames se trouvent parallèles au canal renfermant ce pain qui se trouve ainsi divisé en 23 plaques d'un seul coup. Quand on relève les couteaux, les faces du canal qui comprimaient latéralement le prisme de colle tombent en tournant autour de leur arête inférieure, et les 23 feuilles de colle se trouvent libres.

Dans ce dernier appareil, le fond du canal où se mettent les pains est garni d'une brosse afin d'obtenir des coupures franches. Nous ne parlerons point ici de la dessiccation des feuilles de gélatine ; cette dessiccation et les chances qu'elle court ont été indiquées ailleurs (voir l'article COLLE-FORTE), ainsi que les rendements en gélatine obtenus par ce procédé avec les différentes qualités des os employés.

Gélatine extraite des os par la vapeur. C'est en l'année 1684 que l'extraction de la matière animale des os fut opérée pour la première fois, et ce fut à l'aide de la vapeur à haute pression qu'on y parvint.

Papin, à qui l'on doit les premières notions précises sur la force motrice de la vapeur et sur l'emploi utile de cette force, eut l'idée de traiter les os à une haute température, en se servant pour cela de l'appareil qui porte encore son nom ; mais l'emploi de la *marmite de Papin* présentait de graves inconvénients : le produit qu'il donnait ne se prenait pas en gelée, il était altéré le plus souvent et avait alors une saveur empyreumatique fort désagréable. Aujourd'hui même ce procédé défectueux est encore en usage dans le Midi, où l'extraction de la gélatine se fait sous une pression moyenne de 3 atmosphères.

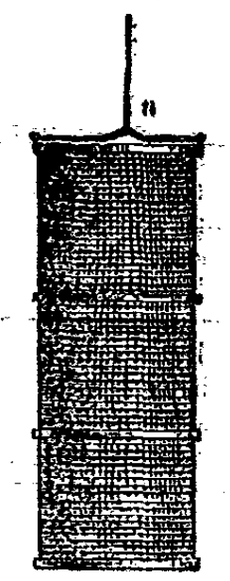
En 1812, M. d'Arcet, reprenant les travaux de Papin, reconnut que les os exposés à l'action de l'eau à une température élevée, perdent une portion de leur matière animale qui est transformée en ammoniaque ; cette transformation n'a plus lieu si on opère à 100° seulement.

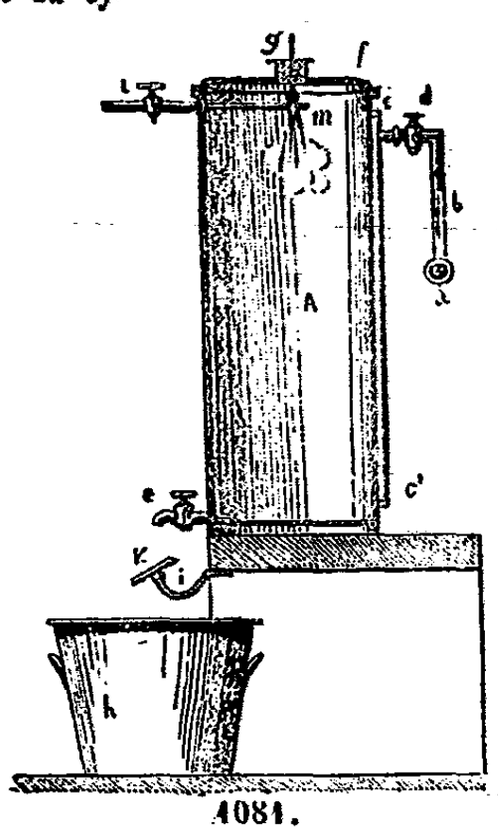
Le procédé que M. d'Arcet proposa à cette époque et qu'il a perfectionné depuis, consiste à rendre indépendant de l'appareil à extraire la gélatine celui qui doit fournir la vapeur, et à n'opérer la transformation du tissu cellulaire en gélatine qu'à une température maximum de 106°.

Ce qui a été dit de ce procédé, en parlant de la COLLE-FORTE (voy. ce mot) nous dispense d'entrer dans de plus grands détails. Nous nous contenterons de donner le dessin et la description de l'appareil imaginé par ce savant.

Cet appareil est représenté par les fig. 1080 et 1081. Fig. 1081, coupe verticale de l'appareil à extraire la gélatine : *A*, cylindre en fonte hermétiquement fermé dans lequel arrive de la vapeur ; *a*, tuyau faiblement incliné, apportant la vapeur d'un générateur qui est le complément de l'appareil ; *b*, tuyau vertical conduisant la vapeur dans le cylindre *A* ; *c*, *c'*, tuyaux faisant suite au tuyau *b*, et conduisant la vapeur, l'un en haut et l'autre au bas de l'appareil ; *d*, robinet placé sur le tuyau *b*, et servant à régler l'introduction de la vapeur dans le cylindre en fonte. (Les tuyaux et le cylindre doivent être enveloppés de matières conduisant mal la chaleur afin d'empêcher leur refroidissement) ; *e*, robinet placé à la partie inférieure du cylindre pour l'écoulement de la dissolution gélatineuse ; *f*, couvercle du cylindre. Ce couvercle se fixe au cylindre de différentes manières, seulement on a soin de garnir le joint d'une rondelle de carton pour empêcher les fuites ; *g*, tubulure fixée au couvercle, pour y placer à volonté un thermomètre ou un manomètre ; *h*, vase destiné à recevoir la gélatine au fur et à mesure de sa production ; *i*, gouttière destinée à conduire dans un autre vase la graisse qui coule d'abord quand l'appareil commence à marcher ; *k*, gouttière mobile autour d'un axe placé à son centre, et qui reçoit directement le liquide qui s'écoule par le robinet *e*, pour le verser soit dans le vase *h*, soit dans la rigole *i*, suivant le côté où elle est inclinée ; *l*, tuyau amenant de l'eau froide dans l'intérieur du cylindre ; *m*, ajutage mobile qu'on fixe au tuyau *l*, quand le panier qui contient les os est dans le cylindre, ce petit tube verse l'eau froide goutte à goutte au milieu de l'appareil, ce qui empêche une élévation de température trop considérable en même temps que la dissolution est rendue plus claire.

1080.





1081.

Fig. 1080. Élévation du panier garni d'une toile métallique en fil de fer ; c'est dans ce panier que se placent les os qui doivent être exposés à l'action de la vapeur dans le cylindre A ; *n*, est l'anse par laquelle on enlève ce panier chargé d'os, au moyen d'une poulie supérieure, quand il s'agit de le placer dans le cylindre, ou de l'en retirer après l'épuisement des os.

Dans cet appareil, il est de la plus haute importance de ne pas trop prolonger l'action de la vapeur, si on ne veut pas s'exposer à transformer une partie des matières animales en produits ammoniacaux. Il faut en outre en tenir toutes les parties dans le plus grand état de propreté pour prévenir toute fermentation putride.

Quand le travail a été bien conduit, le résidu de l'opération contient :

Phosphate et carbonate de chaux. . . .	90
Matière animale non attaquable par la vapeur, savon de chaux et graisse libre. . .	10
	100

GÉLATINE.

Aussi ce mélange ajouté à des os neufs ou des débris animaux donne-t-il, par une calcination en vases clos, un excellent charbon animal.

Ce résidu s'emploie également pour la préparation du phosphore, et, comme nous l'avons dit, en parlant des engrais, son emploi est très convenable pour fertiliser le sol, surtout dans la culture des céréales.

La dissolution gélatineuse fournie par ce procédé peut renfermer jusqu'à 40 grammes de gélatine par litre, on l'évapore rapidement dans des chaudières peu profondes en ayant soin de ne pas trop élever la température; le degré de concentration une fois assez élevé, on laisse déposer et on met en moules, on divise et on sèche comme par l'autre procédé.

Quant à la graisse qui s'écoule des cylindres et qui vient se figer à la surface de la dissolution de gélatine, elle peut remplacer le beurre comme aliment et la moelle de bœuf dans la confection des pommades.

Il nous reste à parler encore de la préparation de la gélatine alimentaire.

Gélatine alimentaire. Ce fut immédiatement après la découverte de son nouveau procédé d'extraction, que M. d'Arcet appliqua à la nourriture de l'homme la gélatine extraite des os par le moyen de l'acide hydrochlorique; mais le prix élevé auquel se vendait alors cette matière empêcha son emploi pour cet usage. C'est ce qui conduisit ce chimiste distingué à reprendre les expériences de Papin, et ce qui l'amena à imaginer l'appareil dont on fait encore usage aujourd'hui.

L'expérience ayant appris qu'il fallait au moins quatre jours pour extraire, à l'aide de la vapeur à faible tension, la matière animale que renferment les os lorsqu'on tient à l'avoir de bonne qualité, M. d'Arcet composa son appareil de quatre vases d'égale capacité, en tout semblables à celui dont nous avons donné la description et le dessin précédemment.

Les os s'épuisant en quatre jours de travail continu, on conçoit qu'en chargeant d'os un cylindre chaque jour, et en recevant dans un même vase, à chaque tirage, les liqueurs qui s'écouleront en ouvrant à la fois les robinets de vidange des 4 cylindres, on arrivera à obtenir un ordre de travail régulier au bout du quatrième jour de marche et le service de l'appareil consistera simplement alors à remplir chaque jour un panier d'os concassés, à ouvrir le cylindre où les os sont restés quatre jours exposés à l'action de la vapeur, à en retirer le panier en toile métallique chargé d'os épuisés qu'on remplacera par des os neufs préparés d'avance, à remettre ensuite ce panier dans le cylindre en fonte dont on referme alors l'entrée après avoir toutefois remis le tuyau d'injection d'eau froide qui doit augmenter la condensation. Cela fait, on laisse de nouveau arriver la vapeur en même temps qu'on ouvre le robinet d'eau froide et celui de vidange. Pendant les deux premières heures, la graisse seule s'écoule; on la recueille à part.

Quant à la dissolution gélatineuse, qui sort après, on la porte immédiatement dans un endroit frais.

Dans la préparation de la gélatine alimentaire, les os de bœuf sont seuls employés, il faut qu'ils soient propres et frais. Les os de veau, de porc et de mouton, mêlés aux précédents, nuisent à l'aspect ou à l'odeur du bouillon.

On a soin d'enlever, avant de les concasser, tout ce qui adhère aux os, car les cartilages, la peau, etc., troubleraient la dissolution de gélatine.

On doit obtenir 900 litres de dissolution pour 60 kilogr. d'os traités pendant 24 heures dans un des cylindres. La préparation de ces 900 litres de bouillon exige 144 kilogr. de houille.

La dissolution gélatineuse obtenue pour la confection des bouillons doit contenir 10 à 12 grammes de gélatine par litre, elle doit en outre être sans saveur ni odeur quand les appareils sont propres et construits en métaux salubres. M. d'Arcet a conseillé pour la conserver de l'acidifier légèrement avec du vinaigre ou mieux de l'acide citrique ou tartrique, ce qui en même temps facilite sa prise en gelée quand on la concentre davantage.

La graisse recueillie au commencement d'une opération est fondue avec des oignons coupés en tranches minces et qu'on y fait frire; puis une fois toute l'eau partie, on ajoute une croûte de pain grillé qui enlève l'odeur : elle est alors de bonne qualité.

A Reims, pour préparer 400 litres de bouillon de viande au moyen de la dissolution de gélatine telle qu'on l'obtient au sortir de l'appareil de M. d'Arcet, on emploie :

Dissolution gélatineuse.	400 litres.
Viande avec ses os.	20 kilogr.
Carottes épluchées. . .	10
Poireaux épluchés	5
Navets.	2,5
Céleri.	0,5
Sel.	8,0

4 clous de girofle.
Quelques carottes roussies.

On met toutes ces matières dans une marmite d'une capacité de 450 litres et on les chauffe pendant 5 heures. On obtiendrait un excellent bouillon si, au lieu d'employer seulement 5 p. 100 de viande, on en employait 25 p. 100.

La préparation des légumes au gras se fait en cuisant pendant 2 heures, dans une marmite :

Pommes de terre.	400 kilogr.
Eau, sel, herbes.	42
Graisse d'os	6

Pour donner à ces légumes les qualités de ceux cuits au bouillon, on remplace l'eau par la dissolution gélatineuse : on emploie volumes égaux de dissolution et de légumes.

Le bouillon de gélatine obtenu, la soupe se prépare en prenant :

Bouillon.	0,566 kilogr.
Pain.	0,076
Pour une portion. . . .	0,642

A Reims, la ration revient à moins de 6 centimes, et si on retranche le prix de la viande, à 5 centimes seulement.

Quand on veut préparer de la gelée, on fait subir quelques changements à la marche de l'opération.

Le cylindre chargé d'os neufs est enveloppé d'une couverture de laine, l'injection d'eau froide est suspendue et le robinet de vidange n'est ouvert que d'heure en heure, sans lui permettre toutefois de laisser échapper de la vapeur.

On obtient, à l'aide de ces précautions une dissolution plus concentrée qui peut se prendre en gelée et qu'on clarifie avec des blancs d'œufs battus; on acidifie la solution, comme nous l'avons déjà dit, avec un peu d'acide citrique.

La moyenne de onze années de travail de l'appareil de l'hôpital Saint-Louis a donné les résultats suivants, pour le rendement de 100 kilogr. d'os secs.

Gélatine.	28,204
Graisse.	7,216
Résidu osseux pouvant servir à la fabrication du noir animal. . . .	64,580
	100,000

Les os employés renferment en moyenne 30 p. 100 de gélatine et 10 p. 100 de graisse; on voit combien à l'aide de cet appareil on est près d'arriver à la limite,

et comme son rendement est supérieur à celui obtenu par les fabricants de colle-forte qui, en employant le même procédé, ne retirent en gélatine que 10 à 15 p. 100 du poids des os qu'ils emploient. La pression à laquelle ils opèrent est la principale cause de la perte qu'ils font.

L'usage de la gélatine alimentaire s'est répandu peu à peu dans un grand nombre de villes de l'Europe, en Amérique même on monta quelques appareils pour l'alimentation des classes pauvres, ou des hôpitaux, et de nombreux rapports favorables au nouvel emploi de la gélatine furent publiés et dédommagèrent M. d'Arcet des peines qu'il eut à faire partager son idée favorite. Mais dans ces dernières années la gélatine alimentaire souleva une opposition des plus vives, on lui reprocha de transmettre au bouillon une saveur fade et quelquefois repoussante, bien différente de l'odeur aromatique et de l'action stimulante que le bon bouillon exerce sur l'estomac, et qu'il doit à l'osmazôme et à l'acide qu'il a puisés dans la viande. On a également reproché à la gélatine d'être indigeste et de s'altérer facilement; enfin on a fini par dire qu'elle n'était pas nutritive. De tous ces reproches celui-ci est certainement le plus grave, les autres pouvant être atténués en grande partie; aussi l'Académie des sciences nomma-t-elle une commission pour décider la question. Tout le monde connaît les résultats obtenus par ses commissaires; les expériences qu'ils ont faites tendent toutes à démontrer que le pouvoir nutritif de la gélatine est faible.

« On se ferait très probablement, dit M. Dumas, une idée juste de ses effets, en la considérant comme propre à fournir aux dépenses de la respiration, sans avoir la faculté de fonctionner comme un véritable aliment réparateur de nos tissus, dont elle se bornerait à prévenir la destruction, et à ce dernier point de vue la gélatine jouerait un rôle fort essentiel, toutes les fois qu'on la ferait intervenir dans une alimentation trop pauvre en matières azotées. »

Le faible pouvoir nutritif de la gélatine paraît venir de ce que, toutes les fois qu'on détruit l'organisation d'une matière gélatineuse, on diminue probablement en grande partie ses propriétés nutritives.

Quoi qu'il en soit des doutes qui restent encore à cet égard, en admettant que l'emploi de la gélatine alimentaire fût abandonné, que les appareils de M. d'Arcet cessassent de fonctionner partout où on les emploie pour sa préparation culinaire, on les utiliserait encore avec avantage pour fabriquer la colle-forte. On peut dire que si l'illustre savant, que les arts et les sciences ont trop tôt perdu, s'est trompé en poursuivant pendant plus de trente années la réalisation des vues élevées de Papin, Pronst et d'Arcet père, pour approprier la gélatine des os à l'alimentation de l'homme, son erreur fut celle de tous les chimistes contemporains qui partagèrent son opinion sur l'utilité de cette matière pour animaliser convenablement la nourriture des indigents; erreur qui ne fut pas sans utilité, puisqu'elle l'amena à perfectionner considérablement les procédés de Papin et à doter l'industrie de l'art d'extraire la gélatine des os par le moyen des acides, ce qui porta en France les fabriques de colle-forte au plus haut point de perfection.

F. CH. KNAB.

GÉLIVITÉ DES PIERRES. Lorsqu'une pierre est pénétrée d'une plus ou moins grande quantité d'eau, un abaissement de température suffisant peut congeler cette eau jusque dans l'intérieur de la pierre, malgré le peu de conductibilité de celle-ci pour la chaleur; et, comme la glace offre un volume notablement plus considérable que l'eau dont elle provient, l'effet qu'elle produira dans l'intérieur des pores de la pierre pourra dépasser la ténacité de celle-ci et en déterminer la rupture, ou au moins y faire naître de nombreuses fissures : on dira alors que cette pierre est plus ou moins gélive.

Il est facile de comprendre que les pierres offriront sous ce rapport de très grandes différences, et qu'il est de la plus haute importance de connaître l'altération qu'elles peuvent éprouver par les variations de température auxquelles elles se trouveront naturellement soumises dans l'atmosphère, avant de les employer dans les constructions.

On peut imiter l'effet que l'eau produit en se congelant dans les pores d'une pierre par l'action d'un sel qui augmente beaucoup de volume par l'action d'une cause facile à produire; on se sert ordinairement pour cela, d'un sel efflorescent, le SULFATE DE SOUDE, susceptible de perdre de l'eau, après s'être solidifié, en acquérant un volume plus considérable que celui qu'il présentait.

A cet effet, on fait tailler des échantillons des pierres à essayer, en cubes à vives-arêtes de mêmes dimensions, que l'on plonge pendant un temps déterminé, ordinairement une demi-heure, dans une dissolution bouillante saturée à froid de sulfate de soude.

On enlève les cubes de la liqueur, on les suspend au moyen de fils de manière à ce qu'ils soient complétement isolés, et on place au-dessous de chacun d'eux un vase renfermant une portion de dissolution bien tirée à clair; après 24 heures, si le temps n'est pas trop humide ou trop froid, il s'est formé à la surface des cubes des efflorescences blanches. On plonge alors chaque pierre dans le vase inférieur, pour faire disparaître les cristaux, et on recommence autant de fois qu'il s'en forme.

Cinq jours après le commencement de l'efflorescence, on arrête l'expérience; la quantité de fragments qui se sont détachés, leur poids pris à l'état sec comparativement à celui de la pierre également sèche, et l'altération de formes que le cube a éprouvée, indiquent le degré de gélivité de la pierre soumise à l'expérience, ou de plusieurs pierres que l'on voudrait préparer.

GÉNÉRATEUR DE VAPEUR. Voyez CHAUDIÈRE A VAPEUR.

GENIÈVRE (*angl.* gin, *all.* genever). Liqueur dont la plus estimée vient de Hollande, et qui se fabrique ainsi qu'il suit : On prépare, avec 2 parties en volume de seigle de Riga non germé, et 1 p. de malt d'orge ou *drèche*, un moût que l'on fait fermenter à la matière ordinaire, puis que l'on soumet à la distillation. On obtient ainsi une eau-de-vie de grain faible, que l'on soumet à une seconde distillation, en ajoutant dans l'alambic, 1^{k} de baies de genièvre vieilles de quatre à cinq ans, et 1/8^{e} de kilogr. environ de sel marin. La liqueur ainsi obtenue renferme environ 60 p. 100 d'alcool en volume, et possède l'odeur aromatique du genièvre. On obtient de 28 à 33 litres de genièvre par hectolitre de grain.

GÉOGNOSIE. Voyez GÉOLOGIE.

GÉOLOGIE. Lorsqu'on parcourt une certaine étendue de la surface du globe, en étudiant le sol, surtout dans les parties, telles que les escarpements, les tranchées et les excavations, où il se trouve à découvert, on ne tarde pas à reconnaître que la composition en est très variée. L'aspect des *roches* change, ainsi que la nature de leurs principes constituants, et par suite l'emploi auquel elles sont propres. Ainsi, les unes servent à la fabrication de la chaux, les autres à celle du plâtre; les unes sont assez dures pour rayer l'acier et d'autres se laissent tailler avec la plus grande facilité; il en est même qui forment avec l'eau une pâte plus ou moins liante susceptible d'être modelée à volonté.

L'étude des propriétés des substances minérales qui entrent dans la composition de la croûte terrestre, considérées en elles-mêmes, constitue la MINÉRALOGIE. La GÉOLOGIE, au contraire, considère les roches sous le rapport de leur gisement : elle comprend à la fois la description des masses minérales qui constituent toutes les parties connues de l'écorce du globe, et l'ordre de

superposition de ces masses. Elle recherche la manière d'être des minéraux utiles, afin de guider le mineur dans ses explorations et ses exploitations; enfin, elle étudie tous les phénomènes qui tiennent à la constitution du globe terrestre, pour déduire de cet examen l'histoire des révolutions dont il a été le théâtre.

Notions préliminaires de géographie physique. La terre présente la forme d'une sphère aplatie vers les pôles et renflée vers l'équateur : le rayon à l'équateur est de 6376 851 mètres, l'aplatissement est de 1/305 d'après les mesures géodésiques prises dans diverses parties du globe ; on arrive au même résultat, par des observations astronomiques, en prenant pour point de départ, les inégalités du mouvement de la lune, tant en longitude qu'en latitude, ainsi qu'en admettant que la terre ait été primitivement fluide et dans les mêmes conditions de mouvement.

L'observation et le calcul ont également démontré que la densité moyenne de la terre est environ cinq fois plus grande que celle de l'eau; c'est-à-dire près du double de la densité moyenne, de l'écorce minérale qui nous est connue. Ce fait vient encore à l'appui de l'hypothèse d'une fluidité primitive et probablement générale de toute la masse du globe; car, en vertu de la gravité, les matières auront dû se ranger, les plus denses au centre, et les plus légères à la surface. C'est ainsi que nous voyons à la surface que nous habitons, l'air, l'eau et l'écorce minérale disposés concentriquement et dans l'ordre de leur densité. Nous commencerons l'examen géologique du globe en jetant un coup d'œil rapide sur la forme et la composition de ces trois couches.

Atmosphère. L'atmosphère est la couche d'air qui environne la terre, et qui renferme en outre quelques millièmes d'acide carbonique et une quantité très variable de vapeur d'eau. Cette colonne d'air faisant équilibre, au niveau de la mer, à une colonne de mercure à 0° de 0m,76 de hauteur, la hauteur totale de l'atmosphère serait seulement de 7950m si sa densité était constante; mais comme, par l'effet de la gravité, elle décroît à mesure que l'on s'élève suivant une certaine loi, cette hauteur est de 15 à 16 lieues : au-delà est le vide absolu ; il en résulte qu'on ne peut supposer aucune déperdition d'eau à la surface du globe par voie d'évaporation. Les différences de température auxquelles sont soumises les diverses parties du globe, jointes au mouvement même de rotation qu'il possède, déterminent à la surface des courants atmosphériques ou vents réguliers ou irréguliers. Un vent ordinaire parcourt 2 à 3m par seconde, un vent fort 5 à 6m, un vent violent 10m, et un ouragan jusqu'à 20, 30 et 40m.

Eaux. Les eaux couvrent près des trois quarts de la surface du globe, et leur évaporation spontanée produit des vapeurs qui se répandent dans l'atmosphère et dont la condensation ultérieure donne naissance aux nombreux cours d'eau qui sillonnent l'écorce terrestre.

Écorce minérale du globe. La surface du globe est accidentée d'une manière très diverse, et il est nécessaire de donner à ce sujet quelques définitions. On donne le nom générique de *montagnes* aux aspérités saillantes de l'écorce minérale du globe : tantôt ce sont des *dômes* arrondis, tantôt des *pics* aigus et isolés, ou des groupes dentelés sous forme d'*aiguilles;* d'autre fois ce sont des crêtes ou sinuosités qui sillonnent la surface sous forme de rides, ou des *plateaux* bordés par des escarpements plus ou moins rapides. Quoique ces formes soient susceptibles de varier à l'infini, les masses montagneuses un peu étendues constituent des *groupes*, et le plus souvent des chaînes, dont la structure est assujettie à des lois de symétrie, dont l'étude est d'une grande importance.

Une chaîne de montagnes est une saillie qui suit une direction déterminée, et qui se décompose généralement en plusieurs chaînons parallèles dont la hauteur va sans cesse en diminuant, à mesure que l'on s'éloigne de l'arête centrale dite cime ou ligne de partage des eaux, jusqu'à ce qu'ils se confondent avec les plaines environnantes. La cime est tantôt en forme de crête, tantôt composée de plateaux allongés. Les dépressions parallèles à la direction d'une chaîne de montagnes, constituent les vallées longitudinales, qui sont coupées à angle droit par les vallées latérales, qui descendent de la ligne de faîte et séparent les divers massifs constituants ; les crêtes comprises entre ces vallées présentent elles-mêmes des dépressions moins apparentes ou gorges, qui prennent le nom de col sur la ligne de faîte de la chaîne et qui servent alors à passer d'un versant à l'autre. Il arrive quelquefois que deux ou plusieurs chaînes se coupent, ce qui rend beaucoup plus difficile l'observation des phénomènes qui se rapportent à chacune d'elles.

Les groupes de montagnes sont disposés avec plus ou moins de régularité, soit autour d'un point culminant, soit autour d'une dépression centrale, d'où divergent, en s'élargissant sans cesse, les vallées principales.

Les chaînes de montagnes forment, pour ainsi dire, le squelette des continents, et en constituent, par conséquent, le caractère le plus saillant. Quant aux pays de plaines, leurs formes sont moins nettement dessinées, et sans les variations de la végétation et du climat, il y aurait identité presque complète entre la plupart d'entre eux.

DES ROCHES. Les roches sont des minéraux simples ou des associations de minéraux qui se rencontrent en masses assez considérables dans la nature pour qu'on puisse les regarder comme des principes constituants de l'écorce du globe.

Les roches composées se distinguent des roches simples par une *structure d'agrégation*, qui indique la manière dont se groupent les minéraux qui les constituent. Cette structure est dite *granitoïde*, lorsque les roches sont formées de minéraux cristallisés, associés à peu près dans la même proportion; *porphyroïdes* lorsqu'elles sont composées d'une pâte compacte dans laquelle sont disséminés des cristaux contemporains ; si, dans ces derniers cas, les cristaux isolés sont remplacés par des noyaux ou amandes de couleur différente de celle de la pâte, on dit que la roche à une structure *amygdaloïde*. Les roches composées de fragments ou de grains de roches plus anciennes, réunis par un ciment quelconque, portent le nom de roches *arénacées;* si les fragments sont anguleux, la roche est une *brèche ;* lorsqu'ils sont arrondis et assez gros ils constituent par leur réunion un *poudingue* ou *conglomérat ;* enfin, si les fragments sont à la fois arrondis et très petits, ils forment les *grès,* qui passent par degrés insensibles aux argiles, dans lesquelles les fragments élémentaire sont réduits à une ténuité telle que la roche produite par leur réunion devient homogène.

Cela posé, passons rapidement en revue les roches principales qui composent l'écorce du globe.

Roches granitoïdes

La plus répandue de ces roches est le *granite,* qui est formé d'un mélange de quarz, de feldspath et de mica, à l'état cristallin. Le quarz est ordinairement en grains gris ou blancs ; le mica, en lames noires, brunes, vertes ou argentines ; et le feldspath, blanc ou rose. Beaucoup de granites contiennent à la fois deux feldspaths de couleur différente. Lorsque l'un d'eux se présente sous la forme de grands cristaux implantés dans une pâte uniformément grenue, on dit que le granite est porphyroïde.

Le lames de mica sont quelquefois déposées parallèlement à une même direction, ce qui donne alors un

aspect rubanné à la roche, qui prend alors le nom de *granite rubanné* ou *gneiss*.

Le quarz, ordinairement en grains, se présente quelquefois en cristaux incomplets; souvent alors le mica manque complétement. Cette variété de granite porte le nom de *granité graphique* ou *pegmatite*.

L'*hyalomite* ou *greisen*, au contraire, est un granite qui ne contient presque point de feldspath.

Dans certains granites, le mica est remplacé par du talc, et porte alors le nom de *protogine*; il est quelquefois rubanné, et constitue alors du gneiss talqueux. On ne distingue guère ces roches des granits proprement dits, qu'en ce qu'elles renferment ordinairement à la fois deux feldspath, l'un blanc, et l'autre verdâtre.

Dans d'autres granites, au contraire, le mica est remplacé par de l'amphibole généralement d'un beau vert, et il y a souvent deux feldspaths blancs ou gris et rouge, ce qui donne une très belle roche qu'on désigne sous le nom de *syénite*: celle-ci peut être schisteuse, comme les granites.

Roches porphyroïdes.

Ces roches sont composées d'une pâte feldspathique ordinairement rougeâtre et de cristaux de feldspath; il arrive souvent que la pâte contient un peu d'amphibole, ce qui la rend verdâtre.

Lorsque la pâte, outre les cristaux de feldspath, renferme des grains, et le plus souvent des cristaux bipyramidés de quarz, la roche prend le nom de *porphyre quarzifère*. La pâte devient quelquefois terreuse, et le porphyre prend alors le nom de *porphyre argileux*. Lorsque les porphyres ne contiennent pas de cristaux, ils passent au *feldspath compacte* ou *pétrosilex*. Quelquefois la pâte prend un éclat résineux, et constitue alors le *feldspath résinite* ou *pechstein*.

Roches trachytiques.

Ces roches sont composées de *feldspath vitreux* ou *ryakolite*, en petits cristaux, formant une pâte âpre au toucher et remplie de cellules tapissées de petits cristaux, et souvent associée à du *feldspath albite*.

La présence du quarz dans les trachytes donne des *porphyres trachytiques* analogues aux porphyres quarzifères.

La *dômite* est un trachyte à grains très fins, friable et très âpre au toucher, qui forme une partie des dômes de l'Auvergne.

Les terrains trachytiques sont associés, dans quelques localités, avec des roches vitreuses, grises ou verdâtres, et globuleuses, qui portent le nom de *perlites* ou *perlstein*, et à une roche vitreuse d'un vert-noirâtre très foncé dite *obsidienne*; la *pierre ponce* est de l'obsidienne devenue fibreuse par le passage d'une multitude de bulles qui l'ont traversée verticalement.

Enfin, on doit encore rapporter aux roches trachytiques le *phonolite*, roche à la fois tabulaire et schisteuse, à cassure esquilleuse, remarquable par sa grande sonorité sous le marteau.

Roches amphiboliques.

Diorite. Cette roche est composée d'amphibole vert ou noir, et d'albite lamelleuse fréquemment en cristaux maclés, qui présentent toujours alors un angle rentrant, que l'on aperçoit aisément en faisant miroiter un morceau de cette roche à la lumière, ce qui la fait aisément reconnaître. Quelquefois les cristaux d'amphibole et d'albite sont disséminés dans une pâte compacte, verdâtre, et constituent alors le *porphyre dioritique*. Les *ophites* appartiennent presque tous à cette dernière classe; il en est de même d'un grand nombre d'amygdaloïdes et de variolites, qui sont réellement des *diorites amygdaloïdes*.

GEOLOGIE.

Lorsque les cristaux d'albite disparaissent, les diorites passent aux *amphibolites*, qui sont le plus généralement schisteuses. Les amphibolites compactes prennent le nom de *cornéennes* ou d'*aphanites*.

Roches pyroxéniques.

Ces roches sont composées de pyroxène vert ou noir, et de feldspath chatoyant ou labrador; la *lherzolite* est seule formée exclusivement de pyroxène, d'un vert assez clair, à cassure esquilleuse.

La *dolérite* est un mélange de labrador et de pyroxène, offrant une structure granitoïde. Les dolérites porphyroïdes portent le nom de *mélaphyres*. Les *basaltes* diffèrent des mélaphyres, en ce que la pâte ne renferme pas de cristaux isolés de labrador, et sont ordinairement caractérisés par la présence de grains cristallins de *péridot* d'un jaune verdâtre.

Les *trapps* sont des roches compactes et noirâtres comme les basaltes, mais dont les éléments sont indiscernables.

Roches hypersthéniques, diallagiques, etc.

L'*hypérite* est une roche de labrador et d'hypersthène.

L'*euphotide* est une roche de diallage et de feldspath tenace ou jade.

La *serpentine* seule forme souvent des masses considérables dans le sein de la terre.

Roches micacées.

La principale est le *micaschiste*, roche schisteuse composée de mica et de quarz, qui passe par des transitions insensibles au gneiss.

Roches talqueuses.

La plus importante est le *schiste talqueux*, composé de quarz et de talc; elle est souvent associée à des roches verdâtres qui portent le nom de *chlorites*, *pierre ollaire*, etc.

Roches de quarz.

Le quarz compacte ou *quarzite* forme des couches puissantes dans certains terrains; lorsqu'il est noir, il constitue le *quarz lydien* ou *kieselschiefer*.

Le *quarz silex* se trouve surtout en rognons, disposés en forme de couches, dans les terrains de craie.

Roches calcaires.

Ces roches très répandues dans la nature constituent un grand nombre de variétés, et sont composées de chaux carbonatée pure ou mélangée de substances diverses; les principales sont les suivantes:

Calcaires saccharoïdes ou *marbres*. Ces calcaires, généralement blancs ou peu colorés, doivent leur état cristallin à un métamorphisme dû à l'action de roches ignées d'origine postérieure.

Calcaires compactes. Ces roches très abondantes, qui fournissent des marbres d'ornement, des pierres lithographiques, etc., ont tantôt une cassure esquilleuse et conchoïde, tantôt une cassure terreuse, et sont fréquemment colorés en jaune, en rouge, en gris ou en noir, par des oxydes de fer ou des matières bitumineuses.

Calcaires oolithiques. Ces calcaires, fort abondants dans certaines formations secondaires, doivent leur nom à leur structure, qui se compose de petits grains ronds soudés ensemble et fort analogues à des œufs de poisson.

Calcaires crayeux. Calcaires blancs terreux, qui se rencontrent en abondance dans la plus récente des formations secondaires.

Calcaires siliceux. Ces calcaires blancs, compactes,

à cassure conchoïde, sont abondants aux environs de Paris.

Calcaires bitumineux. Calcaires compactes, terreux, d'un brun plus ou moins foncé, exhalant une forte odeur de bitume.

Calcaires marneux. Calcaires mélangés d'argile, ayant l'aspect terreux, et se dilatant facilement; ils passent aux *marnes*, lorsqu'ils contiennent environ moitié de leur poids d'argile.

Toutes ces roches donnent à froid une vive effervescence avec les acides minéraux.

Dolomie. Carbonate double de chaux et de magnésie. (Voyez CARBONATE.)

Roches de chaux sulfatée.

La chaux sulfatée hydratée ou *gypse*, ainsi que la chaux sulfatée anhydre ou *anhydrite*, se rencontrent en masses considérables dans certains terrains.

Roches diverses.

Le *sel gemme*, les *minerais de fer* et les *combustibles minéraux*, se rencontrent, dans certains terrains et dans certaines localités, en couches puissantes, et constituent alors de véritables roches.

Laves.

La composition n'est pas la seule circonstance qui imprime aux masses minérales des caractères assez nets et assez constants pour mériter un nom particulier. Quelquefois certains modes de formation communiquent aux roches un caractère indélébile, quelle que soit, du reste, leur composition.

Les roches volcaniques et les roches arénacées sont dans ce cas.

Les laves, sorties du sein de la terre à l'état liquide, et qui se sont répandues sur les contreforts des volcans en nappes généralement assez minces, sont, par leur nature, bulleuses, scoriacées, étirées, quelquefois même tordues. Quand elles sont très bulleuses, on les appelle *scories;* on les désigne sous le nom de *lapilli*, lorsqu'elles sont en petits fragments, et sous celui de *cendres*, quand elles sont en poussière fine.

Roches arénacées.

On donne, comme nous l'avons dit, le nom de roches arénacées à celles formées par la réunion de fragments anguleux ou roulés, cimentés entre eux par une pâte, en général, d'une nature différente de celle des fragments et toujours postérieure. Ce sont des *brèches*, lorsque les fragments sont anguleux; des *poudingues*, lorsqu'ils sont arrondis et d'une certaine grosseur; des *grès*, lorsque les fragments sont à l'état de petits grains; et enfin, des *argiles*, lorsque les éléments en sont tellement ténus que la roche a une apparence homogène. Les grès micacés ont une texture schisteuse et portent le nom de *psammites*.

On donne le nom de *conglomérats* ou de *tufs* à des sortes de poudingues composés de galets de roches ignées empâtés, soit dans des débris plus ténus, soit même dans la masse ignée qui s'est refroidie.

Les principales roches arénacées sont les suivantes :

Grauwacke. Roche des terrains de transition formée par la réunion de fragments de roches anciennes, quarz, granite, porphyre, schistes argileux et micacé, etc., et d'un ciment ordinairement grisâtre composé tantôt de schiste argileux, tantôt d'argile; le plus ordinairement, elle est à grains fins. Quoique la grauwacke soit généralement grise, comme l'indique son nom, on en trouve aussi de rouge. Cette roche renferme souvent assez de mica pour devenir schisteuse.

Grès houiller. Le grès houiller est analogue à la grauwacke; il est seulement à grains plus grossiers, et son ciment est toujours terreux. Il passe par gradations insensibles à des argiles schisteuses et à des schistes bitumineux.

Grès rouge. Ce grès, très abondant dans la formation à laquelle il a donné son nom, se compose de galets de roches anciennes empâtées dans un ciment argileux et sablonneux, coloré par de l'oxyde rouge de fer; il est presque constamment associé à des porphyres rouges quarzifères.

Grès bigarré. Ce grès à grains fins, renfermant quelquefois des noyaux assez gros de quarz, est ordinairement bigarré de rouge et de gris-verdâtre; le ciment est sablonneux et ferrugineux.

Grès vert. Ce grès, composé de grains siliceux réunis par un ciment le plus souvent calcaire ou marneux, et placé à la partie inférieure des formations crétacées, est remarquable par la grande quantité de points verts qu'il renferme, ce qui lui avait fait donner autrefois, par erreur, le nom de craie chloritée.

Grès de Fontainebleau. Ce grès, placé à la séparation des terrains tertiaires inférieur et moyen, est composé de grains siliceux réunis par un ciment calcaire ou siliceux : dans ce dernier cas le grès est trop dur pour être aisément débité et par suite n'est pas employé au pavage.

Molasse. Roche des terrains tertiaires supérieurs, composée de galets de quarz, de paillettes de mica, de particules d'argile, et enfin, de débris et de moules de coquilles, agglomérés par un ciment calcaire. En Suisse, cette roche passe fréquemment à un poudingue dont les galets sont assez gros; la pâte de cette roche étant peu solide, elle se désagrège à la surface, et les galets présentent une série de proéminences saillantes, ce qui a fait donner au poudingue dont il s'agit le nom de *nagelflue*, par sa comparaison avec une muraille garnie de clous.

Arkose. On a donné ce nom à un grès composé d'éléments de feldspath et de quarz, intercalé, dans une position constante, à la séparation des terrains cristallins et des terrains sédimentaires.

Argiles et marnes.

Les argiles et marnes étant le produit de dépôts boueux, on conçoit que ces substances doivent exister dans presque tous les terrains; elles succèdent aux grès, dont elles sont toujours une conséquence. On distingue spécialement, parmi les marnes :

Les *marnes irisées*, qui se lient au grès bigarré, et sont, comme cette roche, caractérisées par une grande variété de couleurs.

Les *marnes du lias*, en général très bitumineuses, sont fortement colorées en noir.

Il en est souvent de même des marnes appelées, à tort, *argile d'Oxford* et *argile de Kimmeridge*.

Les *marnes d'eau douce*, abondantes dans les terrains tertiaires, alternent avec les calcaires d'eau douce.

Parmi les argiles, on doit indiquer l'argile plastique et l'argile wealdienne.

L'*argile plastique*, placée à la séparation des terrains crétacés et des terrains tertiaires, a été désignée sous ce nom parce qu'elle fournit généralement une bonne terre pour la poterie. Cette formation argileuse contient une grande quantité de lignites, souvent assez abondants pour être exploités.

L'*argile wealdienne*, placée à la base du terrain crétacé, est souvent d'excellente qualité pour la fabrication des poteries.

Pour les minéraux qui entrent dans la composition des roches, nous renverrons aux articles ARGILE, CALCAIRE, CARBONATES, COMBUSTIBLES, GANGUES, MINÉRALOGIE, SEL-GEMME, SILICATES, et au nom de chaque métal en particulier.

DIVISION DES TERRAINS EN TERRAINS SÉDIMENTAIRES ET EN TERRAINS IGNÉS. Un premier coup d'œil jeté sur la composition de l'écorce minérale du globe, permet de distinguer deux classes de roches, différentes à la fois par leur nature et par la forme des masses.

Les premières, d'une composition chimique généralement simple, telles que les calcaires, les grès, les argiles, se présentent en couches régulières, subdivisibles en assises plus ou moins épaisses. Leur nature et leur stratification dénotent évidemment l'action sédimentaire des eaux; en effet, les unes composées de sables libres ou agglutinés, de fragments hétérogènes et roulés, retracent leur action mécanique; les autres, tels que les calcaires, de même nature que les dépôts actuellement formés par les sources minérales, retracent leur action chimique, et durent nécessairement avoir été déposées au fond d'un liquide qui les tenait en dissolution. Cette première classe de roches a été désignée sous le nom de roches *sédimentaires* ou *stratifiées;* on y trouve souvent des débris organiques, animaux ou végétaux, réduits à l'état fossile, c'est-à-dire dont la substance a été remplacée par des substances minérales.

La seconde classe comprend des roches analogues par leurs caractères minéralogiques et par la forme des masses qu'elles constituent, aux laves émises par les volcans. Ces roches sont cristallines, rarement stratifiées, et affectent des formes massives; elles renferment des minéraux que l'on retrouve non seulement dans les produits volcaniques, mais encore dans les fourneaux de nos usines : quelquefois elles ont produit, à leur contact avec les roches qu'elles traversent, des altérations identiques à celles qui résultent d'une forte chaleur; en un mot, il existe entre les diverses roches de cette classe une série de passages minéralogiques, de relations de forme et de structure, qui ne permet pas de douter qu'elles ne résultent des phénomènes analogues. On les désigne sous les noms de roches *cristallines*, roches *non stratifiées*, roches *ignées* ou *d'épanchement*.

Les dépôts sédimentaires sont assez généralement horizontaux; cependant on les voit en beaucoup de contrées disloqués et inclinés; de plus, leur élévation dans beaucoup de chaînes de montagnes démontre qu'ils ont été nécessairement soulevés. Ces soulèvements de certaines parties du globe qui ne purent avoir lieu sans perturbations dans la distribution des eaux, se lient en outre à des éruptions ignées, de sorte qu'il y a en géologie trois séries de faits très distincts, qui ont marché de front pendant tous les âges géognostiques; ce sont : 1° les dépôts par sédimentation; 2° les émissions de roches ignées; 3° les soulèvements ou oscillations de la croûte du globe.

TERRAINS SÉDIMENTAIRES.

Le caractère spécial et distinctif des terrains de la série sédimentaire est la stratification, c'est-à-dire la configuration en couches, lesquelles sont ordinairement subdivisées en assises ou lits, distincts par des variations de couleur, de texture ou de composition, et dont les plans de séparation sont parallèles à ceux de la couche elle-même. Cette stratification est un fait inhérent à l'origine des terrains sédimentaires; car un dépôt fait dans les eaux, soit par précipitation mécanique de matières tenues en suspension, soit par précipitation chimique, doit nécessairement avoir lieu par lits successifs et parallèles.

Une condition non moins essentielle des dépôts sédimentaires, quoiqu'elle semble moins évidente, est l'horizontalité des couches.

Donc, toutes les fois que la stratification d'un dépôt sédimentaire sera sensiblement inclinée, ce dépôt aura été dérangé de sa position première.

Le fait de ces dislocations résulte d'ailleurs des divergences qui se manifestent souvent dans la stratification des masses sédimentaires. Ainsi, lorsque les plans de séparation des diverses couches sont tous parallèles, la stratification est dite *concordante*, et l'on peut supposer l'ensemble déposé dans les mêmes mers; mais lorsque l'on voit cet ensemble naturellement divisé en bandes distinctes par les directions différentes que suivent les plans des couches, inclinés tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, tantôt divisés et contournés, la stratification est dite *discordante*, et l'on doit nécessairement admettre que ces divers dépôts discordants ont été séparés les uns des autres par des mouvements de la croûte du globe, c'est-à-dire qu'ils appartiennent à des formations distinctes.

La silice, le calcaire et l'argile, tantôt purs, tantôt mélangés entre eux, constituent la presque totalité des dépôts sédimentaires; ces couches alternent avec des roches de transport ou d'agrégation, et quelques autres substances beaucoup moins répandues, telles que le carbone, le gypse et certains minerais de fer.

Une composition aussi simple semble s'opposer à la distinction des divers terrains sous le rapport minéralogique. Il est cependant des caractères différents pour une même roche, dans ses diverses positions géognostiques; caractères faciles à saisir, lorsqu'on considère l'ensemble d'un terrain, en faisant abstraction de toutes les exceptions de détail. Ainsi les calcaires inférieurs, compactes, esquilleux, saccharoïdes, souvent caractérisés par la présence du mica, du diallage, du carbone, etc., sont distincts des calcaires compactes, lithographiques, oolitiques, crayeux, des formations suivantes, qui eux-mêmes ne peuvent être confondus avec les calcaires grossiers, siliceux ou marneux des terrains de sédiment supérieurs. Les argiles indélayables, etc., les grauwackes des premiers dépôts sédimentaires, n'ont aucune analogie avec les argiles onctueuses et plastiques des dépôts récents.

La présence et l'abondance du carbone, du sel gemme, de la chaux sulfatée, etc., donnent souvent des indications très précises sur l'âge et la nature du terrain qui les renferme. Enfin, la puissance même d'une formation et ses subdivisions naturelles peuvent conduire au même résultat. En un mot, il faut rarement se fier aux caractères minéralogiques considérés isolément; mais l'ensemble de ces caractères suffit quelquefois pour faire reconnaître un terrain.

Les débris organiques que renferment si souvent les dépôts sédimentaires sont d'un secours puissant dans les explorations géologiques. Le nombre des fossiles que l'on peut désigner sous le nom de caractéristiques, c'est-à-dire qui appartiennent exclusivement à une formation, est, il est vrai, très restreint. Mais il en est des fossiles comme des caractères minéralogiques, et c'est plutôt en considérant leur ensemble qu'on peut arriver à de justes appréciations. Ainsi, en comparant les listes de fossiles trouvées dans un terrain dont la position géognostique est incertaine, avec celles qui ont été faites pour des terrains bien déterminés, il est rare qu'on ne puisse reconnaître son rang dans la classification. Cette méthode ne pourrait guère être employée sur place par un observateur; mais il trouve quelquefois son équivalent dans certains fossiles, dont l'abondance est caractéristique, bien qu'ils ne le soient pas eux-mêmes.

Du reste, la superposition et la continuité des couches sont les seules règles de détermination que l'on puisse regarder comme infaillibles pour les formations sédimentaires. Les caractères minéralogiques et zoologiques ne viennent qu'après; mais s'ils sont nettement tranchés et d'un accord constant dans leurs indications, il en résulte des données que l'on peut également considérer comme certaines.

Une *formation sédimentaire*, d'après ce qui a été dit précédemment, est l'ensemble des couches déposées dans l'intervalle de deux révolutions.

Les caractères distinctifs d'une formation indépendante sont :

1° Les caractères de gisement et de stratification; une formation indépendante pouvant reposer presque indifféremment sur toutes celles qui l'ont précédée, et présentant avec elles, ainsi qu'avec celles qui l'ont suivie, des discordances de stratification plus ou moins fréquentes.

2° Les caractères de composition; car, malgré les nombreuses anomalies qui peuvent exister, une formation a presque toujours des caractères de composition qui lui sont propres, soit qu'ils résultent de la nature même des roches constituantes ou de substances accidentelles, surtout si on la considère dans des contrées assez rapprochées.

3° Les caractères organiques, soit qu'ils résultent de la présence de certains fossiles qui seront tout à fait propres à cette formation, ou qui s'y trouveront avec une profusion remarquable, soit de l'absence totale de ceux qui caractérisent les formations voisines.

Généralement, deux formations superposées seront distinctement séparées, même lorsque leur stratification sera concordante, si elles ne se suivent pas immédiatement dans l'échelle géognostique, de telle sorte qu'il y ait entre elles une lacune. On voit, dans ce cas, les caractères précités se modifier, à partir d'une ligne nettement déterminée; mais il n'en est pas ordinairement ainsi pour deux formations qui se suivent immédiatement. On voit alors les couches supérieures de l'une alterner avec les couches inférieures de l'autre, les caractères minéralogiques et zoologiques se fondre et se modifier graduellement, de telle sorte qu'il n'y a changement complet qu'en faisant abstraction d'un ensemble de couches plus ou moins puissant. En un mot, lorsque deux formations consécutives se sont superposées sans qu'il y ait discordance dans leur stratification, il y aura très souvent passage de l'une à l'autre.

Les formations se subdivisent en étages, qui peuvent différer entre eux par une composition tout à fait distincte, ou seulement par le développement plus ou moins grand de certaines roches. Ces étages peuvent se diviser eux-mêmes en assises et les assises en couches.

La dénomination de *terrain* a une acception plus étendue que celle de formation. Un terrain peut en comprendre plusieurs qui seront réunies entre elles par des analogies plus ou moins prononcées, de telle sorte que les terrains représenteront les grandes unités, c'est-à-dire les intervalles écoulés entre les grandes révolutions du globe; tandis que les formations qui subdivisent ces intervalles seront isolées entre elles par des révolutions qui, sans modifier aussi complétement la configuration des mers et des masses continentales, auront cependant amené des discordances de stratification, la génération de roches différemment caractérisées, et des changements notables dans la série organique.

L'observateur qui parcourt une contrée où la série des terrains sédimentaires est très développée, doit d'abord bien reconnaître les caractères et les limites des formations les mieux caractérisées, afin de pouvoir ensuite déterminer de proche en proche les formations qui se trouvent au-dessus et au-dessous de ces horizons géognostiques.

En considérant toute la série sédimentaire pour y établir les plus larges subdivisions, deux terrains paraissent plus propres que tous les autres pour remplir ce rôle d'horizons géognostiques. D'abord, le terrain houiller, caractérisé par une très grande abondance de carbone, par un grand développement de roches arénacées et par des débris organiques, surtout des végétaux, très nombreux et très distincts. Ce terrain, étant généralement exploité, est d'ailleurs mieux connu qu'aucun autre, et les discordances de stratification qui l'isolent presque constamment des terrains inférieurs et supérieurs, le désignent en outre comme placé entre deux des principales révolutions du globe. Vient, en second lieu, le terrain crétacé, terrain à la fois très développé et très bien caractérisé sous le rapport minéralogique et zoologique. Les caractères tranchés de ces deux terrains ont déterminé, dès la naissance de la géognosie, la subdivision des terrains sédimentaires en terrains de *transition*, terrains *secondaires* et terrains *tertiaires*.

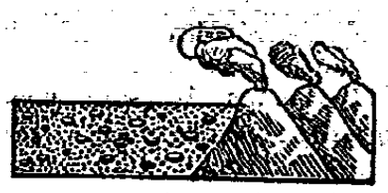
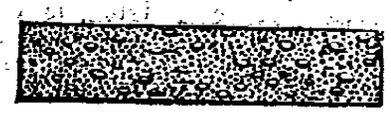
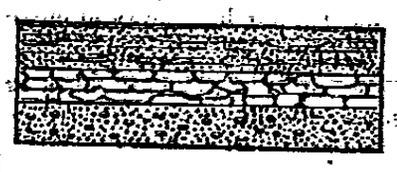
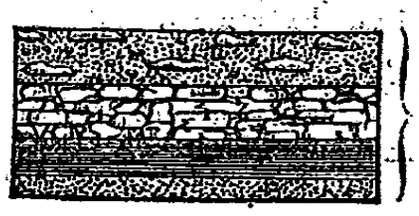
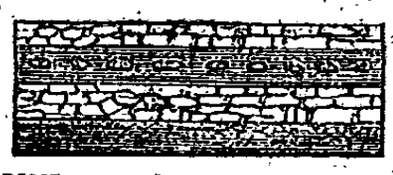
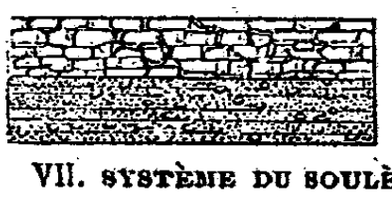
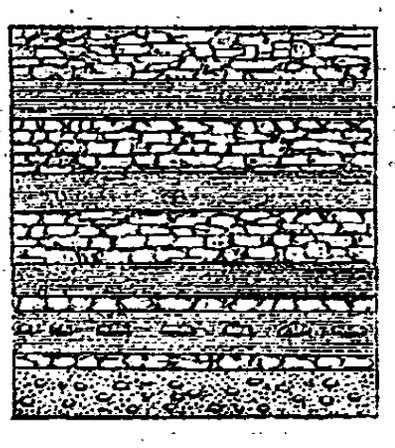
La série des *terrains de transition*, qui comprend tous les terrains inférieurs au terrain houiller, est principalement composée de schistes, de roches d'agrégation et de calcaires cristallins, qui prennent souvent les couleurs sombres et la structure schisteuse qui semblent caractériser la majorité de ces dépôts. Les êtres organiques commencent à se développer dans cette période, et l'on y voit, outre de nombreux végétaux, des animaux placés tout à fait au bas de l'échelle organique; tels sont les encrines, les productus, les trilobites, les nautiles, les orthocères, etc.... Les dépôts sont en outre remarquables par les dislocations et les contournements qu'ils ont éprouvés; caractère, d'ailleurs, bien naturel, puisque étant les plus anciens, ils durent nécessairement être affectés par toutes les oscillations qui ont eu lieu pendant les périodes suivantes.

La série des *terrains secondaires* embrasse tous les dépôts compris entre la limite inférieure du terrain houiller et la limite supérieure du terrain crétacé : c'est la série la plus puissante et la plus variée. Les grès, les calcaires, les argiles, en forment presque toute la masse, et les minerais de fer, le gypse, le sel, y constituent des couches et des amas dont l'abondance est souvent caractéristique. Beaucoup de fossiles, tels que les ammonites, les bélemnites, les gryphées, etc., naissent et finissent avec cette période, pendant laquelle on voit se développer les animaux vertébrés.

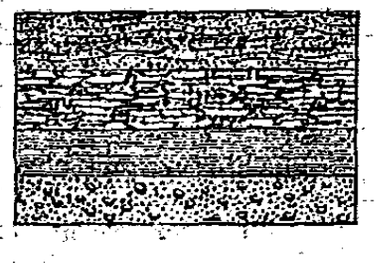
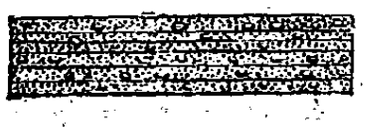
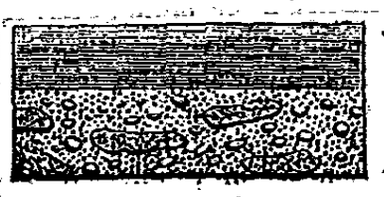
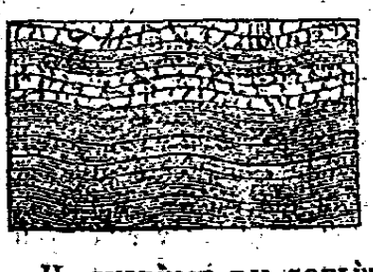
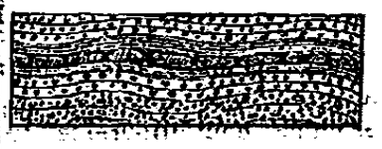
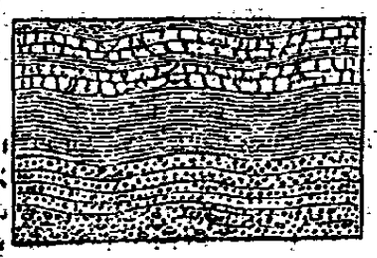
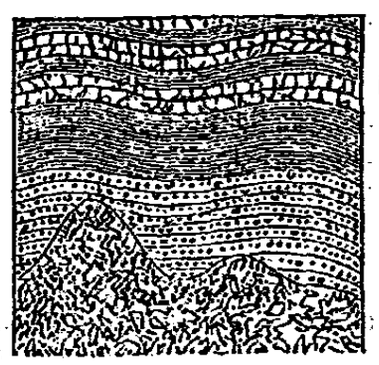
La série des *terrains tertiaires*, qui comprend tous les dépôts supérieurs au terrain crétacé, se compose aussi principalement de calcaire, de grès et d'argile, mais on y remarque la diminution graduelle de l'influence des agents chimiques. Les roches sont moins compactes; les couches ont plus souvent conservé leur horizontalité; enfin, les débris organiques y sont encore plus nombreux et plus variés que dans la série précédente. On y voit paraître les mammifères représentés, tantôt par des animaux qui n'existent plus, tels que les anoplotherium, les palæotherium, les mastodontes, etc.; tantôt par des analogues aux espèces actuelles, tels que les éléphants, les rhinocéros, les hyènes, les ours, etc.: le nombre des coquilles marines et fluviatiles y est prodigieux, et elles ne présentent que peu d'analogie avec les coquilles secondaires. Les cérites, les turritelles, les cythérées, les planorbes, les lymnées, etc., sont les plus caractéristiques.

Les dimensions de cet ouvrage ne nous permettent pas d'entrer dans les détails de description de chacun de ces terrains en particulier, pour lesquels nous renvoyons aux ouvrages spéciaux, et nous nous contenterons d'en présenter un résumé dans le tableau suivant, dans lequel nous intercalerons, entre chaque formation, les soulèvements qui ont marqué la limite de chacune d'elles. Ce tableau indiquera alors, à la fois, la position relative des terrains, l'époque de l'arrivée au jour des différents systèmes de montagnes, et la direction des couches de sédiment qui ont été relevées.

TABLEAU GÉNÉRAL DES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES.

ORDRE.	Sous-groupe des Formations.	FIGURES 1082 A 1088.	NOMS DES FORMATIONS.
ALLUVIONS.	L'homme existe sur la surface du globe.		*Terrains d'alluvion*, volcans modernes éteints et brûlants : les grands volcans des Andes ont été soulevés pendant cette période. Les alluvions sont généralement des sables et des cailloux roulés, en couches irrégulièrement stratifiées et meubles.
			XII. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DE LA CHAINE PRINCIPALE DES ALPES. DIRECTION E. 46°. N.
TERRAINS TERTIAIRES.	Les mammifères commencent à paraître à la partie inférieure de ce groupe et deviennent très abondants vers son milieu.		*Terrain tertiaire supérieur*, terrains subapennins, molasse, nagelflue, sables des landes, alluvions anciennes de la Bresse, tuf à ossements de l'Auvergne. Les éruptions de trachytes et de basaltes correspondent, en grande partie, à cette époque.
			XI. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES ALPES OCCIDENTALES — DIRECTION N. 26°. E.
			*Terrains tertiaires moyens.* — Faluns, dépôts arénacés marins, tantôt sableux et renfermant une multitude de coquilles en partie brisées, tantôt réunies par un ciment calcaire, et qui couvrent une partie de la Touraine et de la Loire-Inférieure. Calcaire d'eau douce avec meulières : contient beaucoup de lignites dans le midi de la France et en Allemagne. Grès de Fontainebleau.
			X. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES ILES DE CORSE ET DE SARDAIGNE. DIRECTION N.-S.
			*Terrains tertiaires inférieurs.* — Marnes avec gypse, ossements de mammifères. Calcaire grossier, pierre de taille de Paris. Argile plastique, lignites du Soissonnais.
			IX. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DE LA CHAINE DES PYRÉNÉES ET DE CELLE DES APENNINS — DIRECTION E. 18°. S.
	Terrains ou formations crétacées.		*Craie supérieure.* — Couches avec silex. Couches sans silex.
			VIII. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DU MONT VISO — DIRECTION N.-N.-O. à S.-S.-E.
			*Craie inférieure.* — Craie-tuffeau. Grès vert. Grès et sables ferrugineux, terrain néocomien, formation wealdienne.
			VII. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DU MONT PILAS, DE LA CÔTE D'OR, DES CÉVENNES ET DE L'ERZGEBIRGE — DIRECTION E. 40°. N.
TERRAINS TERTIAIRES.	Terrains de calcaire du Jura. Abondance considérable de Sauriens. Calcaire oolithique.		*Étage supérieur.* — Calcaire de Portland. Argile de Kimmeridge, argile de Honfleur. *Étage moyen.* — Oolithe d'Oxford, calcaire de Lisieux, coral-rag. Argile d'Oxford, argile de Dives. *Étage inférieur.* — Corn-brash et forest-marble (calcaire à polypiers), grand oolithe (calcaire de Caen), fuller's-earth (banc bleu de Caen), oolithe inférieur. Marnes et calcaires à bélemnites, marnes supérieures du lias, lignites dans les départements du Tarn et de la Lozère. *Lias ou calcaire à gryphites.* — Calcaire à gryphées arquées. Grès du lias, ou infraliasique, dolomies.

Suite du Tableau général des formations sédimentaires.

ORDRE.	Sous groupe de Formations.	FIGURES 1089 A 1095.	NOMS DES FORMATIONS.
			VI. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DU THURINGERWALD, DU BOHMERWALD-GEBIRGE ET DU MORVAN — DIRECTION O. 40°. N.
TERRAINS SECONDAIRES.	Trias ou Keuper.		*Marnes irisées* avec un amas de gypse et de sel. Exploitation des lignites en Alsace, en Lorraine et dans la Haute-Saône. *Muschelkalk*, calcaire compacte, grisâtre, souvent fétide, magnésien et très coquillié. *Grès bigarré.*
			V. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES BORDS DU RHIN — DIRECTION N. 21°. E.
	Terrain pénéen. Le zechstein et le grès des Vosges n'existent jamais ensemble.		*Grès des Vosges*, ne renfermant pas de débris organiques.
			IV. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES PAYS-BAS ET DU PAYS DE GALLES DIRECTION E. 5°. S.
			*Zechstein* (calcaire magnésien des Anglais), schistes marne-bitumineux, à poissons du Mansfeld, riches en cuivre. *Grès rouge*, contient des masses de porphyre et des rognons d'agate.
			III. SYSTEME DU SOULÈVEMENT DU NORD DE L'ANGLETERRE — DIRECTION S. 5°. E.
			*Terrain houiller.* Grès, schistes, avec couches de houille et fer carbonaté. Calcaire carbonifère, ou calcaire bleu, avec couches de houille.
TERRAINS DE TRANSITION.	Ce groupe est caractérisé par la grande abondance de cryptogames vasculaires et par l'absence presque complète des plantes dicotylédones; les animaux vertébrés n'y sont représentés que par quelques empreintes de poissons.		II. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES BALLONS (VOSGES) ET DES COLLINES DU BOCAGE (CALVADOS) — DIRECTION E. 45°. S.
			*Terrain de transition supérieur.* Vieux grès rouge des Anglais. (Système Devonien.) Anthracites de la Sarthe et des environs d'Angers.
			*Terrain de transition moyen.* Calcaire des environs de Brest, calcaire de Dudley. Schistes (ardoises d'Angers). Grès quarzite, caradoc sandstone des Anglais. (Système Silurien.)
			I. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DU WESTMORELAND ET DU HUNDSRÜCK DIRECTION E. 25°. S.
			*Terrain de transition inférieur.* Calcaire compacte esquilleux. Schiste argileux. (Système Cambrien.)
TERRAINS GRANITIQUES.			Granite formant la base principale de la croûte du globe.

TERRAINS IGNÉS.

Les roches ignées, quelle que soit leur homogénéité apparente, sont généralement cristallines et composées de divers minéraux soumis à certaines lois d'association. Ces minéraux sont le feldspath, le pyroxène, l'amphibole, le quarz, le mica, l'amphigène, la serpentine, le péridot et le fer oxydé souvent titanifère.

Ces divers minéraux sont soumis, dans leurs associations, à des affinités et à des antipathies qui paraissent tantôt inhérentes à leur nature, et qui, d'autres fois, semblent résulter de l'état particulier du globe à certaines époques. Ainsi, par exemple, le quarz, si abondant dans les granites, l'est beaucoup moins dans les porphyres; il est très rare dans les trachytes et nul dans les laves modernes. Or, si l'on observe que cette diminution graduelle du quarz dans les roches ignées feldspathiques, coïncide précisément avec leur ordre géognostique, on sera directement conduit à conclure que l'état géogénique du globe fut tel, relativement aux roches ignées, qu'il tendait à l'élimination du quarz : la répulsion constante qui existe entre l'amphibole et le pyroxène, paraît aussi dériver de causes analogues.

Quant aux affinités et aux antipathies purement minéralogiques, on peut citer l'association si fréquente du fer oxydulé et des roches serpentineuses, celle qui existe entre le péridot et les pyroxènes de la formation basaltique, tandis que ce péridot est constamment éliminé par la présence du feldspath. L'exclusion du feldspath par l'amphigène dans une partie des laves modernes, l'abondance du mica dans les granites, tandis que les syénites en contiennent beaucoup moins, les pétrosilex et les trachytes si peu, sont de nouveaux exemples, que l'on pourrait augmenter encore. On s'explique, d'après ces lois d'association, comment il se fait que le nombre des roches soit si peu considérable, relativement à celles *dont on pourrait supposer* l'existence.

Les formes qu'affectent les roches ignées sont généralement massives; elles présentent peu de lignes de stratification. Souvent elles constituent seules les agglomérations montagneuses, en forme de groupes ou de chaînes, mais plus souvent encore elles ne constituent qu'une partie de ces contrées, soit qu'elles en couronnent les crêtes, soit qu'elles apparaissent au pied des montagnes, comme sur leur fracture d'élévation.

Leurs masses, tantôt agglomérées, tantôt entassées, se lient presque toujours, par leur distribution, aux grands accidents du sol. Quant aux détails de leurs formes, ils dépendent en grande partie de leur position. Les masses isolément superposées à la surface du sol, affectent tantôt celle de dômes arrondis, tantôt celle de murailles crénelées et dentelées, suivant la nature de la roche. Les formes plates et affaissées, celles de coulées plus ou moins morcelées, couronnant des sommités d'une autre composition, sont également très fréquentes. Lorsque les masses ignées sont engagées dans les terrains préexistants, elles se présentent ordinairement sous forme de filons ou masses qui coupent la stratification, dont la puissance peut varier depuis quelques décimètres jusqu'à des centaines de mètres; leurs affleurements, tantôt difficiles à suivre, se prolongent quelquefois, sous forme de hautes murailles, sur plusieurs lieues de longueur. On les voit encore en masses intercalées dans le sens de la stratification, tantôt si régulièrement qu'on les prendrait pour une couche sédimentaire, tantôt avec des renflements, des étranglements et des ramifications qui annoncent leur intercalation *postérieure*.

Quelle que soit du reste la position de ces masses ignées, les détails de leur forme fournissent généralement des données sur leur mode d'émission et sur leur fluidité primitive. Ces appréciations hypothétiques jettent un intérêt tout particulier sur cette classe de terrains; elles conduisent à la connaissance de leurs phénomènes géognostiques. Quant à leur classification géognostique, elle ne peut guère s'obtenir que par l'étude des rapports qu'ils présentent avec la série des terrains sédimentaires.

En effet, les terrains ignés sont beaucoup plus remarquables par la forme et la hauteur de leurs masses que par leur étendue superficielle. Il en résulte que l'on a rarement des exemples de superposition entre eux, pour constater leur âge relatif; et comme d'ailleurs les diverses parties d'un même terrain ne sont pas contemporaines, leur âge absolu ne peut être déterminé que comparativement aux dépôts sédimentaires.

Les roches des deux séries se trouvent souvent en contact, et cependant l'on pourra, dans beaucoup de cas, parcourir des contrées très étendues, sans que les dépôts sédimentaires présentent d'interruptions. Ces contrées sont celles dont les surfaces planes sont formées de dépôts assez récents, et qui n'ont subi que des dérangements peu considérables. Mais lorsque les dépôts sédimentaires auront été fortement accidentés, de manière à donner naissance à des chaînes ou des groupes de montagnes, il y aura presque toujours certitude de roches ignées.

La présence des roches ignées est donc intimement liée aux bouleversements qu'a subis le sol. Dans le cas de soulèvement d'une chaîne de montagnes à travers une série plus ou moins compliquée de dépôts, elles constitueront souvent l'axe central, qui se trouvera ainsi l'axe minéralogique de la chaîne, les terrains se montrant dans le même ordre sur chaque versant. D'autres fois, les masses ignées se présenteront alignées au pied de la chaîne; mais dans ce cas il y aura grande probabilité que leur sortie ne sera pas contemporaine du soulèvement, et qu'elle n'aura eu lieu qu'à la faveur de mouvements postérieurs. Dans l'un et l'autre cas, la *direction de ces masses* sera parallèle à la direction de la chaîne, c'est-à-dire à la direction des couches sédimentaires.

Si le soulèvement, au lieu d'avoir eu lieu suivant une ligne droite, n'a affecté qu'un seul point de l'écorce minérale du globe, les dépôts sédimentaires superposés auront été soulevés vers ce point central, vers lequel elles convergeront. Mais n'ayant point assez d'élasticité pour se prêter à la dilatation qu'exige un tel bombement du sol, les couches se sont généralement rompues, laissant dans ce centre une cavité circulaire, que l'on est convenu d'appeler *cratère de soulèvement*. C'est dans le centre de ce cratère que se trouveront généralement les roches ignées contemporaines du soulèvement.

Sous le rapport minéralogique, il semble que des produits d'origines aussi différentes que les roches ignées et sédimentaires, doivent toujours être très distincts. Cette distinction sera en effet très facile toutes les fois que ces dernières seront restées telles que les a faites la sédimentation; mais lorsqu'elles ont été en contact avec les roches ignées, les circonstances énergiques de température et de pression, auxquelles elles ont été soumises, ont plus ou moins altéré leur nature première, de telle sorte qu'un centre de perturbation et d'émission des roches ignées est presque toujours, pour les dépôts sédimentaires, un centre d'altérations, qui iront toujours en diminuant, à mesure qu'on s'éloignera de ce point, mais qui se propageront d'autant plus loin que l'action aura été plus vive et la roche plus impressionnable.

Ces altérations sont faciles à expliquer, lorsque les *principes constituants sont restés les mêmes*. Ainsi des grès ont souvent été changés, par le contact des roches ignées, en quarz compacte, des calcaires en marbres, des grauwackes en gneiss; mais il n'en est plus de même lorsque de nouveaux principes ont été introduits.

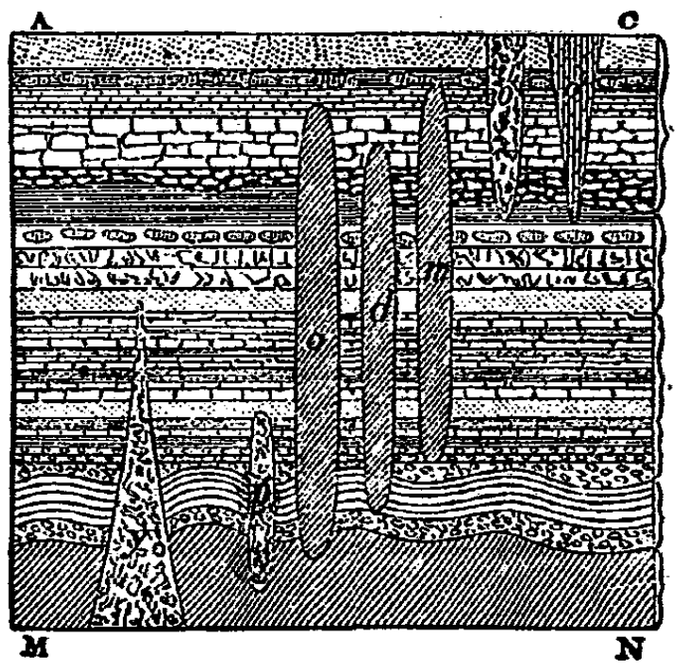
Ainsi les calcaires ont été souvent transformés en dolomie. Telles roches de composition très simple se sont pénétrées d'amphibole, de pyroxène, de grenats, de spinelles et autres minéraux de nature ignée. Ces réactions ne se bornèrent pas d'ailleurs à des modifications de roches : les gisements métallifères, les matières qui remplissent un grand nombre de filons, de cavités, paraissent en grande partie liés à cet ensemble d'émanations de l'intérieur et de l'extérieur.

Ces altérations des roches ont souvent eu lieu sur une échelle immense ; des contrées étendues, telles que la région des Alpes, ont pris un *facies* minéralogique évidemment tout différent de celui qu'elles avaient d'abord. Les chances d'altération ayant été d'autant plus grandes que les dépôts étaient plus anciens, il ne faut pas s'étonner de la liaison presque intime qui existe entre les premiers dépôts sédimentaires et les roches ignées anciennes ; cette liaison étant d'ailleurs considérablement augmentée par une grande analogie dans les roches, puisque les eaux n'avaient pas encore eu le temps de modifier complétement l'écorce ignée à peine refroidie, sur laquelle elles avaient été précipitées.

Les rapports géognostiques seront d'une étude bien simple, entre les dépôts sédimentaires, dont l'isochronisme général est très probable, et les masses ignées qui les auront traversées à des époques intermittentes.

Si l'on considère une masse ignée saillante à la surface du sol, elle sera nécessairement postérieure aux roches sur lesquelles elle repose, à moins que la contrée n'ait été tellement bouleversée, que l'on soit en droit de supposer un renversement complet de tout le système qui aurait interverti l'ordre de superposition. Mais de ce que l'on trouvera une roche superposée à certaines couches, il ne s'ensuivra pas qu'elle ne puisse être regardée comme de beaucoup postérieure. Si la masse est intercalée, elle sera postérieure aux roches qu'elle traversera ; mais de ce qu'un filon, traversant un système de couches, s'arrêtera au milieu, on ne pourra pas conclure qu'il est antérieur à toutes celles qu'il ne traverse pas. De même, toutes les roches ignées, intercalées dans un terrain, sont certainement postérieures à celles sur lesquelles elles reposent, mais elles peuvent l'être aussi à celles qui les recouvrent.

Le tableau suivant (fig 1096), dressé par MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont, donnera une idée de l'ancienneté des roches d'origine ignée et de la durée de leur émission.



1096.

Soit AC, une ligne correspondante à l'époque actuelle; MN, une autre ligne indiquant l'époque la plus ancienne à laquelle les roches sédimentaires se sont produites ; on voit que :

Le *basalte* O'', a commencé à paraître vers le dernier quart des terrains de sédiment, c'est-à-dire à la hauteur de la partie supérieure de la craie ; il est fort rare à cette époque, et n'a commencé à se produire avec abondance que vers la fin des terrains tertiaires, comme l'indique la figure : il paraît même qu'il s'en forme encore.

Le *trachyte* O', a commencé à peu près à la même époque que le basalte ; il a été surtout abondant aux dernières périodes de la formation du globe, et il s'en produit encore.

Les *mélaphyres m*, ont commencé plutôt que le trachyte, et ont fini un peu avant l'époque actuelle.

Les *trapps d*, ont paru, pour la première fois, environ vers le premier quart des dépôts de sédiment. Les terrains houillers sont traversés par ces roches qui ont été très abondantes vers l'époque du grès rouge et avant le dépôt du calcaire magnésien (muschelkalk).

Les *serpentines* et les *euphotides* O, parcourent une partie plus étendue encore de l'échelle chronologique ; elles paraissent s'être produites dès les terrains de transition, et leur épanchement s'est continué jusqu'aux terrains tertiaires supérieurs.

Les *porphyres quarzifères p*, ont commencé à paraître lors des dépôts des terrains de transition, principalement du terrain silurien ; et ils se sont prolongés à peu près jusqu'aux premières époques des éruptions des mélaphyres.

Les *granites y*, très abondants aux premières époques de la formation du globe, se sont prolongés assez avant dans le dépôt des terrains de sédiment ; toutefois, leur émission, considérable dans les premières périodes géologiques, a diminué très rapidement, comme l'indique la figure, à mesure que les terrains de sédiment ont acquis de l'épaisseur.

Les porphyres et les granites, arrivés au jour à l'état pâteux, n'ont point coulé et ne sont point accompagnés de scories ; les filons qu'ils constituent n'ont, en général, qu'une faible étendue, et sont ordinairement terminés en pointe. Les porphyres quarzifères forment cependant quelques filons assez étendus, quoique très minces, et par conséquent ont été plus fluides que les granites. Les porphyres constituent généralement des montagnes en dômes ; les granites affectent aussi quelquefois cette disposition ; mais, le plus ordinairement, ils se présentent sous la forme de chaînes longues et étendues, comme les Alpes et les Pyrénées : le phénomène qui les a produits est donc plus général, et s'est fait sentir sur des espaces plus considérables ; enfin, une grande différence entre le mode d'émission des porphyres et des granites, c'est que ces dernières roches ne sont pas accompagnées de conglomérats.

Les trapps et les basaltes sont ordinairement arrivés au jour par de simples fentes, et se sont étendus en nappes minces sur la surface du sol. Souvent aussi les basaltes se sont soulevés à l'état pâteux pour former des dômes. Ces roches sont accompagnées d'une quantité variable de scories.

Les trachytes présentent quelquefois des couches longues et étendues, qui forment de grandes assises presque horizontales : les monts Dores, et surtout le Cantal, en offrent des exemples re-

marquables. Dans ce cas, cette roche est évidemment arrivée fluide à la surface du sol ; dans d'autres circonstances, elle s'est soulevée à l'état de masse pâteuse, et a formé des montagnes arrondies, comme le Puy-de-Dôme ; elle est toujours accompagnée d'une masse considérable de conglomérats et de scories presque toujours pouceuses.

DISPOSITION GÉNÉRALE DES MASSES QUI FORMENT LE SOL DE LA FRANCE.

Nous terminerons cet article en empruntant au savant travail (*Carte géologique de la France*, ouvrage actuellement en grande partie publié), exécuté de 1825 à 1835 par MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont, sous la direction de M. Brochant de Villiers, et sous les auspices de l'administration des travaux publics, quelques détails sur l'ensemble de la constitution géologique de notre pays.

« Si l'on examine la carte géologique de la France, on remarque que les diverses formations du terrain jurassique y forment comme une large écharpe qui traverse obliquement la partie centrale de la carte, des environs de Poitiers à ceux de Metz et de Longwy.

« Cette écharpe se recourbe d'une part, vers le haut, du côté de Mézières et de Hirson, et, de l'autre, vers le bas, du côté de Cahors et de Milhau ; mais en même temps il s'en détache deux branches, dont l'une, se repliant au nord-ouest, se dirige sur Alençon et Caen, tandis que l'autre, descendant au midi, suit d'abord la Saône et ensuite le Rhône depuis Lyon jusqu'au-delà de Privas, et tourne autour des Cévennes jusqu'au-delà de Montpellier, pour aller rejoindre la première branche dans le département de l'Aveyron.

« Ces bandes, recourbées, projettent en outre, dans différentes directions, des appendices irréguliers ; mais ce qu'elles présentent de plus remarquable, c'est qu'en faisant abstraction de ces irrégularités et en les réduisant par la pensée à leur plus simple expression, on voit ces bandes former deux espèces de boucles, qui dessinent sur la surface de la France une figure dont la forme générale est celle d'un 8 ouvert par le haut.

« Ces assises du calcaire jurassique, qui nous présentent l'immense avantage de pouvoir être poursuivies à découvert, d'une manière sensiblement continue, d'un bout de la France à l'autre, suivant des contours variés qui en touchent presque toutes les parties, se prolongent souterrainement dans des espaces beaucoup plus étendus que ceux où elles forment la surface ; mais la manière dont elles s'enfoncent ainsi pour s'étendre par-dessous terre n'est pas la même dans toutes les parties de leur contour apparent.

« Si les deux boucles supérieure et inférieure que présente la figure analogue à celle d'un 8, qu'elles dessinent sur la surface, ont entre elles une sorte de correspondance, elles présentent en même temps une opposition complète dans la manière dont les couches jurassiques y sont disposées relativement aux masses qui occupent les deux espaces qu'elles entourent vers le nord et vers le sud : en effet, la boucle inférieure ou méridionale circonscrit un massif proéminent, formé principalement de terrain granitique. C'est le massif montagneux de la France centrale, couronné par les roches volcaniques du Cantal, du Mont-Dore et du Mézenc. Cette boucle méridionale est ainsi moins élevée que l'espace qu'elle entoure, tandis que la boucle supérieure ou septentrionale, qui forme le contour d'un bassin dont Paris occupe le centre, est, en grande partie, plus élevée que le remplissage central de ce bassin. L'intérieur de ce bassin est occupé par une succession d'assises à peu près concentriques, comparables à une série de vases semblables entre eux, qu'on fait entrer l'un dans l'autre pour occuper moins d'espace.

« La différence la plus essentielle des deux boucles opposées de notre 8 est que l'une recouvre, et que l'autre supporte les masses minérales qui occupent l'espace qu'elle entoure. La boucle inférieure et méridionale est formée par des couches qui s'appuient sur le bord du massif granitique qui leur sert de centre, et, en quelque sorte, de noyau ; la boucle supérieure et la plus septentrionale est formée, au contraire, par des couches qui s'enfoncent de toutes parts sous un remplissage central auquel elles servent de support, de bassin, de récipient, et dont elles excèdent généralement la hauteur.

« La disposition des couches jurassiques, dont nous venons de donner l'indication, est liée de la manière la plus intime à la structure, tant intérieure qu'extérieure, de la plus grande partie du territoire français. Nous pouvons le faire aisément comprendre, en esquissant rapidement les traits extérieurs par lesquels sa structure extérieure se décèle.

« Les deux parties principales du sol de la France, le dôme de l'Auvergne et le bassin de Paris, quoique circulaires l'une et l'autre, présentent, comme on vient de le voir, des structures diamétralement contraires. Dans chacune d'elles, les parties sont coordonnées autour d'un centre ; mais ce centre joue, dans l'une et dans l'autre, un rôle complétement différent.

« Ces deux pôles de notre sol, s'ils ne sont pas situés aux deux extrémités d'un même diamètre, exercent en revanche, autour d'eux, des influences exactement contraires : l'un est en creux et attractif ; l'autre, en relief, est répulsif.

« Le pôle en creux vers lequel tout converge, c'est Paris, centre de population et de civilisation. Le Cantal, placé vers le centre de la partie méridionale, représente assez bien le pôle saillant et répulsif. Tout semble fuir en divergeant de ce centre élevé, qui ne reçoit du ciel qui le surmonte que la neige qui le couvre pendant plusieurs mois de l'année. Il domine tout ce qui l'entoure, et les vallées divergentes versent leurs eaux dans toutes les directions. Les routes s'en échappent en divergeant comme les rivières qui y prennent leurs sources. Il repousse jusqu'à ses habitants, qui, pendant une partie de l'année, émigrent vers des climats moins sévères.

« L'un de nos deux pôles est devenu la capitale de la France et du monde civilisé, l'autre est resté un pays pauvre et presque désert.

« La structure de la plus méridionale des deux parties de territoire que nous venons d'opposer l'une à l'autre se dessine par des traits qui doivent frapper bien plus, au premier abord, que ceux de la partie septentrionale, puisque ces traits sont les montagnes les plus élevées de l'intérieur de la France. Cependant, lorsqu'on y regarde de plus près, la structure en forme de bassin de la partie septentrionale se dessine, de son côté, avec une netteté toute particulière, au moins dans sa partie orientale.

« La partie orientale est, en effet, celle dans laquelle le contour jurassique du bassin s'élève à la plus grande hauteur. Les différentes assises dont il se compose ont été usées inégalement par les révolutions du globe, et, suivant leurs divers degrés de dureté, elles forment comme une série de moulures concentriques les unes aux autres. Il est arrivé la même chose aux assises, de solidité diverses, qui se trouvent appliquées successivement l'une sur l'autre dans l'intérieur du bassin. De là une série de crêtes saillantes formées par les extrémités des couches les plus solides. Ces crêtes tournent parallèlement les unes aux autres autour de Paris, qui est leur centre commun. Les rivières qui, comme l'Yonne, la Seine, la Marne, l'Aisne, l'Oise, convergent vers le centre du bassin parisien, traversent les crêtes successives dans des défilés que les révolutions du globe ou

ouverts pour elles. Ces mêmes crêtes forment les lignes naturelles de défense de notre territoire, et les opérations stratégiques de toutes les armées qui l'ont attaqué ou défendu s'y sont toujours coordonnées par la force même des choses.

« Jamais cette vérité n'a été mise plus vivement en lumière que dans la mémorable campagne de 1814. Sur la crête la plus intérieure formée par le terrain tertiaire, ou tout près d'elle, se trouvent les champs de bataille de Montereau, de Nogent, de Sézanne, de Vauchamps, de Montmirail, de Champaubert, d'Épernay, de Craone, de Laon.

« Sur la deuxième, formée par la craie, se trouvent Troyes, Brienne, Vitry-le-Français, Sainte-Ménehould. Là aussi se trouve Valmy!

« La troisième crête, beaucoup moins prononcée et plus inégale, présente cependant les défilés de l'Argonne.

« Près de la quatrième ligne saillante, qui déjà appartient au terrain jurassique, se trouvent Bar-sur-Seine, Bar-sur-Aube, Bar-le-Duc, Ligny.

« Près de la cinquième, qui est également jurassique, sont Châtillon-sur-Seine, Chaumont, Toul, Verdun.

« La sixième, déjà un peu excentrique, est formée par les coteaux élevés qui dominent Nancy et Metz, et qui s'étendent sans interruption, depuis Langres jusqu'à Longwy, Montmédy, et jusqu'aux environs de Mézières.

« Paris est placé au milieu de cette sextuple circonvallation opposée aux incursions de l'Europe, et traversée par les vallées convergentes des rivières principales.

« Vers le nord-est, la branche orientale du grand S jurassique ne se recourbe que souterrainement et cesse de saillir à la surface. Aussi a-t-on depuis longtemps senti la nécessité de suppléer à l'absence de lignes naturelles de défense, en renforçant cette partie faible de nos frontières, par une triple rangée de places fortes.

« Du côté du nord-ouest, la ceinture jurassique s'interrompt ; elle est coupée par les rivages de la Manche, qui empiètent sur le bassin septentrional.

« A l'ouest et au midi de Paris, les traits principaux de sa forme reparaissent, quoique moins prononcés que vers l'est. On les retrouve, en grande partie, dans la structure intérieure du sol ; mais ils n'ont pas été mis aussi complétement à découvert par les phénomènes géologiques qui ont façonné la surface. Leur influence est, d'ailleurs, contre-balancée par certaines dispositions excentriques. Le calcaire grossier des environs de Paris reparaît près de Rennes, de Machecoul et de Bordeaux, ce qui semble faire du bassin de la Gironde un appendice naturel de celui de la Seine. De plus, le grand plateau du terrain tertiaire moyen qui s'étend de la Beauce à la Bretagne et à la Gascogne semble être une plate-forme naturelle jetée sur tous les accidents intérieurs du sol pour rendre plus faciles les communications du centre parisien avec l'est et le sud ouest.

« On voit donc que l'emplacement de Paris avait été préparé par la nature, et que son rôle politique n'est, pour ainsi dire, qu'une conséquence de sa position. Les principaux cours d'eau de la partie septentrionale de la France convergent vers la contrée qu'il occupe, d'une manière qui nous paraîtrait bizarre si elle nous était moins utile et si nous y étions moins habitués. Enfin la nature, prodigue pour cette même partie de la France, l'a dotée d'un sol fertile et d'excellents matériaux de construction. Environnée de contrées beaucoup moins favorisées, telles que la Champagne, la Sologne, le Perche, elle forme au milieu d'elles comme une oasis. L'instinct qui a dicté à nos ancêtres le nom d'*Ile-de-France*, pour la province dont Paris était la capitale, résume d'une manière assez heureuse les circonstances géologiques de sa position.

« Ce n'est donc ni au hasard ni à un caprice de la fortune que Paris doit sa splendeur, et ceux qui se sont étonnés de ne pas trouver la capitale de la France à Bourges, ont montré qu'ils n'avaient étudié que d'une manière superficielle la structure de leur pays. Cette capitale n'a pris naissance et surtout n'a grandi, là où elle se trouve, que par l'effet de circonstances naturelles résultant, en principe, de la structure intérieure de notre sol. »

En terminant, nous ferons remarquer que l'élévation du centre de la France au-dessus du bassin septentrional est cause que notre pays présente, jusqu'à un certain point, dans tous les départements, la même température moyenne, égalité d'où résulte en grande partie l'homogénéité et l'unité remarquables que présente une réunion d'hommes aussi considérable que la nation française. La Gascogne et le littoral de la Méditerranée sont les deux exceptions les plus notables aux observations de position qui viennent d'être indiquées ; aussi remarque-t-on que les noms de *Gascons* et de *méridionaux* sont les distinctions les plus tranchées qu'on puisse signaler parmi les Français. P. DEBETTE.

GIROFLE (*angl.* clove, *all.* gewürznægelein). Fleur du *caryophillus aromaticus* de Linnée, petit arbre de la famille des myrthes, recueillie avant son épanouissement. Cet arbre est originaire des Moluques, et fut introduit en 1770, par Poivre, dans nos colonies orientales.

Les clous de girofle ont une odeur analogue à celle de l'œillet, mais beaucoup plus forte ; ils ont de 10 à 15 millimètres de longueur, et sont formés d'un calice prismatique, tétragone, légèrement aplati, rugueux, d'une couleur brune, étalé et divisé en quatre vers la partie supérieure. Là se trouvent les pétales encore réunis, formant une masse sphéroïdale tétragone, plus pâle que le calice et alternant avec ses divisions.

Dans le commerce on distingue trois sortes de girofle, qui sont, dans l'ordre de leur qualité : celui des Moluques, celui de Cayenne et celui de l'île Bourbon.

GLACE (*angl.* ice, *all.* eis.) Depuis quelques années, la glace est devenue un article de commerce entre les pays où elle se trouve en abondance et ceux où elle est rare ou ne se produit pas. C'est dans l'Amérique du Nord qu'est née cette intéressante industrie. Elle a commencé au lac Wenham, situé à 18 milles environ de Boston, aux États-Unis d'Amérique ; et dans ces dernières années, on a emprunté pour l'Europe, à quelques lacs de Norwége, de grandes quantités de glace.

On lira, nous pensons, avec intérêt, la traduction d'un article dans lequel l'*Illustrated London News* nous a fait connaître quelques détails sur la formation de la compagnie du lac Wenham et sur les procédés qu'elle emploie.

En septembre 1833 un chargement de glace fut embarqué à Boston et déchargé à Calcutta, où il fut vendu 3 pences la livre, tandis que celle du pays coûtait 6 pences. Elle avait été arrimée en larges cubes rapprochés avec soin les uns des autres, de manière à former une masse solide, dans des chambres à double plancher, avec une couche de tan de rebut ou d'écorce entre eux. La quantité embarquée avait été de 180 tonnes dont 60 fondirent dans le voyage et 20 en remontant la rivière de Calcutta. Mille tonnes partent maintenant chaque année de Boston pour les Indes, les Antilles et l'Amérique du Sud. La compagnie a établi de grandes glacières à Londres et à Liverpool, et s'est organisée pour importer en Angleterre 1,000 tonnes de glace chaque année. Les masses sont si grandes, que les surfaces exposées à l'air sont relativement petites, et par suite que la perte est très-faible. Il est d'ailleurs reconnu par l'expérience que la glace produite sur l'eau profonde est beaucoup plus dure et plus résis-

tante que la glace de même épaisseur produite sur l'eau moins profonde, et fond plus lentement.

Dans l'Amérique du Nord, le climat assure la congélation des lacs chaque année; quand le froid de l'hiver est intense, le découpage, la récolte et le transport de la glace s'opèrent comme il suit.

Le lac Wenham occupe une position élevée, au milieu de collines rugueuses. Ses eaux n'ont pas d'issue régulière et paraissent filtrer par des fissures des rochers qui en forment le fond; sa profondeur est de 200 pieds. Une glacière pouvant contenir 20,000 tonnes de glace est construite sur ses bords; elle est en bois et entourée de deux murs distants de 2 pieds, intervalle qui est rempli avec de la sciure de bois.

Les appareils qui servent à couper la glace sont mus par des hommes et des chevaux. On balaie la neige quand on a vérifié que la glace s'est bien formée, qu'elle a atteint l'épaisseur convenable pour être exploitée, c'est-à-dire environ un pied d'épaisseur. On choisit alors un espace d'environ 2 acres qui, à cette épaisseur, fournit environ 2,000 tonnes, et deux lignes droites sont alors tracées à angle droit à travers le centre. Une petite charrue à main est poussée le long d'une de ces lignes, jusqu'à ce que le sillon creusé ait environ 3 pouces de profondeur et 1/4 de pouce de largeur; alors le *marker* (fig. 1096 *bis*) y est introduit. Cet appareil est traîné par deux chevaux et pratique deux nouvelles rainures parallèles à la première, distantes de 21 pouces. Le *marker* est alors transporté dans la dernière rainure et en trace deux autres nouvelles. Après avoir ainsi couvert la surface de lignes dans une direction, la même opération s'effectue dans une direction transversale et toute la surface de la glace est divisée en carrés de 21 pouces de côté. Alors une charrue traînée par un seul cheval repasse dans ces rainures et les creuse à la profondeur de 6 pouces. Une rangée entière de blocs est alors sciée entièrement et le reste détaché successivement à l'aide d'un lourd coin en fer dit *bêche à glace*, qu'on fait tomber dans la rainure et

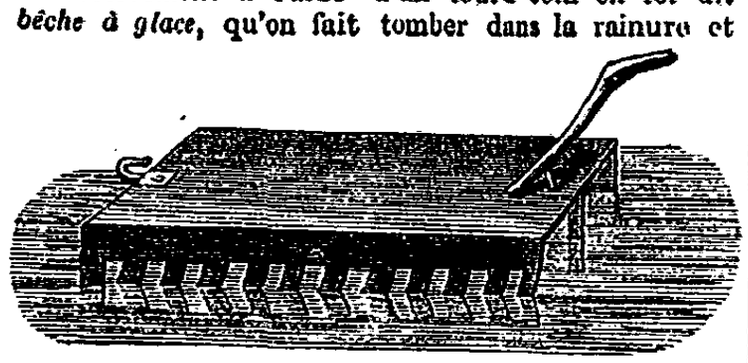


Fig. 1096 *bis*.

qui détache un bloc par un choc assez faible, surtout quand le temps est très-froid, le travail de la division de la glace étant facilité par une température convenable. Des plates-formes basses sont placées près de la partie de la glace où l'on travaille, elles portent des glissières en fer qui s'étendent dans de l'eau; un homme se place de chaque côté de ces glissières, armé d'un crochet à glace avec lequel il saisit les morceaux de glace, et, par une secousse brusque les élève le long des glissières sur la plate-forme. Dans un temps froid, tout ceci est rapidement couvert de glace par la congélation de l'eau sur les plates-formes, glissières, etc., et d'énormes blocs, dont le poids dépasse 2 quintaux, sont élevés le long de ces surfaces glissantes avec grande facilité. D'un côté de la plate-forme, on place un traîneau de hauteur égale, pouvant contenir environ 3 tonnes, et qui, quand il est chargé, est traîné sur la glace jusqu'au magasin, devant lequel est une grande plate-forme fixe de même hauteur, disposée pour recevoir la charge; elle y est rapidement placée et les blocs entrés en magasin.

Quarante hommes, employant douze chevaux, peuvent couper et enlever 400 tonnes en un jour. Quelquefois, quand le temps est favorable, 400 ouvriers travaillent en même temps. Quand le dégel ou la pluie survient, la glace devient poreuse et opaque; elle n'est plus de vente; quand la neige est suivie de la pluie, et celle-ci de la gelée, la glace de neige ainsi formée est enlevée à l'aide d'une *plane*.

L'opération de planer est à peu près semblable à celle de la taille. Un rabot-plan, guidé par les rainures faites par le traceur, et planant la glace à une profondeur de 3 pouces, est conduit par un cheval jusqu'à ce que toute la surface de la glace soit planée. Les copeaux produits sont enlevés, et si on n'est pas encore arrivé à la glace transparente, l'opération est renouvelée. Si elle rend la glace trop mince pour être coupée, on attend quelques nuits de forte gelée pour qu'il se reforme par-dessous une couche aussi épaisse que celle qui a été enlevée par-dessus.

Outre ces glacières près du lac et dans les grandes villes, la compagnie remplit un grand nombre de glacières privées pendant l'hiver; toute la glace nécessaire est transportée par les chemins de fer.

GLACIÈRE (*angl.* ice house, *all.* eiskeller). Il est très-important pour les besoins des sciences, de la médecine et de l'hygiène publique, de pouvoir se procurer de la glace en tout temps et à bas prix. Le procédé le plus économique et le plus usité consiste dans l'emploi de *glacières*, sortes de caves le plus ordinairement de grande dimension, où l'on entasse de la glace pendant l'hiver, en quantité suffisante pour la consommation de l'année, et dans des conditions convenables pour que la fusion ne s'y fasse pas, ou au moins soit assez lente pour que la perte ne soit pas très-grande. C'est surtout en ayant soin de protéger par des couches d'air stagnant les masses de glace contre l'action de la chaleur solaire qu'on y parvient.

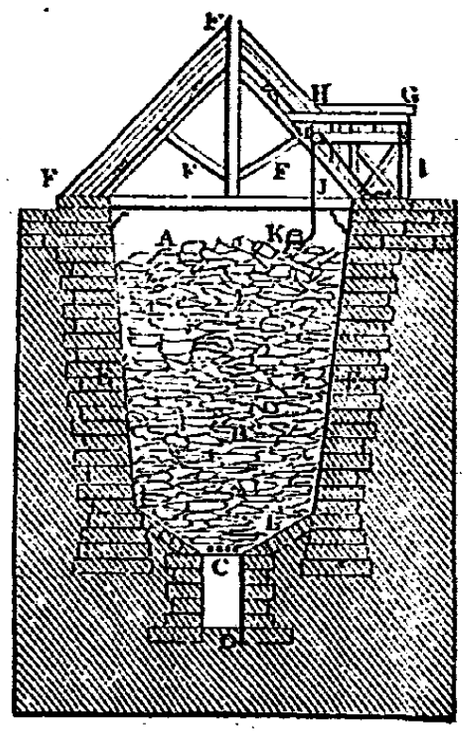


Fig. 1097.

La fig. 1097 représente, en coupe, une glacière construite d'après les règles les plus ordinaires, et dont les dimensions varient avec la quantité de glace à conserver : A B, amas de glace bien tassée, reposant sur une grille C, qui laisse passer l'eau, qui s'est formée par la fusion de la glace, dans le puisard D, d'où on la retire de temps à autre. E, E, parois en maçonnerie de la glacière supportant le chapeau protecteur, la charpente F F, qui est recouverte d'une couver-

ture en chaume très épaisse ; I, une des portes d'entrée située dans le corridor H G. On retire la glace à l'aide d'un tonneau K suspendu à une corde J, qui passe sur la poulie du palan M.

On remplit la glacière pendant les jours les plus froids de l'hiver, soit avec de la glace, soit à son défaut avec de la neige bien tassée, et l'on arrose aussitôt après avec un peu d'eau glacée qui se congèle, et qui en réunissant toute la glace en une seule masse empêche l'air de circuler aussi aisément dans son intérieur et retarde ainsi sa fusion. On recouvre la glace de paille, par dessus laquelle on met des planches que l'on charge de pierres.

Aux États-Unis, pays où la glace forme un article de consommation très important, on élève quelquefois les glacières au-dessus du sol, en plein air, en les composant de bâtiments en madriers à claire-voie, recouverts de tous côtés de plusieurs couches de paille.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale a souvent proposé et maintient encore des prix pour la construction d'un appareil simple et peu coûteux qui puisse permettre à chaque ménage de s'approvisionner de glace pour l'été. C'est sûrement une bonne idée que celle de chercher à obtenir des appareils économiques, pouvant entrer dans l'économie des ménages et permettant de répandre l'usage de la glace, indispensable pour la médecine et l'économie domestique; c'est ce besoin qui a fait le succès des appareils propres à obtenir de la glace par procédé chimique, que nous avons décrit à l'article CONGÉLATION. Mais par ces procédés la glace revient à un prix élevé et ne saurait entrer dans la consommation de toutes les classes. Cependant, dans les pays chauds notamment, une glacière pour la conservation des substances alimentaires, pour en éviter la corruption, est d'absolue nécessité.

La solution de ce problème, que nous désirons vivement voir résoudre, l'établissement de petites glacières, nous paraît seulement exister dans l'emploi d'un vase servant de glacière, et entouré de plusieurs enveloppes concentriques d'air stagnant disposées d'une manière convenable et comprises entre des parois imperméables, métalliques ou non. On pourrait placer l'appareil de manière à pouvoir découvrir son abri le soir pendant l'été, afin de profiter du refroidissement par rayonnement qui produit le phénomène de la rosée. Nous serions heureux, si cette idée pouvait amener quelqu'un de nos lecteurs à la solution cherchée. On emploie déjà, dans quelques circonstances, avec beaucoup de succès, les enveloppes d'air stagnant pour éviter les pertes de chaleur; rien n'empêche qu'on ne les fasse servir à prévenir la propagation de celle-ci en sens contraire.

P. D.

GLU (*angl.* bird lime, *all.* vogelleim). La glu est une substance particulière, molle, d'un blanc verdâtre ou jaunâtre, fusible, combustible, qui s'attache fortement aux corps qu'elle touche. Elle est insoluble dans l'eau et les alcalis; l'alcool bouillant, les acides froids, et surtout l'éther, peuvent la dissoudre. On l'emploie pour enduire les *gluaux* qui servent à prendre les oiseaux à la *pipée*.

La glu se prépare avec l'écorce moyenne du houx (*ilex aquifolium*, Lin.). Pour cela, on la fait bouillir dans l'eau et on la bat dans un mortier jusqu'à ce qu'elle soit réduite en pulpe. On la porte alors dans une cuve ou dans tout autre endroit humide, où elle subit une espèce de putréfaction qui la transforme en une substance jouissant des propriétés qui ont été indiquées ci-dessus. Pour la purifier, il suffit de se mouiller les mains pour qu'elle ne s'y attache pas, et de la laver à grande eau en la malaxant. On la conserve dans l'eau ou du parchemin enduit d'huile.

GLU-MARINE. Dans ces dernières années on a trop vanté pour abandonner ensuite trop complétement peut-être une colle qui peut rendre des services importants dans les constructions navales ; nous voulons parler de la glu-marine, inventée par M. Jeffery de Londres. On a pu voir à l'Exposition de 1844 l'exemple de plusieurs applications dans lesquelles son emploi est avantageux.

Cette colle consiste dans une dissolution de caoutchouc dans l'huile essentielle de goudron, à laquelle on ajoute de la gommelaque. Les proportions employées sont de 450 grammes environ de caoutchouc pour 18 litres d'huile essentielle de goudron. Quand le caoutchouc est entièrement dissous, et que le mélange a acquis la consistance d'une crème épaisse, ce qui a lieu après dix jours, on y ajoute deux ou trois parties en poids de laque, pour une partie de dissolution. La matière est ensuite chauffée et coulée en plaques. Elle s'emploie à une température assez élevée, à 120° centigrades environ.

La force d'adhésion de cette glu-marine est très grande, il est seulement à regretter que le prix des matières qui la composent soit un peu élevé. Cette colle, complétement insoluble dans l'eau, convient surtout pour les constructions navales, notamment pour les accidents qui arrivent en mer; étant employée à une assez haute température, elle ne coule pas par l'effet de la chaleur produite par l'action du soleil. Elle présente ce résultat bien remarquable de résister à une traction de 20 à 25 kilogr. par centimètre carré, tandis que la résistance pratique du sapin, en travers des fibres, ne dépasse pas 12 ou 15 kilogr., d'où il suit qu'avec la glu-marine les chances sont moindres de voir rompre une pièce de bois par le joint collé qu'à travers le bois lui-même; tout au moins les chances de rupture sont à peu près égales, en supposant quelque exagération dans les chiffres ci-dessus.

Disons enfin que la glu-marine ne peut s'appliquer que sur des bois préalablement séchés assez complétement, comme il est facile de le prévoir, puisqu'elle n'est bien liquide qu'à une température déjà assez élevée, capable par suite de faire dégager de nombreuses vapeurs au contact de bois humide.

GLUCINE (*angl.* glucina, *all.* beryllerde). Oxyde du métal terreux le *glucinium*; la glucine a été découverte par Vauquelin dans l'émeraude. C'est un corps blanc, analogue à l'alumine, et qui ne s'en distingue guère qu'en ce qu'elle est soluble dans le carbonate d'ammoniaque.

GLUCOSE. M. Dumas a désigné sous le nom de *glucose* les divers produits sucrés qui présentent une cristallisation confuse ou mamelonnée. Les sucres de raisin, de fruit, d'amidon, de diabètes, etc., auraient donc la même composition aux yeux de ce chimiste célèbre; et si les expériences de MM. Bouchardat et Biot tendent à prouver que l'espèce *glucose* comprend plusieurs variétés, il n'en est pas moins convaincu qu'on finira par trouver la glucose identique, quelle que soit son origine, quand on aura soumis toutes les variétés de sucre dont nous avons parlé à des expériences comparatives et multipliées.

La glucose desséchée à 100° paraît formée de :

Carbone.	36,8
Hydrogène.	7,0
Oxygène.	56,2
	100,0

Composition qui peut se représenter par la formule suivante :

$$C^{12}\ H^{28}\ O^{14}.$$

Soumise dans le vide à une température de 130°, ce corps perd deux atomes d'eau.

La plupart des fruits, le miel, l'urine des diabétiques, le suc des fleurs doivent à la glucose leur saveur sucrée. L'amidon, la cellulose, le sucre de canne, la gomme,

le sucre de lait, etc., sous l'influence des acides étendus, donnent naissance à ce produit, et tout semble prouver que le sucre de raisin a une composition identique à la sienne.

La glucose se distingue du sucre de canne non seulement par sa cristallisation, mais encore par l'action des alcalis qui la brunissent, tandis qu'ils n'agissent pas sur le sucre de canne; elle a, en outre, une grande tendance à s'emparer de l'oxygène, ce que ne fait pas le dernier. De là un procédé pour reconnaître si du sucre de canne renferme de la glucose. Si on dissout, par exemple, du tartrate de deutoxyde de cuivre dans une solution de potasse chauffée à 100°, le sucre de canne qu'on y projette ne donne lieu à aucun phénomène particulier, tandis que la présence de la glucose dans ce sucre, produit immédiatement un précipité d'hydrate de protoxyde de cuivre jaune, qui perd bientôt son eau pour produire du protoxyde de cuivre rouge et pulvérulent.

M. Barreswil, se fondant sur cette réaction, a imaginé un procédé pratique pour faire l'essai des sucres au moyen de liqueurs titrées.

La glucose entre en fusion à une température peu élevée; à 140°, elle se convertit en caramel; et, si on chauffe davantage, elle donne naissance aux mêmes produits que ceux qu'on obtient par la décomposition du sucre de canne dans les mêmes circonstances.

La glucose est moins soluble dans l'alcool que le sucre de canne; les acides concentrés la détruisent, et la transforment en acide saccharique et en acide oxalique. Dissoute dans l'eau, la glucose, en présence d'un ferment, éprouve immédiatement la fermentation alcoolique; on sait que tous les sucres ne se transforment en alcool qu'après s'être préalablement transformés en glucose.

Cette matière sucrée peut, comme le sucre de canne, donner naissance à des sels à bases de baryte, de chaux et de plomb; on a même découvert un glucosate de sel marin.

Nous avons dit qu'on pouvait obtenir la glucose de différentes manières; mais en grand, c'est de la fécule qu'on extrait cette matière.

La diastase et l'acide sulfurique peuvent également s'employer pour cette préparation; mais si le premier de ces deux agents donne des produits plus purs et plus agréables au goût, le second agit plus rapidement sur la fécule, et a, en outre, l'avantage de se trouver partout; aussi est-il le seul qui s'emploie industriellement.

En France, la fabrication de la glucose a fait de rapides progrès; dernièrement aussi, on préparait ce produit dans onze fabriques, qui en livraient au commerce 6,000,000 de kilogrammes.

Les opérations qui ont lieu dans la fabrication du sucre de fécule sont au nombre de dix:

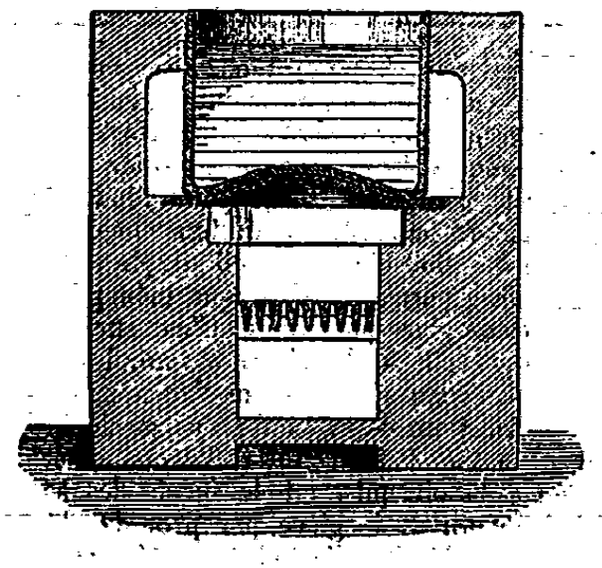
1° Saccharification;
2° Saturation;
3° Dépôt et soutirage au clair;
4° Première filtration sur du noir animal;
5° Première évaporation;
6° Seconde filtration;
7° Cuite du sirop;
8° Repos et refroidissement;
9° Cristallisation et clairçage;
10° Egouttage et séchage.

Le but de la *saccharification* est de désagréger rapidement la fécule, de la convertir en dextrine, puis en sucre, à l'aide de l'acide sulfurique étendu, chauffé à 100°, température qui doit rester la même pendant toute la réaction.

Sous l'influence de l'eau chaude, chaque grain de fécule se gonfle, se distend, et, en présence de l'acide, se transforme en dextrine et devient soluble; à son tour, la dextrine est transformée en glucose. On peut

opérer à feu nu ou à la vapeur; le second mode de chauffage est généralement employé; le premier est défectueux, car, quand on l'emploie, il est bien difficile de rester dans les limites de la température voulue; et si on chauffe trop, il y a coloration du produit. Cependant, comme il est des circonstances où le chauffage à feu nu doit être employé, nous allons donner la description de l'appareil le plus généralement adopté dans ce cas.

Au-dessus d'un foyer ordinaire (fig. 1098), on dis-



1098.

pose un disque de fonte bombé, sur lequel repose une chaudière en plomb, dont le fond a la même forme que le disque destiné à la protéger d'un coup de feu trop violent. Dans cette chaudière, on met un poids d'eau quatre fois plus considérable que celui de la fécule qu'on veut saccharifier; on ajoute peu à peu à cette eau une quantité d'acide sulfurique égale à la cinquantième partie du poids de cette fécule, et on chauffe le mélange jusqu'à l'ébullition. On met alors la fécule pulvérulente et sèche dans le liquide bouillant, portions par portions, sans cesser le feu, et en agitant continuellement pour empêcher le mélange de s'épaissir, car une formation d'empois s'opposerait aux réactions et à la transmission facile de la chaleur.

La saccharification terminée, ce que l'on reconnaît à l'action de l'iode sur la dissolution, on arrête le feu et l'on sature l'acide sulfurique, dont l'action prolongée brunirait le liquide. Pour saturer cet acide, qui se trouve à l'état libre dans la dissolution, on emploie la craie de préférence à la chaux, car elle coûte moins cher que cette dernière. Les débris de pains de blanc de Meudon réduits en poudre sont excellents pour cet usage.

On ne doit ajouter que peu de carbonate de chaux à la fois, car si le dégagement de l'acide carbonique qui est mis en liberté était trop violent, comme le liquide est visqueux, tout déborderait et la chaudière serait vidée.

On doit aussi, pendant la saturation, agiter le mélange avec un râble, pour établir le contact, afin qu'il ne reste pas de craie non attaquée.

Quand l'effervescence cesse, on s'assure, à l'aide d'un papier de tournesol bleu, que tout l'acide sulfurique est saturé, et s'il ne l'était pas on ajouterait encore de la craie jusqu'à ce que le papier bleu cessât d'être rougi.

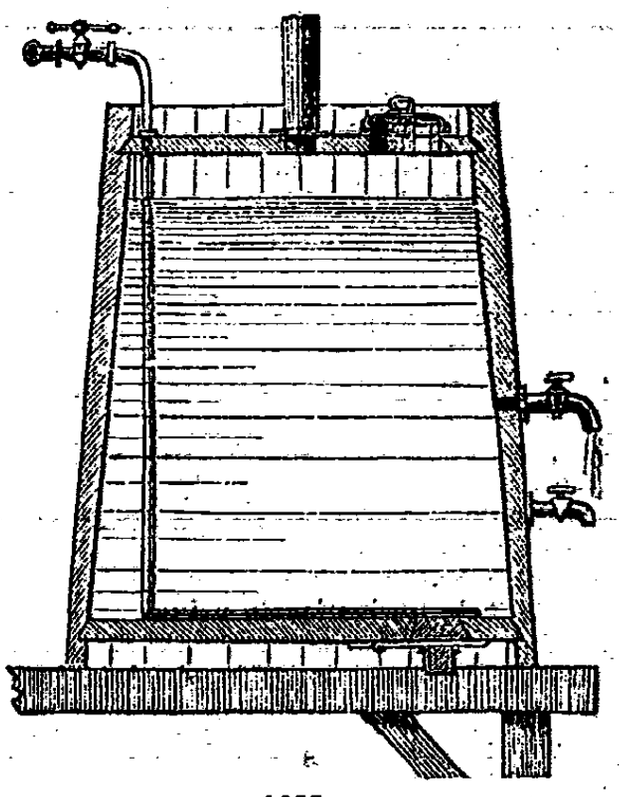
Quant au chauffage à la vapeur, son emploi nécessite des appareils différents. On fait usage alors d'une grande et forte cuve couverte, chauffée à l'aide d'un tuyau en cuivre ou en plomb qui décrit un cercle au fond de cette cuve.

La vapeur est introduite dans l'appareil par des trous de scie disposés sur le côté du tuyau, car si elle arrivait

à plein jet dans le liquide, surtout au commencement d'une opération, sa condensation serait si rapide, qu'il y aurait absorption, et une partie du sirop pourrait remonter dans le tuyau de vapeur et se rendre dans le générateur; outre la perte de matière sucrée qui en résulterait, il se produirait des chocs nuisibles à la solidité de l'appareil.

A l'aide de la disposition employée, on évite ces deux inconvénients, car alors le liquide de la cuve ne peut remplir complétement le tuyau d'arrivée de vapeur.

Nous donnons ci-dessous le dessin d'une cuve à sac charification (fig. 1099).



1099.

Si l'on veut traiter à la fois 500 kilogr. de fécule l'appareil doit contenir 25 hectolitres : on commence par y verser 10 hectol. d'eau, puis 10 kilogr. d'acide sulfurique, en ayant soin d'agiter le mélange ; on laisse alors arriver la vapeur. Dès que la température est à 100° on ajoute la fécule délayée dans son poids d'eau tiède, par portions de 50 kilogr. à la fois, on a soin d'agiter pour empêcher l'épaississement du mélange. Dans quelques fabriques on emploie des agitateurs mécaniques, mais le plus souvent l'agitation se fait à la main, au moyen d'un râble qu'on introduit dans la cuve, par un trou d'homme, à fermeture hydraulique percé dans le couvercle. On reste deux heures à introduire les 500 kilogr. de fécule dans l'eau acidulée ; vingt minutes après la saccharification est complète.

On s'assure que toute la substance amylacée a disparu en puisant dans une soucoupe un peu de liquide, qu'on laisse refroidir ; ce liquide doit être transparent, et, traité par une dissolution d'iode, il ne doit point se colorer.

On arrête alors l'introduction de la vapeur et on commence la saturation à l'aide de craie pesée d'avance, et délayée dans de l'eau, qu'on introduit lentement par le trou d'homme dont nous avons parlé. Pour saturer les 10 kilogr. d'acide employé, le calcul indique qu'il faut employer à peu près une égale quantité de craie ; on en emploie 11 à 12 kilogrammes.

On doit néanmoins s'assurer, comme nous l'avons déjà indiqué, que l'acide sulfurique est complétement neutralisé.

On laisse déposer le sulfate de chaux qui s'est formé, pendant deux ou trois heures, au bout de ce temps on décante le liquide qui surnage à l'aide de deux robinets, en commençant à ouvrir le premier qui est à 1 mètre du fond ; puis, quand le niveau supérieur du liquide sucré est arrivé à ce robinet, on ouvre le second, qui est 0m,50 à 0m,60 plus bas.

Le liquide décanté est conduit dans un réservoir doublé en plomb ou en zinc ; quant au dépôt il est retiré de la cuve à l'aide d'une ouverture percée dans le fond, ouverture qui est fermée par une soupape pendant les opérations précédentes ; ce dépôt est conduit sur une toile où il s'égoutte, on l'épure ensuite par un lavage à l'eau et on le presse afin d'en séparer tout le liquide sucré qu'il renferme.

La dissolution décantée provenant de la transformation de la fécule en glucose, est décolorée sur des filtres Dumont ; ces filtres sont quelquefois formés d'une double enveloppe chauffée à la vapeur, disposition qui facilite le passage du sirop à travers la couche de noir animal en grains.

Le liquide filtré est reçu dans un réservoir destiné à alimenter une chaudière en cuivre chauffée par une grille tubulaire dans laquelle circule de la vapeur à quatre ou cinq atmosphères. Dans cette chaudière la dissolution sucrée est rapprochée à 25 ou 30° Beaumé ; puis on la met en repos dans un réservoir où se dépose du sulfate de chaux précipité pendant l'évaporation.

Le sirop clair soutiré de ses réservoirs peut se vendre à cet état pour servir à la préparation des bières colorées ou à celle de quelques autres boissons communes, on l'emploie aussi dans les distilleries pour produire de l'alcool.

Pour la fabrication des bières blanches et pour d'autres usages, le sirop de fécule a besoin de perdre la coloration qu'il a prise par la concentration ; pour cela, on le filtre de nouveau sur du noir neuf, ce qui achève de l'épurer en améliorant son goût.

Pour pouvoir expédier la glucose, il faut l'obtenir en masse ou en grains.

La *glucose en grains* s'obtient en concentrant de nouveau le sirop dans une chaudière tubulaire analogue à celles employées dans la fabrication du sucre de betterave (système Taylor et Martineau), on rapproche jusqu'à 35 ou 40°. Le liquide concentré à une température un peu supérieure à 100°, est conduit dans des rafraîchissoirs où il se refroidit, ce qui empêche la fermentation de se produire. Une fois le liquide refroidi à 20° on le tire au clair et on le met dans des tonneaux établis sur des chantiers d'une hauteur de 0m,30 posés sur des tables en plomb à rebords. Ces tonneaux, dont on a enlevé le fond supérieur et dont le fond inférieur est percé de 15 à 20 trous bouchés par des chevilles, remplacent ici les formes en terre que l'on emploie dans la fabrication du sucre indigène.

Au bout d'une semaine le sirop est aux deux tiers cristallisé, la mélasse est alors évacuée par les trous du fond qu'on débouche et elle tombe sur les tables en plomb qui se trouvent dessous ; de là elle se rend dans un réservoir situé dans la cave à côté des rafraîchissoirs. Si l'égouttage a de la peine à s'effectuer, on ajoute de l'eau qui produit sur la masse cristalline les mêmes résultats que le clairçage sur le sucre ordinaire.

Pour achever l'égouttage, on incline les tonneaux, les uns sur les autres, sous un angle de 45°. Le liquide égoutté est plus amer que les cristaux ; il est employé pour la fabrication de la bière brune.

Pour dessécher la glucose, il faut enlever les dernières traces de sirop qui pourraient s'accumuler dans la masse cristallisée.

Pour opérer cette dessiccation, qui présente quelques difficultés, on dépote les tonneaux qui renferment la glucose en grains, sur une aire en plâtre dont la propriété absorbante facilite beaucoup l'égouttage. Les blocs égouttés sont portés sur des dalles également en plâtre qui sont disposées autour d'une étuve chauffée à l'aide d'un calorifère, et où la dessiccation s'opère à une température qui ne doit pas dépasser 25° centigr.

La glucose séchée est réduite en poudre et emballée dans des tonneaux propres et solides dans lesquels on la livre au commerce.

La *glucose en masse* s'obtient en concentrant le sirop jusqu'à 42° ou 45° Beaumé, et on le coule alors dans des barriques où il se prend en masse. Les tonneaux remplis sont fermés, puis expédiés.

Ce dernier produit est d'un emploi beaucoup moins commode que la glucose pulvérulente, il sert, ainsi que cette dernière, à la préparation des confitures, du miel et des bières blanches.

La fabrication du sucre de fécule présente quelques inconvénients qu'il est bon de signaler. Pendant toutes les opérations qu'elle nécessite, et surtout pendant la saccharification, il se dégage une forte odeur empyreumatique due à l'huile essentielle de pommes de terre; cette odeur désagréable augmentée par l'action de l'acide sulfurique a souvent incommodé les habitants des maisons voisines des fabriques de glucose.

M. Chaussenot est parvenu à éviter ces graves inconvénients en condensant la vapeur qui se dégage des cuves dans un serpentin en cuivre, et utilisant la chaleur latente de cette vapeur pour commencer la concentration des sirops. Les produits condensés dans le serpentin sont dirigés dans des égouts ou des cours d'eau; quant aux gaz incondensables, ils sont brûlés sous les foyers.

Un impôt de 2 francs par 100 kilogr. a frappé dernièrement la glucose en sirop et en masse. Comme le sirop de glucose ne représente que 63 à 66 pour 100 de son poids de glucose en masse, il faudra donc supprimer le premier produit pour ne faire que de la glucose en masse; on pourrait même remplacer cette dernière par de la glucose desséchée complétement : on extrairait ainsi les 14 pour 100 d'eau qu'elle renferme qui paient par conséquent l'impôt comme la matière sucrée.

La glucose cristallisée a été imposée comme le sucre ordinaire, aussi ce produit ne pourra-t-il plus se soutenir, et sa suppression serait regrettable, si on ne l'avait souvent employé pour frauder le sucre ordinaire.

Nous terminerons en donnant le compte de fabrication du sirop et du sucre de fécule pour une production de 4500 kilogr. de sirop à 32° Beaumé ou de 3000 kil. de sucre solide.

Il faut dans ce cas :

3000 kilogr. de fécule à 22 fr. . . .	660f »
60 kilogr. acide sulfurique à 15 fr.	9 »
40 hectolitres d'eau.	» »
80 kilogr. de craie.	2 »
300 kil. noir animal en grains à 10 fr.	30 »
35 hectolitres de houille à 1f,10. .	38,50
7 ouvriers à 2f,50.	17,50
Loyer et direction	16 »
Capital, fonds de roulement. . .	5 »
Intérêts et réparations.	10 »
Éclairage et menus frais. . . .	5 »
Transports.	10 »
Escomptes et frais imprévus. . .	30 »
Total des dépenses.	833f »
Produits : 4500k sirop à 32° Beaumé, à 22 fr. les 100 kilogr. . . .	990 »
Bénéfice net. . . fr.	157 »
Si on fabriquait du sucre solide, la production ne serait plus que de 3000 k. à 35 fr.	1050 »
Il faudrait en déduire les frais de concentration, 4 hect. houille. . .	4,40
	1045,60
Le bénéfice net dans ce cas serait.	212f,60

GLUTEN (*anpl.* gluton, *all.* kleber). Nous avons déjà parlé du gluten et de ses propriétés nutritives à l'article FARINE; il nous reste encore à indiquer une application précieuse et assez nouvelle de ce produit due à MM. *Véron* frères de Ligugé (Vienne).

MM. *Véron* ont ajouté, dans leur usine, à la mouture du blé la fabrication de l'amidon, dont ils séparent le gluten, en employant pour cet usage le pétrin Fontaine (voyez PAIN). Voici comment ils opèrent :

On verse dans le pétrin environ 75 kilogrammes de farine première, avec une médiocre quantité d'eau, sans aucun levain; le mélange réduit en pâte est retiré du pétrin, et placé, en deux parties égales, dans deux amidonnières contiguës, espèces d'auges allongées dans chacune desquelles tourne un cylindre en bois cannelé. Ce cylindre, par le frottement sur la pâte et un arrosage continu et réglé à volonté, opère en peu de temps la séparation de l'amidon, qui est entraîné par divers conduits dans des récipients disposés exprès. L'amidon étant ainsi extrait de la pâte, il ne reste plus dans l'amidonnière que le gluten frais, formant un corps tendineux et élastique.

Le gluten ainsi préparé servit d'abord à la nourriture des animaux, puis plus tard à la fabrication des pains de luxe. Toutefois il était impossible d'écouler, à l'état frais, tout le gluten, produit d'une grande fabrication, au fur et à mesure de son extraction. MM. *Véron* cherchèrent d'abord à conserver ce produit important en le desséchant, puis le réduisant en poudre; mais lors même qu'ils y fussent parvenus avec économie, ils n'eussent encore obtenu qu'une sorte de farine propre à la fabrication du pain.

Une idée heureuse venue à MM. *Véron* a tranché la difficulté, en simplifiant toute l'opération, diminuant les frais, et donnant, au lieu d'une matière première, un produit d'une valeur plus grande et vendable directement aux consommateurs.

L'invention consiste :

1° A granuler et à dessécher le gluten : dès lors la réduction en poudre est inutile;

2° A séparer en trois ou quatre sortes, suivant leur grosseur, les grains tout formés;

3° Enfin, à livrer le gluten ainsi préparé pour être employé surtout à la confection des potages.

MM. Véron commencent par étirer le gluten frais, à sa sortie de l'amidonnière, dans deux fois son poids de farine de froment de première qualité; puis, le portent à une machine appelée *démêleur*, composée de deux cylindres concentriques, dont celui intérieur, armé de chevilles saillantes, tourne avec une grande vitesse, et celui extérieur, beaucoup plus lentement : le gluten est promptement divisé dans cette machine, et forme un tout homogène qui est ensuite réduit en grains allongés qu'on place dans une étuve à tiroirs montée à cet effet à côté des étuves à amidon et également chauffée. Le gluten y est desséché en une heure et demie, puis tamisé pour obtenir des grosseurs différentes. Les grumeaux restants sont concassés dans un moulin à noix et tamisés de nouveau.

L'amidonnerie de MM. Véron consomme, en 12 heures de travail, 800k de farines premières, lesquels, après séparation de l'amidon, donnent 250k de gluten frais; cette quantité, réunie à 500k de farine de froment, fournit, déduction faite de 24 p. 100 perdus par la dessiccation, 570k de produit sec.

On se rend aisément compte de la composition de ce produit par les nombres suivants :

100k de gluten frais, contenant 38k de gluten sec, divisés par 200k de farine, contenant 24k de gluten sec, en tout 300k, se réduisent par dessiccation à 228k. contenant 62k de gluten sec; ce qui donne, par 100k de ce produit granulé, 27k,2 de gluten sec, c'est-à-dire plus

du double de la quantité contenue dans la farine employée.

Cette richesse en matière fort nutritive n'est pas le seul avantage que présente le produit nouveau, si on le compare avec les pâtes dites vermicelle, semoule, etc. Dans celles-ci, les préparations qui consistent à pétrir avec de l'eau bouillante, puis à étirer à chaud, ont coagulé le gluten et soudé les grains d'amidon. Les pâtes sèches ainsi obtenues acquièrent par suite une dureté et une cohésion telles, qu'une ébullition plus ou moins soutenue devient nécessaire pour les hydrater à point dans les potages, tandis que le gluten granulé, à froid et séché, sous l'influence d'une douce température, restant perméable, s'hydrate en deux minutes dans un liquide à 100°, et permet ainsi de conserver au bouillon tout son arome : 40 à 45 grammes suffisent pour un litre de liquide. On conçoit aisément que, le gluten étant ainsi uniformément hydraté, sans qu'il ait été nécessaire de prolonger l'ébullition, le potage obtenu soit plus agréable, plus nourrissant et plus léger.

GLYCÉRINE. Un des produits de la saponification de la stéarine; c'est un corps liquide, incolore, inodore, sirupeux, d'une saveur sucrée, et tout à fait incristallisable; soluble en toutes proportions dans l'eau; combustible; l'acide nitrique se change en acide azotique, et l'acide sulfurique en sucre. Sa composition à l'état de combinaison est représentée par la formule $C^3 H^6 O^2$, qui donne : carbone, 49.2; hydrogène, 8.0; oxygène, 42.8; à l'état libre, elle renferme, en outre, un équivalent d'eau $H^2 O$.

La glycérine se forme ou se sépare, toutes les fois que l'on soumet une graisse ou une huile à l'action des bases. Ordinairement, on met parties égales d'huile d'olives et de litharge en poudre fine dans une bassine avec de l'eau; on fait bouillir, en ajoutant de l'eau chaude à mesure qu'elle s'évapore, et remuant sans cesse avec une spatule. Peu à peu la litharge disparaît, ainsi que l'huile, et l'on obtient une masse d'un blanc jaunâtre, qui forme *l'emplâtre diapalme* des pharmaciens. On ajoute de l'eau chaude et on décante la liqueur aqueuse; on la filtre, et on y fait passer un courant d'hydrogène sulfuré qui en précipite du sulfure de plomb. On filtre de nouveau, et on fait évaporer au bain-marie : le résidu sirupeux est la glycérine.

GNEISS ou *Granite rubanné*. Voyez GÉOLOGIE.

GOMME (*angl.* gum, *all.* gummi). On appelle *gomme*, en général, un produit végétal solide, à cassure nette et souvent vitreuse, d'une saveur fade et douceâtre, plus ou moins soluble dans l'eau, et susceptible de lui donner de la viscosité, c'est-à-dire de produire avec elle un mucilage plus ou moins épais. Lorsque cette solution est étendue sur une surface quelconque, elle forme, par sa dessiccation, un vernis solide que la chaleur ordinaire ne ramollit point. Le sous-acétate de plomb précipite les gommes de leur dissolution aqueuse à l'état de combinaison; l'alcool les précipite également, mais à l'état de pureté et seulement par suite de leur insolubilité dans ce réactif. L'acide nitrique bouillant les change en *acide mucique*, blanc, pulvérulent, fort peu soluble. Par l'action du feu, elles fondent, se boursouflent et se décomposent avec résidu de charbon.

Dans le commerce, on confond sous la même dénomination de *gomme* des substances très diverses, ainsi : la *gomme* ÉLEMI, la *gomme* COPAL, etc., sont de véritables résines; la *gomme* AMMONIAQUE et la *gomme-gutte* sont des gommes-résines; la *gomme-élastique* ou CAOUTCHOUC est un corps particulier.

La plus importante des gommes est la *gomme arabique*, dont la plus estimée nous arrive du Sénégal, où elle est produite par le *mimosa senegal* de Linnée, arbre de 6 à 7m de hauteur. Elle nous arrive de ce pays, en morceaux de forme variée, mais en général arrondie, incolores ou plus ou moins fortement colorés en jaune ou en rouge-brun, et contenant souvent des masses plus ou moins volumineuses, ou *marrons*, formée par l'agglomération de petits morceaux d'une gomme molle, empâtant des débris d'écorces et d'autres impuretés.

La gomme arabique est principalement composée d'*arabine*, principe soluble dans l'eau.

La gomme qui découle dans nos contrées sur les pruniers, les cerisiers, et autres arbres à noyaux, ressemble par ses caractères extérieurs à la gomme arabique, mais elle en diffère par ses propriétés. Traitée par l'eau, elle ne se dissout qu'en partie, et sa dissolution ne présente pas autant de viscosité. Elle renferme 52 p. 100 d'arabine et 35 p. 100 de *cerasine*, principe particulier insoluble dans l'eau, qui, par un ébullition prolongée dans ce liquide, finit par se convertir entièrement en arabine.

Les *gommes adragante* et de *Bassora* qui découlent de deux arbrisseaux du genre *astragalus*, qui croissent dans l'Asie mineure, renferment plus de la moitié de leur poids d'un principe insoluble dans l'eau, qui porte le nom de bassorine. Ces gommes opaques ou légèrement translucides, blanches ou jaunâtres, se présentent en lanières ou filets élastiques et comme contournés. Elles sont fort peu solubles dans l'eau, mais elles forment avec elles des mucilages d'une grande consistance, ce qui fait que les pharmaciens et les confiseurs en font un usage très fréquent; on les emploie avec succès pour l'apprêt des rubans, des dentelles et de quelques autres tissus; enfin, on s'en sert, dans la fabrication des toiles peintes, pour l'application de certaines couleurs délicates.

GOMME ÉLASTIQUE. Voyez CAOUTCHOUC.

GOMME-GUTTE. Voyez GOMMES-RÉSINES.

GOMME LAQUE. Voyez LAQUE.

GOMMES-RÉSINES (*angl.* gums-resins, *all.* gummiharze). Les gommes-résines sont des produits végétaux qui, comme leur nom l'indique, participent à la fois de la nature des gommes et de celle des résines. La plupart d'entre elles étant décrites à leur nom, il ne nous en reste ici que quelques-unes à décrire; ce sont les suivantes :

ASSA-FŒTIDA. Gomme-résine produite par le *ferula assa-fœtida*, plante de la famille des ombellifères qui croît en Perse. On la récolte en faisant des incisions au collet de la racine; il en découle un suc laiteux assez épais qui se concrète à l'air. L'assa-fœtida, nous arrive en lames détachées et très pures, ou plus souvent en masses d'une consistance un peu molles, qui présentent dans leur cassure des lames d'un blanc-jaunâtre un peu transparentes, et qui, par le contact de l'air et de la lumière, ne tardent point à acquérir une couleur rosée.

Cette gomme-résine est très employée en médecine, à cause de ses puissantes propriétés anti-hystériques.

EUPHORBE. Cette gomme-résine est fournie par trois plantes de la même famille des euphorbiacées; elle exsude spontanément à la base des aiguillons géminés dont la plante est recouverte, et se concrète à leur surface; et de là vient que les lames de cette gomme-résine sont percées de trous dans toute leur longueur, où l'on retrouve encore ces aiguillons. L'euphorbe est ordinairement en petites larmes de la grosseur d'un pois, irrégulières, jaunâtres, demi-transparentes, sans odeur prononcée; mais si on en respire la poudre, en quelque faible quantité que ce soit, elle produit sur les membranes un effet excitant des plus violents; c'est ce qui rend sa pulvérisation très dangereuse.

L'euphorbe n'est usitée maintenant que comme un vésicant très énergique.

GOMME-GUTTE. Cette gomme-résine découle par incision du *stalagmitis cambogioides*, arbre qui croît surtout dans la presqu'île de Camboge et l'île de Ceylan. Elle nous arrive en gros morceaux cylindriques d'un brun-jaunâtre à l'extérieur, jaune-rougeâtre dans l'in-

térieur, sans odeur ni saveur, et à cassure nette et brillante, mais opaque; délayée avec l'eau, elle forme une émulsion de la même teinte, qui, appliquée sur le papier, s'y dessèche facilement, et y forme un vernis d'un jaune doré éclatant; aussi l'emploie-t-on avec avantage pour la miniature et l'aquarelle. En médecine, on s'en sert comme d'un purgatif très énergique.

SCAMMONÉE. Cette gomme-résine nous arrive du Levant, où on l'extrait, par incision, autour du collet de la racine du *convolvulus scammonia*; elle est en masse poreuse d'un gris cendré, friable, ayant une odeur de laitage aigri, et donnant une émulsion verdâtre avec la salive; délayée dans l'eau, elle y reste presque entièrement en suspension, et ne laisse que fort peu de résidu lorsqu'elle est pure. C'est un excellent purgatif très employé en médecine.

GONIOMÈTRE. Instrument servant à mesurer les angles des cristaux. Voyez MINÉRALOGIE.

GOUDRON MINÉRAL *naturel ou bitume*. Nous avons vu à ce dernier mot les applications qui ont été faites de certains bitumes ou calcaires bitumineux au revêtement des voûtes, pour les préserver de l'humidité, et à la confection des trottoirs.

GOUDRON MINÉRAL ARTIFICIEL. La distillation de la houille pratiquée sur une grande échelle dans les usines à gaz, donne en quantité considérable un goudron regardé longtemps comme une substance inutile. Il n'y a que peu d'années qu'on a tenté, comme nous l'avons vu à l'article ÉCLAIRAGE AU GAZ, de l'employer comme combustible pour le chauffage des cornues au moyen d'appareils de combustion convenables; mais depuis quelques années cette substance, dont on cherchait surtout à se débarrasser, a trouvé plusieurs emplois importants, et est devenue la base de quelques curieuses industries; nous les passerons en revue à cause de l'intérêt qu'elles présentent en elles-mêmes, et aussi comme exemple frappant des progrès des industries fondées sur les sciences chimiques, par l'emploi des résidus obtenus dans certaines fabrications.

Acide carbazotique ou picrique. M. Laurent a montré que l'acide azotique dans sa réaction sur de l'huile lourde de houille (obtenue par la distillation du goudron entre 160 et 190 degrés centigrades), produit un acide d'un beau jaune citron.

Voici comment M. Payen en décrit la préparation :

Dans une capsule ayant une capacité triple du volume des matières employées, on verse trois parties d'acide azotique à 36°, dont on élève par la vapeur ou le bain-marie la température à 60° centigrades; on retire la capsule de la source de chaleur et l'on y verse peu à peu, à l'aide d'un tube effilé plongeant jusqu'au fond, de l'huile de houille; à chaque addition d'huile une vive réaction a lieu. Lorsque toute l'huile est ajoutée, on verse trois parties d'acide azotique, on porte à l'ébullition, et l'on fait évaporer à consistance sirupeuse sans dessécher, car le produit s'enflammerait.

Le liquide se prend par le refroidissement en masse pâteuse, qu'on lave à l'eau froide pour éliminer l'excès d'acide; on fait dissoudre dans l'eau bouillante, on ajoute à la dissolution de l'acide sulfurique très-étendu (à 0,001) pour séparer la matière résinoïde.

Couleurs dérivées de l'aniline. — Fuchsine. — Quinoléine, etc. M. Salvetat a traité en détail à l'article TEINTURE de toutes les riches couleurs que la chimie est parvenue à tirer de la benzine extraite du goudron. Celui-ci se décomposant par la chaleur et les réactions chimiques en un nombre très-grand d'hydro-carbures, il est à présumer que l'on retrouve précisément, dans cette voie, les matières colorantes mêmes qui donnent aux fleurs leurs couleurs; qu'on a trouvé une voie pour remonter à des compositions complexes que les actions chimiques sur les substances organiques tendent généralement à simplifier.

Fabrication des houilles agglomérées dites péras. Dans l'exploitation des mines de houille, on tire peu ou point de valeur des menus fragments, et cela en raison de la difficulté de les brûler sur des grilles au travers desquelles ils passent en trop grand nombre.

On est parvenu avec succès dans quelques exploitations, et notamment à Blanzy, à en former des blocs qui offrent sur la houille en gros morceaux certains avantages. Pour cela, après avoir lavé la houille pour la débarrasser des parties schisteuses, comme nous l'avons vu à l'article COKE, on la chauffe vers 200° et on l'imprègne de brai gras; le mélange, comprimé fortement par une presse hydraulique, prend la forme rectangulaire du moule, et les particules de houille enduites de goudron de houille concentré, contractent une adhérence assez grande qui s'accroît encore par le refroidissement. On a imaginé dernièrement une machine présentant, sur un disque qui tourne, les moules successivement remplis à l'action d'un levier articulé qui comprime rapidement le mélange; chaque pain comprimé est repoussé de bas en haut par le fond même du moule, comme cela a lieu dans quelques machines à fabriquer les briques. Cette machine diminue les dépenses de main-d'œuvre, seul inconvénient du système, car les pérás bien fabriqués, c'est-à-dire ne renfermant pas assez de brai gras pour se ramollir et se souder entre eux, résistent mieux que la plupart des houilles. Ils sont plus faciles à arrimer dans les soutes des bateaux, et permettent d'économiser deux dixièmes de l'espace.

Charbon de Paris. Une industrie curieuse a été fondée à Paris par M. Popelin Ducarre, c'est celle de la fabrication d'un charbon moulé composé de matières carbonisées agglomérées en cylindres analogues aux formes ordinaires du charbon de bois. Cette agglomération ne peut être produite qu'au moyen d'une substance susceptible non-seulement de relier ces matières, mais encore de les maintenir après sa propre carbonisation. Le goudron provenant des usines d'éclairage au gaz remplit parfaitement ces conditions, de plus il laisse 20 ou 25 centièmes de son poids de charbon exempt de matières volatiles et de cendres interposés entre les particules à réunir.

Quant aux matières premières l'inventeur a, nous croyons, dépensé inutilement beaucoup d'argent à vouloir réaliser le programme qu'il s'était proposé d'utiliser les bruyères, les brindilles des forêts, toutes substances de peu de valeur il est vrai à l'état brut, mais qui devant être carbonisées dans des fours spéciaux ne valaient pas les frais de transport et de carbonisation. Il n'a pas été plus heureux en voulant employer dans une proportion considérable le tan épuisé, dont les tanneries de Paris n'ont qu'un débouché peu avantageux. L'énorme proportion de cendres que produit un semblable combustible, analogue à celui connu sous le nom de mottes, ne permet de l'employer que dans un petit nombre de cas. Les seules substances qui fussent à la disposition de l'inventeur pour fabriquer un charbon propre aux usages domestiques, et plus économique que le charbon de bois, étaient : 1° la poussière de charbon de bois; 2° la poussière de charbon de tourbe, ces deux substances se concentrant comme résidus des fonds de bateaux et des différents magasins; et enfin 3° le coke. Les débris de charbon d'origine végétale, en assurant la facile combustion du charbon de Paris, ont permis le mélange d'une certaine quantité de coke, et par suite la fabrication d'un combustible assez économique, puisque toutes les substances qui en font partie sont toutes moins chères que le charbon de bois. On voit aussi que ce combustible, formé nécessairement en grande partie de charbon d'origine végétale, ne peut vraiment réussir qu'autant qu'on peut trouver à bon marché des

résidus de ce dernier; il ne peut donc répondre qu'à une partie seulement de la consommation, et les essais tentés, en diminuant la proportion de combustible végétal, n'ont donné que des produits trop voisins du coke fourni par les usines d'éclairage au gaz pour qu'on dût en donner un prix pouvant défrayer les frais de fabrication. Pour donner l'idée de la quantité de goudron employée dans cette fabrication, nous dirons que pour les produits de première qualité elle s'élève jusqu'à 60 kilogrammes pour 100 kilogrammes de combustible.

Ce moulage de la pâte charbonneuse se fait à l'aide d'une machine composée d'une série de tiges cylindriques, douées d'un mouvement rectiligne alternatif, qui viennent comprimer la pâte et la faire sortir des vides cylindriques dans lesquels elle a été versée. Les cylindres en sortant des moules restent à l'air trente-six ou quarante-huit heures, afin de prendre quelque consistance. On les porte alors dans des fours à moufles, où ils sont chauffés pendant six heures, la combustion des produits volatils suffisant pour opérer la carbonisation une fois que le four est en feu.

En résumé, cette fabrication nouvelle, trop prônée à son origine, n'en est pas moins très intéressante et indique chez celui qui est parvenu à la faire réussir de notables talents d'ingénieur et de fabricant.

GOUDRON VÉGÉTAL (*angl.* tar, *all.* theer). Voyez CARBONISATION et TÉRÉBENTHINE.

GOUGE. Ciseau cannelé en gouttière, à biseau extérieur ou intérieur, affûté, droit ou arrondi. Toutes les fois qu'on se sert d'une gouge dans l'intention de transmettre sa forme sur les matières ouvrées, le biseau du taillant doit être pratiqué en dedans de la cannelure; c'est ainsi que sont affûtées la plupart des gouges de menuiserie et de charpenterie. Quand on n'emploie la gouge que pour dégrossir plus promptement, le biseau doit être en dehors, comme cela se pratique pour la gouge du tourneur et certaines gouges de menuisier.

GRADUATION (BATIMENTS DE). Voyez SEL MARIN.

GRAINE D'AVIGNON. Baies du *rhamnus infectorius*, plante cultivée dans le midi de la France. On les arrache, avant leur maturité, lorsqu'elles ont acquis une couleur verdâtre. On les emploie dans l'IMPRESSION SUR ÉTOFFES et la TEINTURE.

GRAINE DE LIN (*angl.* linseed, *all.* leinsame). Elle contient, étant sèche, 11,265 p. 100 d'huile; 0,146 de cire; 2,488 d'une résine molle; 0,550 d'une matière résineuse colorante; 0,926 d'une substance jaunâtre analogue au *tannin*; 6,154 de gomme; 15,12 de mucilage végétal; 1,48 d'amidon; 2,932 de glu; 2,782 d'albumine; 10,884 d'extrait de *saccharine*; 44,382 d'enveloppes renfermant quelque mucilage végétal. Elle renferme aussi de l'acide acétique libre, un peu d'acétate, de sulfate, et de muriate de potasse, du phosphate et du sulfate de chaux, du phosphate de magnésie, et de la silice. (Voyez HUILES).

GRAISSAGE DES MACHINES ET DES VOITURES. De tout temps les graisses ont été employées pour adoucir, diminuer les frottements de tous les cylindres destinés à frotter sur leur axe, de tous les pistons, de tous les rouages des machines. Sous le nom de cambouis, de vieux-oing, de graisse noire, de graisse muciligne, etc., on emploie aussi des graisses composées de différentes matières pour graisser les essieux des voitures, et des wagons des chemins de fer; la fabrication de ces graisses a pris une nouvelle et grande importance depuis l'établissement des voies ferrées où les wagons ne sauraient rouler sans une boîte à graisse suffisamment garnie.

Graisses pour machines. Pour graisser les machines on se sert des compositions dont nous allons donner les formules :

1° D'un mélange d'environ parties égales de suif de Russie et d'huile d'olive; ce mélange qui entre en fusion à environ 30° est employé en Angleterre pour adoucir le frottement des pistons des machines à la Perkins;

2° D'un mélange de parties égales de suifs de mouton et de bœuf; ce mélange est très employé pour défendre les tiges des pistons des machines à vapeur de l'oxydation, qui, sans cette précaution, amènerait promptement leur destruction. A la partie supérieure des tiges est pratiquée une espèce d'entonnoir rempli de cette graisse que la chaleur de la machine maintient à l'état liquide. Cette graisse coulant peu à peu le long de la tige, revêt incessamment la surface d'une couche mince qui préserve le fer de l'humidité. C'est de cette même graisse que l'on imbibe le stuffen-box, ou la boîte à étoupes, c'est-à-dire du chanvre tordu qui est ensuite serré dans une sorte de boîte ou de gobelet par un écrou à vis, qui, la comprimant de plus en plus, lui fait rendre la quantité de graisse nécessaire à l'adoucissement du frottement des axes des cylindres. Dans la plupart des machines aujourd'hui employées, quelle que soit leur destination, on a eu soin, du reste, de placer de petits appareils qui d'eux-mêmes, par suite du jeu des machines, versent sur ces parties à graisser la quantité nécessaire de graisse sans que les ouvriers aient besoin d'intervenir autrement que pour remplir chaque jour ces appareils;

3° D'un mélange bien homogène de 16 parties de plombagine réduite en poudre très fine et de 84 parties de graisse de porc ou axonge;

4° Soude 125 grammes, eau 8 litres; on fait dissoudre la soude dans l'eau, et pour chaque litre de solution on prend 1 kilogr. 1/2 de suif bien pur, et 3 kilogr. d'huile de palme; on fait chauffer le mélange dans une marmite jusqu'à ce qu'il soit arrivé à 93°, en ayant soin de remuer sans cesse; on laisse ensuite refroidir jusqu'à une température de 15°; à ce moment, la masse doit avoir acquis une consistance analogue à celle du beurre. (Répertoire des patentes anglaises, 7 septembre 1834);

5° Solution de soude faite comme précédemment; huile de lin 8 litres, suif 75 grammes; on mêle, on fait chauffer le mélange jusqu'à 93°, en agitant, et on introduit dans des bouteilles; c'est ce qu'on appelle *graisse liquide*;

6° On trouve, dans le Journal des Connaissances usuelles, une autre formule imaginée par MM. Cowmeadon, Osborn et Valtoy. Nous craignons qu'elle ne donne un produit trop coûteux, qui de plus ne pourrait être employé pour les pièces en cuivre et en bronze que le mercure détériorerait :

Plombagine pulvérisée.	50
Saindoux.	50
Savon vert.	50
Mercure.	5

On fait d'abord amalgamer parfaitement ensemble le saindoux et le mercure; on ajoute, en mêlant, la plombagine, et enfin le savon vert.

Graisse pour wagons. Nous allons maintenant donner la composition d'une graisse importée d'Angleterre, et qui est employée dans plusieurs entreprises de chemins de fer :

Suif blanc.	120	kilogr.
Huile de poisson.	50	
Résine.	20	
Sel de soude.	18	
Eau.	192	
Total. .	400	kilogr.

On fait d'abord fondre la résine réduite en poudre fine dans la chaudière à suif où on ajoute le suif; la fusion étant complète, on verse l'huile de poisson et on

introduit le tout dans un tonneau muni d'un agitateur; on ajoute l'eau un peu tiède qui tient en dissolution le sel de soude; on agite, et on laisse couler dans des vases où la masse s'épaissit en un ou deux jours selon la température du moment.

Graisse pour voiture Depuis longtemps on emploie du goudron, dans quelques provinces de l'Est, pour graisser les machines et surtout les essieux des voitures. On fait ce qu'on appelle de la graisse d'asphalte, en mélangeant de l'huile de pétrole et de naphte, extraite des usines qui sont situées dans l'Alsace, avec du savon gris. Cette fabrication remonte à plus d'un siècle. D'après Saussure on se sert en Suisse, de temps immémorial, d'une graisse noire qui n'est autre qu'un produit de la distillation d'un pétrole concrété par de la chaux.

En 1828, M. Dive, de Mont-de-Marsan, a pris un brevet pour « un procédé de fabrication d'un enduit économique propre à préserver les objets extérieurs des effets de l'humidité, et à remplacer avec avantage, pour le consommateur, tous les corps gras dont on s'est servi pour graisser les roues des voitures. » Ce procédé consiste à concréter les huiles pyrogénées, c'est-à-dire celles de goudron, de résine, de bitume, par divers sels, sous-sels, et oxydes métalliques; notamment, par le sous-acétate de plomb. M. Dive emploie 1 kil. d'huile pyrogénée de résine, à laquelle il ajoute la quantité de sous-acétate de plomb, qu'il fabrique, en faisant bouillir une dissolution de 3 kil. de sel de saturne dans 9 kil. d'eau distillée, et y projetant 2 kil. d'oxyde de plomb, demi vitreux, bien pulvérisé.

Tels sont les faits qui étaient connus, lorsqu'en 1837 MM. Payen et Buran prirent un brevet pour la concrétion des mêmes huiles de résine, de goudron, ou de bitume par la chaux, ce qui donne la *graisse noire*. Le principe de leur invention repose sur la distillation de la résine sur de la chaux introduite en même temps dans l'appareil distillatoire, afin d'enlever, disent-ils, l'acide acétique, qui, dans la distillation se forme en même temps que l'huile. Ils distillent la résine sur de la chaux en proportion de 5 à 10 p. 100 du poids de la résine; et il suffit ensuite, en opérant à froid, de mélanger à l'huile produite de 2 à 5 p. 100 de chaux, en remuant le tout ensemble, et en ne mettant la chaux que peu à peu, pour que toute l'huile se concrète.

Quoique MM. Payen et Buran prétendent avoir un produit suffisamment solide en employant une aussi faible quantité de chaux, il est arrivé, dans la pratique, que l'huile de résine coulait beaucoup trop facilement, et, pour obvier à cet inconvénient, certains fabricants ont forcé la proportion de chaux jusqu'à en mettre 40 p. 100. On comprend qu'une si grande quantité de matière solide, infusible à une température peu élevée, comme celle produite par le frottement des essieux, doit être nuisible et donner lieu à un dépôt énorme de cambouis.

MM. Payn et comp., de Belleville, ont obvié à cet inconvénient, dans la fabrication de la *graisse mucilagine*. Ils distillent la résine sans ajouter de chaux, et, séparant les premiers produits un peu acides et un peu aqueux, ils concrètent le reste avec 10 p. 100 de suif, 10 p. 100 de talc et 5 p. 100 de chaux. Ils versent l'huile dans un tonneau muni d'un agitateur, y ajoutent le suif fondu, puis le talc et la chaux. Après quatre à cinq minutes d'agitation, ils laissent couler le produit qui ne tarde pas à se solidifier dans les caisses. Le suif, disent les fabricants que nous venons de nommer, empêche que la graisse ne durcisse sur les essieux, et le talc qu'elle ne coule trop facilement.

Des graisseurs. Les dispositions qui servent à utiliser ces substances diverses pour le graissage se réduisent, en général, à les placer dans des boîtes à graisse ou cavités, placées au-dessus du point de contact où le frottement a lieu. La chaleur produite par celui-ci fait fondre successivement la graisse qui s'écoule sur la

GRAISSAGE.

pièce en mouvement. Tel est le palier graisseur représenté fig. 1105.

Fig. 1101. Fig. 1102. Fig. 1103. Fig 1104.

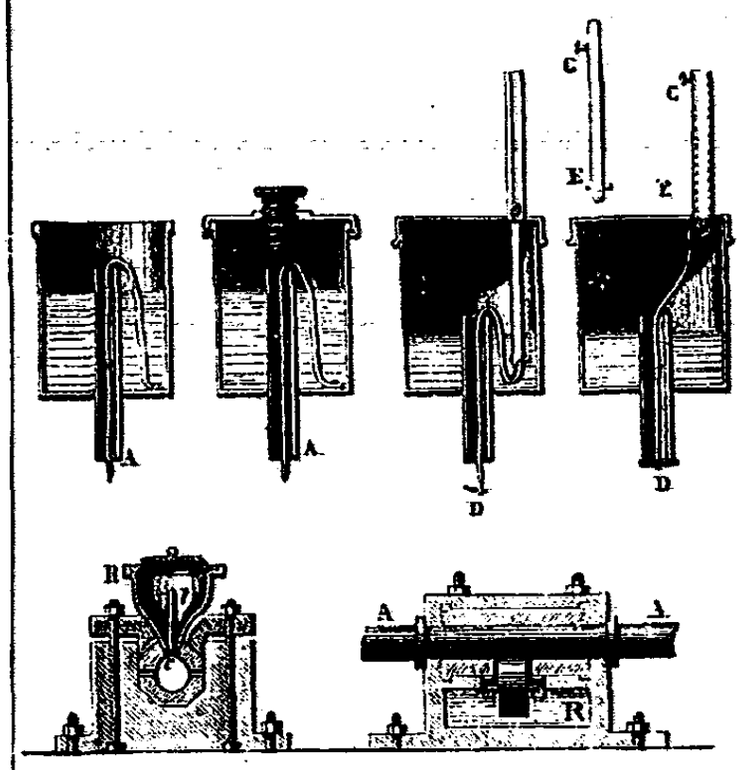


Fig. 1105. Fig. 1107.

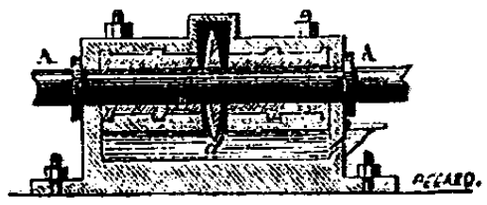


Fig. 1106.

Ce palier est disposé pour l'application des graisses solides au graissage des surfaces tournantes. Le coussinet supérieur est surmonté d'un récipient R, qui ne présente qu'une seule capacité et on lui donne la forme d'un entonnoir, dont le col c est traversé par un tube métallique *t*, qui repose sur l'arbre. La chaleur produite par le frottement de l'arbre dans les coussinets se transmet par le tube *t* au réservoir de graisse et fait fondre celle-ci sur son contour.

Pour l'emploi des huiles liquides spécialement propres aux mouvements très-rapides, comme ceux des essieux des roues des wagons de chemins de fer, il faut employer des appareils qui ne permettent qu'un écoulement lent. Nous citerons ici l'appareil suivant (fig. 1100 et 1102), dû à M. Wolsey, qui fonctionne de lui-même d'une manière continue, et qui est remarquable par sa simplicité. Un godet d'étain, représenté en coupe fig. 1102, porte un tube A ouvert par les deux bouts, qui s'élève jusqu'à une certaine hauteur au-dessus de son fond; on verse de l'huile dans le godet, et on prend une mèche de coton que l'on passe dans le tube A, et que l'on fait retomber dans l'huile (fig. 1101). Cette mèche forme syphon en vertu de sa capillarité, et l'huile s'écoule par son extrémité inférieure sur la pièce à graisser, avec une vitesse qui dépend de la longueur, de la grosseur et du plus ou moins de compacité de la mèche. Pour éviter que l'écoulement de l'huile ne se continue quand il n'est plus utile, on arrête l'écoulement de l'huile, en appuyant sur l'ouverture supérieure du tuyau A une vis qui traverse le couvercle du godet (fig. 1102). On a remplacé cette vis par la disposition représentée fig. 1103 et 1104; cette disposition consiste dans l'emploi d'une tringle, mobile dans une coulisse, et à laquelle on fixe en E l'extrémité supérieure de la mèche; pour arrêter

l'huile, on soulève la tringle, en la saisissant par le bouton C, jusqu'à ce que la mèche ne trempe plus dans l'huile. L'extrémité inférieure de la mèche est traversée par un petit fil de métal, qui est arrêté en D, et qui sert plus tard à la retirer.

La pratique des chemins de fer a conduit à perfectionner ces appareils un peu primitifs, à rendre le graissage proportionnel à la rotation. L'un des systèmes les meilleurs, les plus justement renommés, est celui dû à M. De Coster.

Dans ce palier, inventé par ce mécanicien (fig. 1106), le réservoir d'huile est creusé au-dessous du coussinet inférieur qui présente, ainsi que le coussinet supérieur, une solution de continuité destinée à livrer passage au disque élévatoire *d*, calé sur l'arbre A. Ce disque, en tournant, puise de l'huile dans le réservoir, et la projette au-dessus et autour de lui, en vertu de la force centrifuge; l'huile se répand ainsi dans tout l'entre-deux des coussinets et de l'arbre. La quantité d'huile contenue dans le réservoir, étant assez grande, n'a besoin d'être renouvelée qu'à de longs intervalles; les impuretés tombent au fond de la cavité, et l'huile puisée par le disque reste longtemps pure; mais, malheureusement, elle entre en émulsion et s'altère assez rapidement à raison de son contact avec l'air par des surfaces très-multipliées.

C'est pour éviter cet inconvénient que M. Mesnier a imaginé la disposition représentée fig. 1107. Le palier qu'il a imaginé a sur le précédent l'avantage de moins agiter l'huile. Le réservoir R est aussi creusé au-dessous de l'arbre, et le graissage se fait simplement au moyen d'un disque en bois, qui flotte sur l'huile et que l'arbre fait tourner grâce à l'adhérence résultant de la poussée du liquide, en faisant un nombre de tours d'autant moindre que son diamètre est plus grand par rapport à celui de l'axe à graisser. C'est aussi cette adhérence qui amène l'huile sur l'arbre; l'action de la capillarité jointe à la rotation de l'arbre suffit ensuite pour la répandre sur toutes les surfaces frottantes. BARRAL.

GRAISSES (*angl.* fats, *all.* fette). Les graisses sont des substances qui se rencontrent dans les corps des animaux et sont composées le plus souvent d'*oléine*, de *stéarine*, de *margarine* et d'une faible quantité de principes odorants et colorants : elles renferment quelquefois de l'*hircine*, de la *butyrine* et de la *phocénine*.

La consistance, la couleur et l'odeur des graisses varient avec la nature des animaux qui les fournissent. Ainsi on a remarqué qu'elles sont fluides chez les cétacés, molles et d'une odeur forte chez les carnivores, solides et incolores chez les ruminants, ordinairement blanches et abondantes chez les jeunes animaux, jaunâtres et moins abondantes chez les animaux plus âgés; enfin, dans un même animal, la consistance de la graisse varie suivant la partie où on la prend, elle est plus ferme sous la peau et près des reins qu'à l'entour des viscères mobiles.

Les graisses sont, en général, blanches ou légèrement jaunâtres, peu odorantes, d'une saveur douce, et plus légères que l'eau, elles fondent toutes au-dessous de 100°. Chauffées au contact de l'air, elles répandent des fumées blanches et piquantes, et prennent une couleur plus ou moins foncée; soumises à la distillation, elles se décomposent à la manière des huiles et fournissent des produits analogues. Par l'action des alcalis, les graisses se transforment en acides gras, qui s'unissent avec les alcalis pour former les SAVONS. Exposées au contact de l'air, elles en absorbent l'oxygène, elles rancissent et s'acidifient.

Les graisses sont employées en très-grande quantité dans les arts. La graisse de porc ou *axonge* est employée comme aliment; elle forme la base des pommades cosmétiques et pharmaceutiques; les corroyeurs et hongroyeurs l'emploient pour donner de la souplesse aux peaux, etc. Les graisses de bœuf et de mouton servent à la fabrication des CHANDELLES, des BOUGIES *stéariques* et des SAVONS. Une foule d'autres graisses, celles d'oie et de veau, sont encore employées comme aliment. La graisse d'ours, la moelle de bœuf, etc., qui entraient autrefois dans la préparation des cosmétiques, sont actuellement remplacés par la graisse de veau, qui, très-blanche et peu disposée à rancir, convient bien pour cet emploi; comme elle est généralement trop consistante on la mélange avec une proportion variable d'axonge.

GRAVURE EN CREUX *ou en taille-douce*. Dans cette gravure les traits du dessin sont creusés dans une planche plate. Ces creux, remplis de noir, servent à donner sur une feuille de papier les épreuves par les procédés de l'IMPRIMERIE EN TAILLE-DOUCE.

Le premier soin du graveur est de se procurer une planche de cuivre rouge, ou d'acier, parfaitement homogène, afin que les actions chimiques l'attaquent bien également. Ce cuivre lui est livré par le planeur, parfaitement dressé et poli.

Pour graver en taille-douce on emploie deux procédés, l'eau-forte et le burin; le plus souvent l'eau-forte sert à faire la plus grande partie du travail, et le burin sert à achever.

Gravure à l'eau-forte. Pour graver à l'eau-forte il faut couvrir la planche d'un vernis; on enlève ensuite sur ce vernis les lignes du dessin et on les creuse au moyen d'un acide.

Des vernis. Parmi les vernis nous citerons celui de M. Lawrence, qui est composé comme il suit : On prend de la cire-vierge et de l'asphalte, de chaque 2 parties; de la poix noire et de la poix de Bourgogne, de chaque, 1 partie. On fond la cire et la poix dans un pot de terre verni, et on y ajoute, par degrés, l'asphalte en poudre fine. On chauffe le tout jusqu'à ce qu'une goutte refroidie se brise, en la pliant deux ou trois fois entre les doigts. Le vernis étant alors ôté de dessus le feu, et un peu refroidi, doit être versé dans de l'eau chaude, où il peut être travaillé plus aisément avec les mains, de manière à être mis sous forme de boules, qui doivent être pétries et mises dans un morceau de taffetas pour l'usage.

Préparation du vernis fort, employé par Callot, et appelé communément vernis de Florence. Prenez une partie de bonne huile de graine de lin, chauffez-la dans un vase de poterie vernissée, mettez-y ensuite autant de mastic bien pulvérisé, remuez le mélange vivement jusqu'à ce que le tout soit bien mêlé, passez alors la masse à travers un morceau de toile, et conservez-la dans une bouteille bouchée à l'émeri.

Méthode d'appliquer le vernis sur la planche et de la noircir. La planche étant bien polie et brunie, nettoyée de toute crasse avec du blanc d'Espagne, on la serre dans un étau à main, sur le bord où il n'y a rien à graver, afin de pouvoir la manier lorsqu'elle est chaude. On la met ensuite sur un réchaud dans lequel il y a un feu modéré, et on couvre toute sa surface également d'une légère couche de vernis, avec un petit tampon fait de coton, enveloppé dans du taffetas, opération qui unit et distribue le vernis également sur toute la plaque.

Lorsque cette plaque est ainsi uniformément et légèrement couverte de vernis, elle doit être noircie afin qu'on aperçoive bien les traits du dessin. On se sert d'un flambeau composé de huit ou dix brins de bougie, filée, tordus ensemble, qui produisent beaucoup de fumée. Le vernis doit être noirci avant d'être froid.

Des pointes. Pour enlever le vernis dans toutes les parties correspondantes aux traits du dessin, le graveur trace ceux-ci au moyen de pointes, aiguilles montées dans de petits manches de 12 à 15 centimèt. C'est

ordinairement une virole de cuivre qui les unit au bois, au moyen d'un peu de mastic ou de cire d'Espagne. On appelle du nom de *pointe* en général toutes ces sortes d'outils ; mais le nom d'*échoppes* distingue celles des pointes dont on aplatit un des côtés, de sorte que l'extrémité n'en soit pas parfaitement ronde, mais qu'il s'y trouve une espèce de biseau.

Quand on a tracé sur la planche, en ôtant le vernis, avec les pointes et les échoppes, tout ce qui peut contribuer à rendre plus exactement le dessin ou le tableau qu'on a entrepris de graver, il faut examiner si le vernis ne se trouve pas égratigné dans les endroits où il ne doit pas l'être, soit par l'effet de hasard, soit parce qu'on a fait quelques faux traits ; et lorsqu'on a remarqué ces petits défauts, on les couvre avec un mélange de noir de fumée en poudre et de vernis liquide formé d'asphalte dissous dans de l'essence de térébenthine. Après avoir donné à ce mélange assez de corps pour qu'il couvre les traits qu'on veut faire disparaître, on l'applique avec des pinceaux à laver ou à peindre en miniature.

Morsure à l'eau-forte. L'eau-forte dont on doit se servir n'est pas la même pour le vernis dur et pour le vernis mou.

Quand on veut mettre l'eau-forte sur la planche dans le vernis de laquelle on a gravé le dessin, on commence par border la planche avec de la cire, afin qu'elle puisse retenir l'eau-forte. La cire dont les sculpteurs se servent pour leurs modèles est très propre à cet usage. On l'amollit assez aisément en la maniant, si c'est en été ; si c'est en hiver, on l'amollit au feu. Avec cette cire ainsi ramollie, on fait autour de la planche un bord haut de 2 à 3 centimètres, en forme de petite muraille ; en sorte qu'en posant la planche à plat et bien de niveau, et versant ensuite l'eau-forte, elle y soit retenue par le moyen de ce bord de cire, sans qu'elle puisse couler ni se répandre. On pratique à l'un des coins de cette petite muraille de cire une gouttière ou petit canal, pour verser plus commodément l'eau-forte.

La planche étant ainsi bordée, on y verse l'eau-forte affaiblie au degré convenable, jusqu'à ce qu'elle en soit couverte de 8 à 10 millimètres. Quand on juge que l'eau-forte a agi suffisamment dans les touches fortes, et qu'elle commence à faire son effet sur les touches tendres (ce qui est facile à connaître en découvrant un peu le cuivre avec un charbon doux), on verse l'eau-forte dans un pot de faïence, et l'on remet tout de suite de l'eau commune sur la planche, pour ôter et éteindre ce qui peut rester d'eau-forte dans la gravure.

La morsure se fait le plus souvent à plusieurs reprises, et à chaque fois le graveur recouvre de vernis mou les parties qui doivent être peu attaquées, dont les tailles doivent être peu profondes.

Pour ôter le vernis de dessus la planche, après que l'eau forte y a fait tout l'effet que l'on désire, on se sert d'un charbon de saule, que l'on passe sur la planche en frottant fortement, et en mouillant d'eau commune ou d'huile la planche ou le charbon.

Lorsque le vernis est ôté de dessus la planche, le cuivre demeure d'une couleur désagréable, qu'on fait aisément disparaître en la frottant avec un linge trempé dans de l'eau mêlée d'une petite quantité d'eau-forte. Ensuite, après l'avoir essuyée avec un linge sec et chaud, on l'arrose avec un peu d'huile d'olive ; on la frotte de nouveau assez fortement avec un morceau de feutre de chapeau, et enfin on l'essuie avec un linge bien sec.

Parmi les nombreuses recettes d'eaux-fortes, nous nous contenterons de signaler les suivantes :

Acide nitrique. . . .	1 partie.
Eau.	2 parties.
Nitrate de cuivre	60 gram. par litre.

Pour une action moins énergique :

Acide nitrique.	1 partie.
Eau.	4 parties.

L'eau-forte employée par Callot pour terminer la planche après l'action de l'eau-forte, afin d'en foncer et d'en terminer les parties délicates, se compose de :

Fort vinaigre. .	8 parties
Vert-de-gris. .	4 —
Sel ammoniac. .	4 —
Sel marin. . . .	4 —
Alun.	1 —
Eau	16 —

Planches d'acier. L'acier se grave à l'eau-forte comme le cuivre, et ce genre de planche présente l'avantage de pouvoir supporter des tirages beaucoup plus considérables. Le mordant seul diffère. Nous rapporterons les composés suivants :

Eau distillée. .	15 parties.
Alcool. . . .	2 parties.
Acide nitrique. .	1 partie.
Nitrate d'argent.	1 gram. par litre du mordant.

Le mordant de Turrell, artiste anglais, pour la gravure à l'eau-forte sur acier, est préparé comme il suit :

Prenez :

Acide pyro-ligneux.	4 parties.
Alcool.	1 partie (mêlez et ajoutez).
Acide nitrique. . .	1 partie.

Cette liqueur mélangée doit être appliquée de 1 1/2 à 15 minutes, selon la profondeur désirée.

M. Deleschamps, dans son excellent *Traité de la gravure*, a établi théoriquement, d'une manière très nette, les conditions auxquelles doivent satisfaire les mordants. Nous en extrayons ce qui suit :

« Le problème à résoudre était celui-ci : obtenir une morsure à la fois nette et profonde, sans élargir sensiblement les tailles, sans ronger les parties latérales.

« Pour résoudre ce problème, nous nous sommes fondé sur la théorie physique et chimique que nous allons exposer.

« Nous avons pris un mélange de trois substances : l'une de ces substances dont la pesanteur spécifique est la plus considérable, est le principe le plus agissant, c'était de l'*acétate d'argent* ; la deuxième est le principe non-agissant, c'était de l'*éther nitreux hydraté* ; enfin, le troisième est le principe revivifiant, c'était de l'*acide nitreux*.

« Aussitôt que le mélange de ces trois corps se trouve en contact avec les parties découvertes des planches métalliques, l'acétate d'argent, ou corps agissant, qui n'entre que pour un centième dans la dissolution, se précipite dans la partie inférieure de la taille, où il exerce une action très prompte et très énergique. Les quatre-vingt-dix-neuf parties supérieures de la même taille, étant occupées par l'éther nitreux, se trouvent garanties par sa présence. Ainsi, pendant l'action de la morsure, voici le phénomène qui a lieu :

« L'acétate se trouve précipité au fond des tailles ; et par la grande facilité de sa réduction, lorsqu'il est en contact avec certains métaux comme l'acier, le cuivre et les alliages de celui-ci, il les creuse graduellement en profondeur, et se trouve revivifié successivement par l'acide nitreux pour que l'action de la morsure continue. »

Voici la composition du mordant dit *glyphogène*, que M. Deleschamps propose pour la gravure sur acier.

Prenez :	Acétate d'argent. . .	8 grammes.
	Alcool rectifié.	500
	Eau distillée.	500
	Acide nitrique pur. .	260
	Éther nitreux.	64
	Acide oxalique. . . .	4

Un contact d'une demi-minute entre le glyphogène et le métal suffit pour produire les tons légers, et le même liquide peut servir deux ou trois fois, si le travail exige plusieurs tons, en évitant toutefois de reverser sur la planche le précipité qui se forme pendant la morsure.

Gravure au burin. Le burin est une petite barre d'acier trempé, dont la section présente, soit un carré, soit un losange plus ou moins allongé. On affûte les burins en dressant sur une pierre à l'huile leur extrémité, suivant un plan plus ou moins incliné sur l'axe, d'où résulte une pointe plus ou moins soutenue formée par ce plan et deux faces du burin. Ainsi, pour la gravure sur acier, l'inclinaison doit être moindre que pour le cuivre; si le bec était trop aigu, le burin s'égrénerait à chaque instant.

La soie du burin s'enfonce dans un manche en forme de champignon, dont on enlève une partie qui empêcherait d'incliner suffisamment le burin.

Il est clair qu'en faisant agir le burin sur la planche de cuivre, on creusera un sillon et on enlèvera un copeau. En levant le poignet le burin s'enfoncera davantage, le trait deviendra plus large; ce sera le contraire en l'abaissant. Enfin, pour les parties circulaires, on trouve souvent avantage à faire mouvoir de la main gauche la planche, pendant que la main droite guide le burin.

On voit que pour graver au burin, soit qu'on fasse entièrement des planches par ce procédé, soit qu'on complète l'effet de l'eau-forte, il faut peu d'apprêt et peu d'outils. Une planche de cuivre rouge bien polie; un coussinet de cuir rempli de son ou de laine pour la soutenir; une pointe d'acier pour tracer; divers burins bien acérés pour inciser le cuivre; un outil d'acier qui a, d'un bout, un brunissoir pour polir le cuivre, et, de l'autre bout, un grattoir triangulaire et tranchant pour le ratisser; une pierre à huile, montée sur son bois pour affûter les burins; enfin un tampon de feutre noirci, dont on frotte la planche pour en remplir les traits, et les mieux distinguer à mesure que la gravure s'avance, sont tout l'équipage d'un graveur au burin, n'ayant besoin d'ailleurs d'aucun autre apprêt, pour préparer sa planche, ni pour la graver: le succès dépend d'un grand goût de dessin pour la disposition, et d'une main sûre et légère pour l'exécution.

Gravure en manière noire. Cette gravure a l'avantage d'être beaucoup plus prompte et plus expéditive que celle en taille-douce. La préparation du cuivre est longue et ennuyeuse, mais on peut se reposer de ce travail sur des gens qu'on aura dressés à cela; il ne s'agit que d'un peu de soin, d'attention et de patience.

Pour cette préparation, on se sert d'un outil d'acier appelé *berceau*, qui est d'une forme circulaire, afin qu'on puisse le conduire sur la planche sans qu'il s'y engage; il est armé de petites dents très fines, formées par les hachures que l'on a faites à l'outil en gravant dessus des traits droits, fort près les uns des autres et très également espacés.

On balance ce berceau sur la planche sans appuyer beaucoup, en sens horizontal, en sens vertical, et en diagonale. Il faut recommencer cette opération environ vingt fois, pour que le grain marqué sur le cuivre soit d'un velouté égal partout et bien moelleux; car c'est de l'égalité et de la finesse des hachures, marquées par l'instrument sur la planche de cuivre, que dépend toute la beauté de cette gravure. C'est cette finesse de hachures en tous sens que l'on appelle grain velouté et moelleux, parce que, si on imprimait avec cette planche ainsi préparée, elle donnerait au papier l'apparence d'un velours de la même couleur que celles qu'on aurait employées pour l'impression.

Cette opération se fait aujourd'hui très bien par procédés mécaniques.

Quand la planche est entièrement préparée, comme nous venons de le dire, on calque son trait sur le cuivre en frottant le papier du trait par derrière avec de la craie; comme elle ne tient pas beaucoup, on peut la redessiner ensuite avec de la mine de plomb ou de l'encre de la Chine.

La gravure se fait en grattant et usant le grain de la planche, de façon qu'on ne le laisse intact que dans les touches les plus fortes. On commence d'abord par les masses de lumières: on va peu à peu dans les reflets; après quoi l'on noircit toute la planche avec un tampon de feutre pour en voir l'effet.

Cette gravure n'est pas propre à toutes sortes de sujets comme celle au burin; ceux qui demandent de l'obscurité, comme les effets de nuit et les tableaux où il y a beaucoup de bruns, sont les plus faciles à traiter. Elle a le défaut de manquer de fermeté, et ce grain dont elle est composée lui donne une certaine mollesse qui n'est pas facilement susceptible d'une touche hardie. Elle est cependant capable de grands effets par suite de l'obscurité qu'elle laisse dans les masses.

Gravure à l'aquatinte. La gravure à l'aquatinte est une espèce d'eau-forte, qui offre un réseau très serré qui s'obtient par une action chimique.

La planche étant vernie, on recouvre avec un pinceau trempé dans un mélange d'huile d'olive, d'essence de térébenthine et de noir de fumée, les parties qui doivent recevoir le grain. Ce mélange dissout le vernis qu'on enlève facilement avec un linge.

Plaçant la planche, ainsi partiellement découverte, dans une caisse dans laquelle on soulève par un soufflet de la résine en poudre très fine, sa surface se trouve recouverte de grains que l'on fixe à la planche en la faisant chauffer un peu. On grave alors à la pointe, puis on fait mordre à l'acide, et, par la répétition de ces opérations, on obtient la gravure et les effets de tons foncés qui sont le propre de ce genre de gravure.

Gravure de la musique. On se sert pour cette gravure, de planches d'étain de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, planées, polies et préparées par le potier d'étain. Le graveur les reçoit ainsi prêtes à être gravées.

Il prend d'abord ses mesures pour déterminer la quantité de *portées* qu'il veut mettre sur la planche (on appelle *portées* les cinq lignes ou barres sur lesquelles on écrit les notes de musique); ensuite il prend la mesure des distances de ces lignes, et les pique de la pointe du compas.

Si l'on doit graver des paroles sous la musique, c'est par là qu'il faut commencer: l'on trace d'abord deux petites lignes très légères pour déterminer la hauteur des lettres; ensuite l'on trace de même les distances des lettres et des paroles, relativement à la quantité de notes de musique que l'on doit mettre sur chaque syllabe.

La planche étant ainsi préparée, on grave les lignes des portées avec un instrument appelé *couteau*, que l'on conduit le long d'une règle de fer ou de cuivre; ensuite, avec un instrument à trois quarres, appelé *grattoir*, l'on ébarbe ces lignes, après quoi on les polit avec un autre instrument d'acier très poli, que l'on appelle *brunissoir*. Cela fait, l'on pose la planche sur un morceau de pierre ou de marbre pour y frapper aux endroits convenables toutes les différentes figures de la musique, que l'on appelle *clefs*, *noires*, *croches*, *rondes*, *blanches*, *dièzes*, *bémols*, *bécarres*, *soupirs*, *demi-soupirs*, les *signes des renvois*, et même le *point*.

Toutes ces notes, ou figures, se frappent avec des poinçons, au bout desquels elles sont gravées en relief.

Le poinçon avec lequel on frappe la tête de la *noire*, sert aussi pour toutes les têtes de *croches et doubles croches* etc. dont la figure ne diffère de celle de la *noire*, que parce qu'elles ont au bout de leur queue un crochet simple ou double, triple, etc. Le poinçon de la

ronde sert de même pour frapper la *blanche*, qui ne diffère de la *ronde* qu'en ce qu'elle a une queue dont la ronde est privée.

Quand une note passe les cinq lignes gravées, on reprend, avec le compas, un entre-deux de ces lignes, que l'on reporte en haut ou en bas, autant de fois que la note qu'il s'agit de placer a d'intervalles au-dessus ou au-dessous.

Lorsque toutes les têtes des notes, et les autres figures, sont frappées, on plane la planche sur une espèce d'enclume ou tas très poli, pour la redresser, et rendre plus nettes et plus unies toutes les figures qui ont été frappées. Les queues des *noires*, *blanches*, *croches*, et *doubles croches*, se gravent avec le burin. Si plusieurs *croches* ou *doubles croches* sont liées ensemble, pour lors on se sert d'un instrument appelé *échoppe* pour graver les barres qui les lient ensemble. Les *pauses* et *demi-pauses* se gravent aussi avec l'*échoppe*. Certains demi-cercles, que l'on appelle *liaison*, se font avec le burin. Les *accolades* que l'on emploie pour joindre deux ou trois *portées* ensemble, et quelquefois plus, se gravent avec l'échoppe.

Toutes ces opérations étant faites, on polit la planche avec le brunissoir et un peu d'eau, pour effacer tous les petits traits ou rayures qui peuvent y avoir été faits par ces différentes manœuvres, et qui empêcheraient la netteté de la gravure si on les laissait subsister; ensuite on envoie la planche chez l'imprimeur en taille-douce, qui en tire une épreuve. Si, en examinant cette épreuve, il se trouve quelques notes, principalement des têtes de noires, blanches, ou autres figures, qui aient été frappées mal à propos, on prend un compas, que l'on appelle *compas à repousser*, dont les deux pointes sont retournées en dedans, et se rejoignent ensemble. On pose une pointe de ce compas sur la fausse note, et de l'autre pointe on fait une marque à l'envers de la planche; ensuite on repousse cette note par l'envers avec un poinçon. Cette opération occasionne dans cet endroit de l'envers de la planche un creux assez considérable pour être obligé d'y faire couler de la soudure; ce que l'on fait en plaçant une chandelle allumée sous la planche, à l'endroit de la faute à corriger; et à l'envers de la planche, on place un morceau de soudure sur le petit creux : aussitôt que la soudure est fondue, on ôte la lumière promptement; ensuite on plane cette place d'un côté et de l'autre, après quoi on y frappe la note telle qu'elle devrait être, et enfin on la plane de nouveau. Si la faute ne consiste qu'en une queue de note qui n'ait point été gravée profondément, il suffit, après l'avoir grattée avec le *grattoir*, de repousser à sa place l'envers de la planche avec le marteau, pour y graver ensuite la figure telle qu'on la désire.

Il y a quelques anciennes musiques gravées sur cuivre; mais l'ouvrage est plus long à faire, plus difficile à corriger, et la dépense des planches est beaucoup plus considérable. Le zinc est employé quelquefois aujourd'hui avec quelque succès, surtout pour donner quelques épreuves d'une grande netteté, qui servent à fournir des reports sur pierre, qui sont imprimés à bon marché au moyen de la presse lithographique mécanique.

GRAVURE PAR PROCÉDÉS MÉCANIQUES. Conté a inventé une machine à graver avec laquelle on fait avec la plus grande régularité des séries de lignes parallèles également espacées, comme cela est nécessaire pour les ciels des grandes gravures. Elle se compose essentiellement d'une règle ou d'un cylindre portant des ondulations que l'on fait mouvoir au moyen d'une vis de rappel d'un mouvement parfaitement régulier, et d'une pointe (en diamant, pour qu'elle ne puisse s'émousser), qui trace une ligne le long de cette règle.

En 1825, elle se vit tout à coup détrônée par un perfectionnement très-simple en apparence mais dont l'adoption conduisit à des résultats inattendus.

La machine de Conté était composée, comme nous venons de le dire, d'une règle sur laquelle courait un chariot armé d'une pointe sillonnant le cuivre parallèlement à la règle. Cette règle reculait sur le cuivre après chaque ligne tracée. Un jeune mécanicien, M. Collas, renversa tout ce système. Au lieu de faire marcher la règle sur une planche immobile, ce fut la règle qu'il rendit fixe et la planche qu'il fit avancer par une vis de rappel qui en modérait la marche, avec une régularité parfaite et dans des proportions réglées à tous les degrés désirés par un cercle indicateur.

C'était une révolution complète, car bientôt le principe du tour à guillocher s'ajoutant à ce nouveau mécanisme, celui-ci ne se borna plus à des lignes droites ou ondulées, il produisit toutes les lignes bizarres que peut donner le guilloché.

Plus tard, le support de la planche put non-seulement avancer et reculer, mais tourner à pivot, et le cercle se fit aussi facilement que la ligne droite et la ligne serpentante; l'ovale, la spirale, l'épicycloïde et toutes les figures régulières sortirent à leur tour de cette disposition.

Quelques années s'étaient écoulées dans ces perfectionnements, lorsqu'un jour M. Collas désira imiter les nuages dans un ciel; il y réussit et au delà de ses prévisions, car il trouva en même temps le moyen de produire ces merveilleux effets de relief et de creux tant admirés en 1832 dans le *Trésor de numismatique et de glyptique*.

Gravure de numismatique. Ce procédé de M. Collas n'a pas été décrit, voici à peu près comment on peut le concevoir d'après les résultats obtenus.

Qu'on suppose une plate-forme horizontale, susceptible de marcher, de quantités quelconques mais égales, au moyen d'une vis à tête graduée, et à l'extrémité de celle-ci une plate-forme douée des mêmes propriétés, mais perpendiculaire au plan de la première, les mouvements des deux plates-formes étant d'ailleurs liés de telle manière que le mouvement imprimé à l'une entraîne celui de l'autre. Plaçons maintenant entre les deux plates-formes un chariot pouvant se mouvoir parallèlement aux plans de ces deux plates-formes, et armé de deux branches, dont l'une, horizontale, sera perpendiculaire à la plate-forme verticale, et dont l'autre, verticale, sera perpendiculaire à la plate-forme horizontale, la première portant une touche et la seconde un burin ou une pointe de diamant. Supposons enfin qu'outre son mouvement de translation parallèle aux deux plates-formes, le chariot puisse facilement se mouvoir dans une direction perpendiculaire à la plate-forme verticale, et nous aurons la matérialisation du principe constitutif de l'ingénieuse machine de M. Collas.

Fixons maintenant sur la plate-forme verticale le bas-relief à représenter; fixons aussi sur la plate-forme horizontale la planche de cuivre ou d'acier qui doit recevoir l'action du burin ou de la pointe du diamant, et amenons les plates-formes dans une position relative telle qu'en faisant marcher le chariot, la touche parcoure le bord extrême de l'un des côtés du bas-relief. Si ce côté est un plan, la touche et le burin se mouvront en ligne droite, et une ligne droite sera tracée sur la planche. Le déplacement des deux plates-formes, au moyen de la vis de rappel qui les commande, permettra de tracer sur la planche une seconde ligne droite parallèle et à une petite distance de la première, puis se succéderont autant de lignes droites que le comporteront l'écartement régulier donné aux lignes à tracer et la grandeur de la surface plane parcourue d'abord par la touche, qui, enfin, parviendra aux par-

ties sculptées du bas-relief. Alors la touche sera repoussée par les saillies et pénétrera dans les cavités de la sculpture, circonstance qui fera tracer au burin une ligne ondulée pour les portions correspondantes aux saillies et aux dépressions du bas-relief, et droite pour les portions entièrement planes. Les lignes suivantes parcourues par la touche sur les portions voisines du bas-relief, déterminent d'autres ondulations dans les lignes correspondantes tracées par le burin, et comme ces ondulations ne seront autre chose que le rabattement géométrique sur un plan des saillies et des dépressions du bas-relief, la juxtaposition d'une série de coupes successives, il en résultera une image du bas-relief.

L'invention de M. Collas, très-remarquable au point de vue de l'art, offre un grand intérêt pour la fabrication des billets infalsifiables, en tant que copie par la gravure.

En effet, qu'on soumette à la machine de M. Collas un bas-relief dont on ait enlevé irrégulièrement quelques parties, et qui fera par suite un type unique, on pourra reproduire ce bas-relief sur un billet, recouvert ainsi d'une quantité indéfinie de lignes variant d'écartement et d'intensité, et qu'aucun travail de gravure ne saurait reproduire avec une exactitude suffisante pour tromper l'œil le moins exercé. Cette voie n'a pas été suivie, et les recherches ont pris une autre direction, comme nous le verrons plus loin.

Gravure irisée. Avant de mettre au jour sa machine à graver, M. Collas s'était déjà fait connaître par un tour de force mécanique, la *gravure irisée*. Dans ses beaux travaux sur la lumière, le docteur Th. Young avait indiqué la cause des tons irisés qui chatoyent sur les surfaces métalliques polies, lorsqu'elles ont été rayées. Il avait démontré que ces iris sont dus à des interférences de rayons produites par des lignes de différents sens, tracées très-fines et très-rapprochées. Cette théorie, appliquée par M. Barton, de la Monnaie de Londres, produisit de brillantes parures métalliques à reflets irisés, dont les matrices d'acier offraient plus de 2,000 lignes par pouce carré anglais; M. Barton était même parvenu à en tracer jusqu'à 40,000 dans le même espace. Ce succès éveilla l'émulation de M. Collas, et, sans connaître la machine avec laquelle opérait M. Barton en grand secret, et qui n'est pas même encore connue, le mécanicien français fabriqua, à son tour, des boutons irisés; en 1825, il présentait à la Société d'encouragement une plaque ovale d'acier de 10 millimètres (8 lignes), dans laquelle il avait gravé 8,792 traits.

Gravure avec réduction. Une nouvelle application de la mécanique à la gravure se montra à l'Exposition de 1855. On connaît tout le parti que les dessinateurs tirent du pantographe pour réduire ou amplifier des dessins, et les services que cet instrument rend aussi aux graveurs pour leurs calques. Le génie inventif de M. Collas s'est tourné vers ce sujet. Pourquoi, s'est-il dit, ne graverait-on pas en même temps que l'on calque? De la pensée à l'exécution la distance fut bientôt franchie, et un ingénieux mécanisme fut créé, qui, obéissant à la main qui calque un dessin, le grave avec la fidélité d'une machine et dans les dimensions que l'artiste veut adopter.

Ce n'est pas tout : comprenant que l'industrie pourrait tirer parti de cette invention pour les dessins qu'elle a souvent à répéter, comme les chiffres, les lettres, les encadrements, pensant aussi que ce serait un avantage important de pouvoir faire exécuter, même par des mains inhabiles, ce travail de calque pour lequel il faut ordinairement autant d'adresse que de soin et d'attention, M. Collas a gravé en creux, sur du zinc, un grand assortiment de lettres et d'ornements, qu'il peut réunir pour en faire des modèles, comme le compositeur d'imprimerie réunit ses caractères, et un jeune enfant exécute, à l'aide de cette machine, des dessins avec précision et facilité, en faisant suivre par une pointe à calquer, les traits creusés dans les types de zinc, et que la pointe à graver répétait avec exactitude.

De là les applications les plus nombreuses. Au moyen d'une pointe en diamant, non-seulement les métaux, mais le bois et la pierre se gravent avec netteté, et l'orfévrerie, la tabletterie et tous les arts qui emploient si fréquemment le burin dispendieux du graveur pourront, dans nombre de cas, obtenir à peu de frais, et, ce qui souvent est plus précieux, en peu de temps, les ornements dont la gravure les forçait autrefois à porter trop haut le prix de leurs produits.

Une autre machine, inventée aussi par M. Collas, toujours d'après le principe du pantographe, produit à la fois cinq copies gravées du même dessin. C'est à l'aide de cet instrument qu'en 1849 ont été gravés, en quelques jours, dix exemplaires de chacun des 750 noms des représentants. Ces 750 noms étaient destinés au service des trémies à voter, qui, sans la gravure de M. Collas, seraient restées hors d'usage.

La gravure doit encore à cet ingénieux mécanicien, dit le rapporteur du jury de l'Exposition de 1855, auquel nous empruntons une bonne part de ce qui a rapport aux procédés de gravure mécanique, un nouvel instrument au moyen duquel disparaît une des grandes difficultés de l'art, la nécessité de graver à rebours. On sait que le tirage donne toujours des épreuves dans le sens opposé à celui de la gravure. Pour avoir des épreuves du même sens que le dessin original, il faut donc que la gravure soit en sens contraire de ce dessin. Le graveur y parvient en opérant sur un décalque, et, lorsqu'il veut comparer son travail au dessin, il regarde celui-ci dans une glace qui le renverse. Par une combinaison d'une simplicité remarquable, la machine de M. Collas grave en sens inverse et l'épreuve est identique au dessin. Ce moyen lui a permis de produire pour la banque pontificale un billet dont les deux moitiés du cadre et des ornements se répètent en se régardant et sont parfaitement identiques, bien qu'en sens contraire.

On sait que ce n'est pas dans la voie dont il vient d'être parlé que les travaux de M. Collas ont trouvé leurs plus belles applications; que c'est surtout dans la reproduction et la réduction des statues antiques. (Voy. PANTOGRAPHE.)

Gravure pour les banques. Une des principales applications qu'on fait aujourd'hui de la gravure mécanique est la confection des billets de banque, des papiers-monnaies, lettres de change, titres d'actions et autres papiers dont il est important de rendre la contre-façon sinon impossible, au moins facile à reconnaître, difficile à exécuter. Aussi les États-Unis, cette mère patrie du papier-monnaie et des banques, se sont-ils appliqués à cet objet, et c'est dans ce pays que l'invention de Perkins a pris naissance.

Le moyen de détourner le contrefacteur est de varier à l'infini l'irrégularité des lignes d'une gravure, pour qu'elle ne puisse être imitée qu'à la main, car la main n'a pas la sûreté d'un instrument, et il lui arrive toujours quelque infidélité qui trahit la contrefaçon. La répétition d'un même dessin placé différemment, autrement entouré, et qu'on peut changer de disposition à volonté, est encore un moyen certain de prévenir ou de découvrir la fraude. Lorsqu'une disposition nouvelle est donnée à la planche à chaque série de cent ou de mille billets, il devient difficile au faussaire de se conformer à cette grande variété, et l'imitation devient alors trop dispendieuse pour être profitable.

Ce furent sans doute ces considérations qui engagèrent Perkins à chercher à perfectionner les procédés qu'on avait employés en France pour la fabrication des

GRAVURE.

assignats, et qui sont décrits très-au long par Camus dans son *Histoire de la stéréotypie*.

En France, à la suite de nombreux essais, Gengembre et Droz après lui s'étaient arrêtés à la méthode que voici : ils faisaient graver en creux un dessin sur acier, trempaient l'acier, et de cette gravure tiraient au balancier une contre-épreuve en relief, également sur acier. De cette contre-épreuve, trempée à son tour, ils tiraient des planches de cuivre.

Perkins comprit que le balancier ne pouvait agir que sur des matrices de petites dimensions, et il songea au procédé usité de tout temps pour graver les molettes. Il résolut donc de remplacer la seconde planche d'acier, celle qui reçoit le relief, par un cylindre également d'acier. A cet effet, il dut s'occuper d'abord des moyens de donner à volonté à l'acier la mollesse du cuivre, et, quand il y eut réussi, son procédé fut trouvé. Une planche d'acier gravée en creux est durcie par la trempe; une presse, composée d'un très-fort cylindre inférieur et d'un cylindre supérieur d'acier mou, la reçoit entre ces deux cylindres, et, dans son mouvement circulaire sur cette planche, le cylindre dont l'acier n'est pas encore trempé reçoit en relief la gravure de la planche en creux. Ce cylindre, à son tour durci par la trempe, donne sur cuivre des tailles-douces identiques à la première.

Les Américains font aujourd'hui un usage général de ces reproductions pour leurs billets de banque, et l'on comprendra combien cette industrie doit être importante, quand on saura que chacun des États de l'Union a sa banque nationale, laquelle émet des billets de diverses sommes, qu'en outre toutes les entreprises considérables ont aussi des banknotes de plusieurs valeurs, et que les grands négociants imitent ces banques.

L'industrie du graveur de billets y consiste à avoir de nombreux cylindres d'acier gravés pour les fonds, et un grand choix de petits dessins, portraits, costumes, vues, attributs, armoiries, chiffres, lettres, exécutés également sur des roulettes d'acier. Quand le banquier a désigné les dessins qu'il préfère, arrêté les dispositions de la planche entière, le graveur reporte sur cuivre ou sur acier mou toutes les parties du billet et livre la planche à l'acquéreur. Les matrices des petits dessins restant toujours dans les mains du graveur, il doit finir par avoir un assortiment très-varié, propre à fournir un nombre illimité de combinaisons nouvelles, composées des mêmes dessins. D'où il résulte qu'une planche peut être confectionnée à un prix très-modéré.

En France, où cette méthode n'est pas usitée, chaque banque, chaque grande industrie fait faire une gravure qui est toujours plus dispendieuse, puisqu'elle est spéciale et que le travail doit être nouveau pour chaque personne, quand elle ne se contente pas d'une simple composition typographique qui n'offre aucune sécurité.

On s'y est tenu d'ailleurs à l'impression en relief, qui permet mieux que l'impression en taille-douce de rentrer une impression dans une autre (condition importante aujourd'hui pour éviter les contre-façons par la photographie, très-dangereuse pour les impressions en noir, mais qui échoue sur la couleur jaune), et aussi d'imprimer également le recto et le verso avec une même gravure, par une impression faite d'abord sur le tympan de la presse, condition qui a longtemps paru la principale sauvegarde des billets de la Banque de France, et que l'on a eu tort, croyons-nous, d'abandonner, car elle offrait une grande difficulté à la contrefaçon par report sur pierre lithographique.

Gravure des rouleaux. — La gravure en creux de surfaces cylindriques, qui paraît *à priori* offrir de plus grandes difficultés que la planche plate pour les modes ordinaires de travail, est, en réalité, plus facile quand il s'agit de la gravure mécanique à cause des avantages qu'offre le tour. C'est pour l'impression des étoffes que se multiplient surtout les rouleaux gravés, et leur exécution, si difficile avec le poinçon avec lequel on les gravait jadis en frappant chaque élément du dessin, en déterminant, à l'aide d'une plate-forme divisée, les positions de chaque répétition, est devenue bien plus aisée avec la molette et le tour à graver. Nous revenons à l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFES sur ce mode d'opérer; nous en donnerons ici le principe pour faire apprécier l'utilité des autres moyens de gravure mécanique que nous allons décrire, et qui aident à la production économique et rapide des rouleaux servant à imprimer les dessins les plus variés.

La molette est un petit cylindre d'acier trempé portant en relief les objets à obtenir en creux sur le rouleau de cuivre. Appliqué sur celui-ci par une forte pression, il suffira d'une rotation suffisamment prolongée (le rapport des deux diamètres étant un nombre entier) pour que la gravure s'effectue suivant un cercle. La même molette, transportée successivement dans la direction de l'axe du cylindre, servira, on le voit, à l'infini, à reproduire le même élément sur un rouleau et sur des rouleaux différents.

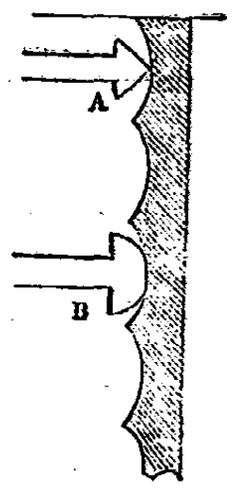


Fig. 4107 *bis*.

Tour à guillocher. Un des instruments les plus employés pour obtenir par action mécanique des ornements et décorations est le tour à guillocher, très-employé dans l'orfévrerie, l'impression sur étoffes, etc. Nous prendrons pour exemple de l'application de cette curieuse machine le tour à guillocher employé pour la gravure des rouleaux, et qui diffère d'un tour ordinaire en ce que le rouleau peut se mouvoir suivant son axe en même temps qu'il tourne. Voy. TOURS COMPOSÉS. *Complément.*

Alors, si l'on place à l'une des extrémités une roue qui porte une *rosette festonnée* (dont la fig. 4107 *bis* représente un élément) en raison de la nature et du nombre des sinuosités que l'on veut produire, un ressort ou contre-poids pressant sur l'autre extrémité du cylindre pour le rapprocher de la rosette, tandis qu'une *touche* qui s'appuie sur celle-ci l'en éloigne plus ou moins brusquement, selon la profondeur de ces échancrures, la forme de sa propre tête, terminée tantôt en pointe, tantôt en courbe. Suivant que l'extrémité de la touche se termine en pointe aiguë comme en A, ou en courbe arrondie comme en B (fig. 4107 *bis*), le feston de la rosette se reproduira sur le cylindre en lignes formant zigzags, à contours plus ou moins accidentés, très-différents de ceux de la rosette; ou bien le feston toujours régulier se rapprochera de celui de la rosette.

Pour compléter ce genre de gravure pour l'impression des étoffes, pour en obtenir des traits plus ou moins creusés (ce qui produit des ondulations, genre fort à la mode dans ces derniers temps), et surtout pour réserver des sujets en blanc, condition nécessaire pour imprimer en plusieurs couleurs, on a employé un *sauteur* ou *patron*. On appelle ainsi un petit cylindre en bois sur lequel le dessin que l'on veut obtenir est gravé en relief, avec des parties creuses plus ou moins profondes. Ce cylindre est fixé à l'une des extrémités de celui qu'il s'agit de graver et en reçoit le mouvement. Pendant que ce mouvement a lieu, une pointe placée perpendiculairement à l'axe, et qui frotte sur

la surface du petit cylindre, s'enfonce dans les traits gravés en creux, est relevée par ceux qui sont en relief, et communique ces mouvements au burin avec lequel elle est attachée au moyen d'un levier ; en sorte que ce burin, tantôt en s'enfonçant plus ou moins dans le cylindre, y produit des traits plus ou moins profonds, tantôt ne le touchant pas, y réserve des parties blanches.

Enfin ce genre de gravure a été complété par l'emploi du *pantographe*, à l'aide duquel une figure donnée est augmentée ou diminuée à volonté.

Ce que nous venons de dire pour le guillochage des cylindres s'applique également à des surfaces plates ou de forme quelconque, en modifiant le système, en remplaçant le tour par une espèce de machine à raboter. Le problème est toujours de trouver une *rosette correspondant à une courbe donnée*, problème dont nous avons indiqué la solution générale dans notre *Traité de Cinématique*.

Fig. 1107 *ter*.

Il est facile de comprendre les ressources infinies que l'industrie retire d'un moyen de couvrir une surface métallique de traits soumis à une certaine loi : la figure 1107 *ter*, empruntée à M. Persoz, montre tout le parti qu'on peut en tirer pour l'impression des étoffes, comment on obtient mécaniquement les teintes dégradées, les effets dominants qui forment les fonds, et qui viennent se joindre à des rentrures produites par des rouleaux gravés par d'autres procédés.

Comme tous les outils à graver, le tour à guillocher peut servir à enlever seulement un vernis appliqué sur la surface. Le dessin obtenu, complété à la main ou par d'autres procédés mécaniques, est ensuite passé à l'eau-forte et donne une série de traits gravés plus ou moins profondément en raison de la durée de l'action et de la force de l'acide.

Tour de Locket. — Le célèbre graveur en cylindres pour impression sur étoffes, Locket, de Manchester, avait mis à l'Exposition de 1862 un très-beau spécimen du tour qu'il emploie pour utiliser le pantographe pour l'exécution de ces cylindres, que représente la fig. 1108, et qui est une des plus heureuses inventions que l'on pût faire pour effectuer rapidement et à bon marché la gravure de nombreux éléments répétés sur la surface d'un rouleau.

On connaît deux systèmes principaux de pantographes, dit le rapporteur du jury; dans celui de Multon, qui figurait à l'Exposition de 1855, on emploie comme patron un dessin amplifié, tracé à la pointe sur une lame de zinc, qui est ensuite recourbée de manière à représenter la surface creuse d'un tube cylindrique. Ce dessin-patron est exactement cinq fois plus grand que le dessin à réaliser, rapport qu'on obtient très-aisément au moyen d'un objectif grossissant placé à l'entrée d'une chambre obscure.

Le second système ne diffère absolument du précédent qu'en ce que le dessin-patron, au lieu d'avoir une forme concave, est sur un plan parfaitement horizontal. Ce pantographe, employé d'abord en Amérique, puis considérablement modifié et amélioré par le célèbre graveur de Manchester, M. Locket, aurait, dit-on, sur le premier, plusieurs avantages : on ne serait pas obligé de conserver toujours le rapport constant de

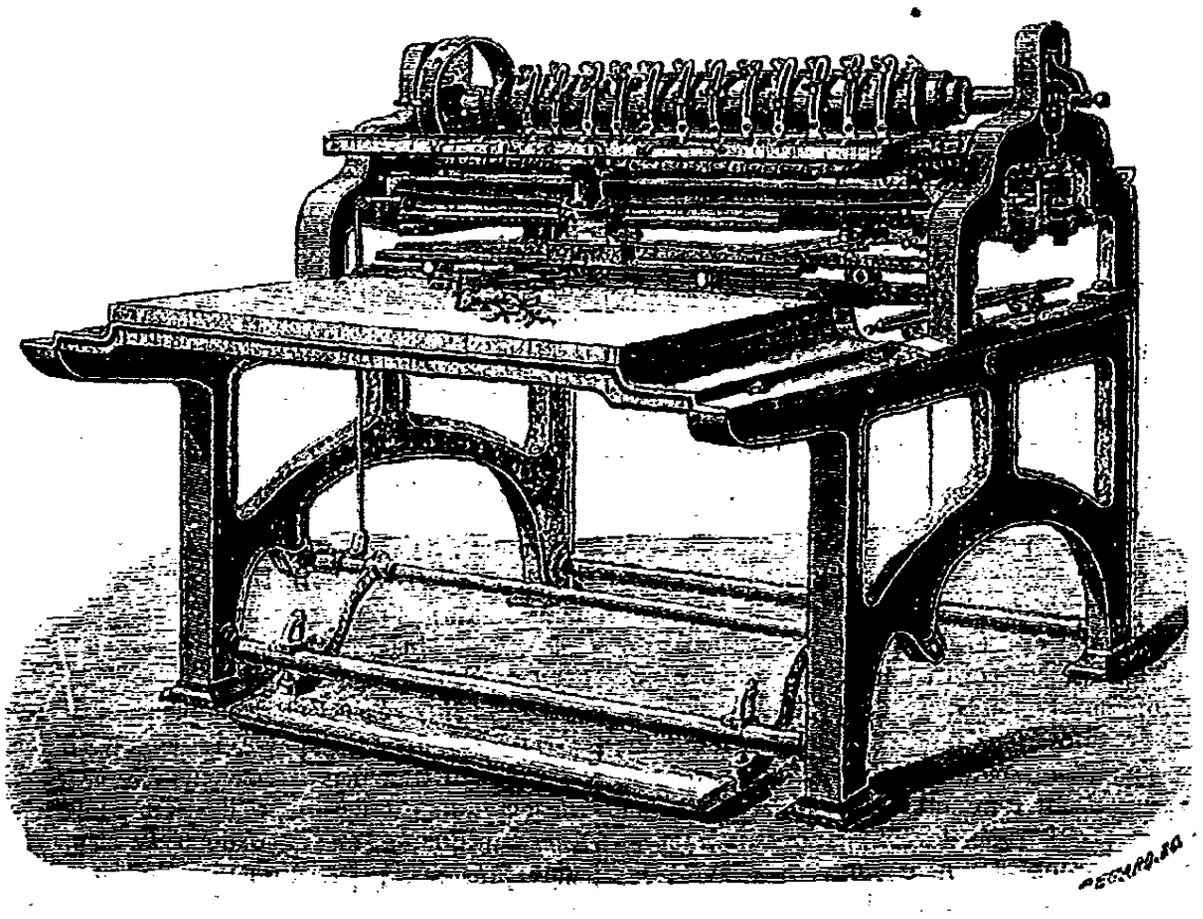


Fig. 1108.

un à *cinq* entre le dessin à réaliser et le patron ; les sujets à graver pourraient être renversés à volonté ; enfin l'ouvrier, qui, en faisant manœuvrer la machine, doit suivre avec une pointe tous les traits de la gravure du patron, pourrait prendre une position moins fatigante devant une table plane que devant

une espèce d'auge, comme celle où il est obligé de travailler dans le premier système.

Le principe de l'appareil se conçoit assez facilement : la pointe avec laquelle on suit le dessin sur la table est adaptée à l'extrémité d'une longue barre qui a une grande mobilité, grâce aux rouleaux d'acier interposés entre elle et les pièces qui la supportent. Par son mouvement les réductions se produisent à l'échelle voulue. Il faut pour cela que les mouvements soient réduits dans le rapport voulu, suivant les deux coordonnées de la courbe à tracer sur le cylindre, c'est-à-dire les sections circulaires et les génératrices rectilignes.

Les premières sont obtenues par le mouvement d'avant en arrière, ou inversement, de la barre qui fait engrener une véritable crémaillère qui se meut avec elle, avec deux roues à denture excessivement fine qui sont montées sur l'axe du cylindre et qui le font tourner dans le rapport voulu, d'après leur diamètre, devant les 10, 20, etc., pointes destinées à graver sa surface, à enlever le vernis qui protégera les parties où il existera contre l'action de l'acide. Pour l'autre coordonnée, c'est le support des porte-outils qui est entraîné par le mouvement latéral de la barre qui supporte la pointe traceuse agissant toujours en un même point de l'élément essentiel d'un pantographe, d'un parallélogramme qui commande le support des porte-outils mobile transversalement. Suivant la position du point d'attache de la barre et du parallélogramme, on peut varier le rapport des coordonnées rectilignes du dessin et de celles du modèle transversales au plan sur lequel il est tracé.

Cet ingénieux appareil, malgré le soin apporté à sa construction, exige une assez grande habitude de la part de l'ouvrier pour obtenir des tracés tout à fait satisfaisants, la main n'étant vraiment libre que dans deux directions rectangulaires, qui peuvent bien donner toutes les inclinaisons, mais à condition que la main résiste aux efforts d'inertie, surmonte les résistances qui tendent à se produire.

Gravure à l'aide de l'électricité. C'est sans doute ce motif qui a fait chercher à obtenir une semblable gravure sans intervention de la main de l'ouvrier, par la seule action d'un électro-aimant, procédé général que l'électro-magnétisme est venu fournir à l'industrie et qui tend à s'appliquer aux divers outils qui n'ont à effectuer qu'un faible travail et qui doivent être mus dans des conditions complexes. Nous donnerons idée de la disposition adoptée, qui consiste toujours, comme dans toutes les applications de ce genre, à déterminer des mouvements par des surfaces conductrices.

Si l'on fait passer un courant électrique par l'intermédiaire d'une petite pointe en cuivre à travers un cylindre très-court de même métal, portant une gravure en creux recouverte d'un vernis isolant, le courant sera interrompu ou rétabli par le mouvement du cylindre, suivant que la pointe en cuivre, qui est mobile de son côté sur la longueur du cylindre, passera sur des parties recouvertes ou non de vernis. Au moyen d'un électro-aimant, on pourra donc faire mouvoir un ou plusieurs styles en diamant ou en acier convenablement espacés, qui reproduiront le dessin avec la plus grande perfection sur le cylindre à graver, lequel est recouvert uniformément de vernis. Le métal étant mis à nu dans les parties atteintes par le stylet, il ne restera plus, pour terminer la gravure, qu'à passer à l'eau-forte.

M. Gaeff, habile graveur français, a construit, avec le concours de notre célèbre ingénieur Froment, une machine de ce genre qui a figuré avec distinction à l'Exposition de Rouen et à l'Exposition internationale de 1862.

Non-seulement le dessin est reporté sur le vernis, par l'effet d'une pointe, mais cet effet est multiplié en raison du nombre de ces pointes, que l'on peut rendre considérable, de telle sorte que 20, 30 fleurs, si l'on veut, sont gravées à la fois et réparties à volonté sur la surface du cylindre. De semblables dessins peuvent être ainsi entremêlés et malgré leur complication apparente être obtenus très-économiquement.

Nous ne croyons pas que le succès ait récompensé les efforts faits dans cette direction.

MM. Gaiffe de Paris ont eu l'idée d'employer de même l'électricité pour obtenir la gravure sur acier, dans un rapport déterminé, d'une gravure en taille-douce exécutée sur un métal quelconque, sur zinc par exemple. Les tailles étant remplies de substances isolantes, d'encre grasse séchée, par exemple, si on place les deux planches sur deux poupées parallèles, comme sur un tour à portrait, en faisant tourner simultanément les deux planches, les deux gravures seront dans le rapport des distances au point d'articulation. Quant à la gravure, elle résulte d'un courant électrique qui est interrompu quand la pointe qui parcourt la plaque gravée rencontre dans les cercles que fait celle-ci des parties isolantes, ce qui fait agir la pointe qui grave la seconde planche.

Ce moyen de réduction tout automatique de planches gravées me paraît un fait intéressant, et je serais porté à croire qu'il pourra trouver des applications.

Coupage des fonds. Réserves galvanoplastiques. En dehors du poinçon et de la molette pour graver les rouleaux mécaniquement, des machines à guillocher et du pantographe pour obtenir les dessins en creux au moyen des acides, on peut encore citer deux procédés nouveaux et d'une assez grande importance, le coupage ou le rongeage des fonds des rouleaux et les réserves galvanoplastiques.

Supposons un rouleau à une couleur, par exemple, qui a reçu à la molette l'empreinte d'un plus ou moins grand nombre de bouquets détachés et répartis à des distances plus ou moins grandes sur la surface de ce rouleau. Il s'agit de faire à ce rouleau *un fond*, c'est-à-dire de pratiquer entre les bouquets des hachures diagonales, destinées à recevoir la couleur, de telle sorte qu'à l'impression toute la partie comprise entre les bouquets s'imprime en fond couvert avec la même couleur que les bouquets eux-mêmes et leurs contours.

Il existe des machines à *couper les fonds* à un seul burin, ce sont les plus généralement adoptées, et d'autres à plusieurs burins. Ces machines se composent d'un bâti et de supports analogues à ceux des tours sur lesquels on place le rouleau mandriné. Un porte-burin chemine le long du rouleau, tandis que celui-ci tourne d'une quantité déterminée par chaque course transversale du burin. Un ouvrier fait agir le burin à la main dans toutes les parties où il convient de couper. Cette opération exige une certaine habileté de la part de l'ouvrier.

Quant aux réserves galvanoplastiques très-employées depuis quelque temps, voici comment on procède. Lorsque les rouleaux sont gravés en *soubassements*, c'est-à-dire en dessins mille-raies, mille-points pour une couleur, et que le rouleau de la seconde couleur doit présenter, par exemple, un bouquet; lorsqu'on ne veut pas que le soubassement ou le fond passe sur le bouquet, il faut sur le premier rouleau *réserver* des parties blanches correspondantes aux bouquets disposés sur le second. On opère ces réserves en recouvrant le rouleau de vernis sur toutes les parties, sauf sur celles sur lesquelles le soubassement doit disparaître, puis on plonge le rouleau dans une dissolution d'un sel de cuivre. Le cuivre, réduit par un courant galvanique, se dépose dans les creux des parties non vernies.

GRAVURE.

Impression naturelle. Ce mode de gravure inventé par M. le conseiller Auer, directeur de l'imprimerie impériale de Vienne, et par M. Worring, proto de l'atelier de galvanoplastie de cet établissement, est d'une simplicité remarquable. Une plante, une feuille sèche, un morceau de dentelle ou tout autre objet d'un relief modéré, est placé sur une planche de fer ou d'un autre métal dur; par-dessus cet objet, on pose une planche de plomb, et l'on fait passer le tout entre les cylindres d'une presse en taille-douce. Le plomb en sort portant l'empreinte fidèle de l'objet qu'il recouvrait, et, soumis à la galvanoplastie, il donne une planche de cuivre où la gravure est en relief; une deuxième planche de cuivre, tirée de ce relief aussi par l'électrotypie, donne un creux qui s'imprime en taille-douce et produit des épreuves qui sont la nature elle-même.

Si, en raison de sa fragilité ou de toute autre cause, l'objet à graver craint l'action de la presse, on en prend un moule en gutta-percha et celui-ci fait l'office de la planche de plomb.

Ce procédé a produit de très-beaux résultats, mais la priorité en a été revendiquée par le Danemark. Vers 1833, Kyhl, orfévre habile de Copenhague, eut, comme MM. Auer et Worring, la pensée de reproduire par la pression entre deux métaux de dureté différente la forme de divers objets naturels. Il y parvint et consigna le résultat de ses essais dans un mémoire manuscrit, accompagné d'épreuves des se planches; mais il mourut quelque temps après, et sa découverte resta enfouie dans ses papiers, inconnue de tous, et ce ne fut que par l'annonce de l'invention viennoise que l'on songea à Kyhl et à ses gravures.

Sans vouloir ravir à l'orfévre danois le mérite de ses essais, il est évident qu'on ne peut l'opposer à MM. Auer et Worring, pour les dépouiller de leur invention. Car, il faut le dire, celle-ci ne consiste pas seulement dans l'empreinte sur métal, empreinte qui n'amènerait pas des résultats meilleurs que ceux de Kyhl sans la galvanoplastie, qui vient leur donner la perfection qui manquait aux épreuves de Copenhague. Si le Danemark était fondé à contester à l'Autriche l'invention de l'impression naturelle, la France pourrait à son tour la contester au Danemark, puisque Gengembre, en 1792, exécuta les billets de la caisse patriotique au moyen de dessins tracés sur métal dur par une encre épaisse, dont l'empreinte se produisait sur un métal plus tendre, et l'on remonterait ainsi jusqu'à Franklin, qui avait essayé ce procédé avant 1777.

Laissons donc à chacun sa part de gloire, et, tout en accordant à Kyhl le mérite de ses essais, comme à Gengembre celui de ses procédés et à Franklin la priorité de la pensée d'une gravure directe par compression, reconnaissons qu'avant MM. Auer et Worring, personne n'avait réussi, comme ils l'ont fait, à mettre dans le domaine de l'art pratique ce procédé simple et facile de graver sans graveur et sur la nature même, dans quelques cas en assez petit nombre toutefois, parmi lesquels on doit citer la reproduction des algues-marines de peu d'épaisseur.

Gravure au poinçon. La gravure au poinçon, la production d'un creux de forme déterminée par l'enfoncement à l'aide d'une percussion d'un poinçon d'acier trempé, sur un métal malléable, est un des procédés les plus importants des arts d'ornement, un des moyens les plus employés dans l'industrie pour donner à un corps métallique une apparence déterminée, pour décorer sa surface d'ornements en creux ou en relief. Nous citerons, parmi les arts qui emploient ce procédé, l'orfévrerie, qui l'a employé la première, la bijouterie, la fabrication des rouleaux pour toiles peintes, la fabrication des boutons, et enfin la typographie. Nous allons décrire en détail cette dernière application, dont les procédés, pour ce qui est du travail et de la trempe de l'acier, ne peuvent être différents de ce qu'ils sont dans les diverses applications. Nous reviendrons plus loin sur des rouleaux servant à l'impression des étoffes, sur le mode de gravure qui y est employé d'un fort cylindre de cuivre par un petit cylindre en acier, au moyen d'une *molette*, par roulement sous une forte pression, système qui a remplacé presque entièrement le poinçon creusé en raison du rayon du cylindre. C'est une des plus belles conquêtes de la gravure sur acier, une application précieuse du principe de reproduction, qui rend si importants pour les progrès de l'industrie tous les procédés des arts d'imitation dont nous traitons ici.

GRAVURE EN TYPOGRAPHIE. S'il est un fait bien certain pour toutes les personnes qui ont étudié la typographie, c'est que celle-ci n'a été réellement inventée, n'est passée à l'état d'art mécanique, que le jour où les procédés de la fonderie en caractères ont été créés. Que l'on réfléchisse à l'immense travail qui serait nécessaire pour graver les caractères qui forment une seule feuille, pour dresser toutes les tiges, afin qu'elles remplissent toutes les conditions que nécessite la composition (voyez IMPRIMERIE), et on concevra que ce travail serait très-coûteux et d'une exécution presque impossible. Aussi paraît-il que Gutenberg fut arrêté longtemps par cet obstacle, qui ne fut levé que quand Schœffer, initié déjà comme orfévre à l'emploi du poinçon d'acier, eut inventé la fonderie.

Fig. 4108 *bis.*

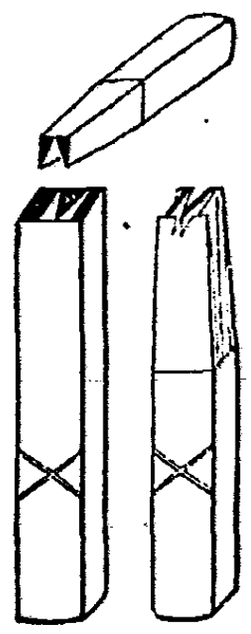


Fig. 4109. Fig. 4109 *bis.*

Cet article est destiné spécialement aux procédés de la gravure du poinçon d'acier, servant à produire par son enfoncement dans le cuivre le creux ou matrice nécessaire à la FONDERIE, seul moyen de faire un creux en cuivre dont le fond soit parfaitement pur, jusqu'à l'invention de la galvanoplastie, en même temps que la résistance de l'acier permet seule d'obtenir des fins très-déliés, des parties très-délicates.

Le travail du graveur, que ni le fondeur ni l'imprimeur ne peuvent modifier et qu'ils peuvent seulement reproduire, exige par cela même le plus grand soin.

Des poinçons et contre-poinçons. Le poinçon est une tige d'acier de 4 à 5 centim. de longueur. Sur une extrémité est gravée la figure d'un caractère (fig. 4109 *bis*), l'autre étant arrondie. Le poinçon doit représenter

la lettre retournée, car, par suite des deux opérations qui suivent la gravure, le caractère servant à l'impression étant disposé dans le même sens que le poinçon, il est bien clair que l'impression produit un retournement, qui donnera par suite le caractère imprimé dans son véritable sens.

Le contre-poinçon est une petite tige d'acier de 2 centimètres au plus de longueur (fig. 1108). Son extrémité aigue doit avoir la forme des parties évidées de la lettre qu'on doit graver et est destinée à les former par percussion.

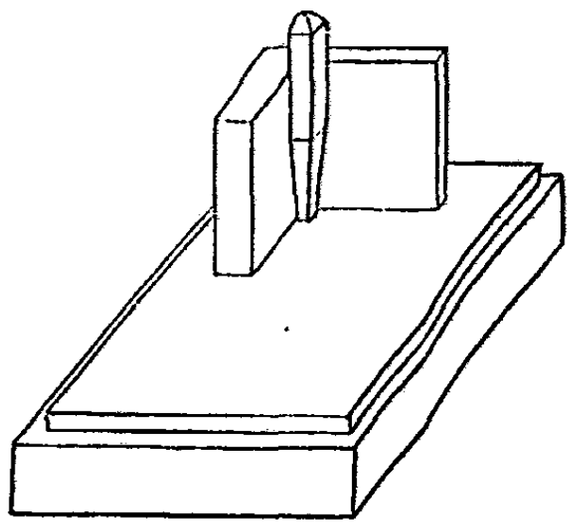
Ce qu'il faut d'abord considérer avant de procéder à la gravure est de choisir de l'acier de bonne qualité, qui prenne bien la trempe sans être sujet à s'égrener.

L'acier fondu Huntzmann satisfait très bien à ces conditions, sa trempe très dure ne laisse courir aucune chance de déformation des traits fins, et occasionne rarement la rupture de quelques parties. Néanmoins il faut prendre de l'acier de cémentation, dit *acier d'Allemagne*, de bonne qualité, pour les gros poinçons, les accolades, etc., qui ont à résister à des efforts plus considérables.

Pour travailler l'acier et l'amener à la forme voulue, le graveur emploie un certain nombre d'outils que nous allons passer en revue.

Pierre à l'huile et équerre, servant à polir la surface du poinçon, à user la partie défectueuse pour lui substituer une surface plus large.

Sur une pierre à l'huile (fig 1110) bien dressée, on



1110.

pose à plat une forte équerre en fer, ayant environ 3 centimètres de hauteur. Les faces qui reposent sur la pierre sont d'équerre avec les faces intérieures (qui sont elles-mêmes d'équerre entre elles).

Le poinçon étant un peu dégrossi à la lime tant à la surface sur laquelle doit être tracé l'œil de la lettre qui est dressé plat, que sur deux faces du poinçon amenées à être assez sensiblement d'équerre (l'acier en barres est le plus souvent ainsi en sortant du magasin du marchand); ces faces sont toujours celles qui sont appliquées au fond de l'équerre, afin que le poinçon se trouve toujours dans la même position.

Le poinçon étant donc placé dans l'équerre et y étant assujetti et en même temps pressé sur la pierre, par le pouce de la main qui tient l'équerre, est promené sur la pierre jusqu'à ce que sa surface soit bien polie.

Quand quelque imperfection dans la gravure, quelque tracé défectueux aura été fait sur la surface du poinçon, en le replaçant dans l'équerre, la surface portant bien à plat, dans la position identique à celle de cette première opération, la surface sera usée et diminuée également de manière à offrir une nouvelle surface ayant les traits du premier travail suffisamment engraissés pour qu'on puisse le reprendre de nouveau et faire disparaître le défaut reconnu.

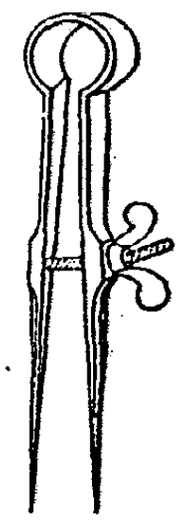
Petite équerre. Les graveurs emploient une petite équerre à arêtes très fines pour vérifier l'angle formé par les jambages des lettres avec leurs traits horizontaux, qui doit être parfaitement égal à un angle droit, afin que les traits formant une ligne horizontale, les jambages soient verticaux, ce qui est la première et la plus importante condition du caractère romain.

Outils tranchants et limes. Les limes servent à dresser les parties extérieures du poinçon, et doivent varier de grandeur et de finesse de taille suivant qu'il s'agit d'ébaucher ou de finir. Les burins qu'emploie le graveur sont affûtés *camards* pour ne pas refouler sur l'acier. Pour les parties très fines il est bon d'employer une lame affûtée sous un angle plus aigu, dit *canif* ou *échoppe plate*.

Tas. Le tas employé par les graveurs consiste en une masse de fer, percée d'un trou carré d'environ 0m,015 de côté dans lequel on peut placer un poinçon et l'y retenir par des vis placées sur les côtés. Souvent on fait ce tas rond par la partie inférieure, de telle sorte qu'en le plaçant sur un coussin percé dans son milieu, il peut servir à manier facilement un gros poinçon placé dans son centre. Cette disposition est souvent employée dans la gravure des grosses vignettes.

Loupe. Tout le travail du graveur est fait avec l'aide d'une loupe à court foyer, qui, augmentant toutes les dimensions, lui permet d'apprécier les moindres différences de graisse, de calibre, etc.

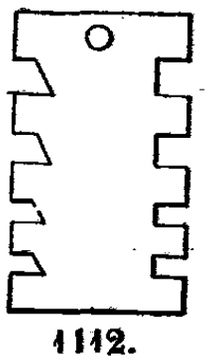
Pointe à tracer. Le graveur emploie la pointe à tracer pour dessiner sur la surface de l'acier les contours du dessin qu'il veut exécuter. Le dessin doit être arrêté avec assez de précision par le graveur, quand il s'agit d'objets un peu compliqués, pour qu'il ne soit pas exposé à recommencer son travail pour avoir enlevé quelque partie du dessin.



1111.

Compas. Servant à fixer les dimensions des tracés (fig. 1111).

Foret. Quelques graveurs emploient peu le contre-poinçon aujourd'hui. Il est en effet souvent assez long à faire, dans certains cas, pour ne donner cependant qu'assez grossièrement le vide qu'il s'agit d'obtenir, et a toujours l'inconvénient de fatiguer l'acier et de rendre les accidents plus fréquents lors de la trempe. Pour s'en dispenser on perce un trou, à l'endroit à creuser, au moyen d'un très petit foret mû par un archet, et on termine le vide à l'échoppe. Quelquefois même on peut se dispenser de cette opération, et après avoir enlevé un peu de matière avec un burin frappé par un marteau, terminer entièrement avec les outils tranchants. On opère toujours ainsi pour les gros caractères



1112.

Calibre. Le calibre (fig. 1112) est en général un petit morceau de tôle mince, sur les bords duquel on pratique des entailles égales aux hauteurs que doivent avoir les diverses lettres d'un même caractère, et sert à vérifier cette dimension. Si le caractère à graver est penché, on taille suivant cette pente le fond de l'entaille du calibre, afin de vérifier la pente en présentant le poinçon.

Pour éviter de tailler un calibre pour chaque caractère on emploie plusieurs systèmes de calibres pouvant donner toutes les dimensions par un mouvement de vis, dispositions que chaque graveur varie à sa guise. Nous donnerons seulement une idée d'un des plus complets.

Qu'on se représente deux montants traversant de petites barres, glissant parfaitement d'équerre sur eux. Qu'à chacune de ces barres soit fixée une vis ayant son écrou dans une des deux barres transversales qui assemblent les extrémités des montants; il est clair qu'on aura, en faisant marcher les vis, l'écartement voulu entre deux barres quelconques, écartement qui servira de calibre. — Pour l'italique, une barre droite fixée sur un des montants et pouvant tourner à volonté viendra rencontrer les calibres et pourra ainsi fournir l'inclinaison dont on a besoin.

Ce calibre a le défaut d'être lourd et peu maniable; aussi pratiquement se sert-on toujours soit du premier, soit d'un système consistant simplement en un calibre formé de deux parties, l'une fixe et l'autre mobile au moyen d'une vis de rappel fixée sur la première partie

Travail du graveur. Le mode de travail du graveur au moyen des outils que nous venons de décrire, est maintenant facile à expliquer. Après s'être procuré de l'acier en barres carrées de grandeur convenable et de bonne qualité, il le découpe en longueurs de 4 à 5 centimètres, il fait recuire ces morceaux dans du poussier de charbon pour adoucir l'acier sans le désaciérer.

Dressant ensuite la face sur laquelle il doit graver, d'abord à la lime, puis sur la pierre à l'huile, au moyen de l'équerre, il dessine sur la surface avec la pointe à tracer le contour qu'il doit exécuter.

Il taille alors le contre-poinçon destiné à former les creux du dessin. Le contre-poinçon ne peut être gravé très droit, car il serait trop faible pour résister à la frappe dans l'acier et casserait; aussi n'est-il pas gravé de manière à présenter à son extrémité les dimensions de la surface du creux qu'il doit servir à faire: cette extrémité, au contraire, est aigue pour pouvoir s'enfoncer dans l'acier, et la forme telle, qu'étant enfoncé dans une lame de plomb que le graveur a à côté de lui, le vide de la surface soit celui qu'il s'agit d'obtenir.

Le contre-poinçon étant gravé est trempé très dur, puis enfoncé dans le poinçon avec une masse, il donne tous les creux de la surface, au moins d'une manière assez approchée pour que l'outil puisse facilement achever le travail. La fig. 1409 (voir plus haut) représente le poinçon après l'action du contre-poinçon. Le creux étant fait, on fait l'extérieur du poinçon à la lime, de manière à atteindre par des talus allongés le contour du dessin tracé sur la surface. En cet état le poinçon est ébauché. Pour le terminer, le graveur se servant d'échoppes et de burins pour l'intérieur, de petites limes pour l'extérieur, retouche les parties qui lui paraissent défectueuses, passe au calibre pour vérifier les grandeurs. Si le point convenable est dépassé, il use un peu du poinçon au moyen de la pierre à l'huile et de l'équerre, ce qui engraisse également tous les traits et reprend son travail.

Comme la forme des poinçons est destinée à être reproduite par l'imprimerie, on ne peut mieux juger leur effet qu'en les imprimant. Pour cela, quand le poinçon s'achève, on le passe, après l'avoir bien essuyé, dans la flamme d'une bougie. Il se recouvre de noir de fumée, qui se dépose sur une carte sur laquelle on l'imprime, en le guidant sur un équerre vertical.

Le contre-poinçon donne un creux net et profond, qui évite l'inconvénient que la lettre se remplisse d'encre; aussi les graveurs, qui emploient peu le contre-poinçon, créent difficilement des caractères exempts de ce défaut. Quant aux talus extérieurs, ils doivent être très allongés, afin que le caractère n'engraisse pas par la moindre usure. Cette condition n'est guère remplie que dans les fonderies qui font graver, et n'ont besoin d'obtenir qu'une frappe de leurs poinçons, mais ne l'est que rarement par les graveurs qui vendent des matrices, vu que les poinçons ainsi faits cassent bien plus fréquemment.

De la hauteur des lettres. La détermination de la hauteur des lettres qui doivent former un caractère de calibre est la première chose que doit faire un graveur qui commence son travail. Le caractère doit être fondu sur des prismes ayant une dimension constante, dite *force de corps*, pour tous les caractères d'une même ligne. Le problème à résoudre consiste à déterminer le rapport des lettres longues et courtes relativement à cette grandeur.

Les courtes sont les lettres a, m, c, e, etc.; les longues du haut b, h; du bas p, q, y. Fournier prescrit de diviser en quatre parties la force de corps, et d'en prendre deux parties pour les courtes, et trois pour les longues du haut et du bas. Cette division donne des caractères très petits d'œil, et l'adoption des compactes a mené à adopter pour les courtes un calibre plus grand, mais variable, suivant chaque caractère.

Les lettres de chacune de ces séries devant paraître exactement de la même grandeur, la lettre m étant gravée et le calibre monté sur celle-ci, les autres lettres n, etc. devront être bien justes à ce calibre. Les rondes o, e, c, etc. devront le dépasser quelque peu; car étant terminées par des parties rondes, il faut qu'elles dépassent quelque peu les lettres à traits pour paraître de même grandeur que celles-ci.

De la largeur des lettres. De même qu'on astreint à un même calibre la grandeur de toutes les lettres d'un caractère, il paraît *à priori* devoir être possible d'établir un calibre pour déterminer les largeurs proportionnelles des diverses lettres d'un même caractère; de telle sorte qu'une lettre d'un genre large ou serré étant donnée, toutes les autres pussent se déterminer.

A une époque où l'on n'admettait pas que les parties rondes des lettres pussent être formées autrement que par des arcs de cercle, on essaya à plusieurs reprises de tracer géométriquement les lettres au moyen de subdivisions du carré construit sur la hauteur de la lettre et de cercles tracés dans ces divisions.

On conçoit facilement qu'on ne pouvait tirer aucun résultat de ces constructions compliquées, et jamais les graveurs ne se sont assujettis à de semblables règles; l'œil leur est un guide plus sûr pour faire naître des formes agréables à la vue, condition vraiment essentielle de leur travail.

La règle fondamentale du travail du graveur et du fondeur est de faire en sorte que les jambages des lettres soient espacés régulièrement, que l'intervalle qui les sépare *paraisse* toujours le même, afin d'obtenir la plus grande régularité possible.

Nous disons *paraître*, parce que, pour qu'il en soit ainsi, il ne faut pas souvent que l'égalité des intervalles existe en réalité.

Ainsi l'n et l'u sembleraient devoir être identiquement de même largeur; pourtant l'u doit être une apparence plus serré, surtout du haut, que l'n; de même largeur, il paraîtrait trop large, son ouverture étant en haut et ses traits moins prolongés que ceux de l'n. Ces petites différences presque insensibles ne sauraient être mesurées par un outil, mais seulement par le goût et l'œil exercé du graveur.

On peut poser cependant quelques règles générales :

1° Les lettres à jambages droits, h, n, u, doivent être de même largeur, sauf l'observation que nous venons de faire relativement à l'n; leur écart est un peu plus grand que celui des jambages de l'm.

2° Le vide de l'o, mesuré dans son milieu, doit être une apparence plus grand que l'écart de l'n, pour paraître égal.

3° La rondeur des demi-rondes b, d, p, q, doit paraître exactement égale à celle de l'o du caractère. Or, l'expérience a indiqué qu'une même figure à droite d'un jambage droit doit être une apparence moindre que quand elle est placée à la gauche, pour lui paraître

égale. Ainsi les rondeurs du b et du p devront être tenues un peu moins larges que celles du d et du q.

4° La larme de l'r, le crochet du t, la tête de l'f, devront être tenus aussi rapprochés que possible du jambage droit pour diminuer l'excès d'écart que ces lettres forcent toujours à laisser à la fonte.

5° Les lettres a, s, ont été beaucoup élargies dans les caractères modernes, à l'imitation des Anglais. On leur donne presque la largeur des lettres à deux jambages.

Graisse des caractères. Il est évident que l'épaisseur une fois adoptée pour une lettre d'un caractère, tant pour les jambages que pour les traits, doit être suivie constamment la même pour toutes les lettres composant le même caractère. La seule observation à faire à ce sujet est que les lettres i, l, etc., composées d'un seul jambage, doivent être gravées un peu plus grasses que les jambages de l'n. Sans cette précaution, leur isolement les ferait paraître mesquines et plus maigres que les autres lettres.

De la forme des caractères et des variations que le goût y a introduites. On sait que ce fut Nicolas Jenson, élève de Schœffer, qui, au moyen des deux éléments que lui fournirent les inscriptions romaines, auxquelles il emprunta les capitales, et les manuscrits de l'époque, composa le caractère dit *Romain*. Ce travail, fait avec un grand talent, fut un pas immense. Nicolas Jenson débarrassa les lettres des parties inutiles, et avec un goût sûr réduisit le caractère à la combinaison la plus simple possible de parties droites et de parties circulaires. On conçoit les immenses services qu'a rendus un semblable travail à l'origine de l'imprimerie, en réfléchissant aux inconvénients qu'entraînerait aujourd'hui le changement de lettres qui seraient défectueuses, en rendant presqu'illisibles tous les ouvrages parus jusqu'à ce jour. Le point capital de ce travail fut de remplacer les parties anguleuses des lettres gothiques par des parties circulaires, et les extrémités pointues par des parties carrées; enfin de faire la plupart des changements nécessaires pour ramener à nos lettres la plupart de celles de l'alphabet allemand, qui est le dérivé de l'alphabet gothique.

Les seules modifications dans les formes des caractères qui aient persisté des divers essais tentés depuis un siècle, se réduisent :

1° A la suppression de l'f longue, toujours remplacée par l's courte ;

2° A avoir redressé les traits des lettres m, i, autrefois obliques, ce qui détermine la ligne horizontale du haut des caractères et en a rendu l'aspect plus agréable.

Le travail des graveurs modernes, qui avec raison ne s'est pas porté vers la modification des formes générales du type romain, a cependant été considérable ; jamais le goût n'avait modifié aussi complétement le dessin des caractères.

Le travail le plus important, celui auquel les Didot ont attaché leur nom, a consisté à forcer l'opposition entre les pleins et les déliés, opposition précieuse, qui réunissant dans la même lettre des déliés extrêmement fins et des pleins assez gras, sans transition brusque, produisent à l'œil cet effet que, par un progrès analogue, l'on a tant apprécié dans l'écriture dite Anglaise, et qui a fait rejeter tous ces genres d'écritures dont on se servait autrefois, la bâtarde, la ronde, etc.

Depuis quelques années, au contraire, la tendance est de tout sacrifier à l'effet général de l'impression ; ainsi on a maigri les pleins et engraissé les traits, pour donner un effet d'ensemble plus régulier et de plus obtenir des caractères bien alignés du haut et du bas qui produisent un effet très-agréable, pour se rapprocher des caractères gravés par Garamond qu'on admire tant dans les éditions des Elzevirs.

GRAVURE.

Les personnes étrangères à la typographie peuvent entrevoir, d'après ces observations, la tendance au progrès actuel ; car dans la typographie, comme dans tout ce qui est soumis au goût, qui est essentiellement changeant dans tout ce qui est œuvre d'art, il n'est jamais donné à personne d'atteindre la perfection absolue.

Du reste, les besoins tout nouveaux de l'imprimerie, le développement des journaux, des éditions compactes, qui exigent des caractères pouvant faire tenir beaucoup de matières en peu de pages, pour économiser sur les frais de papier et de tirage, a indiqué des voies toutes nouvelles à la gravure, ce qui, en remplissant de nouveaux besoins, a indiqué de nouvelles ressources.

Essayons d'indiquer quelques divisions sous lesquelles on peut grouper les principaux caractères, divisions qui ne sont que des limites entre lesquelles la gravure peut faire naître un nombre infini de variétés.

De semblables divisions ne peuvent s'établir que par rapport à la seule base fixe, qui est la force de corps, la seule chose qui ne change pas, la dimension constante de la tige qui doit supporter des caractères de gravure différente.

1° *Les classiques anciens;* c'est ainsi que nous nommerons les caractères qui ont servi à faire les éditions de luxe, que l'on a pu faire depuis le commencement du nouveau mouvement de l'imprimerie jusque dans ces derniers temps, et que tout le monde connaît. Le corps est divisé le plus souvent en quatre parties : deux pour les courtes, m, n, etc., et trois pour les longues, b, p, etc. L'o est circulaire à l'intérieur, ou extrêmement voisin de cette forme. Ces caractères composés portant beaucoup de blanc entre les lignes, sont toujours assez gras

2° *Les classiques anciens gros œil.* Les courtes sont tenues un peu plus grandes que la moitié du corps, et le caractère est tenu plus gras, de sorte que le caractère entier paraît beaucoup plus gros.

Ces divers caractères sont évidemment ceux qui conviennent aux éditions de luxe, dans lesquelles on recherche avant tout la beauté de l'aspect général du livre, dont la lecture ne doit pas être fatigante.

3° *Les poétiques*, ainsi nommés parce qu'ils ont été inventés pour faire tenir le vers alexandrin entier dans une ligne d'un format donné, ce qu'on a obtenu en resserrant toutes les lettres; l'o se trouve donc oblong dans ce caractère.

4° *Les compactes.* Le désir de faire tenir beaucoup de matière dans un espace donné, qui avait fait imaginer les poétiques, a fait songer à un autre moyen, qui est de raccourcir les queues des lettres longues; sur un même corps les lettres courtes se trouvent donc grandir d'œil, ou pour la même grandeur d'œil on peut composer avec un corps inférieur, et par conséquent faire entrer bien plus de lignes à la page.

La longueur des minuscules peut alors aller jusqu'à 3/4 de la force du corps, ce qui est une limite extrême. Il est bien certain que la longueur qui reste aux longues est suffisante pour que l'œil n'éprouve aucune incertitude à les discerner ; mais le caractère perd toute grâce et la lecture en devient fatigante.

Aujourd'hui, le véritable caractère classique est le caractère demi-poétique et demi-compacte, intermédiaire entre les caractères classiques et les compactes, plus près des premiers que des seconds, rappelant la fermeté elzevirienne, à traits soutenus. L'œil du lecteur, habitué aux éditions compactes, ne désire plus pour les classiques les caractères anciens qui lui paraissent trop petits ; un caractère demi-compacte lui suffit.

Trempe des poinçons. Frappe des matrices. Les poinçons étant terminés par le graveur, il faut leur donner

par la trempe la dureté nécessaire pour pouvoir les enfoncer dans le cuivre sans que les arêtes vives s'émoussent.

Pour cela, on fait un feu très actif de charbon de bois, dans lequel on met une boîte en fer renfermant les poinçons recouverts de poussier de charbon; on active le feu, jusqu'à ce que le fer ait pris une couleur rouge-cerise tournant au rouge-blanc. On saisit alors le poinçon avec des pinces, et on le plonge dans l'eau froide, en n'y entrant d'abord que l'extrémité portant la gravure. On ne pourrait employer le poinçon dans cet état; il se briserait trop aisément, surtout dans les traits fins des lettres, quand on voudrait frapper le poinçon; il faut le faire revenir.

On commence par nettoyer les scories qui ont pu s'attacher aux poinçons, en les frottant avec de la pierre-ponce pulvérisée; puis on les chauffe par le gros bout, soit en le mettant au feu, soit en le plongeant dans une cuillère de fondeur, ce qui est plus commode. Quand on voit l'extrémité prendre une teinte pelure d'oignon, on le fixe à ce point, en le plongeant dans l'eau. Cette opération du recuit rend du corps à l'acier; il reste dur bien que beaucoup moins cassant.

Frappe des matrices. Comme nous l'avons dit, les matrices sont le premier produit de la reproduction du travail du graveur; il peut avec son poinçon frapper un nombre considérable de matrices, dont chacune pourra fondre des millions de lettres. La production de matrices est le but et le résultat du travail du graveur. Ce sont de petits morceaux de cuivre de 2 à 3 centimètres de longueur sur 1/2 centimètre d'épaisseur, et d'une largeur de 7 à 8 millimètres plus grande que la lettre.

On découpe ces petits morceaux dans des planches laminées de cuivre rouge de Suède bien doux, et dans lequel on ne peut rencontrer que bien rarement des grains cristallins qui forment des pailles sur l'œil des lettres. On les chauffe, et on les trempe dans l'eau, ce qui adoucit sensiblement le cuivre.

Il faut après cela le parer, c'est-à-dire polir à la lime douce la surface qui doit recevoir l'empreinte. On la lime en long, en ayant soin qu'elle soit un peu convexe vers le milieu. On passe après la lime un brunissoir qui efface les derniers traits de la lime.

On marque alors avec une pointe à tracer, sur chaque matrice, une ligne à l'endroit où la lettre doit être frappée, à environ 5 à 6 millimètres au-dessus d'une des extrémités.

La frappe des poinçons demande une main sûre et exercée; ce qui a fait dire qu'une matrice bien frappée est à moitié justifiée.

On a devant soi un tas, une masse en fer, sur lequel on place la matrice. On tient dans la main gauche le poinçon dont on a bien nettoyé la surface, et on le présente au milieu du cuivre; là, au moyen d'un marteau qu'on tient dans la main droite, on forme une empreinte peu profonde du poinçon. Si la lettre incline trop à droite ou à gauche, on tourne un peu le poinçon, et on fait une seconde empreinte au-dessus de la première; après celle-là, une autre, toujours en corrigeant la position du poinçon. On arrive ainsi au point où doit être frappée la matrice, et alors on enfonce le poinçon à coups de masse jusqu'à la profondeur nécessaire. On conçoit que si on porte un coup à faux, si on tient le poinçon obliquement, on fait éclater de suite les traits fins des lettres; accident auquel il n'y a d'autre remède que de refaire le poinçon.

La profondeur obtenue par la frappe doit être un peu plus grande que celle qui doit rester après la justification de la matrice; opération qui oblige à en limer la surface et à enlever les bourrelets produits par le refoulement du métal. On s'en assure au moyen de la pointe du justifieur dont nous parlons plus loin.

Les lettres qui portent des accents, comme les voyelles, le ç, etc., après avoir été frappées seules, le sont ensuite avec ces différents signes que l'on adapte au poinçon. Pour cela, on fait à celui-ci une petite encoche de 6 à 8 lignes du côté où l'accent doit exister; puis on grave chaque accent sur des petits morceaux d'acier qui se placent dans cette entaille. On trempe ces accents, qui servent ainsi à toutes les lettres; on les pose successivement sur chaque poinçon, auquel on les réunit au moyen d'un bon fil, dont on a préparé la place par de petites entailles transversales qui l'empêchent de glisser, et on serre fortement.

Frappe des gros caractères. La frappe des gros caractères est plus pénible, parce que la masse de cuivre à refouler, étant considérable, oppose une grande résistance. On frappe alors le cuivre à chaud; mais il ne faut pas le chauffer jusqu'au rouge, parce qu'alors le poinçon le chasserait trop de côté. On trouve avantage à frapper la matrice placée dans une boîte de fer, qui, en empêchant le cuivre de s'écarter, le force à remonter et à remplir le contre-poinçon. Ce procédé suffit pour les lettres de deux points et les gros caractères, jusqu'aux moyennes de fonte à peu près, en remplaçant toutefois le marteau par un balancier d'une force suffisante.

Fournier recommande d'enlever à l'outil la majeure partie du cuivre qui doit faire place à l'acier. Ce procédé n'est plus usité, et pour les très grosses lettres, les grosses de fonte, par exemple, gravées sur acier, on fait fondre la matrice en cuivre jaune, en donnant pour modèle au fondeur une matrice frappée en plomb. On enlève avec un acide étendu d'eau les scories du fond; puis on frappe à chaud le poinçon, qui unit le fond de la matrice.

On a été plus loin, dans ces derniers temps, pour la gravure des grosses lettres d'affiches de dimensions assez grandes pour qu'on les puisse travailler directement. Voici comment on opère.

On moule en argile la lettre dont on a le dessin devant les yeux; on en polit bien la surface; on fait alors cuire ce modèle, que l'on fond en cuivre. Ce cuivre sera donc la matrice non pas parfaite, mais suffisamment ébauchée, et un peu plus faible que le modèle par le retrait de l'argile. On achève alors la matrice avec les outils ordinaires du graveur, et on la corrige, après avoir tiré des essais que l'on compare au modèle. Ce procédé a donné quelques résultats passables; mais depuis que la galvanoplastie est inventée, il est évident que c'est celle-ci qui doit fournir les matrices en cuivre, pour tous les cas où la gravure sur métal à caractères peut suffire pour tracer un modèle convenable. A l'article MATRICE nous parlerons d'un procédé de fonte des matrices, usité surtout pour la bijouterie.

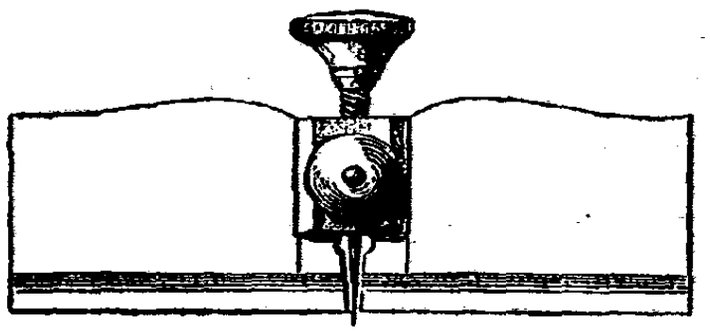
Justification des matrices (1). La matrice frappée, il faut la justifier, c'est-à-dire dresser la face et les côtés pour qu'elle puisse s'adapter convenablement sur le moule. La première condition essentielle consiste en ce que toutes les matrices d'un même caractère doivent toutes être enfoncées de la même profondeur, de manière qu'en les faisant se succéder sur le même moule toutes les lettres se trouvent toutes parfaitement de même hauteur.

On justifie la lettre m au degré de profondeur correspondant à la hauteur qu'on veut donner à l'œil de la lettre, profondeur qu'on prend ordinairement dans une fonderie égale à celle qu'on a déjà pour les caractères de même nature, afin que les mêmes moules puissent servir indistinctement pour ces différentes frappes. On

(1) Nous avons réuni ici la justification et la gravure pour ne pas trop morceler l'exposition des procédés sur lesquels repose la typographie.

fond sur cette matrice, trois m que l'on met sur un petit instrument appelé *justification* (voyez FONDERIE), et entre ces trois m on place successivement toutes les lettres, à mesure qu'on justifie les matrices pour retomber exactement sur la même hauteur. La hauteur s'estime avec une grande précision au moyen d'une petite règle d'acier, dite *jeton*, que l'on applique sur la surface de ces lettres.

Aujourd'hui on ne fait plus cette opération que pour vérifier le résultat définitif du travail. On se guide pour l'aplomb et la profondeur de l'œil, au moyen de la pointe, outil qui consiste dans une petite règle d'acier traversée par une vis terminée en pointe très fine, et qui est arrêtée en une position fixe par un écrou, qui presse sur la vis et la maintient en place (fig. 4414). Le



4414.

mieux est d'avoir deux pointes semblables, l'une fixée à la profondeur exacte qu'il s'agit d'obtenir, l'autre plus saillante. On approche au moyen de la seconde du point qu'il s'agit d'obtenir, et on vérifie avec la première.

Le premier soin que l'on doit prendre avant de dresser la surface de la matrice est de s'assurer si le poinçon a été tenu bien perpendiculaire à sa surface, ce qu'on vérifie au moyen de la pointe descendue jusqu'à toucher un point de l'œil, puis transportée en diverses places, ce qui indique de quel côté il faut enlever du cuivre.

Pour ce qui est de l'alignement, on se contente en général de mettre le pied bien d'équerre avec la surface antérieure. Si on veut que la lettre soit immédiatement de ligne, on vérifie si la lettre, étant bien de hauteur, se trouve en ligne avec les m. Si elle descend, c'est que la partie, depuis l'œil jusqu'au pied de la matrice, est trop grande ; il faut donc en ôter à la lime. Si, au contraire, elle monte, ce qui ne doit pas arriver, on y remédie en refoulant le cuivre sur le bout de la matrice pour l'allonger un peu.

Pour ce qui est de l'approche, on doit ôter du cuivre sur les bords de la matrice pour ôter l'excès de l'épaisseur, de sorte qu'en remplaçant l'm sur un moule où celle-ci soit d'approche, par une autre matrice de la frappe, celle-ci soit aussi d'approche. C'est ce qu'on appelle justifier à registres arrêtés.

On se dispense souvent de justifier ainsi la matrice, mais il faut toujours avoir bien soin que les côtés de la matrice soient parfaitement parallèles aux jambages des lettres, de manière que la lettre soit parfaitement droite. C'est ce que l'on voit en faisant filer la lettre à 3, de la sorte : ⊏ ⊏ ⊏ ; il faut que les jambages forment une ligne parfaitement droite, autrement il faut redresser la matrice ; on y parvient, en ôtant du cuivre d'un côté vers la tête de la lettre, et de l'autre côté vers le pied.

Il n'est pas besoin de dire que ces surfaces doivent être toutes parfaitement d'équerre entre elles, c'est du reste une chose évidente, à la seule inspection du moule, puisqu'elle doit se placer dans des parties qui sont toutes à angle droit entre elles.

Pour ce qui est de la partie postérieure de la matrice, on fait une entaille à peu près vis-à-vis l'œil de la lettre ; la plus petite partie s'appelle le talon de la matrice. Cette entaille sert à fixer l'arcbet du moule ; ressort qui applique fortement la matrice contre le moule.

On fait encore deux petits crans au haut de la matrice, l'un dessus, l'autre dessous, au moyen desquels on attache avec un fil un morceau de peau que l'on nomme *attache*, et qui sert à empêcher la matrice de tomber chaque fois qu'on ouvre le moule.

On lime le derrière de la matrice qui n'a pas besoin d'être dressé avec soin, de manière à ce que toutes les matrices d'une même frappe soient à peu près de même épaisseur ; puis on passe la lime sur tous les angles afin de les rendre moins vifs, pour que le moindre coup donné sur un de ces angles n'empêche pas quelques faces de la matrice de porter sur quelques parties du moule.

Nous avons dit à l'article FONDERIE, de quelle importance est la justification à registres arrêtés dont nous parlons plus haut, qui a été malheureusement abandonnée en France. Disons pourtant que quant à la partie la plus importante de ce système, la fixité de la ligne, elle est peu avantageuse avec le moule actuel, à cause de l'usure qui se produit en cette partie, qui dérange le travail du justifieur. Il n'en serait plus de même dans un système dans lequel cet inconvénient serait évité.

Machine à justifier. Un habile justifieur, M. Jehl, ancien justifieur, puis chef des travaux de la fonderie de MM. Firmin Didot, n'a pas craint d'attaquer le problème d'effectuer mécaniquement le travail de la justification. Nous ne pouvons que donner une idée sommaire de cette ingénieuse machine, dont le vrai nom est *tour à justifier*.

Qu'on suppose la matrice placée sur le mandrin d'un tour et fixée, au moyen de vis, dans une boîte dont on peut faire varier l'inclinaison. Au moyen d'une pointe portant par ses extrémités sur le mandrin, on pourra faire mouvoir cette boîte de telle sorte que le fond de la matrice devienne perpendiculaire à l'axe du tour, et, alors, en faisant agir l'outil placé sur le chariot, on dressera la surface parallèlement au fond.

Pour les côtés, la même opération sera faite en donnant, par une règle parallèle au mandrin, une position convenable à la matrice, puis la retournant à plat sur le côté dressé, on fera, avec un support à chariot, la seconde face parfaitement parallèle à la première.

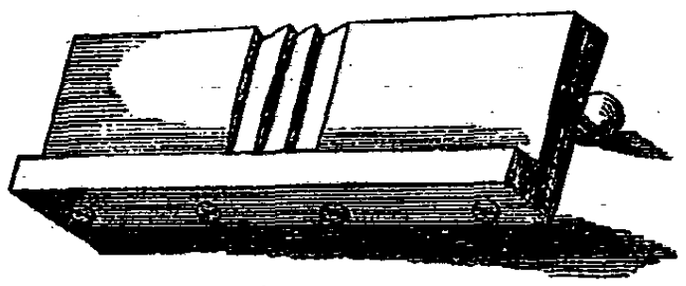
Passant sous silence beaucoup de détails ingénieux de ce curieux outil, nous avons voulu faire apprécier seulement combien il abrégeait le travail des grosses matrices. Pour les petites, il faut toujours mettre l'aplomb et l'équerre d'un côté à la lime ; mais cela fait, le tour dresse les autres faces et termine la matrice avec une grande célérité, permettant d'opérer graduellement et d'enlever beaucoup ou aussi peu de cuivre que l'on désire.

Justification de l'italique. La justification des caractères italiques est aussi aisée que celle des caractères romains, pour ce qui est de la hauteur et de la ligne, mais elle est plus difficile pour ce qui est de la pente. L'œil juge en effet assez aisément si les jambages d'une lettre sont bien perpendiculaires sur la ligne que forment les traits des m, entre lesquelles on la place ; mais il ne peut juger que bien imparfaitement si un jambage oblique a précisément la pente qu'il doit avoir. Aussi les italiques laissent-ils toujours à désirer pour la régularité des pentes, quelque soin que l'on prenne pour corriger les défauts que l'emploi du caractère fait reconnaître.

Nous pensons donc avoir fait quelque chose d'utile en inventant un procédé qui rend géométrique la justification de l'italique, et dont nous avons tiré de

bons résultats. Il consiste à rétablir pour l'italique le procédé le plus exact pour reconnaître la pente du romain, qui consiste à appliquer le jeton sur trois lettres appliquées à plat sur la justification, comme h n n, et à voir si le haut de la lettre est en avant où en arrière de la ligne formée par les trois pointes du bas des trois lettres, ou si les trois jambages ne forment qu'une même ligne droite; auquel cas la justification est parfaite.

On ne peut évidemment avoir la même vérification pour l'italique puisque les lettres sont penchées sur leur corps; mais on y parvient en les redressant. Si l'on fait une justification dont la surface ait la forme représentée fig. 4115, c'est-à-dire dans la face de la-



4115.

quelle sont pratiquées trois entailles bien égales entre elles et bien égales dans toute la largeur de la justification; il est clair que si on place les lettres dans ces angles, les lettres seront redressées de la valeur de ces angles, et que si l'inclinaison des plans sur la surface de cette justification est égale à celle de l'italique sur son corps, il se retrouvera redressé, et les trois mêmes jambages d'une lettre bien justifiée formeront une ligne droite, comme cela arrivait sur une justification plate, pour le caractère romain.

Au moyen de cet instrument, les moyens de vérifier la pente d'une lettre qu'on justifie étant les mêmes que pour le romain, il ne reste donc plus qu'à opérer comme nous l'avons expliqué. CH. LABOULAYE.

GRAVURE SUR BOIS. La gravure sur bois est un art dérivant de la sculpture sur bois, art aussi vieux que le monde, qui n'a pris d'importance que le jour où l'on trouva moyen d'en multiplier le résultat par l'impression.

Son emploi pour la gravure des images, et surtout pour les titres de ces images, a fait concevoir la possibilité de l'imprimerie tabellaire, et a ainsi guidé vers des recherches dont est sortie la typographie.

La gravure sur bois et la gravure du poinçon sont des gravures de même nature, ce sont des gravures en relief, qui conservent en saillie les traits du dessin, et dont toutes les parties blanches sont creusées. On pourra donc employer simultanément pour la typographie les ressources de la gravure sur acier, et celles de la gravure sur bois. Ajoutez à cela que l'on a pour la gravure sur bois un moyen de reproduction analogue à celui que donne la fonderie pour reproduire la figure du poinçon (voyez POLYTYPIE, STÉRÉOTYPIE). Cet avantage de pouvoir être multipliée, et par suite de fournir un nombre indéfini d'épreuves, est la cause de la popularité et de l'extension qu'a pris dans ces dernières années ce genre de gravures employé pour les éditions dites *illustrées*.

Le rôle de chacune de ces gravures est bien distinct: la gravure sur acier plus lente et permettant des retouches multipliées convient bien pour la gravure des lettres, quand même la nécessité de frapper des matrices en cuivre ne ferait pas une nécessité de la gravure sur acier. En effet, la résistance de la matière sur laquelle on grave fixe la limite de la finesse des tins; et il est bien évident qu'on pourra amener les traits d'une partie saillante d'acier à un degré de finesse, auquel on ne pourrait amener un bois sans risquer de l'égrener.

De son côté, la gravure sur bois bien plus hardie, bien plus rapide, a permis de faire entrer dans l'impression des ouvrages de luxe des figures, qui, tirées en même temps que le texte, en facilitent singulièrement l'intelligence, sans en augmenter démesurément la valeur. Le présent ouvrage en est un exemple.

La gravure sur bois fut inventée ou introduite en Europe vers le commencement du quinzième siècle (1390-1430): il y eut à son apparition un grand cri de douleur et de scandale parmi les amis exclusifs de l'art. On était arrivé, à cette époque, au plus haut degré de perfection dans la miniature et dans l'écriture. Les Bibles étaient ornées de petites peintures fines, où resplendissaient les plus riches couleurs; les lettres, les mots, les lignes élégamment dessinés sur la chair délicate du parchemin semblaient vraiment vivre et parler aux yeux. Les cartes, inventées près d'un siècle avant, sous le règne de Charles VI, n'étaient pas moins admirables; mais les livres de dévotion et les cartes étaient rares, hors de prix, et seulement à l'usage des communautés religieuses, des châteaux et de quelques riches habitants des villes. Tout à coup on vit se répandre avec profusion, dans la bourgeoisie et parmi le peuple, de grossières images de saints rudement esquissées, aux figures contournées et barbares; des rois, des reines de cartes grotesquement croqués et dépouillés de leurs éclatantes robes; c'était la gravure sur bois qui faisait descendre l'art à la portée du plus grand nombre. Bientôt des légendes imprimées à l'aide de lettres taillées en relief, comme les figures sur les blocs de bois, accompagnèrent les gravures pour les expliquer, et de là le besoin de la lecture se propageant peu à peu, mena insensiblement à l'invention des caractères mobiles, et, enfin, à l'imprimerie perfectionnée, qui commença pour la popularité de la science la révolution que la gravure sur bois avait commencée pour la popularité de l'art.

La gravure sur bois, consacrée jusqu'alors à des représentations grossières, devint cependant un art entre les mains d'Albert Durer, né en 1471 à Nuremberg. Ce grand artiste, ami de Raphaël, grava des planches d'une admirable beauté; son estampe de la *Mélancolie*, ses *Vierges* font toujours l'admiration des artistes.

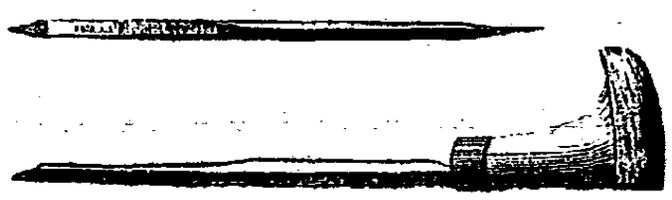
La France a possédé quelques artistes distingués qui se sont livrés avec succès à ce genre de gravure, tels furent Joliet le Suisse, l'Allemand Businck, Boutemont, les Lesueur, et en dernier lieu les deux Papillon. Depuis 1760, époque à laquelle vivait le dernier de ces artistes, la gravure sur bois, pratiquée par des artistes de peu de mérite, fut peu estimée. Elle se faisait sur bois de fil, à l'aide de pointes tranchantes, procédés qui se prêtaient mal à l'exécution de sujets de gravure très fine, comme doivent être ceux à intercaler dans les livres pour les éditions de luxe. Son emploi diminuait chaque jour, lorsque Thompson introduisit en France, vers 1815, la nouvelle gravure sur bois qui était née en Angleterre, et montra tout le parti qu'on pouvait tirer de son emploi pour obtenir les sujets les plus délicats. Ce procédé consistait à graver sur le bois debout par des procédés tout à fait analogues à ceux de la gravure en taille-douce sur cuivre, en profitant de la résistance des fibres dans le sens de leur longueur pour obtenir des traits fins, résistants.

Le graveur sur bois doit avoir au moins six burins et trois échoppes; les burins doivent être repassés sur les joues, de façon à ce qu'elles soient bien plates et bien polies, jusqu'à ce que les coups de lime du fabricant soient entièrement disparus (fig. 4116); ces burins doivent être aiguisés et gradués de grosseur, de manière à produire une teinte dégradée en coupant des tailles l'une près de l'autre.

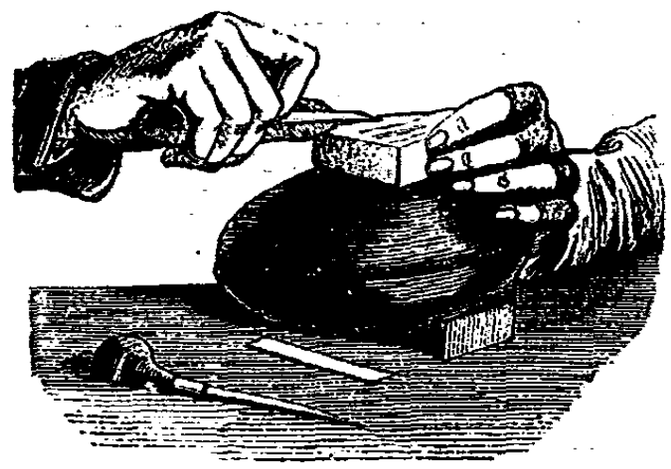
Alors le graveur, dans la position indiquée par la fig. 4117, commence par tracer avec son burin le plus

GRAVURE

ân tous les traits du dessin, à l'intérieur et à l'extérieur, jusqu'à ce que le dessin soit parfaitement découpé; dans les hachures croisées, il peut très finement tracer les hachures principales, et ensuite



1146.



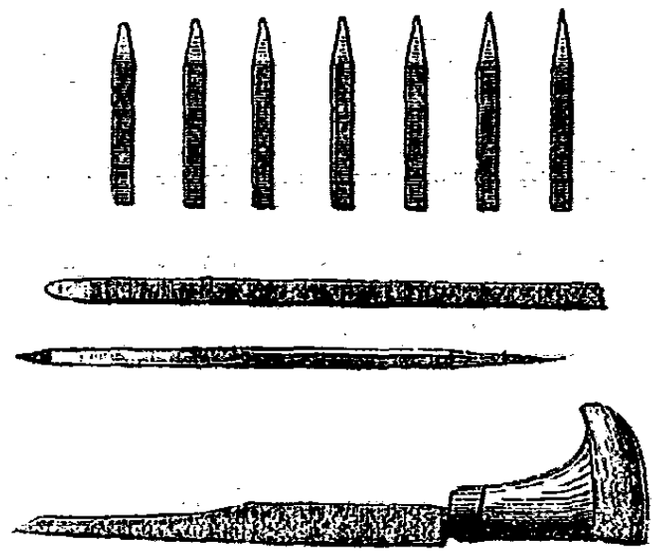
1147.

enlever les losanges: cette manière rend les lignes plus régulières, mais rend aussi la gravure plus sèche; il est donc préférable d'employer un moyen plus lent, il est vrai, mais qui donne des tons plus moelleux et plus doux; il consiste à tracer chaque losange en entrant le burin dans un angle du vide des hachures de manière à en couper la moitié, puis reprenant par l'angle opposé on coupe l'autre moitié et on fait sauter le bois. Lorsque la gravure est ainsi tracée, on prend une échoppe ronde, et avec le secours du support, qui est un petit morceau de bois plat et poli, qu'on place comme point d'appui sous le dos de l'outil, on trace un fossé assez creux le long du sillon fait par le tracé, en évitant de laisser la moindre aspérité de bois qui puisse nuire à l'impression; ensuite on n'a plus qu'à enlever les grands blancs avec une gouge et un maillet. Alors seulement la gravure est terminée; on encre le bois avec un tampon, puis appliquant un morceau de papier de chine et le frottant avec un brunissoir ou un couteau à papier, on en tire une épreuve qui indique si le travail est achevé ou s'il y a des retouches à faire.

C'est ainsi qu'ont été faits nos plus beaux livres illustrés, tels que le Molière et le Don Quichotte (fig. 1148), dessinés par Tony Johannot, et gravés par Porret, qui sont assurément nos plus belles illustrations en gravures d'épargne ou de tailles-fermes, ainsi appelées à cause du soin que prenait le graveur de ne rien omettre ni ajouter, afin de rendre fidèlement le fac-simile du dessin.

1148.

Un autre genre de gravure sur bois, que l'on pourrait appeler le genre classique, pratiqué le plus souvent par Thompson, et qui offre peut-être plus de difficultés sous le rapport artistique, consiste à graver les dessins lavés ou estompés; c'est dans ce travail que le graveur en bois approche le plus du graveur en taille-douce. Les moyens ne sont pas tout à fait les mêmes que dans la gravure d'épargne; le graveur doit avoir, outre ses burins, des langues de chat (fig. 1149) qui doivent être repassées comme nous l'avons dit pour les burins, et dont le nombre doit être de huit à dix, mais graduées



1149.

avec tant de soin qu'en faisant une teinte dégradée on ne puisse s'apercevoir du changement d'outil. Ainsi un graveur a un dessin représentant la fig. 1120, il

1120.

commence par baisser avec une échoppe plate tous les bords extérieurs de son ciel, ainsi que tous les traits isolés et fins; il a soin de les baisser de façon à avoir une pente douce et sans côtes; ceci évite à l'imprimeur une partie de la mise en train, et est un moyen excellent pour la conservation des bois. Alors le graveur fait son ciel, en ayant soin de changer d'outil à chaque ton différent, ensuite il prend le fond du paysage et arrive successivement aux premiers plans, en ayant soin de changer son travail à mesure qu'il représente des objets différents, afin que chaque chose soit bien distincte et que les travaux ne puissent se confondre. Dans ce genre de gravure on n'emploie guère que les langues de chat; le résultat de ce travail est infiniment plus doux que le travail exécuté par le burin, qui, lui, est plus convenable pour les figures et le croquis, sa coupe étant plus vigoureuse. Dans ce genre de gravure nous pourrions citer nombre d'artistes qui se sont distingués en France: Andrew, Brevière, Godard, Hébert, Gusman se sont fait une juste réputation d'habileté. Les gravures des machines qui demandent une grande fermeté de main se font également par ce procédé et doivent être rangées dans le genre classique. PÉGARD.

GRAVURE EN RELIEF A L'AIDE DES ACIDES. De nombreux essais ont été tentés pour obtenir la gravure en relief avec la même facilité qu'on exécute la gravure en taille-douce par l'eau-forte. *A priori* la chose paraît assez facile à obtenir. Ainsi en vernissant la planche, décalquant le dessin et enlevant à l'outil les parties placées entre les traits (procédé Carrez), ou plus simplement dessinant avec un vernis liquide (procédé Dembour), puis faisant mordre à l'acide, on creusera les intervalles du dessin et on obtiendra en relief les lignes destinées à le former. Mais, outre que ces deux procédés permettent difficilement d'obtenir une grande pureté de lignes, le premier parce qu'il sera plus difficile de conserver le

vernis en lignes fines que d'obtenir celles-ci sur le bois dont les fibres offrent de la résistance; le second parce que le vernis, assez liquide pour couler de la plume, s'étendra quelque peu sur la planche; on rencontre, pour tous les procédés analogues dans l'effet de la morsure de l'acide pour obtenir quelque saillie, un inconvénient énorme, c'est qu'il ne peut creuser un peu profondément sans fouiller en dessous des traits et les ronger.

Quelques artistes cependant ont obtenu des résultats assez satisfaisants par une habileté de main qui leur permet de recouvrir de petit vernis le talus des tailles après la morsure de l'acide, soit au pinceau, soit avec un rouleau; mais ce travail est long et d'un emploi difficile. De nombreuses recherches n'ont amené beaucoup d'artistes qu'à considérer comme impossible, d'une manière commerciale, la solution du problème de la gravure en relief par les acides, vu la profondeur des entre-tailles qu'exige la typographie.

La résistance du cuivre, qui rend très-lente et par suite coûteuse la gravure de ce métal, à cause surtout du travail nécessaire pour enlever le métal dans les grands blancs, est cependant avantageuse pour les gravures qui exigent une grande pureté de lignes, les dessins géométriques, par exemple, parce que cette résistance permet des retouches multipliées pour amener le trait à une grande finesse, en raison de la résistance du métal, comme cela a lieu pour l'acier dans la gravure en typogeaphie. Aussi quelques artistes ont-ils exécuté sur cuivre des œuvres très-remarquables, mais qui sont de véritables tours de force. M. Viesener, qui a fait en ce genre de fort beaux travaux, partait d'une gravure à l'eau-forte; puis, avant d'enlever le vernis, il dorait les fonds du dessin, dévernissait, puis faisait mordre toute la planche. L'acide n'attaquant pas les parties dorées, celles-ci restaient en relief, ce qui lui fournissait une ébauche qui s'appliquait heureusement à quelques travaux très serrés.

Il est assez facile de concevoir un outil qui creuserait très-rapidement les grands blancs; telle serait une petite fraise verticale mue avec une grande vitesse, qui permettrait d'enlever les intérieurs et d'approcher très-près des contours du dessin. M. Claudet est inventeur d'une machine qui satisfait aux conditions de ce problème d'une manière très-satisfaisante. Il a gravé par son procédé les figures en relief sur cuivre de plusieurs importantes publications. Les figures de cet article, relatives à la gravure en typographie, ont été gravées sur cuivre par ce procédé.

Paniconographie. Ce procédé, dû à M. Gillot, est fort simple, mais exigeait une grande pratique pour parvenir à des résultats de quelque valeur. Quelques mots suffiront pour faire comprendre ce principe.

Qu'on suppose encré, avec une encre suffisamment grasse, le dessin lithographié ou gravé sur pierre qu'il s'agit de reproduire. Rien ne sera plus facile que d'en prendre une épreuve sur du papier à report; et cette épreuve ainsi préparée, étant appliquée, avant d'être bien séchée, sur une planche de zinc bien poncée, bien polie, pourra fournir sur ce métal une contre-épreuve aussi pure que le dessin sur pierre. Pour obtenir ce dessin en relief, il s'agira donc de faire mordre toutes les parties du zinc qui n'auront pas été recouvertes par l'encre de la contre-épreuve. Or c'est précisément dans cette opération que gît toute la difficulté; car l'encre d'imprimerie par elle-même n'offre que bien peu de résistance à l'action des acides, et surtout d'acides assez énergiques pour fournir les reliefs nécessaires pour l'impression typographique. On pourrait croire, dit M. Du Moncel dans un rapport à la Société d'Encouragement auquel j'emprunte cette description, qu'en ménageant les morsures et en les faisant successivement, on pourrait, jusqu'à un certain point, résoudre cette difficulté; mais le problème est infiniment plus complexe, car le degré de ces morsures devant être différent suivant les teintes du dessin, il faut nécessairement mettre à l'abri les parties suffisamment préparées après chaque opération. Voici comment s'y prend M. Gillot pour obtenir ce résultat :

D'abord, pour donner plus de résistance à l'encre du report, il saupoudre sa planche de fleur de résine, qu'il étend délicatement sur le dessin avec un blaireau; après quoi, il place la planche dans la cuve de gutta-percha où doit se faire le mordançage.

Cette cuve doit avoir une disposition particulière, en raison du mouvement continuel qu'on est obligé de donner au liquide acidulé pour empêcher la stagnation des sels formés par l'acide et le zinc, et pour qu'il puisse réagir d'une manière nette et uniforme sur la planche. Cette cuve est disposée en bascule et pivote sur deux coussinets fixés sur le bâti qui la supporte, comme celles employées pour la gravure des rouleaux destinés à l'impression des tissus.

Le liquide acidulé qu'emploie M. Gillot n'est autre chose que de l'eau acidulée avec de l'acide nitrique. Ce liquide doit être essayé à chaque opération, au moyen d'une pierre lithographique sur laquelle on jette quelques gouttes. Par le dégagement plus ou moins rapide des bulles de gaz acide carbonique qui se trouvent alors formées, il est facile de juger du degré de force du liquide.

On commence d'abord par une morsure très-légère, et cette morsure est destinée à attaquer seulement les petites parties blanches qui existent dans les teintes les plus foncées. Pour la faire, on fait basculer successivement la cuve pendant un temps plus ou moins long, et on achève l'extraction des sels formés par l'action de l'acide nitrique au moyen d'un blaireau. Ordinairement cette première morsure exige un quart d'heure environ. Quand on a jugé la morsure de ces parties claires des teintes foncées suffisante, on retire la planche de la cuve, on l'essuie, puis on la sèche et on la place au-dessus d'un gril chauffé en dessous au moyen de poussier de charbon enflammé qu'on a soin de répartir également sous de la cendre chaude. Sous l'influence de cet échauffement, la légère couche de résine répandue sur le dessin se fond doucement, ainsi que l'encre, et se déverse dans toutes les petites cavités formées par cette première morsure. Toutefois, comme cette couche n'est un peu épaisse que sur les noirs vifs et les teintes très-foncées, ce premier échauffement ne bouche que les petits points clairs qui se trouvent au milieu de ces teintes. Aussitôt que cet effet est produit, la planche est retirée de dessus le gril et refroidie à l'air libre; après quoi, on l'encre parfaitement avec le rouleau lithographique, comme si on devait en tirer une épreuve. On recommence ensuite à la saupoudrer de fleur de résine pour la mettre en état de subir une nouvelle préparation.

Cette nouvelle préparation doit attaquer les teintes un peu moins foncées du dessin, et en conséquence elle doit être un peu plus énergique. L'opération, d'ailleurs, se conduit exactement comme la première fois; seulement le degré d'échauffement de la plaque, quand elle est placée sur le gril, doit être un peu plus élevé; et, comme le dessin lui-même est plus chargé d'encre et de résine, la fusion de la couche s'étend davantage, ce qui bouche des cavités ménagées dans la première opération.

Après avoir de nouveau encré le dessin et l'avoir saupoudré, pour la troisième fois, de fleur de résine, on commence la troisième morsure, qui provoque un nouvel échauffement de la plaque, puis une nouvelle fusion de la couche protectrice, et on commence de la même manière quatre, cinq, six, sept morsures, jusqu'à ce que le dessin ne présente plus qu'une masse noire uniforme, sans distinction de demi-teintes. Alors on prépare la

planche avec de l'eau acidulée très-fortement (une partie d'acide sur douze d'eau) qui creuse définitivement les parties complétement blanches. Cette dernière préparation se fait toute seule et dure trois quarts d'heure.

Quand les blancs occupent sur le dessin une surface un peu large, on les recouvre de gomme laque liquide avant la première opération, afin de maintenir davantage la force de l'acide et de donner du soutien au rouleau typographique, lorsqu'on encre la planche après chaque morsure. On découpe ensuite ces parties à la scie, avant d'appliquer sur bois la plaque de zinc qui est devenue un cliché.

Maintenant on comprendra quel soin il faut apporter à l'action du mordant pour que toutes les lignes délicates, les teintes faibles et les parties fines d'un dessin soient suffisamment ménagées, et c'est en cela surtout que M. Gillot a fait preuve d'une habileté rare.

C'est surtout à la reproduction des cartes géographiques en relief, dont la gravure sur bois est longue, difficile et coûteuse, que ce procédé a été appliqué avec succès; il a fourni, dans quelques cas, des résultats assez remarquables.

Gravure sur pierre lithographique. Les difficultés de la gravure en relief paraissent devoir être beaucoup moindres quand on opère sur la pierre lithographique. Le dessin lithographique obtenu avec un crayon gras pénètre un peu la pierre; il préservera donc des traits de l'action de l'acide, surtout en l'employant à appliquer un vernis, et à servir de véhicule pour faire pénétrer la matière grasse dans la pierre.

C'est sur cette propriété qu'est basé le procédé de M. Girardet. Il compose un vernis, qui adhère fortement à la pierre, et formé de : cire vierge, 2 parties; poix de Bourgogne et poix noire, de chaque 1/2 partie; poix grecque ou spalt, 2 parties. Cette dernière substance est ajoutée aux autres fondues et mélangées; puis le mélange est versé dans l'eau tiède, malaxé et réduit en boule, que l'on dissout dans l'essence de térébenthine pour obtenir le degré de liquidité convenable.

Le dessin tracé, on encre avec ce vernis ; puis, bordant la pierre avec de la cire, on fait mordre l'acide composé d'eau et d'acide nitrique en petite quantité; après cinq minutes, on retire l'acide, et on passe le vernis avec le rouleau, puis encore l'acide.

Le danger que l'acide ne creuse en dessous, ce qui empêcherait le moulage et la reproduction des pierres, ne permet pas que l'on obtienne dans les grands blancs un vide suffisant par ce procédé. M. Tissier était arrivé d'une manière assez remarquable à creuser la pierre par échelons, en éloignant ainsi l'action de l'acide des traits fins. Voy. LITHOGRAPHIE.

En général dans la pratique tous ces procédés ont échoué. Les gravures obtenues chimiquement, formées de traits mordus sur les contours, ne pourront jamais avoir de valeur artistique comparable au produit du burin d'un habile artiste qui apporte à chaque partie du dessin le soin convenable en raison de son degré d'importance dont chaque coup de burin contribue à rendre de la manière la plus convenable le travail du dessinateur. Mais même, en limitant les prétentions de tout procédé physico-chimique, à rendre le travail du dessinateur qui est aussi fréquemment défiguré par le graveur, tous les procédés ci-dessus ne fournissent pas de solution satisfaisante. Fondés sur l'action de l'eau-forte, celle-ci ne saurait être prolongée comme il est nécessaire pour la gravure en relief, qui ne peut se contenter des creux minimes suffisants pour l'impression en taille-douce; l'acide rongeant latéralement aussi bien que verticalement. C'est en vain que l'on a cherché dans l'électricité, dans la dorure, dans des encrages partiels, etc., etc., les moyens d'éviter cet inconvénient grave, inhérent au procédé même. La multiplicité même des essais, comme l'habileté des artistes, a prouvé que les procédés de cette nature n'étaient susceptibles de s'appliquer qu'à quelques travaux imparfaits et à bon marché.

GRAVURE PAR DÉPOT *en creux ou en relief à l'aide de la capillarité.* — *Procédé Dulos.* C'est lorsque la question était parvenue à cet état que M. Dulos a eu l'honneur de trouver une voie toute nouvelle, toute autre que celle que l'expérience forçait à condamner, un procédé appelé à un grand avenir. Je fonde cette conviction sur le grand développement qu'a pris la lithographie, qui repose essentiellement sur le même principe que l'invention dont nous parlons. Pour la lithographie, c'est parce que la pierre se mouille par l'eau, dans les parties où il n'y a pas de dessin, et ne s'attache pas à celles où a passé le crayon gras du lithographe, que le rouleau couvert d'encre grasse dépose cette encre sur les parties dessinées de la pierre et nullement sur les autres. On va voir la similitude parfaite des deux procédés; mais, avant de reproduire la note si intéressante de l'inventeur, je ferai remarquer l'heureux emploi qui y est fait des procédés de la galvanoplastie. C'est par des applications de ce genre des ressources nouvelles procurées par les dernières découvertes que s'accomplissent les progrès importants, et il est certain que, grâce à la photographie, et à des inventions de la nature de celle dont nous parlons, utilisées par des artistes connaissant bien toutes les ressources des divers procédés comme M. Dulos connaît toutes celles des divers genres de gravure, les arts graphiques reçoivent de nos jours les développements les plus merveilleux et font des conquêtes admirables.

Le procédé Dulos repose sur l'observation suivante des phénomènes capillaires. Si l'on verse du mercure sur une surface d'argent posée de niveau, et sur laquelle on a préalablement tracé quelques lignes avec un vernis, il se forme à droite et à gauche de chaque ligne deux ménisques convexes, et le mercure s'élève d'une certaine hauteur au-dessus de la surface de l'argent. La même expérience peut se faire sur une feuille de verre dépoli en traçant des lignes avec un corps gras, et en jetant de l'eau sur toute la surface. On peut d'ailleurs dire que tout liquide mouillant une surface sur laquelle on a tracé des traits avec un corps qui ne se laisse pas mouiller lui-même se comporte de la même manière que le mercure sur l'argent et l'eau sur le verre.

On prend donc une plaque d'argent ou de cuivre argenté, on transporte ou décalque, ou l'on produit sur sa surface un dessin quelconque (tous les procédés de décalque ou de transport peuvent également servir). Pour mieux fixer les idées, supposons que ce soit un dessin fait directement sur la plaque avec un corps gras, tel que le crayon des lithographes.

On dépose sur cette plaque, au moyen de la pile, une couche très-mince de cuivre ou de fer; supposons que ce soit du fer; il est évident que le fer ne se déposera que sur les parties qui n'ont pas été touchées par le crayon; si l'on enlève le crayon avec de l'essence de térébenthine, on a une plaque où les parties blanches du dessin sont représentées par une couche mince de fer, et les traits du crayon par l'argent même. Si maintenant on jette du mercure sur la surface de la plaque, il ne s'attachera que sur l'argent, et en chassant avec un pinceau très-doux l'excès de mercure qui se trouve sur le fer, on a un relief à la place où se trouvait précédemment le crayon.

Dans le cas où on aurait déposé du cuivre au lieu de fer, il serait utile d'en oxyder la surface avant de jeter le mercure, et pour cela il suffirait de chauffer la plaque en dessous.

On n'a plus qu'à prendre une empreinte pour avoir une gravure en taille-douce, dont les creux sont re-

GRAVURE.

présentés par les saillies du mercure. Il n'est guère possible de prendre une empreinte pareille avec autre chose que du plâtre, de la cire fondue, etc., corps beaucoup trop mous pour donner une impression convenable; mais il est facile de métalliser la surface de cette empreinte, et d'y faire un dépôt de cuivre, qui, une fois détaché, sera la reproduction exacte de la planche qui contient les saillies formées par le mercure; on n'a plus qu'à se servir de cette plaque comme d'une matrice, pour faire en métal autant de planches que l'on voudra, pouvant servir à l'impression en taille-douce.

Si l'on veut faire une gravure en relief, on dessine sur une plaque de cuivre, on dépose au moyen de la pile une couche d'argent qui ne se met que sur les parties non touchées par le crayon; on enlève le crayon avec de l'essence de térébenthine ou de la benzine, on oxyde le cuivre qui se trouvait sous le crayon, et on continue les opérations indiquées plus haut.

La planche métallique destinée à l'impression se trouve alors avoir pour saillies les traits mêmes du dessin, et les vides sont représentés par l'épaisseur du mercure qui croît avec la largeur des traits, et par suite fournit des vides croissants avec la profondeur, terminés par des plans inclinés vers les traits saillants, comme dans le travail du burin.

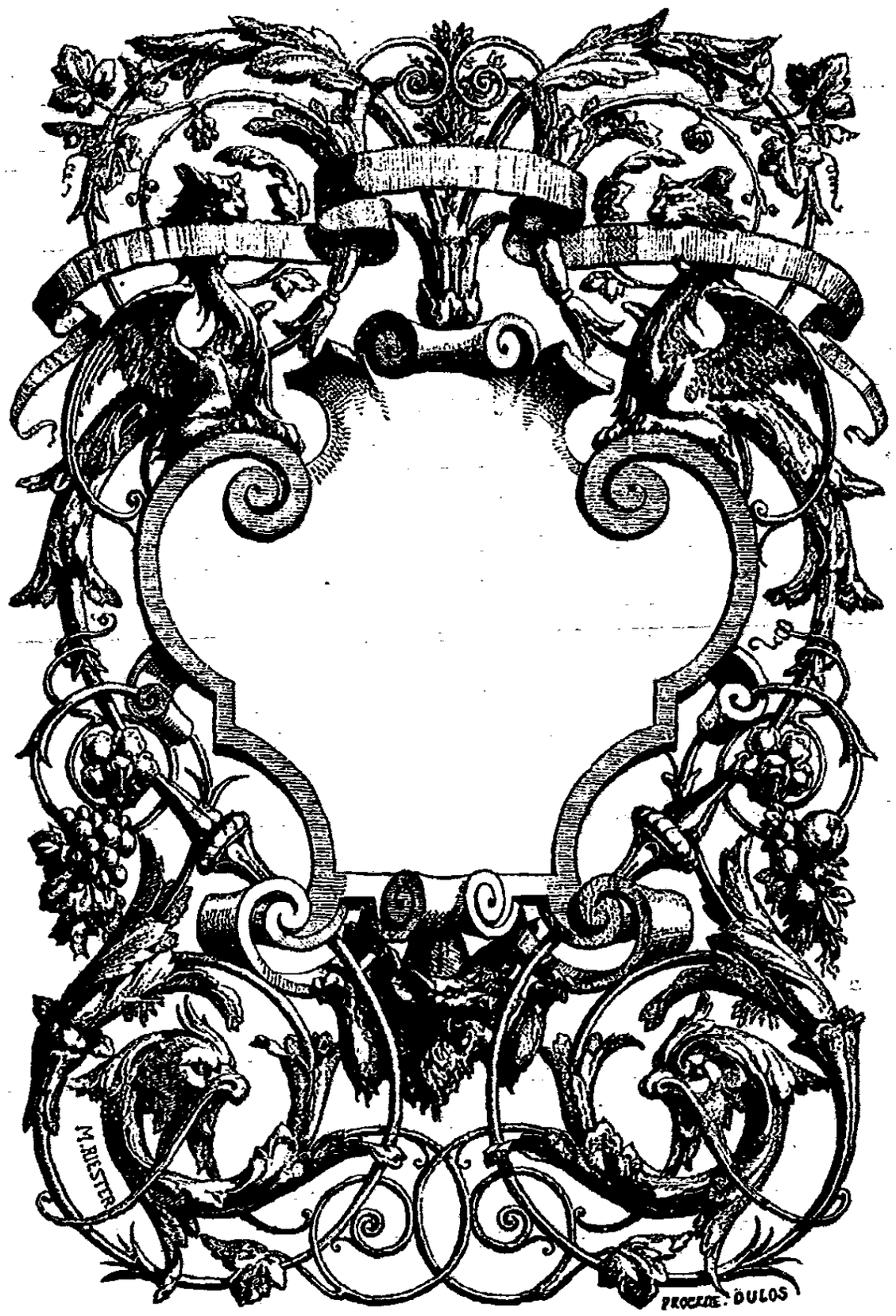


Fig 1121.

Voici un moyen plus simple d'opérer, qui supprime le moule en cire et la contre-empreinte en cuivre. Le mercure n'étant autre chose qu'un métal liquide à la température ordinaire, il est facile de le remplacer par un autre fondant à une basse température, tel que le métal Darcet, auquel on ajoute une petite quantité de mercure, ou par tout autre métal amalgamé; lorsqu'il est fondu, ce métal se comporte exactement comme le mercure. Après son refroidissement, on n'a plus qu'à faire un dépôt métallique au moyen de la pile pour avoir une planche bonne à imprimer et qu'il sera facile de remplacer en conservant la planche matrice.

Avec le métal fusible on ne doit pas opérer à l'air libre, il est préférable de mettre la plaque sous une couche d'huile, qu'on fait chauffer à une température de 80° environ, la température à laquelle se fond le métal; on évite ainsi l'oxydation qui se forme à l'air libre et nuit au succès de l'opération; de plus, le métal se met avec plus de facilité et s'élève à une plus grande hauteur au-dessus de la surface de la planche. De même on peut mettre le mercure sur la planche, sous la couche de cire fondue qui sert à prendre l'empreinte, et, dans ce cas, le mercure se place plus facilement sur l'argent.

Ces faits, qui paraissent extraordinaires au premier aspect, sont faciles à comprendre quand on sait que le mercure ou le métal fondu mouillent l'argent sans toucher le fer, et que la cire fondue et l'huile mouillent le fer sans mouiller le mercure ou le métal fondu.

La figure 1121 représente un bel échantillon des produits que ce procédé permet d'obtenir. C'est l'œuvre d'un habile dessinateur d'ornements, M. Riester, qui

l'a dessiné directement avec une pointe sur une plaque métallique recouverte de vernis blanc, d'un enduit formé avec du blanc d'Espagne et du caoutchouc dissous. Sans intervention du travail du graveur, l'œuvre de l'habile dessinateur a été mise en relief et est ici tirée à la presse mécanique.

M. Dulos a encore fait progresser son procédé qui s'applique à la gravure en creux et en relief, surtout pour le premier cas, en employant un amalgame de cuivre qui durcit en peu de temps et qui, appliqué au rouleau et ne mouillant que l'argent, lui permet de relever le fonds avec une grande délicatesse et par suite d'obtenir très-rapidement des gravures en taille-douce d'une grande pureté C'est, en général, en passant par une taille-douce ainsi formée, dont il peut tirer épreuve, qu'il arrive aujourd'hui aux gravures en relief. On peut faire aisément sur la première gravure toutes les retouches convenables, puis, remplissant les tailles en matière non conductrice, il élève les fonds du dessin, et, enfin, un moulage lui donne la gravure en relief.

Les ressources que fournit cette ingénieuse découverte pour obtenir des résultats entièrement nouveaux bien plutôt que pour lutter contre les anciens procédés de gravure, à cause de la cherté du dessin dont la perfection est nécessaire et de quelques retouches qu'il est difficile d'éviter, sont considérables. La facilité de superposer dessins sur dessins pour timbres-poste et gravures infalsifiables, la possibilité de graver directement des épreuves photographiques, à la seule condition que l'application par pression de celle-ci sur une plaque métallique change la conductibilité des surfaces suivant qu'elles ont été ou non impressionnées par la lumière, ce que fournissent plus ou moins complétement plusieurs procédés photographiques, font de cette ingénieuse découverte une des plus heureuses qui aient été faites depuis longtemps.

Gravure de pierres fines, cachets, etc. L'artiste commence par modeler en cire sur un morceau d'ardoise les figures qu'il veut graver; puis il fait choix d'une pierre fine taillée par le LAPIDAIRE; ensuite, il met en mouvement le *touret*, qui consiste principalement en une petite roue d'acier, placée dans une espèce de boule, laquelle est mise en mouvement par une autre grande roue de bois que le graveur fait aller avec le pied. La roue d'acier fait marcher, suivant le besoin, plusieurs petits outils de fer doux non trempé ou de cuivre jaune, qu'on enchâsse dans une espèce de tuyau. De ces outils, les uns ont à leur extrémité la forme d'une tête de clou tranchante sur les bords, on les appelle *scie;* les autres ont une petite tête exactement ronde comme un bouton : on les nomme *boute-rolles*.

Les formes des outils qui se placent dans l'axe creux de la partie supérieure du touret ont des formes très-variées, en général celle d'un petit disque. Pour obtenir des lignes fines, il faut que l'outil soit tranchant, tandis que pour creuser des parties larges, il est arrondi et est quelquefois presque sphérique. L'outil arrondi coupe bien plus rapidement que celui qui agit par une partie plate; le premier est habituellement employé pour effectuer la grosse part du travail, tandis que le second ne sert qu'à dresser la surface.

Ces outils sont tellement petits qu'ils ne peuvent être faits à la lime seule, mais quand on les a faits à l'aide de celle-ci aussi petits que possible, on les use en les faisant travailler dans des rainures jusqu'à ce qu'ils atteignent la finesse convenable. Il faut veiller à ce que la surface des outils reste polie, autrement l'outil déchire au lieu de couper. Cet effet est prévenu par un fréquent usage d'une lime douce.

La poudre de diamant employée pour ce travail forme une espèce de pâte par son mélange avec de l'huile d'olive; la pâte est placée dans une petite coupe conique; on doit à chaque moment en appliquer sur l'outil, où le graveur manie avec l'index de la main droite une petite lame d'étain à laquelle sont soudés deux petits disques d'environ un demi-pouce de diamètre; l'un d'eux contient une très-petite quantité de pâte de diamant et l'autre une ou deux gouttes d'huile de poisson. La pâte de diamant est appliquée sur l'extrémité de l'outil pendant que l'outil est mû lentement; l'outil est ensuite humecté avec de l'huile et le travail se continue jusqu'à ce que l'huile soit disparue. L'outil ne doit pas travailler trop à sec, car la pâte de diamant se détacherait de l'outil qui peut alors s'user au lieu d'user la pierre.

La pierre qu'on veut graver est ordinairement montée sur la tête d'une petite poignée de bois, où elle est cimentée avec du mastic. Le graveur la prend de la main gauche, et la présente contre l'outil mis en action par le *touret*, et de la main droite il tient la petite spatule dont le bout a été trempé dans de l'huile d'olive, dans laquelle est délayée de la poudre de diamant.

Lorsque les pierres sont gravées, on les polit avec du tripoli sur des roues formées de brosses faites de poil de cochon.

Les *camées* sont des pierres dures, gravées en relief par un travail semblable à celui que nous venons de décrire. Les pierres que l'on choisit sont des agates onyx formées de deux couches, l'une blanche et l'autre noire, soit des cornalines qui présentent une succession semblable de rouge et de blanc. La figure est généralement gravée sur le blanc, le noir étant réservé pour le fond.

On fait à bien meilleur marché des camées que l'on grave sur des coquilles, matière bien plus facile à travailler, mais aussi bien moins durable. C'est alors une sculpture sur une matière assez tendre, à l'exécution de laquelle l'emploi du tour à portrait s'applique industriellement pour produire une précieuse ébauche. (Voyez TOURS COMPOSÉS, *Complément.*)

Gravure des monnaies, médailles, etc. Les coins au moyen desquels se frappe la MONNAIE (voir ce mot) ne sont pas gravés directement; ils sont obtenus par la frappe d'un poinçon-étalon trempé, dans le coin adouci, que l'on trempe ensuite pour frapper la monnaie.

Le travail du graveur en médailles, qui exige un si haut degré d'habileté pour rendre par de faibles inflexions des effets multiples, des figures demandant tant de pureté, peut difficilement s'analyser d'une manière quelque peu satisfaisante au point de vue de l'art qui est un annexe de la sculpture. Quant aux procédés, au travail de l'acier, ils se rapprochent de ceux analysés à GRAVURE EN TYPOGRAPHIE, le travail étant semblable, sauf qu'au lieu de surfaces plates, il faut obtenir des rondes-bosses.

La première opération du graveur consiste à dessiner ces figures, et ensuite les modeler de grande dimension en cire blanche, suivant le relief et la grandeur qu'il veut leur donner; on obtient ensuite une réduction de grandeur convenable à l'aide du TOUR A PORTRAIT, en partant d'un moulage en plomb antimonieux du type primitif. C'est ce travail qui rend toutes les indications que l'on a pu faire suffisamment sensibles sur le modèle, qu'il n'y a plus qu'à retoucher pour obtenir le poinçon en relief qui doit être reproduit en creux sur le coin.

Les outils qu'on emploie pour ce travail sont des ciselets, des burins, des échoppes, des rifloirs, etc.

Lorsque le poinçon servant à faire les coins qui doivent frapper la monnaie a été trempé et enfoncé dans l'acier destiné à former le coin, celui-ci est terminé, quant aux lettres, légendes, au moyen de poinçons isolés que l'on enfonce à la place et à la profondeur convenable.

Une des conditions les plus essentielles de succès consiste dans le choix de la meilleure espèce d'acier. L'on peut jusqu'à un certain point s'en rapporter à l'expérience du forgeron qui a préparé l'acier et qui, s'il est habile dans son art, sera en état de porter un jugement à peu près exact de la qualité du métal à employer, par la manière dont il se travaille sur l'enclume. L'acier doit être d'un grain plutôt fin que gros, et surtout tout uni, très égal, et exempt de taches. L'acier très fin avec une cassure soyeuse, estimé pour la coutellerie, n'est pas convenable, parce qu'il est sujet à se fendre ou à se casser. L'acier d'un grain très gros est encore défectueux; il s'y fait des fentes sous le balancier, et rarement il se trempe également et convenablement. Le point principal est donc de choisir un acier d'une qualité moyenne quant à la finesse.

Après avoir ainsi choisi la meilleure qualité d'acier, et l'avoir convenablement forgé à une grande chaleur, le plus souvent en soudant l'une sur l'autre des lames d'acier, on fait recuire celui-ci très soigneusement, et dans cet état on le polit extérieurement, on le dresse sur le tour, puis on le remet au graveur.

Le procédé pour faire recuire le poinçon consiste à le chauffer jusqu'au rouge-cerise, et à le faire refroidir lentement. Pour le chauffer on le place, dans un creuset de fer, entouré de poudre de charbon de bois. La gravure faite, il faut le tremper, c'est-à-dire après l'avoir chauffé au rouge, le plonger dans une grande quantité d'eau froide. Mais la masse d'acier étant considérable, l'opération de la tremper est d'une grande difficulté, d'autant plus qu'il faut en même temps prendre grand soin de ne pas endommager la surface gravée. On évite cet accident en couvrant la face gravée du coin d'un enduit composé d'huile épaissie avec de la poudre de charbon de bois : quelques personnes y ajoutent de la terre de pipe, d'autres emploient une gousse d'ail, mais l'huile remplit parfaitement l'objet. On en étend une couche mince sur le poinçon, qui, par précaution, peut encore être garni d'une virole de fer; le coin est alors placé, la face en bas, dans un creuset, et complétement environné de charbon de bois pulvérisé. On le chauffe à une température convenable, c'est-à-dire à peu près au rouge-cerise, et une fois dans cet état on le retire avec des pinces, et on le plonge dans une masse d'eau suffisante pour qu'elle ne puisse s'échauffer beaucoup par l'action de l'acier porté au rouge; là le poinçon doit être remué avec rapidité, jusqu'à ce que tout bruit cesse, et ensuite on le laisse dans l'eau jusqu'à ce qu'il soit tout à fait froid. Dans cette opération il doit produire un bruit sifflant et bouillonnant; mais si au lieu de cela le bruit est chantant, on peut généralement craindre une cassure ou une fente.

Le poinçon étant gravé et placé sous un puissant balancier, est enfoncé dans le coin; celui-ci est ensuite trempé.

On n'a trouvé aucun procédé qui soit plus convenable pour durcir les coins, que le moyen simple et commode indiqué ci-dessus, quoique beaucoup aient été tentés inutilement.

Après la trempe on doit encore prendre quelques précautions pour protéger les coins; une d'elles consiste en un genre de recuit très doux, qui se produit en les mettant dans de l'eau dont on élève graduellement la température jusqu'à l'ébullition, et que l'on laisse ensuite refroidir spontanément. Cette opération rend le coin moins sujet à se casser par un temps très froid. On obtient aussi une très grande sauve-garde en garnissant le coin froid d'un cercle de fer rouge, qui, se resserrant quand il se refroidit, en maintient toutes les parties, prévient l'extension des fentes extérieures, et donne souvent les moyens d'employer le coin pour faire à son tour un poinçon, ce qui le briserait en morceaux, sans le cercle protecteur.

Si le coin a été convenablement trempé, il faut le nettoyer et le polir, et dans cet état il constitue ce qu'on appelle en termes techniques MATRICE. Il peut être employé pour frapper les médailles, monnaies, etc., mais on ne se sert pas généralement du premier obtenu pour cet usage, de peur qu'il ne lui arrive quelque accident sous le balancier, et parce que l'artiste ne termine guère son travail que sur celui-ci. On s'en sert pour refaire, par une opération inverse de celle qui a produit le coin, un poinçon en relief, avec lequel on frappe un grand nombre de coins définitifs qui servent pour battre monnaie.

GRÈS (*angl.* sandstone, *all.* sandstein). Roche arénacée très répandue dans la nature. Voyez GÉOLOGIE.

GRENADE. Sorte de petite bombe que l'on lance à la main.

GRENAT (*angl.* garnet, *all.* granat). Minéral d'une dureté à peu près égale à celle du quarz, ordinairement cristallisé en dodécaèdres rhomboïdaux ou en trapézoèdres et de couleurs variées. C'est un silicate multiple, fusible au chalumeau : sa densité varie de 3,35 à 4,25. Quelques variétés de hyacinthes, et surtout celle d'un beau rouge dite *pyrope* ou *escarboucle orientale*, sont employées dans la bijouterie. Les plus beaux pyropes viennent du royaume de Pégu et de l'île de Ceylan; en Europe, on en trouve aussi de très beaux, près de Mirowitz en Bohême, où ils donnent lieu à une exploitation assez considérable.

Les grenats se trouvent ordinairement entre les feuillets des schistes de transition les plus anciens.

On fabrique de beaux grenats artificiels, en fondant ensemble : 931 grammes de strass incolore (voyez VERRE); 477 grammes de verre d'antimoine; 1 gramme de pourpre de Cassius, et 1 gramme de peroxyde de manganèse.

GRILLAGE DES MINERAIS. Voyez MÉTALLURGIE.

GRILLAGE DES TISSUS (*angl.* singeing of webs, *all.* sengen). Quand on examine des fils de coton, on les trouve recouverts, sur toute leur surface, d'un duvet qui, après le tissage, se retrouve à la surface et dans les intervalles des fils. Pour que ces étoffes puissent être employées, surtout si elles doivent être soumises à l'impression, il est indispensable de détruire ce duvet. Dans quelques fabrications, il est nécessaire, après l'action de ciseaux ou *forces*, pour obtenir une surface lisse, de détruire l'extrémité des filaments, dont l'inégalité de longueur produirait un effet très-désagréable.

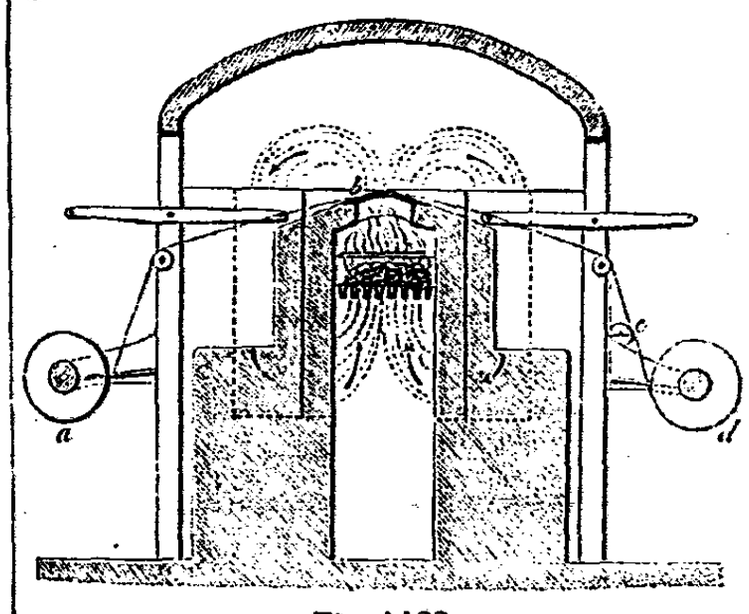


Fig. 1122.

Le premier mode de grillage est celui qui s'obtient en faisant passer d'une manière uniforme et rapide l'étoffe sur une plaque de fer ou de cuivre portée au

rouge. La fig. 1122 représente l'appareil perfectionné par M. Thown. *a* est un cylindre sur lequel est enroulée la pièce à griller; elle passe sur la plaque rouge *b*, où elle se grille, et de là vient s'appuyer sur un petit cylindre *c*, en partie immergé dans l'eau; par ce moyen, l'action du feu ne dépasse pas la limite voulue, puis l'étoffe est enroulée sur le cylindre *d*. Comme les produits du grillage sont quelquefois fort désagréables, ils sont entraînés dans le foyer au moyen de l'appel qu'il produit et y sont consumés. Les flèches montrent le chemin suivi par ces vapeurs depuis la surface de l'étoffe jusqu'à la partie inférieure du centre de l'appareil et de là dans le foyer.

Les plaques en cuivre rouge durant beaucoup plus que celles en fonte, et, étant moitié moins épaisses, produisant par suite une économie notable de combustible, doivent être préférées à ces dernières.

Le velours ne doit être flambé que sur une seule face; mais les toiles de coton, la dentelle, le sont en général des deux côtés.

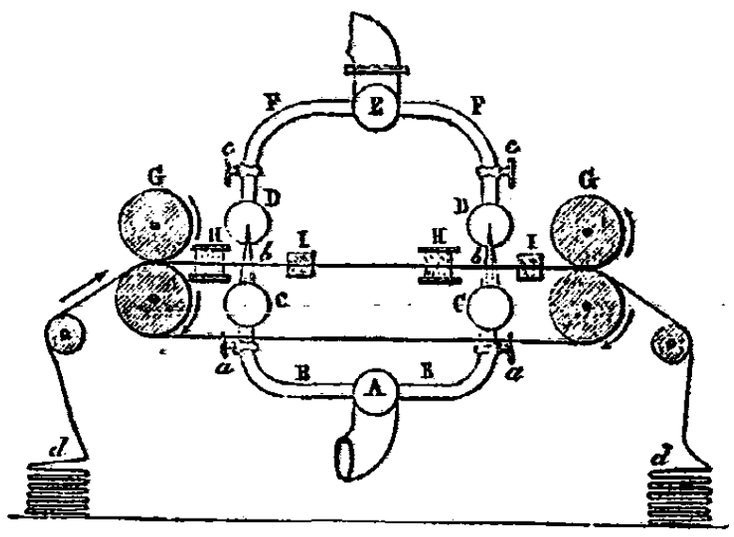


Fig. 1123.

La fig. 1123 est une coupe verticale du second système, de l'appareil de grillage au gaz, qui est un perfectionnement de la disposition originairement inventée par Haal, compliquée par l'emploi de petits gazomètres propres à fournir le gaz nécessaire pour le travail, que l'emploi du gaz courant, si répandu partout aujourd'hui, a rendu inutiles. Sa largeur doit être suffisante pour y passer des pièces de la plus grande dimension. Le tuyau A s'étend d'une extrémité à l'autre de la partie inférieure de la machine et amène du gaz d'éclairage; les tuyaux BB sont branchés sur lui et sont au nombre de cinq de chaque côté. Les tuyaux C, C, sont réunis avec ces branches et sont percés de trous fins, écartés les uns des autres de 1/8 de pouce; les tuyaux BB sont munis de robinets *a*. Au-dessus des tuyaux C, C, sont les tuyaux D, D, qui sont ouverts vers le fond, suivant la longueur, et communiquent par les branchements FF avec un large tuyau E, dans lequel un ventilateur produit une aspiration. Deux paires de cylindres G G de bois, couverts de futaine, tournent dans les directions marquées par les flèches et font avancer la pièce d'étoffe *d d*, avec une vitesse d'environ 1m.20 par seconde. La paire de rouleaux de droite G G est mue par une courroie et une poulie; l'autre paire est mue par une courroie qui passe sur les rouleaux inférieurs de chaque paire. H H sont des brosses doubles qui enlèvent tout corps étranger; les rouleaux I I de bois couverts de futaine servent à arrêter l'action du gaz qui, trop longtemps prolongée, altérerait l'étoffe.

Pour employer cet appareil, les deux rangées de becs de gaz sont allumées et les longueurs des flammes réglées avec les robinets pour qu'elles soient bleues, c'est-à-dire disposées pour brûler plutôt que pour éclairer; quand la ligne de feu est bien établie, le bout de la

première pièce est engagé entre les cylindres de gauche et tiré à l'aide de rubans qui lui sont attachés, et l'opération marche rapidement une fois ce bout arrivé aux rouleaux de droite, les pièces à griller étant attachées les unes à la suite des autres, et par suite le travail ne s'arrêtant plus.

L'expérience a fait reconnaître que cet appareil à griller au gaz, avantageux pour la rapidité de la production, avait un défaut grave, à savoir de faire paraître l'étoffe plus mince qu'elle n'est en réalité, la flamme passant à travers les fils, brûlant les poils de l'intérieur du tissu et n'agissant pas seulement sur la surface; ce qui pour les étoffes légères surtout, était un défaut très-grave. C'est pour cela qu'il était moins employé jusque dans ces derniers temps que la plaque rougie qui ne modifie que l'aspect de la surface. Il en est autrement pour les fils à coudre qui, devant être parfaitement lisses, sont toujours flambés au gaz.

M. Tulpin aîné (de Rouen) a doté l'industrie d'un appareil à griller au gaz, qui est exempt de l'inconvénient signalé ci-dessus et qui conserve la rapidité et la sûreté d'action que procure l'emploi de la flamme.

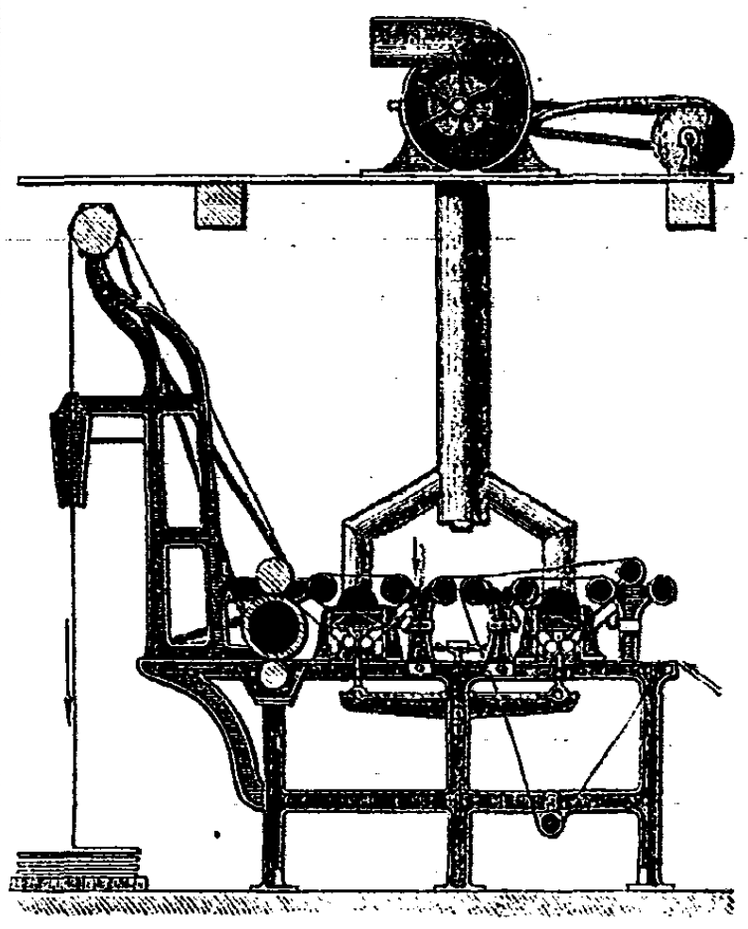


Fig. 1124.

Dans cet appareil (fig. 1124), le tissu n'est plus traversé par le dard de la flamme, c'est la partie latérale de celle-ci que vient raser le tissu pour brûler le duvet qui le recouvre; il passe, comme on le voit sur la figure, sur deux rouleaux placés latéralement à droite et à gauche de la flamme. Si un seul passage est insuffisant, l'appareil est disposé pour répéter deux ou quatre fois, à volonté, l'opération sur un même côté de l'étoffe. La fixité de la flamme est obtenue par l'action d'un ventilateur aspirant les produits de la combustion à travers des tuyaux placés au-dessus des becs. Un autre petit ventilateur envoie de l'air pour le mélanger au gaz, près de sa sortie, pour le faire brûler bleu, comme le produit l'affluence de l'air dans le brûleur de Bunsen, et par suite pour donner de la chaleur plutôt que de la lumière, ce qui rend l'appareil économique, et surtout fait disparaître toute fuliginosité susceptible de noircir l'étoffe. Aussi cet appareil donne-t-il les meilleurs résultats sous tous les rapports, et est-il maintenant généralement employé.

GRUE (*angl.* crane, *all.* kranich). Pour définir de la manière la plus simple cet appareil, il suffit de dire qu'il est destiné à lever des fardeaux et à les transporter d'un point à un autre en leur faisant décrire une circonférence de cercle. Pour atteindre ce but, qu'on imagine une charpente en bois, en fer, ou en fonte, ou encore composée de ces trois matières; qu'on suppose que cette charpente, composée d'un axe vertical et d'une sorte de poutre armée en porte-à-faux, puisse être animée d'un mouvement de rotation, soit sur une crapaudine, soit sur des collets ou tourillons, soit dans des manchons, et l'on aura toutes les parties essentielles qui composent la charpente d'une grue, c'est-à-dire d'un appareil pouvant transporter des fardeaux d'un point à un autre d'une circonférence, et d'un point bas à un point élevé.

La seconde partie constituante d'une grue est le mécanisme; celui-ci doit être assimilé au mécanisme des tours ou treuils ordinaires : c'est un tambour mobile autour d'un axe horizontal sur lequel s'enroule une corde ou une chaine portant le fardeau à soulever; ce tambour est mis en mouvement au moyen d'un système d'engrenages, qui, lui-même, le reçoit d'une manivelle ou de deux manivelles à angle droit. On reconnaît dans cet appareil toutes les parties constituantes du treuil. Le mécanisme et la charpente, ou squelette de la grue, sont intimement liés l'un à l'autre, et participent du même mouvement de rotation, en sorte qu'il convient de combiner ces deux parties de la grue, de manière à ce que chacune d'elles vienne en aide à l'autre, et de telle sorte que toutes deux viennent concourir à la solidité, au bon fonctionnement et à l'élégance de l'ensemble; ainsi bien souvent les grues sont composées de deux flasques entre lesquelles sont disposés les appareils servant au mécanisme.

Le poids à soulever est soutenu, en porte-à-faux, à l'extrémité de la partie inclinée de la charpente, qu'on appelle ordinairement le nez de la grue. On comprend en conséquence que le principal problème à résoudre est de contre-balancer le poids, qui est à l'extrémité d'un bras de levier assez long, de manière à donner toute stabilité à l'axe vertical. Cette stabilité est obtenue souvent au moyen d'un établissement solide de cet axe entre ses manchons, ses guides ou ses tourillons. Quelquefois aussi on maintient cette verticalité et l'on évite les efforts de traction qui s'exercent sur cet axe en contre-balançant partiellement ou en totalité le poids à soulever. Ces différentes méthodes varient avec l'usage auquel sont destinées les grues; nous les examinerons en passant en revue les différentes espèces de grues et leurs différents modes de construction.

Les usages auxquels s'applique cette machine sont nombreux.

Un des premiers usages auxquels elle a été employée sont les constructions des bâtiments, des ponts, des phares, des ports, etc., et en général de tous les travaux qui exigent l'emploi de lourds matériaux. Dans ce cas, la grue a une grande hauteur pour éviter son remplacement à mesure que la construction s'élève.

Dans ces derniers temps, elle a été mise de côté, et l'on a employé de préférence un système que nous devons décrire ici, usité particulièrement dans la construction des ponts ; il se compose d'un chariot composé de deux fermes verticales en charpente, servant de support à un plancher solide situé à un niveau supérieur à la plus grande hauteur de la construction à établir. Ce chariot est mobile dans un sens longitudinal, sur un chemin de fer; il repose sur des galets ou sur des roues de wagon. Le plancher supérieur qui est de la largeur de la construction, est encore garni de chemins de fer dont l'axe est perpendiculaire à l'axe longitudinal sur lequel marche le chariot principal. Sur ce plancher et sur ces chemins de fer repose un treuil mobile qui sert à élever les matériaux, en sorte que ceux-ci peuvent être portés à l'aide de cet appareil à tous les points de la construction, soit dans le sens longitudinal, soit dans le sens transversal. On voit donc que ce système est destiné à élever les fardeaux et à les transporter d'un point à un autre. Il remplirait donc une partie des conditions qui rentrent dans la définition de la grue ; mais il en diffère essentiellement en ce qu'il n'est pas composé d'une charpente en porte-à-faux pouvant tourner autour d'un axe central. Nous avons décrit cet appareil parce qu'il a généralement remplacé les grues, depuis quelques années, dans la construction des ouvrages d'art.

Quelque variées que soient les dispositions des grues, on peut, d'une manière générale, les diviser en deux classes principales, savoir :

1° Les grues à simple volée;

2° Les grues à double volée.

Grues à simple volée. — Tous les systèmes de grues à simple volée peuvent être ramenés à trois genres, qui sont les suivants :

1° Grues à arbre tournant sur pivot et sur tourillon supérieur;

2° Grues à arbre tournant sur pivot inférieur et dans un collier;

3° Grues à arbre fixe.

L'énoncé seul de ces trois genres suffit pour en faire comprendre la disposition. Nous les décrirons succinctement :

I. — Les parties essentielles d'une grue du premier genre sont :

1° Un arbre vertical qui tourne sur un pivot dont la crapaudine est fixée dans un dé en pierre; à la partie supérieure, cet arbre porte un tourillon tournant dans un support fixé, soit à une poutre, soit à un mur ;

2° Un ou deux tirants perpendiculaires ou inclinés à l'arbre et solidement assemblés avec lui ;

3° Un ou deux bras assemblés d'un côté avec les tirants, et de l'autre, soit directement avec l'arbre, soit au moyen d'un système de pièces fixé solidement à l'arbre.

Le fardeau à soulever s'attache à une corde qui passe sur la poulie de tête et vient s'enrouler sur un treuil, qui est à double ou à simple engrenage, suivant les fardeaux que l'on a à soulever.

Nous ferons remarquer ici que dans ce genre de grue, comme dans tous les autres, l'arbre, les tirants et les bras doivent former un triangle invariable, condition essentielle de non-déformation de toute forme polygonale.

Ce premier genre de grue est simple et généralement employé lorsque l'on peut se procurer un point d'appui supérieur, comme dans l'intérieur des ateliers, dans les fonderies notamment.

II. — Les grues du deuxième genre ont une partie de leur arbre logée dans une espèce de puits réservé dans un massif de maçonnerie, le pivot de l'arbre tourne dans une crapaudine scellée dans la maçonnerie, le dessus du puits est couronné par une forte plaque à collier, en fonte, scellée solidement sur le massif; à la hauteur du collier, l'arbre de la grue porte un manchon alésé extérieurement. Ce manchon est placé sur l'arbre concentriquement avec le collier de la plaque de fonte : des galets cylindriques, dont les axes sont maintenus par deux cercles en fer placés dans l'espace qui se trouve entre la plaque et le manchon, diminuent le frottement considérable qui se produit quand la grue est chargée, par suite de la rotation du manchon sur les colliers.

Ce genre de grue est principalement employé sur les quais, dans les entrepôts et magasins et généralement partout où l'on ne peut avoir un point d'appui supérieur.

La figure 1125 représente une grue de ce genre, construite par M. Cavé; la fig. 1126 montre le mécanisme vu par derrière et à une plus grande échelle. A est le treuil sur lequel s'enroule la corde. B est une roue dentée

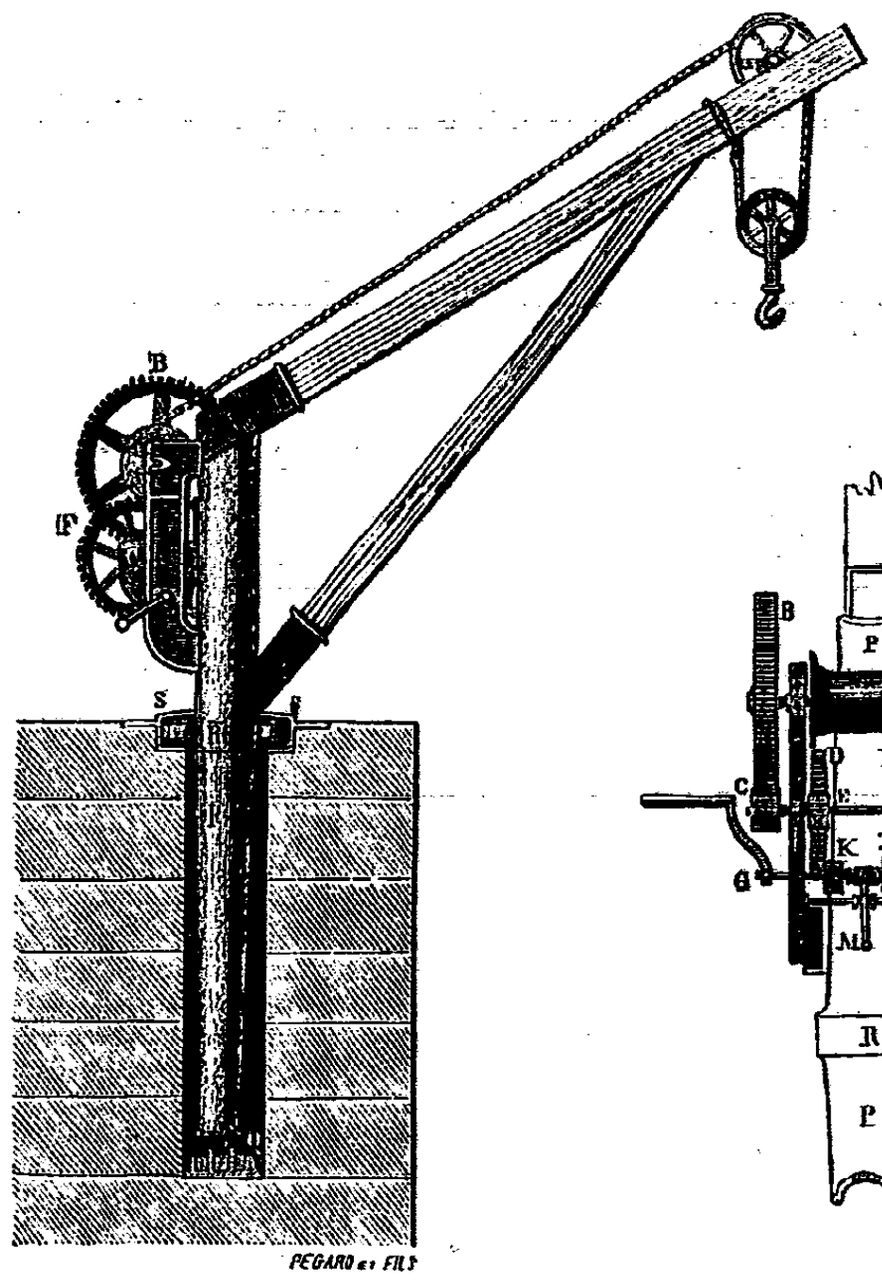


Fig. 1125.

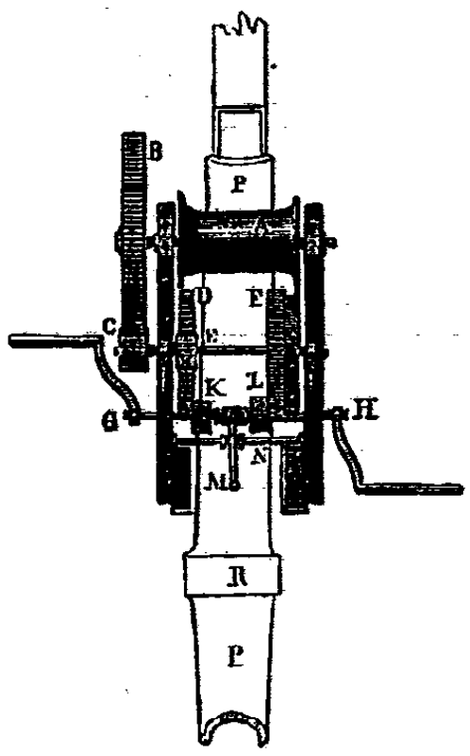


Fig. 1126.

fixée à l'axe du treuil, et qui tourne en même temps que lui; elle porte 66 dents. Un pignon C engrène avec cette roue, il porte 11 dents. A l'axe de ce pignon est fixée une roue dentée D de 54 dents. Un pignon E, de 9 dents, engrène avec la roue D. Une autre roue dentée F de 54 dents est fixée à l'axe de ce pignon. Au-dessous est placé l'axe GH, muni d'une manivelle à chacune de ses extrémités, portant deux pignons K,L, chacun de 9 dents, qui dans la position actuelle n'engrènent avec aucune des roues D et F. Si on le fait glisser dans le sens de sa longueur, vers la gauche, le pignon K engrènera avec la roue D ; si, au contraire, on fait glisser cet axe vers la droite, le pignon L engrènera avec la roue F. Cela s'obtient au moyen du levier d'embrayage M.

Dans la position actuelle des pignons K, L, si l'on fait mouvoir les deux manivelles, le mouvement ne se transmettra à aucune roue et le treuil ne tournera pas. Lorsque le pignon K engrènera avec la roue D, les manivelles feront tourner le treuil par l'intermédiaire des roues B et D et des pignons C, K; le pignon E et la roue F n'agiront pas, tourneront à vide. Enfin, lorsque le pignon L engrènera avec la roue F, les manivelles feront tourner le treuil par l'intermédiaire des roues B, D, P et des pignons C, E, L.

Il sera facile de déduire de là la force qui devra être appliquée à chaque manivelle, pour soulever un fardeau donné (pour avoir le travail à dépenser, il faudrait compléter le calcul par celui des résistances passives, du frottement). Admettons que le bras de chaque manivelle soit égal à trois fois le rayon du treuil, et occupons-nous de l'état du système de roues dentées, lorsque le pignon K engrène avec la roue D.

Le fardeau étant soutenu par une poulie mobile, à cordons parallèles, la tension de la corde est la moitié du poids du fardeau. Si une seule des deux manivelles agissait directement sur le treuil, elle devrait être soumise à une force trois fois plus petite que la tension de la corde, c'est-à-dire au sixième du poids à soulever.

Si cette manivelle agissait sur l'axe du pignon C, la force qu'on devrait lui appliquer serait six fois plus petite, c'est-à-dire la trente-sixième partie du poids à soulever, puisque le pignon C a un nombre de dents qui est le sixième de celui de la roue B. Enfin cette manivelle agissant sur GH, et faisant tourner la roue D à l'aide du pignon K, la force qui doit lui être appliquée sera, par un motif semblable, six fois plus petite que la précédente, c'est-à-dire la deux cent sixième partie du poids du fardeau. Et comme l'axe GH est muni de deux manivelles, chacune d'elles devra donc recevoir l'action d'une force 432 fois plus petite que ce poids.

Dans la seconde disposition, lorsqu'on fait engrener le pignon L avec la roue F, la force qu'on devra appliquer à chaque manivelle ne sera que la sixième partie de celle qu'on doit appliquer dans la première disposition; c'est-à-dire seulement la deux mille cinq cent quatre-vingt douzième partie du poids du fardeau. On

voit, qu'avec une pareille grue, deux hommes pourront soulever un poids énorme; avec des efforts de 10 kil. seulement aux manivelles, ils pourront soulever une locomotive d'un poids de 25,000 kilog.

Nous avons répété, d'après Delaunay, la description et le calcul des rouages de cette grue pour montrer comment elle rentrait dans la famille des crics, des treuils à engrenages, dont elle ne diffère que par le système de poutres qui permettent d'enlever le fardeau à une certaine distance et de le déposer en un point de la circonférence qu'elle peut décrire en tournant autour du pivot sur lequel repose l'arbre vertical, qui sert d'axe à toute la machine, et qui est maintenue par la crapaudine qui reçoit le pivot et les galets, à l'aide desquels elle s'appuie sur les parties supérieures de la maçonnerie, galets qui permettent de faire tourner facilement la grue chargée.

La vitesse d'ascension du fardeau est d'autant moindre que le système des roues dentées établit un plus grand rapport aux deux extrémités de l'appareil. Le travail normal d'un manœuvre agissant sur une manivelle étant de 8 kilogrammètres par seconde, soit 16 kilogrammètres pour 2, l'élévation de 4,320 kilog. à 1 mètre s'obtiendra en 4,320 : 16 ou 270 secondes, ou $4^m,5$. Pour un poids six fois plus considérable, qu'on pourra élever avec le même travail moteur en employant la seconde disposition, le temps sera six fois plus grand, ou égal à 27 minutes. L'appareil devient insuffisant pour des poids aussi considérables; il faut alors mettre quatre manœuvres qui forcent de travail pour réduire la durée de l'ascension.

III. — Les grues du troisième genre ont un arbre fixe encastré dans un massif de maçonnerie à sa partie inférieure ou ayant deux points d'appui; c'est autour de cet arbre fixe que tourne la charpente, en porte-à-faux, sur des galets à axe vertical formant collier sur cet arbre. Ces grues sont fréquemment employées dans les fonderies, elles coûtent moins cher d'établissement que les précédentes. Les bras et l'arbre se font généralement en bois et les tirants en fer. Si l'on avait à construire une grue de ce genre destinée à lever de lourds fardeaux, on pourrait adopter une disposition consistant en un bâti en fonte disposé en deux flasques tournant autour d'un arbre fixe. Sur ce bâti viendraient s'assembler les bras et les tirants de la grue. Quant au mouvement de rotation on pourrait l'opérer au moyen d'un petit chemin de fer disposé circulairement, le poids de la grue se reporterait sur trois ou quatre roues en fonte.

Grues à double volée. — Une grue à double volée se compose de deux grues à simple volée fixées sur un même arbre et diamétralement opposées; les deux volées présentent l'avantage de se faire équilibre mutuellement et permettent de n'opérer qu'une demi-révolution pour effectuer un chargement ou un déchargement, car le poids peut être appliqué à l'une quelconque des poulies, puisque les deux cordes s'enroulent en sens inverse sur le tambour; on peut même dans ces grues employer la pression d'un poids descendant pour en élever un autre.

Quand la grue ne fonctionne pas, les deux volées se font naturellement équilibre; mais quand on soulève un fardeau il faut l'équilibrer au moyen d'un contre-poids suspendu à la seconde volée.

Les grues à double volée sont toutes à arbre fixe; le moyen employé pour donner un mouvement de rotation à la charpente en porte-à-faux autour de cet arbre est variable suivant les cas. Nous en donnerons quelques exemples.

M. Albert avait construit sur le quai d'Orsay une grue à double volée du premier genre dans laquelle le mode d'application des hommes était très-avantageux et qui a rendu de grands services pour le déchargement des bateaux chargés de pierres de taille, jusqu'au jour où l'emploi de la vapeur l'a fait abandonner. Cette grue était toute en bois, les hommes agissaient sur les chevilles d'une grande roue de trois mètres de diamètre; de cette manière on évite les frottements des engrenages. La double volée était mobile autour de l'arbre au moyen d'un chariot à galets.

La grue de Saint-Ouen est de ce genre, seulement les charpentes en porte-à-faux au lieu d'être en bois sont composées de deux flasques en fonte.

La grue de Maudslay a le même mouvement de rotation, seulement le système repose sur un plateau muni de roulettes, qui permet de transporter l'appareil en un point quelconque de l'atelier.

Au lieu de faire reposer la double volée sur une plate-forme inférieure à galets à axe horizontal, on peut la faire tourner autour de l'arbre, soit au moyen de galets à axe vertical, soit à l'aide d'un collier, ou bien on peut encore se servir d'un tourillon supérieur reposant sur l'arbre à son sommet et supportant tout le système.

On voit qu'on peut varier à l'infini ce système de construction et de rotation.

Souvent dans les ateliers de construction ou dans les usines, on emploie des grues dites à volée variable, c'est-à-dire que non-seulement elles peuvent prendre et déposer des fardeaux sur tous les points d'une circonférence, mais encore sur tous les points du rayon de cette circonférence. On comprend facilement l'utilité d'une pareille grue. MM. Manby et Wilson employaient une grue de ce genre; elle était en fonte, et la poulie sur laquelle passait la corde pouvait prendre un mouvement de translation sur un petit chemin de fer supporté par les tirants; le mouvement s'opérait par une crémaillère horizontale engrenant avec un pignon auquel on donnait le mouvement au moyen d'une chaîne à la Vaucanson. A l'établissement de Chaillot il y avait une grue disposée comme celle que nous venons de décrire.

La disposition propre à faire varier la volée de la grue n'offrait pas les conditions de solidité et de simplicité indispensables pour le genre d'appareils dont nous parlons; toutefois il est évident que c'était une idée heureuse pour diverses applications que de rendre variable à volonté la longueur de la volée. Bien que cette disposition soit quelquefois reprise, en remplaçant la crémaillère par des chaînes et des poulies, on en obtient une bien meilleure en formant le bras d'une pièce oblique, terminée par de forts tourillons et tournant dans de forts coussinets placés près du pied de la grue. L'inclinaison est donnée à volonté au moyen de chaînes et de moufles. Nous représenterons plus loin (voir GRUE A VAPEUR) une disposition de ce genre, qui est aujourd'hui assez fréquemment employée.

Dans ces derniers temps, on a remplacé en Angleterre les grues de beaucoup d'ateliers de construction par le mécanisme suivant, qui rappelle celui décrit au commencement de cet article; il se compose d'un chariot qui se meut sur un chemin de fer établi sur les deux murs de l'atelier; sur ce chariot se meut perpendiculairement un treuil.

Lorsque l'on a un fardeau à élever on fait d'abord marcher le chariot, puis on amène le treuil au-dessus de l'endroit où se trouve le fardeau, on le soulève au moyen du treuil, puis en faisant marcher le chariot on le transporte là où l'on veut.

Tel était encore le système que M. Arnoux avait construit au chemin de fer d'Orléans pour charger les diligences sur les wagons du chemin de fer, lorsque la construction des chemins de fer était peu avancée, que l'exploitation ne s'étendait qu'à de petites longueurs. Ces grues se composaient d'un bâti en charpente muni de rails sur lesquels se mouvait un chariot destiné à porter la diligence et les appareils de chargement.

A ce chariot était attenant un engrenage conduisant une chaîne horizontale fixée sur le bâti en charpente, mécanisme qui permettait de le faire marcher sur les rails, horizontalement, dans un sens ou dans l'autre. Les appareils de chargement se composaient : d'un treuil à manivelle, d'un frein pouvant agir sur ce treuil, d'un système de roues dentées de différents diamètres et de chaînes qui, s'enroulant en sens inverse sur le treuil, venaient passer sur des poulies ; aux extrémités de ces chaînes se trouvaient des tringles en fer rond qui venaient s'engager dans des trous traversant de petites pièces en fer recourbées, fixées à la caisse de la diligence. Celle-ci se trouvait ainsi suspendue aux tringles, et en donnant un mouvement aux engrenages dans un sens ou dans un autre, on faisait monter ou descendre la caisse; on pouvait ainsi l'enlever de dessus ses roues et la porter sur un wagon ou réciproquement.

Grues dynamométriques. — MM. Georges ont construit des grues qui permettent de soulever des fardeaux et de les peser en même temps; et qu'ils ont appelées grues dynamométriques. Cette grue est représentée en élévation dans la figure 1127; elle se compose

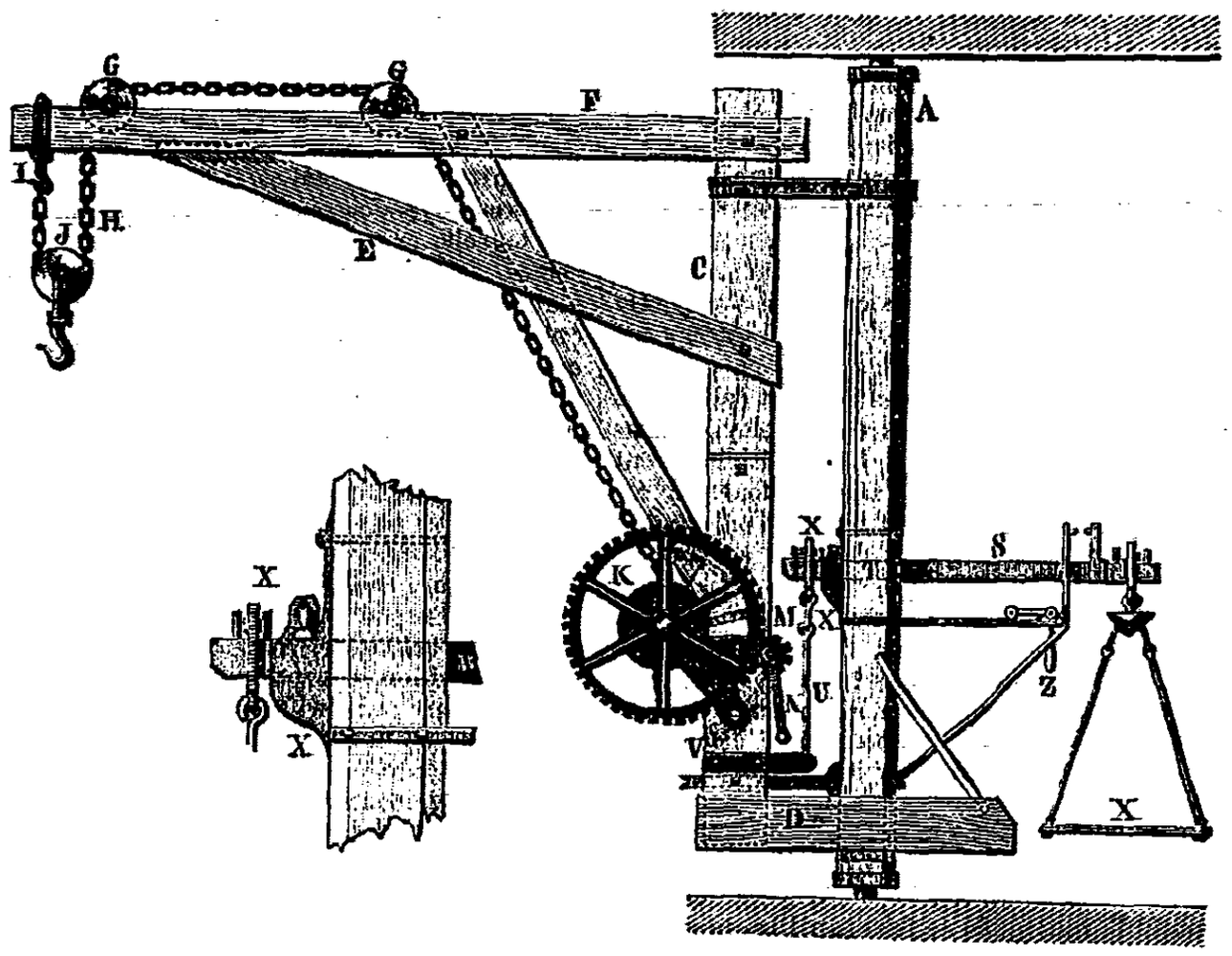


Fig. 1127.

de deux parties, la partie A formant l'axe qui tourne librement à la manière des grues du premier genre, et la partie C qui constitue la grue proprement dite et porte tout le mécanisme qui sert à l'élévation des fardeaux.

Le poteau C est réuni au poteau A par quatre pièces, dont les deux premières font fonction de tirants et les autres celle de butée; ces pièces constituent le parallélogramme qui donne le parallélisme au mouvement oscillatoire du poteau C; ce mouvement s'opère par l'intermédiaire du levier S, qui passant à travers le poteau pivotant A s'appuie sur un support X. Une tringle de suspension U s'attache d'un côté au petit bras du levier et de l'autre à la pièce V fixée solidement sur C. Une dragonne Z, semblable à celle des bascules ordinaires, soulève à volonté le plateau peseur et fait que la grue repose sur la semelle D.

La grue abandonnée à elle-même s'appuie sur la semelle D; quand on veut poser un fardeau quelconque au moyen de cette grue-balance, on tare d'abord le poids des appareils nécessaires à la manœuvre, tels que cordes, chaînes, crochets, etc., puis on soulève la dragonne pour faire appuyer la grue sur la semelle D. On enlève le fardeau au moyen du treuil de la grue; quand il ne touche plus le sol on enlève la dragonne et on pèse ensuite; on soulève de nouveau la dragonne et on manœuvre comme avec une grue ordinaire.

Dans les grues de MM. George on pèse à la fois tous les appareils nécessaires à la manœuvre de la machine et le fardeau à soulever. M. Decoster avait proposé un système au moyen duquel on ne pèse que le fardeau.

Au lieu d'attacher directement au câble la pièce à soulever, il interposait une romaine (voyez BALANCE) entre le poids à soulever et le câble.

On a essayé de remplacer les grues par des leviers à bras inégaux; sur le bras le plus grand est disposé un poids, mobile à l'aide d'un chariot qui se meut sur un chemin de fer. Quand le chariot est à une distance du point d'appui, telle que son poids, multiplié par le bras de levier, soit plus grand que le poids à soulever, multiplié par son bras de levier, l'équilibre est rompu et le poids est enlevé.

Nous n'en dirons pas davantage de ces grues, parce qu'elles ne nous paraissent pas compenser par des avantages réels les nombreux inconvénients qu'elles présentent en raison du choc provenant de la vitesse acquise.

Théorie de la grue. — La grue n'étant qu'un treuil à engrenages dont la corde est portée à une certaine distance de la verticale tangente au cylindre d'enroulement, pour élever verticalement un fardeau, son étude dynamique ne diffère pas de celle du treuil. On déterminera de même, dans les deux cas, le rapport convenable des roues d'engrenages pour agir pour pouvoir enlever, avec un effort connu, un poids également déterminé, ainsi que le temps nécessaire pour l'amener

à une certaine hauteur, connaissant la vitesse normale du moteur, par exemple d'hommes agissant sur les manivelles ; nous avons donné, plus haut, un exemple de ce mode de calcul.

Pour déterminer les pressions exercées sur les points

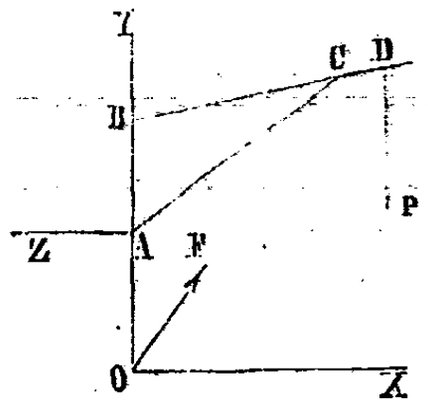


Fig. 1128.

d'appui, il suffit d'appliquer les conditions d'équilibre d'un système de forces situées dans un même plan. Soient X et Y les composantes horizontale et verticale de la réaction F qui s'exerce au point d'appui inférieur, et Z la réaction qui s'exerce au point A (au collier), réaction évidemment horizontale.

Soit P la charge appliquée en D, à une distance p de l'axe OB ; soit Q le poids de la grue elle-même, agissant à une distance q du même axe ; enfin, soit h la distance OA. En égalant à zéro la somme de la projection de ces forces sur l'horizontale OX et sur la verticale OY, et la somme des moments de ces mêmes forces, par rapport au point O, on trouvera :

$$X + Z = 0. \qquad Y - P - Q = 0.$$

$$Pp + Qq - Zh = 0.$$

D'où l'on tire $Z = \frac{Pp + Qq}{h}$, $Y = P + Q$

et $X = -Z.$

La valeur de Z diminuant à mesure que h augmente, il y a avantage à rendre cette quantité aussi grande qu'il est possible, à employer de préférence les grues du premier genre ; c'est ainsi que généralement dans les ateliers on place le point d'appui A à la partie supérieure de l'appareil.

Quand on veut faire le projet d'une grue, il faut encore déterminer les pressions qui s'exercent aux différents points des assemblages de la machine, ABC, pour en déduire des dimensions des pièces largement suffisantes pour éviter toute chance d'écrasement ou de rupture. On y arrive facilement en établissant, comme ci-dessus, l'équation des conditions d'équilibre en ces divers points.

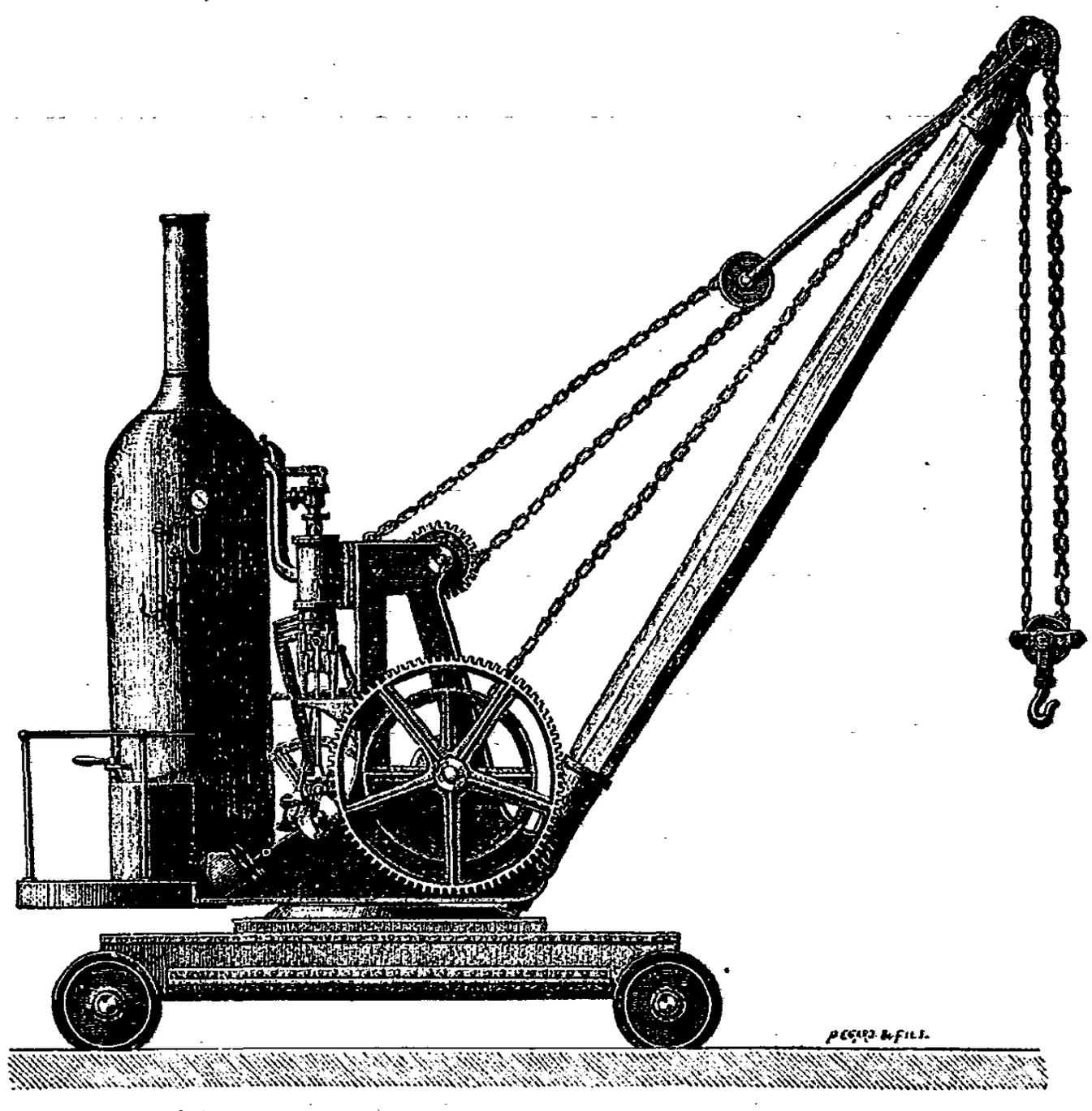


Fig. 1129.

GRUE A TRANSMISSION. Une modification importante dans la manière de mouvoir l'axe des grues a été introduite par Penn et fils, dans leurs beaux ateliers de Greenwich, et est imitée aujourd'hui dans tous les nouveaux ateliers que l'on construit, et notamment dans les fonderies de fer où elle offre beaucoup d'avantages. Elle consiste à se servir de la machine à vapeur motrice qui fait mouvoir les diverses machines-outils de l'atelier, pour agir sur les grues, au moyen de transmissions convenables. Celles-ci ne sont que des courroies et des engrenages ordinaires, sauf que l'arbre en fer vertical qui descend le long de l'arbre de la grue agit par une vis sans fin sur la première roue des engrenages qui mettent le treuil en mouvement; excellente application d'un organe qui transmet parfaitement le travail d'une force dans un sens et ne permet pas le mouvement de retour, lorsque c'est la roue dentée qui agit sur la vis sans fin. C'est ainsi que, dans les manœuvres dangereuses de la fonderie, la poche qui contient des milliers de kilogrammes de fonte incandescente peut être élevée à volonté, sans jamais pouvoir redescendre par son seul poids.

GRUE A VAPEUR. On a été naturellement conduit par les progrès de la construction de la machine à vapeur à monter le long des grues de grande dimension, une semblable machine chargée de faire tourner le treuil. On voyait à l'Exposition de Londres de 1[illegible] plusieurs essais de ce genre, qui étaient tous des moyens différents de disposer la chaudière, naturellement verticale, et le cylindre à vapeur, sur le pied de la grue et le long de l'arbre. La multiplicité des essais indiquait que ce genre d'appareil était réclamé pour diverses applications et qu'il allait bientôt être appliqué fréquemment, comme on le voit aujourd'hui. En effet, leur emploi est très-économique dans tous les cas où le travail à effectuer est considérable. M. Maldant a établi à la Société des Ingénieurs civils que le chargement et le déchargement des navires, effectué sur les quais de Bordeaux avec des grues à vapeur, ne revenait qu'à 12 ou 13 centimes par tonne; bon marché incroyable dû surtout à la grande vitesse et par suite à la grande production des grues à vapeur.

Les grues à vapeur consistent essentiellement en une machine à vapeur, à action rapide, remplaçant avec une bien plus grande puissance les manivelles mues à bras; servant à enrouler sur le treuil la chaîne qui soulève les poids, la chaudière verticale faisant contre-poids au fardeau et aux bras de la grue. Telle est la grue de Garret, représentée fig. 4129, où la machine à vapeur à grande vitesse est du type dit à pilon, si commode et si simple. Le bras variable de la grue est obtenu bien simplement par le redressement ou l'abaissement au moyen de chaînes, d'une pièce tournant autour de forts tourillons placés à la partie inférieure, près des parties résistantes du bâti.

GRUE HYDRAULIQUE. On donne le nom de grues, dans les chemins de fer, à des appareils d'une forme analogue à celle des grues ordinaires, mais qui sont destinés à un usage tout à fait différent. Ils servent à amener l'eau nécessaire pour remplir les tenders des machines locomotives. Nous avons décrit leur disposition la plus convenable à l'article CHEMINS DE FER.

GRUE HYDRAULIQUE. On donne encore le nom de grue hydraulique à des appareils de la nature des machines à colonne d'eau, qui servent dans les docks à élever des fardeaux. Nous les décrivons à l'article TREUIL HYDRAULIQUE.

GUTTA-PERCHA. La gutta-percha est le résidu de l'évaporation du suc laiteux qui s'écoule d'incisions faites dans un arbre qui se rencontre dans les forêts des îles de la Malaisie.

Elle a été introduite par le commerce en Angleterre vers 1843. L'arbre dont elle provient, nommé par Hooker *Isonandra gutta*, s'élève à 15 ou 20 mètres de hauteur, et se rencontre non-seulement à Bornéo et à Singapour, mais encore en Chine qui en fournit les plus grandes quantités.

La gutta-percha a beaucoup d'analogie avec le caoutchouc; elle est imperméable et inaltérable à l'eau, inattaquable par les solutions alcalines, par les acides végétaux et les acides minéraux étendus d'eau. Elle est soluble dans le sulfure de carbone, la benzine, l'essence de térébenthine. Elle est très-mauvaise conductrice de la chaleur et de l'électricité. Elle diffère du caoutchouc et reçoit, par suite, des applications spéciales, en ce qu'elle est plus dure à froid, plus molle à chaud et bien moins élastique à toutes les températures. A partir de 50 degrés elle devient facile à pétrir et à mouler, elle prend des empreintes qu'elle garde après le refroidissement, tandis qu'à la température ordinaire elle constitue une substance dont on ne peut mieux donner une idée qu'en la comparant à du cuir. On voit donc avec quelle facilité on obtient avec cette substance des plaques, des tubes très-résistants et peu attaquables par la plupart des réactifs. On a fait de cette substance, douée de propriétés si précieuses, des applications aussi nombreuses qu'intéressantes.

Nous citerons d'abord celle si importante faite surtout pour la galvanoplastie, pour obtenir des moules, dont nous avons déjà parlé à l'article GALVANOPLASTIE.

En Angleterre, dans plusieurs fermes on a adopté des tuyaux de gutta-percha pour arroser les champs avec des engrais liquides substitués aux engrais ordinaires pour économiser la main-d'œuvre; progrès peut-être trop prôné à l'origine, mais sûrement applicable pour des cultures exceptionnellement riches, comme la culture maraîchère.

Enfin, l'application la plus remarquable de la gutta-percha, par l'importance, des résultats obtenus est celle de servir à envelopper les fils métalliques qui transmettent dans la terre ou dans l'eau les courants des télégraphes électriques; c'est sans contredit à l'emploi de la gutta-percha qu'est dû le succès des télégraphes sous-marins, succès malheureusement incomplet, car la durée des câbles sous-marins paraît limitée à quelques années, les mouvements incessants de certaines parties du câble finissant sans doute par déterminer les fissures à travers la gutta-percha. Son origine végétale ne permet guère d'ailleurs d'espérer une conservation extrêmement prolongée.

Paris. — Imprimerie de P.-A. Bourdier et Cie, 6, rue des Poitevins.